
BIOKAASULAITOSTEN HAJUPÄÄSTÖT

Biokaasulaitosten hajua muodostavat toiminnot
ja niiden hallinta



Ammattikorkeakoulun opinnäytetyö
Bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma
Visamäki, kevät 2014

Sari Tammisto



VISAMÄKI

Bio- ja elintarviketekniikka

Ympäristöbiotekniikka

Tekijä

Sari Tammisto

Vuosi 2014**Työn nimi**

Biokaasulaitosten hajupäästöt

TIIVISTELMÄ

Tässä työssä käsitellään Suomessa biokaasulaitoksissa muodostuvia hajupäästöjä sekä Suomessa käytössä olevia parhaita käyttökelpoisia tekniikoita ja menetelmiä hajukaasujen hallitsemiseksi ja vähentämiseksi.

Kokeellisessa osiossa selvitetään erään yhdistetyn biolaitoksen- ja biokaasulaitoksen toiminnasta mahdollisesti aiheutuvia hajuhaittoja. Selvityksessä arvioitiin laitoksen eri toimintojen vaikutusta hajukaasujen muodostumiseen, ehkäisyyn ja hallintaan. Lisäksi selvitys perustui aistinvaraiseen seurantaan laitosalueella ja lähiympäristössä, jossa kirjattiin kyseisen laitoksen toiminnoista sekä muualta tulevat hajuhavainnot. Biokaasulaitoksen kaasunpesurin hajukaasunmittaukset teetettiin ulkopuolisella akkreditoitulla toimijalla, ja tuloksia verrattiin laitoksen ympäristölupapäätöksen ehtoihin.

Tietolähteenä on käytetty alan julkaisuja ja havaintoja laitoksen toiminnoista. Taustatietoa on myös haettu mm. ympäristölupapäätöksistä ja kyseisen kaupungin osayleiskaavasta.

Tulosten perusteella hajukaasujen pitoisuus poistoputkessa ylitti raja-arvopitoisuuden 2500 hy/m^3 . Pesurin erotusaste oli hajupitoisuuksien perusteella laskettuna 84 %, ja alittaa ympäristöluvassa vaaditun 95 %:n erotusasteen. Mittaustuloksista huolimatta kaasunpesurin läheisyydessä ja ympäristössä ei tämän tutkimuksen perusteella ole havaittavissa aistinvaraisesti erityisiä kaasunpesurilta tulevia hajuja.

Johtopäätöksinä voidaan todeta, että havaintojaksojen aikana ilmenneiden poikkeus- ja häiriötilanteiden aikana hajua havaittiin lähinnä laitosalueella ja sen välittömässä läheisyydessä. Kauemmas toiminta-alueen rajoista hajukaasujen vaikutus ei tämän selvityksen mukaan ulotu lainkaan.

Avainsanat mädätys, biokaasu, hajupäästö, hallintamenetelmät, kaasunpesuri**Sivut**

35 s.

Visamäki
Degree Programme in Biotechnology and Food Engineering

Author Sari Tammisto **Year** 2014

Subject of Bachelor's thesis Odor emissions of biogas plants

ABSTRACT

This thesis deals with the odor emissions and the use of the best available techniques and methods to control odor emissions in general in the biogas plants in Finland.

The experimental section contains odor tests to find out what kind of odor emissions might occur in one of the combined biological treatment plant and biogas plant. The results of odor tests were documented in order to find out whether the emissions came from bioethanol or biogas plants or elsewhere.

Official measurements of odor emissions, was carried out by an external accredited operator and those results were compared to the plant's environmental permit. Environmental publications, observations of the plant's operations and the plant's environmental permit were used as background information.

The results show that the odor of a gas concentration exceeds a threshold value 2500 ou/m³. The removal efficiency of the gas scrubber was 84 % which is under the required 95 %. Despite the official measurement results this study shows that no specific organoleptic odors were detected outside the gas scrubber and its nearby environment.

It can be concluded that during the odor test periods odors were mainly detected in the facility and in its immediate neighborhood.

Keywords Digestion, biogas, odor emission, management techniques, gas scrubber

Pages 35 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	BIOKAASULAITOSTEN RAAKA-AINEET.....	1
2.1	Erilliskerättybiojäte	2
2.2	Puhdistamo- ja sakokaivolietteet.....	3
2.3	Lanta ja peltobiomassat.....	3
2.4	Teollisuuden biojätteet	3
3	BIOKAASULAITOSTEN OSAPROSESSIT	3
3.1	Raaka-aineen vastaanotto ja varastointi	4
3.2	Esikäsittely ja homogenisointi	4
3.3	Syöttöjärjestelmä.....	5
3.4	Hygienisointi tai sterilointi.....	5
3.5	Mädätysprosessi	5
3.5.1	Ammoniakki	6
3.5.2	Rikkiyhdisteet.....	6
3.5.3	Lyhytketjuiset rasvahapot.....	7
3.6	Biokaasun käsittely	8
3.6.1	Epäpuhtauksien poisto.....	8
3.6.2	Kaasun varastointi	8
3.6.3	Soih tupoltto	9
3.7	Mädätysjäännöksen käsittely.....	9
3.7.1	Nestekiinteä erottelu	9
3.7.2	Kuivattu mädätysjäännös.....	9
3.7.3	Rejektivesi	9
4	HAJUHAITTA	11
4.1	Hajupäästön määrittäminen.....	11
4.2	Hajupitoisuuden määrittäminen.....	11
4.3	Hajujen leviäminen	12
4.4	Hajun määrittäminen ympäristössä	12
4.5	Viihtyvyyshaitan määrittäminen	13
5	BIOKAASULAITOSTEN HAJUPÄÄSTÖRAJAT JA MITTAUKSET	14
6	HAJUKAASUJEN HALLINTAMENETELMÄT	15
6.1	Biologinen hajunpoisto	15
6.2	Kemiallinen hapettaminen.....	16
6.3	Aktiivihiihliuodatin.....	16
6.4	Otsonointijärjestelmä	16
6.5	Hajukaasujen poltto.....	17
6.5.1	Terminen poltto	17
6.5.2	Katalyyttinen poltto	17
6.6	Rejektivesien hajujen hallinta	17
7	HAJUKAASUJEN MÄÄRITYS YMPÄRISTÖSTÄ.....	17
7.1	Hajupäästön mallinnus eli leviämislaskelmat	18
7.2	Kenttähavainnointi	18

7.3	Asukaspaneelitutkimus.....	18
7.4	Kemialliset analyysit	19
7.5	Elektroninen nenä.....	19
8	YHDISTETYN BIOLAITOKSEN JA BIOKAASULAITOKSEN HAJUSELVITYS	
	19	
8.1	Alueen kuvaus	20
8.1.1	Laitoksen sijainti	20
8.1.2	Laitoksen ympäristö	20
8.2	Biolaitos	20
8.2.1	Biojätteen vastaanotto	21
8.2.2	Biojätteen esikäsittely.....	21
8.2.3	Hygienisointi- ja prosessointikäsittely	21
8.2.4	Biologinen käsittely ja haihdutus	22
8.2.5	Kemikaalien varastointi ja lastaus	22
8.3	Biokaasulaitos	22
8.3.1	Biokaasureaktori.....	23
8.3.2	Dekantterilinko	23
8.3.3	Mädätysjäännös	23
8.3.4	Jätevesien käsittely	23
8.3.5	Kaasunpesuri ja otsonointi	24
8.4	Energian tuotanto	24
8.4.1	Kiinteän polttoaineen kattila.....	24
8.4.2	Kaasuvarasto.....	24
8.4.3	Soihdu.....	24
8.4.4	Kaasumoottori	24
8.5	Prosessihäiriöt	25
8.5.1	Biojätteen vastaanotto	25
8.5.2	Biolaitoksen tuotantotilojen sisäiset prosessihäiriöt.....	25
8.5.3	Biokaasureaktorin toimintahäiriö	26
8.5.4	Kaasuputken rikkoutuminen.....	26
8.5.5	Kaasusäiliön rikkoutuminen	26
8.5.6	Lingon toimintakatkos.....	26
8.5.7	MVR-haihturin toimintakatkos	27
8.5.8	Kaasumoottorin rikkoutuminen tai huolto.....	27
8.5.9	Kaasunpesurin rikkoutuminen.....	27
9	MITTAUKSET KAASUNPESURILTA	27
9.1	Hajukaasuyksikkö	27
9.2	Hajukaasupäästöjen raja-arvot	28
9.2.1	Yleistä.....	28
9.2.2	Kyseinen biokaasulaitos	28
9.3	Mittausten toteutus	28
9.3.1	Hajukaasupitoisuusmittaukset	28
9.3.2	Ammoniakkipitoisuusmittaukset.....	28
9.4	Mittaustulokset ja niiden tarkastelu.....	29
9.4.1	Hajukaasut	29
9.4.2	Ammoniakki	29
10	AISTINVARAINEN HAJUSEURANTA.....	30

10.1 Yleiskuvaus tuotantotilanteista seurantajaksojen aikana	30
10.2 Toteutus	30
10.3 Tulokset ja niiden tarkastelu	31
10.3.1 Hajuhavainnot.....	31
10.3.2 Säätiidot	33
11 JOHTOPÄÄTÖKSET	34
LÄHTEET	35

1 JOHDANTO

Viime vuosina on kiinnitetty paljon huomiota uusiutuvan energian tuotannon ja käytön edistämiseen. Ilmastonmuutos, taajamien ilmanlaadun heikkeneminen sekä fossiilisten polttoaineiden väheneminen ja hintakehitys ovat lisänneet kiinnostusta uusiutuvaan energiaan. Biokaasu on peräisin orgaanisesta aineksesta, joka hajotessaan vapauttaa ilmakehään hiilidioksidia ja metaania riippumatta siitä, käytetäänkö se energiaksi vai ei. Tästä syystä biokaasu on ympäristöystävällinen energiamuoto, joka ei lisää ilmakehän hiilidioksidin määrää, sillä raaka-aineen hajotessa luonnossa vastaava määrä hiilidioksidia vapautuisi joka tapauksessa ilmakehään. Biokaasua käytettiin vuonna 2011 Suomessa vähän yli 0,6 TWh ja Suomen uusiutuvan energian toimintasuunnitelman mukaan sen käyttöä lisätään 1,2 TWh:iin vuoteen 2020 mennessä. (Lehtomäki, Paavola, Luostarinen, Rintala, 2007, 5; Motiva, 2014).

Biokaasun tuotanto biokaasulaitoksella tapahtuu hapettomissa eli anaerobisissa olosuhteissa. Mikrobit hajottavat orgaanista ainesta ja lopputuotteena syntyy runsaasti metaania sisältävää biokaasua. Biokaasua voidaan hyödyntää lämmön- ja sähköntuotannossa sekä liikennepolttoaineena, jolloin sillä voidaan korvata maakaasua. Biokaasu korvaa tällöin fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Biokaasulaitos vähentää kasvihuonekaasujen syntymistä ottamalla talteen syötteestä muodostuvan metaanin, joka hallitsemattomasti muodostuessaan pääsisi suoraan ilmakehään, sekä korvaamalla fossiilisia polttoaineita uusiutuvalla energialla. (Latvala, 2009, 9-10; Lehtomäki, Paavola, Luostarinen, Rintala, 2007, 2).

Biokaasulaitosten toiminnalla on monia positiivisia vaikutuksia ympäristölle, mutta laitosten toiminnasta voi myös aiheutua päästöjä ympäristöön. Biokaasulaitos vähentää syntyviä hajuhaittoja verrattuna muun muassa tilanteeseen, jossa lietelanta levitetään suoraan pellolle, laitoksen häiriötilanteissa saattaa kuitenkin syntyä hajukaasupäästöjä, kasvihuonekaasupäästöjä sekä terveydelle haitallisia päästöjä. (Latvala, 2009, 9-10, 59).

Tässä työssä käsitellään Suomessa biokaasulaitoksista muodostuvia hajupäästöjä sekä Suomessa käytössä olevia parhaita käyttökelpoisia tekniikoita ja menetelmiä hajukaasujen hallitsemiseksi ja vähentämiseksi.

Kokeellisessa osiossa selvitetään toimeksiantajan yhdistetyn biolaitoksen ja biokaasulaitoksen toiminnasta mahdollisesti aiheutuvia hajuhaittoja. Tavoitteena on selvittää laitoksen toiminnasta suoraan tai välillisesti aiheutuvat hajuhaitat, niiden voimakkuus ja esiintymistiheys.

2 BIOKAASULAITOSTEN RAAKA-AINEET

Suomessa tällä hetkellä suurin osa biokaasusta syntyy kaatopaikoilla, mutta monesti sitä ei voida hyödyntää, koska lähellä kaatopaikkoja ei sijaitse energiaa tarvitsevia kohteita, eikä biokaasua ole kannattavaa johtaa kauemmas tuotantopaikasta. Monia kaatopaikkoja on poistettu käytöstä ja

näiden suljettujen kaatopaikkojen biokaasun tuotanto vähenee pikku hiljaa. Tähän selvitykseen ei ole otettu mukaan kaatopaikoilla muodostuvaa biokaasua ja sen mahdollisesti aiheuttamia hajupäästöjä. (Latvala, 2009, 9-10).

Tässä selvityksessä tarkastellaan jätevedenpuhdistamoiden, maatilakokoluokanlaitosten ja yhteiskäsittelylaitosten biokaasutuotannon aiheuttamia hajupäästöjä ja niiden hallintaa. Raaka-aineina biokaasulaitoksissa voidaan käyttää eläinten lantaa, peltobiomassoja, puhdistamo- ja sakokaivolietteitä sekä yhdyskuntien ja teollisuuden biojätteitä. Yhteiskäsittelylaitos on biokaasulaitos, jossa voidaan käsitellä kaikkia edellä mainittuja jätejätteitä. Valitut raaka-aineet vaihtelevat laitoskohtaisesti. (Latvala, 2009, 9-11; Lehtomäki, Paavola, Luostarinen, Rintala, 2007,19).

2.1 Erilliskerättybiojäte

Merkittävin kaatopaikkojen ympäristöhaittoja aiheuttavista jätteistä on biohajoava jäte, koska sen hajotessa hapettomissa olosuhteissa syntyy metaania, joka on merkittävä kasvihuonekaasu. Syntypaikkalajittelu ja erilliskeräysjärjestelmät eivät toimi kyllin hyvin, koska ne eivät ole Suomessa kattavasti käytössä. Kaatopaikoille kulkeutuu sekajätteen mukana suuria määriä biohajoavaa jätettä, joka voitaisiin hyödyntää raaka-aineena biolaitoskäsittelyissä. Kaatopaikoilla muodostuva biokaasu sisältää useita hajua aiheuttavia rikki-, kloori- ja fluoriyhdisteitä ja on tyyppisesti voimakkaan pistävää. Muodostunut biokaasu saattaa aiheuttaa hajuhaittoja useiden kilometrien päässä kaatopaikalta. (Finnlund, Idström, 2009, 8; Väisänen, Salmenoja, 18).

Jätelain (646/2011) mukaan kaikessa toiminnassa on mahdollisuuksien mukaan huolehdittava siitä, että loppusijoitettavaa jätettä syntyy mahdollisimman vähän eikä jätteestä aiheudu vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle eikä se vaikeuta jätehuollon järjestämistä. Lisäksi valtioneuvoksen asetuksessa kaatopaikoista (331/2013) on säädetty jätteiden loppusijoituksesta kaatopaikoille. Päätöksessä rajoitetaan biohajoavien jätteiden kaatopaikkasijoittamista siten, että kaatopaikalle ei saa sijoittaa sellaista jätettä, josta ei ole kerätty talteen suurinta osaa biohajoavasta jätteestä sen hyödyntämiseksi raaka-aineena. Tällä säädöksellä pyritään lisäämään biohajoavan jätteen syntypaikkalajittelua ja erilliskeräystä. (Finnlund, Idström, 2009, 8; Väisänen, Salmenoja, 18).

Lisäksi vuoden 2016 alusta on tulossa voimaan laki biohajoavan jätteen kaatopaikkakiellosta. Tuolloin asetuksen mukaan kaatopaikan jätetäyttöön ei saa enää hyväksyä jätettä, jonka biohajoavan tai muun orgaanisen aineksen pitoisuus orgaanisen hiilen kokonaismääränä on yli 10 prosenttia. (Vesilaitosyhdistys).

Erilliskerätyn biojätteen tulisi sisältää pääosin elintarvike- ja ruokajätettä, pehmopaperia ja kasvijätettä (ei puutarhajätettä) ja sen tulisi olla lähes täysin biohajoavaa. Todellisuudessa siinä on mukana myös pieniä määriä lasia, metallia ja muita epäpuhtauksia. Erilliskerättyä biojätettä saadaan kotitalouksista, julkisista laitoksista, teollisuudesta ja kaupoista ja sen pääasi-

alliset hyödyntämismuodot ovat kompostointi tai laitosmädätys, lisäksi sitä voidaan käyttää bioetanolin tuotantoon tai se voidaan myös polttaa. (Finnlund, Idström, 2009, 6).

2.2 Puhdistamo- ja sakokaivolietteet

Jätevedenpuhdistamon biokaasulaitos käsittelee tyypillisesti omassa jätevedenpuhdistusprosessissa syntyvää jätevesilietettä sekä puhdistusprosessin ohi saapuvia saostuskaivolietteitä, rasvakaivolietteitä ja teollisuuden jätevesiä sekä sivuvirtoja. Näitä jakeita voidaan käsitellä myös yhteiskäsittelylaitoksissa. Syntyvä käsittelyjännös voidaan jatkokäsitellä muun muassa kompostoimalla, rakeistamalla, termisellä kuivauksella tai kalkkistabiloinnilla. (Latvala, 2009,11, 20)

2.3 Lanta ja peltobiomassat

Maatilan biokaasulaitoksilla voidaan tyypillisesti käsitellä omalla tilalla syntyvää karjan lantaa, sopimustilojen lantaa ja tiloilla syntyvää kasvi-biomassaa. Tällaisella biokaasulaitoksella syntyvä käsittelyjännös hyödynnetään yleensä omien ja sopimustilojen peltojen lannoitteena. Maatalouden lietteitä voidaan käsitellä myös suurilla keskitetyillä laitoksilla, joissa voidaan käsitellä lannan ohella myös muita biopohjaisia sivutuotteita. (Latvala, 2009,19 – 20; Biokaasuyhdistys, 2010)

2.4 Teollisuuden biojätteet

Teollisuuden biojätteitä ovat muun muassa elintarviketeollisuudessa, juomien valmistuksessa, tärkkelyksen erottamisessa, mallastuksessa, entsyymien tuotannossa, vihannesten kuorinnassa ja käsittelyssä syntyvät materiaalivirrat. Teollisuuden biojätteitä voidaan käsitellä kunnallisten jätevedenpuhdistamoiden biokaasulaitoksilla, yhteiskäsittelylaitoksilla tai jopa teollisuuslaitosten omilla biokaasulaitoksilla. (Latvala, 2009,10).

3 BIOKAASULAITOSTEN OSAPROSESSIT

Biokaasulaitoksessa biomassaa käsitellään biologisesti hapettomassa eli anaerobisessa tilassa. Mädätyksessä muodostuu biokaasua, joka sisältää pääosin metaania (35 – 80 %) ja hiilidioksidia (20 – 65 %). Biokaasu sisältää myös raaka-aineesta riippuen pieniä pitoisuuksia rikkiyhdisteitä, siloksaaneja, halogeeniyhdisteitä ja typpeä. (Havukainen, 2009,19 – 20; Arnold, 2009, 12 - 19).

Biokaasun lisäksi prosessissa syntyy mädätettä, jota on kuiva-aine vähenemän verran vähemmän kuin prosessiin syötettyjä raaka-aineita. Syöteen kuiva-aineen vähenemä anaerobisessa märkäprosessissa on keskimäärin 50 %. Anaerobisen käsittelyn aikana raaka-aineen hiili/typpisuhde pienenee sekä kuiva-ainepitoisuus laskee, jolloin mädätteestä tulee koostumukseltaan tasalaatuisempaa. Samalla hajoaa myös hajua aiheuttavia yhdisteitä ja patogeenien määrä pienenee. (Lonka-Huotari, 2006, 10).

Mädätystekniikat voidaan jakaa käsiteltävän kuiva-ainepitoisuuden mukaan tai lämpötilan mukaan, märkämädätyksen kuiva-ainepitoisuus on 6 – 10 % ja kuivamädätyksen 25 – 40 %. Mesofiilisen prosessin optimilämpötila on 35 °C ja termofiilisen prosessin 55 °C. (Havukainen, 2009, 19 - 20).

Tässä työssä käsitellään biokaasulaitoksen osaprosesseja keskittymällä lähinnä niiden hajupäästöriskiin. Biokaasulaitoksella ympäristöä häiritseviä hajuhaittoja voi syntyä raaka-aineiden kuljetuksessa laitokselle, raaka-aineiden vastaanoton ja varastoinnin yhteydessä, prosessiin syötön yhteydessä sekä lopputuotteen ja mädätysjäännöksen käsittelyn ja varastoinnin yhteydessä. Käytetyn raaka-aineen laadulla on myös merkitystä hajuhaittojen muodostumisessa. Biojäte ja teollisuuden sivuvirrat sekä sianlanta saattavat herkästi aiheuttaa hajuhaittoja. Hajuhaittaa voidaan vähentää hallituilla toimilla ja esimerkiksi johtamalla hajukaasut riittävän korkeaan poistoilmapiippuun tai hajukaasun käsittelyyn. (Latvala, 2009, 60, 62).

3.1 Raaka-aineen vastaanotto ja varastointi

Biokaasulaitoksen raaka-aineiden vastaanoton tekniset ratkaisut ovat oleellisia sekä laitoksen toiminnan, että ympäristönäkökohtien kannalta. Vastaanottovaiheessa muodostuu riski hajupäästöjen syntymiselle, mikäli laitostekniikka ei ole riittävää. Biokaasulaitoksen syötteet on varastoitava siten, että ne eivät aiheuta hajuhaittoja. (Latvala, 2009, 22, 67).

Raaka-ainevarastot tulee olla katettuja, jotta mahdolliset hajupäästöt voidaan minimoida. Esimerkiksi lietteiden esisäiliöt tulee kattaa ammoniakkipäästöjen ehkäisemiseksi. (Havukainen, 2009, 29).

Biojätteen mahdollisimman lyhyt varastointiaika ennen prosessiin siirtoa vähentää merkittävästi hajukaasujen syntyä. Mikäli biojätettä varastoidaan liian kauan alkaa se hajota ennen reaktoriin siirtämistä ja hajukaasujen muodostuminen lisääntyy. Nopeasti hajoavien syötteiden maksimi varastointiaika on noin 2 – 3 vuorokautta. (Latvala, 2009,67).

Raaka-ainevaraston tehokas ilmanvaihto vähentää hajuhaittojen muodostumista. Tässä voidaan käyttää automaatiota hyväksi siten, että raaka-ainesäiliöiden luukkujen auetessa, ilmanvaihdon imu käynnistyy automaattisesti, jolloin syntyneet hajukaasut saadaan talteen. Hajunmuodostuksen ollessa voimakasta poistoilma voidaan johtaa esimerkiksi CHP-laitoksen palamisilmaksi tai syntyneet hajukaasut voidaan ohjata kaasunpesurille. (Latvala, 2009, 72,100).

3.2 Esikäsittely ja homogenisointi

Raaka-aineen esikäsittelyssä erotetaan prosessiin kuulumattomat materiaalit, pienennetään partikkelikokoa ja sekoitetaan eri raaka-aineet. Raaka-aineesta erotetaan biokaasuprosessiin kuulumaton inertti aines, kuten puu, lasi, muovi, hiekka ja metalli. Monesti laitoksen eri raaka-ainevirrat kootaan eri vastaanottosäiliöihin, joissa ne käsitellään erikseen. Käsittelyjen

jälkeen raaka-aineet voidaan homogenisoida erillisessä syöttösäiliössä tai syöttää erikseen biokaasuprosessiin. (Havukainen, 2009,29)

Raaka-aineen esikäsitteilyt, murskaus ja inertin aineksen poisto tulisi suorittaa sisätiloissa, jolloin ympäristöön hallitsemattomasti kulkeutuvat hajupäästöt saadaan minimoitua. (Latvala, 2009,60).

3.3 Syöttöjärjestelmä

Teknisillä ratkaisuilla, joilla syöte johdetaan biokaasureaktoriin, on merkitystä hajuhaittojen muodostumiseen. Sellaisilla biokaasulaitoksilla, joissa käsitellään erityisesti paljon hajuhaittoja aiheuttavia raaka-aineita, tulisi välttää voimakasta turbulenssia aiheuttavia ratkaisuja raaka-aineen syötössä. Syöteseoksen voimakas sekoittaminen saattaa lisätä hajukaasujen vapautumista ympäristöön. Myös kattamattomat syöttöjärjestelmät lisäävät hajuhaittariskiä. (Latvala, 2009,60).

Biokaasulaitoksilla, joissa käsitellään hajuja aiheuttavia raaka-aineita, hajulähteet on suljettava ulkoilmasta. Muodostuneet hajukaasut tulee kerätä yhteen ja tarpeen vaatiessa johtaa hajukaasujen käsittelyyn keskitetysti. (Latvala, 2009,60).

3.4 Hygienisointi tai sterilointi

Hygienisointi tarkoittaa lämpökäsittelyä, jossa käsiteltävää massaa kuumentetaan vähintään yhden tunnin ajan 70 °C:ssa, käsiteltävän massan partikkelikoko saa olla enintään 12 mm. Sterilointi on lämpökäsittely, jossa massaa kuumentetaan 3 barin paineessa ja 133 °C:ssa 20 minuuttia. Vaadittu käsittely riippuu käytettävästä raaka-aineesta. Koska tämä käsittely tapahtuu suljetussa systeemissä, ei hajupäästöjä vapaudu ilmakehään. (Latvala, 2009, 38).

3.5 Mädätysprosessi

Biokaasulaitoksen mädätysprosessi sisältää neljä eri vaihetta, jotka ovat hydrolyysi, asidogeneesi, asetogeneesi ja metanogeneesi. Tyypillisesti nämä vaiheet tapahtuvat yhdessä reaktorissa suljetussa prosessissa. Hydrolyysissa entsyymit hajottavat orgaanisen aineksen sisältämät hiilihydraatit, proteiinit ja rasvat yksinkertaisimmiksi yhdisteiksi, kuten sokereiksi, aminohapoiksi ja pitkäketjuisiksi rasvahapoiksi. Asidogeneesissä eli happokäymisessä nämä yhdisteet hajoavat edelleen ja niistä muodostuu haihtuvia rasvahappoja. Asetogeneesi vaiheessa rasvahapoista muodostuu asestaattia, vetyä ja hiilidioksidia. Metanogeneesissä metaanintuottajabakteerit muodostavat metaania asestaatista, vedystä ja hiilidioksidista. Mädätysprosessin toiminnan tärkeimmät parametrit ovat lämpötila, pH, alkaliniteetti ja happo/alkaliniteetti suhde. Mädätysprosessi tapahtuu suljetussa reaktorissa, jolloin hajupäästöjä ei vapaudu ympäristöön. (Havukainen, 2009, 20,24).

3.5.1 Ammoniakki

Ammoniakin liiallinen muodostuminen biokaasuprosessin aikana aiheuttaa hajoamisprosessin inhibition lisäksi hajuhaittoja. Ammoniakki on ilmaa kevyempi väritön ja myrkyllinen kaasu. Ammoniakin haju on pistävä ja sen hajukynnys on 5 – 50 ppm (3,6 – 36 mg/m³). (Latvala, 2009,68).

Biokaasulaitoksen loppumateriaalin jatkokäytön kannalta typpi on tärkeä ravinne, mutta korkeina pitoisuuksina se saattaa aiheuttaa ongelmia inhiboimalla metaanin tuottoa. Yksi tärkeimmistä inhibiitiota aiheuttavista tekijöistä on ammoniakki (NH₃), eli ammoniumtypen (NH₄⁺) ionisoitumaton muoto. Yleensä ammoniakin ja ammoniumtypen pitoisuuksien välille muodostuu tasapaino. Erityisesti runsaasti typpeä sisältävien jätteiden käsittelyssä ammoniakin osuus saattaa nousta inhiboivalle tasolle. Ammoniakkaa muodostuu hydrolyysissa proteiinipitoisten orgaanisten aineiden hajotessa (Rantanen, 2010,10; Lehtomäki, Paavola, Luostarinen & Rintala 2007, 26–27).

Tutkimusten mukaan ammoniakin inhiboiva pitoisuus vaihtelee suuresti. Ammoniakkipitoisuuden lisäksi inhibitioon vaikuttaa prosessin pH, lämpötila, käytetty syöte sekä se onko kyseessä kokonaisammoniakkipitoisuus vai vapaa ammoniakkipitoisuus. Mitä korkeampi lämpötila ja pH on, sitä suurempi osuus ammoniumtypestä on ammoniakkina. Mikrobeista herkimpiä inhibitiolle ovat metanogeenit. Nämä voivat kuitenkin sopeutua suurempiin ammoniakkipitoisuuksiin, jos pitoisuutta nostetaan vähitellen. (Rantanen 2010, 10 -11; Lehtomäki, Paavola, Luostarinen & Rintala, 2007, 26–27).

3.5.2 Rikkiyhdisteet

Haisevia rikkiyhdisteitä eli TRS-yhdisteitä ovat rikkivety (H₂S), merkapaanit, dimetyylisulfidi (C₂H₆S), dimetyylidisulfidi (C₂H₆S₂) ja muut pelkistyneet rikkiyhdisteet. (Niskala, 2010, 28).

Mikäli mädätysprosessissa muodostuu runsaasti rikkivetyä, inhiboi se prosessin toimintaa ja aiheuttaa myös hajuhaittoja. Rikkivety on ilmaa raskaampi, väritön ja myrkyllinen kaasu. Rikkivedylle ominainen haju on epämiellyttävä mädän kananmunan haju. Rikkivedyn hajukynnys on 0,008 ppm (0,011 mg/m³). Altistumisen pitkittyessä hajuaisti turtuu ja lamaantuu yli 100 ppm (150 mg/m³) pitoisuuksissa. (Latvala, 2009,68).

Asetogeenisissä muodostuneesta vedystä osan kuluttavat sulfaattia pelkistävät bakteerit ja kilpailevat vedystä metanogeenien kanssa. Asetaattipitoisuuden ollessa korkealla metanogeenit ovat vallitsevia ja tuottavat metaania. Asetaattipitoisuuden ollessa alhainen sulfaattia pelkistävät bakteerit ovat vallitsevia ja tuottavat rikkivetyä. (Janhunen, 2012,19).

Dimetyylisulfidi (DMS) ja dimetyylidisulfidi (DMDS) ovat värittömiä ja helposti syttyviä öljymäisiä nesteitä. Dimetyylisulfidille tunnusomainen haju muistuttaa mädäntyvien kasvien hajua, sen hajukynnys on 0,001 – 0,020 ppm ja sillä on kyky tehostaa muita hajuja. Dimetyylidisulfidille

tunnusomainen haju muistuttaa mädäntyvän kalan hajua, sen hajukynnys on 0,006 – 0,090 ppm. Metyylimerkaptaanin (MeSH) (CH_4S) on väritön ja helposti syttyvä kaasu. Metyylimerkaptaanille tunnusomainen haju muistuttaa mädäntynyttä kaalia ja sen hajukynnys on 0,002 – 0,008 ppm. (Niskala, 2010, 28).

Biokaasulaitoksen raaka-aineen koostumuksella on suuri merkitys hajujen muodostumiseen. Haisevia rikkiyhdisteitä muodostuu rikkiä sisältävistä aminohapoista, joita ovat kysteini ja metioniini. Mitä enemmän raaka-aine sisältää proteiineja sitä enemmän anaerobisissa olosuhteissa muodostuu rikkiyhdisteitä. Tällöin myös hajunmuodostus lisääntyy. (Albers, Helle, Itävalta, Kapanen, Varpula, Vikman, 2003,16; Solunetti, 2006; Niskala, 2010, 28).

Yksinkertaisimmillaan rikkivedyn määrää biokaasuprosessissa voidaan vähentää lisäämällä pieni määrä ilmaa reaktorin ilmatilaan. Tällöin fakultatiiviset bakteerit käyttävät hapen massan pinnalla ja muuntavat rikkivedyn alkuainerikiksi. Toisaalta liiallinen ilman lisääminen inhiboi anaerobista prosessia, sillä ilman mukana myös happea liukenee nesteeseen. (Latvala, 2009,42).

Rikkivetyä voidaan vähentää myös lisäämällä prosessiin rautaa. Jätevedenpuhdistamoiden lietemädättämöissä ei muodostu rikkivetyä, koska käsitelyissä lietteeseen on lisätty ferrosulfaattia (FeSO_4) fosforin poistamiseksi, samalla ferrosulfaatti sitoo myös rikkivetyä. Biojätettä raaka-aineena käytävissä laitoksissa rikkivetyä muodostuu raaka-aineen runsaan proteiinipitoisuuden vuoksi. Rikkivedyn muodostumista voidaan estää lisäämällä ferrosulfaattia syötteeseen. Tämä on yleisesti käytetty menetelmä etenkin maatilakokoluokan laitoksilla. Mikäli rikkivetyä kuitenkin muodostuu, voidaan se poistaa tuotekaasusta (kts.3.6.1). (Latvala, 2009,42-43).

3.5.3 Lyhytketjuiset rasvahapot

Lyhytketjuiset eli haihtuvat rasvahapot muodostavat hajukaasuja mädätyksen aikana ja saattavat myös toimia inhiboivina tekijöinä metanogeenisille bakteereille suurina pitoisuuksina. Näitä rasvahappoja ovat asetaatti, propionaatti, isobutyraatti, butyraatti (voihappo), isovaleriaatti, valeriaatti ja kaproniaatti. (Hämäläinen, 2006,2).

Lyhytketjuisten rasvahappojen lisääntyminen prosessissa on merkki monivaiheisen hajoamisprosessin epätasapainosta. On olemassa monia tekijöitä haihtuvien rasvahappojen lisääntymiseen prosessissa, yksi syy voi olla lämpötilavaihtelut. Mikäli mädätysprosessin lämmitys ei toimi tai anturivika antaa virheellisiä lukemia, lämpötila reaktorissa alenee. Myös esilämmittämättömän massan lisääminen mädätysprosessiin voi johtaa lämpötilan alenemiseen. Tällöin metaanintuottobakteerien toiminta hidastuu. Lämpötilan alentuessa hydrolyysin ja asidogeneesin bakteerit pystyvät kuitenkin aluksi toimimaan, minkä seurauksena happojen määrä reaktorissa lisääntyy, ellei syötteen syöttöä rajoiteta. (Havukainen, 2009, 27).

Säännöllinen prosessin kontrollointi on tärkeää koko prosessin toiminnan kannalta, koska siten voidaan ehkäistä happojen liiallista muodostumista prosessissa inhiboivalle tasolle. Näin voidaan minimoida myös hajukaasujen muodostumista reaktorissa.

3.6 Biokaasun käsittely

Biokaasua voidaan käyttää sähkön- ja lämmön tuotantoon tai liikennepolttoaineeksi. Yleensä biokaasu soveltuu sähkön- ja lämmöntuotantoon sellaisenaan kosteuden poiston jälkeen. Liikennepolttoainekäyttöön tuotettua biokaasua täytyy käsitellä ennen kuin se soveltuu liikennepolttoaineeksi. (Havukainen, 2009,79).

3.6.1 Epäpuhtauksien poisto

Biokaasu sisältää aina jonkin verran kosteutta, joka voidaan poistaa vedenerottimilla ennen hyötykäyttöä. Merkittävimmät epäpuhtaudet biokaasussa ovat partikkelit, siloksaanit ja rikkivety syötteestä riippuen. Puhdistamaton biokaasu saattaa sisältää myös pieniä määriä ($< 10 \text{ mg/m}^3$) fluoria, ammoniakkia ja öljyä. Näistä epäpuhtauksista rikkivety ja ammoniakki saattavat aiheuttaa hajuhaittoja, mikäli niitä pääsee vapautumaan ympäristöön. Biokaasulaitoksen normaali toiminnan aikana päästöjä ei synny, kuitenkin häiriötilanteissa päästöjen aiheutuminen on mahdollista. Biokaasun sisältämät metaani ja hiilidioksidi eivät aiheuta hajupäästöjä. Metaani on ilmaa kevyempi hajuton ja väritön kaasu, myös hiilidioksidi on väritön ja lähes hajuton kaasu. (Latvala, 2009, 40 – 41, 68).

Biokaasun puhdistukseen voidaan käyttää useita menetelmiä, yleisimmät menetelmät ovat vesipesu ja aktiivihiiliadsorptio. Vesipesureita käytetään yleisesti epäpuhtauksien ja hajukaasujen poistoon biokaasusta monissa biokaasulaitoksissa. (Havukainen, 2009,79; Latvala, 2009, 42).

Rikkivedyn poistamiseen tuotekaasusta voidaan käyttää rautaoksidipetiä, jolloin rikkivety sitoutuu rautasulfidina rautaoksidipetiin. Biokaasu johdetaan kolonneihin, jotka sisältävät rautaoksidilla käsiteltyjä puulastuja, metalleja sisältävää savea (alumiiniteollisuuden sivutuote) tai jodipitoista aktiivihiiltä. Rautasulfidin rikki muuttuu edelleen alkuainerikiksi hapetusreaktion seurauksesta. (Latvala, 2009, 42).

3.6.2 Kaasun varastointi

Biokaasu varastoidaan tavallisesti kaasukellossa tai mebraanisäiliössä. Pienen kokoluokan laitoksissa varastointiin voidaan käyttää myös kaasusäkkiä tai katettua lietesäiliötä. Kaasu voidaan varastoida myös reaktorin yläosan kaasutilaan tai katettuun jälkikaasuuntumissäiliöön. Yleensä kaasunkeräyssäiliö on mitoitettu noin yhden päivän kaasun tuotannolle. (Havukainen, 2009,30; Latvala, 2009, 40 - 41).

3.6.3 Soih tupol tto

Biokaasulaitoksella soihtu toimii vararatkaisuna varsinaisen energiantuotantolaitteiston seisokin aikana tai häiriötilanteissa. Tällä varajärjestelmällä varmistetaan, ettei metaania pääse merkittävästi vapautumaan ilmaan. Biokaasun soihtupol tto aiheuttaa yleensä vähäisiä hajupäästöjä kaasun sisältämän rikkipitoisuuden vuoksi, soihtupol ton päästöt liittyvät kuitenkin yleensä vain poikkeustilanteisiin. (Latvala, 2009,48, 74).

3.7 Mä dätysjä ännöksen käsittely

3.7.1 Nestekiinteä erottelu

Biokaasulaitoksen mä dätysjä ännöstä kuivataan yleensä mekaanisella menetelmällä, yleisimmin käytettyjä menetelmiä ovat linkokuivaus, suotonauhakuivaus tai ruuvipuristin. Mekaanisella kuivauksella saadaan poistettua vettä mä dätysjä ännöksestä, jolloin mä dätteen kuiva-ainepitoisuus kasvaa. Vedenerotusta voidaan tehostaa lisäämällä polymeerejä mä dätysjä ännökseen ennen mekaanista käsittelyä. Mekaanista kuivausta on mahdollista tehostaa termisellä kuivauksella, mikäli halutaan kuivempi lopputuote. Termisesti kuivattu mä dätysjä ännös täyttää myös hygienisointivaatimukset, joten erillistä hygienisointia ei tällöin tarvita. (Latvala, 2009, 51 - 52).

Sekä mekaanisessa että termisessä kuivauksessa syntyy vaikeasti käsiteltäviä konsentroituneita rejektivesiä ja hajukaasuja. Jotta hajukaasuja ei vapautuisi ympäristöön, käsittelyt tulee suorittaa suljetuissa tiloissa, kerätä hajukaasut talteen ja johtaa ne keskitetysti hajukaasujen käsittelyyn. (Latvala, 2009, 51 - 52).

3.7.2 Kuivattu mä dätysjä ännös

Kuivattu mä dätysjä ännös on monesti hajuttomampaa kuin alkuperäinen raaka-aine. Esimerkiksi biokaasulaitoksessa käsitelty puhdistamoliete on huomattavasti hajuttomampaa kuin käsittelemätön liete. (Latvala, 2009, 59).

Biokaasulaitoksen mä dätysjä ännös voidaan hyödyntää lannoitteena tai maanparannusaineena raaka-aineesta ja sen ominaisuuksista riippuen. (Havukainen, 2009,81).

Hajukaasujen leviämisen ehkäisemiseksi varastointitilat olisi hyvä pitää suljettuina. Tarvittaessa kerätyt hajukaasut tulee johtaa hajukaasunkäsittelyyn. (Latvala, 2009,60).

3.7.3 Rejektivesi

Biokaasulaitoksen mä dätysjä ännöksen kuivauksen yhteydessä syntyy konsentroituneita rejektivesiä. Mikäli niitä ei voida sellaisenaan hyödyntää,

täytyy ne käsitellä hallitusti ennen jätevesiviemäriin johtamista. (Latvala, 2009,55).

Tavoitteena biokaasulaitoksissa on hyödyntää rejektivesien sisältämät ravinteet lannoitteena. Maatilakokoluokan laitoksessa syntyvät rejektivedet sopivat yleensä lannoitevalmisteksi sellaisenaan. Yhteiskäsittelylaitosten rejektivedet saattavat soveltua myös sellaisenaan orgaaniseksi lannoitteeksi, mikäli ne sisältävät vain kasvi- ja eläinperäistä ainesta. Näistä vesistä voidaan lisäkäsittelyllä tuottaa myös muita lannoitetuotteita. Puhdistamolietteitä käsittelevien biokaasulaitosten rejektivesiä ei saa nykyainsäädännön mukaan käyttää sellaisenaan lannoitteeksi. (Latvala, 2009,55).

Biokaasulaitoksilla ravinteikkaita rejektivesiä syntyy lähinnä mädätysjäännöksen esikäsittelyn ja kuivauksen yhteydessä. Yleensä etenkin orgaanisen aineksen ja typen pitoisuudet ovat korkeita. Mikäli rejektivesiä ei voida hyödyntää sellaisenaan lannoitteena, voidaan niistä lisä käsitellä ravinteiden talteen ottamiseksi. Rejektiveden koostumus riippuu syöteseoksen koostumuksesta, biokaasuprosessin tehokkuudesta ja käytetystä kuivausprosessista. Biokaasulaitoksen muuttuva ja monipuolinen syöteseos saattaa aiheuttaa muutoksia rejektiveden laatuun ja siten aiheuttaa ongelmia sen käsittelyssä. (Latvala, 2009,55 - 56).

Laitosta suunniteltaessa tulisi ainakin varautua esikäsittelemään rejektivedet laitoksen yhteydessä, ennen niiden jätevesiviemäriin johtamista. Esikäsitteilyllä pyritään vähentämään veden orgaanisen aineksen määrää ja ravinnepitoisuutta. Tavoitteena on ottaa ravinteet talteen ja johtaa puhdas vesi viemäriin. (Latvala, 2009,55 - 56).

Jäteveteen liittyvät hajuongelmat johtuvat suurelta osin yhdisteistä, joita syntyy viemärissä mikrobiologisen toiminnan seurauksena anaerobisissa olosuhteissa. (Aaltola, 2008, 3).

Suuri määrä orgaanista ainesta ja ravinteita aiheuttaa sen, että jätevedessä oleva eloperäinen aines kuluttaa nopeasti kaiken liuenneen hapen ja syntyy anaerobinen tila. Hapettomat olosuhteet jätevesiviemärissä aiheuttavat sen, että sulfaatin pelkistäjäbakteerit alkavat muodostaa sulfidia, joka jäteveteen päädyttyään voi muuntua rikkivedyksi. (Pitkonen, 2013, 1).

Rikkivedyn ollessa vesifaasissa hajuongelmaa ei synny, vasta yhdisteiden vapauduttua vedestä ilmaan muodostuu hajuhaitta. Hajukaasujen kulkeutuminen viemäristä ulkoilmaan koostuu kahdesta eri vaiheesta. Vesi-ilma siirtymä, jolloin yhdisteet vapautuvat vedestä ilmaan sekä tuuletuksen kautta tapahtuva viemäri-ilman kulkeutuminen ulkoilmaan. Näihin vaikuttavat jäteveden pH ja lämpötila, virtauksen turbulenssi, viemäriin tuuletus sekä erilaiset kemialliset ja mikrobiologiset prosessit viemärissä, jotka vaikuttavat haisevien yhdisteiden määrään. (Pitkonen, 2013, 18).

Myös rejektiveden käsittely itsessään aiheuttaa mahdollisesti hajuhaittoja, joten myös niiden käsittelyprosessi tulee ottaa huomioon hajupäästöjen hallintaa suunniteltaessa. (Latvala, 2009,55 - 56).

4 HAJUHAITTA

4.1 Hajupäästön määrittäminen

Laki eräistä naapuruussuhteista (Finlex 13.2.1920/26) määrittää, että naapurille ei saa aiheuttaa ilmeistä haittaa muun muassa hajun vuoksi ja että talli, navetta, lantäsäiliö, käymälä tai muu sellainen laitos on tehtävä siten, jottei se aiheuta naapurille tuntuva haittaa. Hajupäästön kohtuullisuuden määrittämisen ongelmana on, ettei hyväksyttävää hajutasoa ole tarkkaan määritelty. (Finlex; Makkonen, 2008, 8).

Päästön hajupitoisuus ilmaistaan hajuyksiköiden määränä kuutiometrissä (ou/m^3 , $\text{odour unit}/\text{m}^3$ tai hy/m^3). Yksi hajuyksikkö (hy) ilmoittaa, montako kertaa päästöstä otettua näytettä on laimennettava, jotta se tulisi hajuttomaksi. Tehdyissä hajuhaittatutkimuksissa on todettu, että lievän hajun esiintymistä ei vielä pidetä häiritseväenä, vasta kun haju on melko voimakas, koetaan haju haittatekijänä. Kun hajun taso on $1 \text{ hy}/\text{m}^3$, on se juuri aistittavissa ja $3 \text{ hy}/\text{m}^3$ tasoa pidetään selvästi tunnistettavana. Melko voimakkaana ja useimpien mielestä häiritseväenä voidaan pitää hajua, jonka taso on $5 \text{ hy}/\text{m}^3$. Lisäksi hajuhaittaan vaikuttaa hajun esiintymistiheys. Tutkimusten mukaan selvä hajuhaitta koetaan, kun hajua esiintyy yli 3-5 % kokonaisajasta. Hajuhaittatutkimuksissa on myös todettu tietty perushaittataso. Tämä tarkoittaa sitä, että noin 5-10 % väestöstä kokee joka tapauksessa hajuhaittaa, vaikka alueella ei olisikaan hajuyhdisteitä aiheuttavaa teollisuutta. Tärkein tekijä hajuhaittojen määrittämisessä on hajun esiintymistiheys, eli kuinka usein ja kuinka kauan hajua esiintyy. Näiden tutkimusten perusteella voidaan päätellä, että häiritsevän hajun raja-arvoina voidaan pitää 3 - 5 hy/m^3 , kun sitä esiintyy yli 3-5 % kokonaisajasta. (Makkonen, 2008, 8; Arnold, 2002, 21).

4.2 Hajupitoisuuden määrittäminen

Haiseva ilma pitää sisällään yleensä monia eri hajuyhdisteiden pitoisuuksia ja ovat yksittäisinä hyvin pieniä pitoisuuksia, jolloin niitä on vaikea eritellä ja mitata. Lisäksi eri hajuyhdisteiden sekoittuminen muodostaa uusia hajuja, eikä eri hajuyhdisteiden vaikutusta kokonaisuuteen tiedetä. (Arnold, 2002,12).

Hajupitoisuus määritetään laboratoriossa pussiin otetusta päästönäytteestä useammasta henkilöstä muodostetun hajupaneelin avulla aistinvaraisesti olfaktometrillä. Olfaktometri muodostaa alkuperäistä näytettä puhtaalla ilmalla laimennettaessa tarkkoja laimennoksia hajupaneelin koehenkilöille, lisäksi laitteeseen on liitetty yleensä tietokoneohjelmisto, joka laskee näytteen hajupitoisuuden koehenkilöiden arviontien perusteella. Mittaustulosten tarkkuuteen vaikuttaa eniten olfaktometrin tuottaman laimennoksen tarkkuus ja panelistien työskentely. Päästön hajupitoisuus ilmaistaan hajuyksiköiden määränä kuutiometrissä (hy/m^3). Yksi hajuyksikkö ilmoittaa, montako kertaa päästöstä otettua näytettä on laimennettava, jotta se tulisi hajuttomaksi. (Arnold, 2002,12).

Paneeliin valittaville henkilöille ja paneelityöskentelylle on asetettu tarkat kriteerit olfaktometrisen määrittämisen eurooppalaisessa CEN-standardissa (CEN 2001). Koska ihmisten hajuaistit poikkeavat toisistaan myös sama henkilö voi haistaa eri tavalla eri päivinä ja eri tilanteissa. Panelistien hajuaistin herkkyys tarkistetaan n-butanolilaimennoksilla. Paneeliin valitaan vain sellaiset henkilöt, jotka pystyvät toistettavasti määrittämään n-butanolin hajukynnyksen välille 62-246 mg/m³. Paneeliin pyritään valitsemaan vain henkilöitä, joilla on normaali hajuaisti, n-butanoli määrittämällä pystytään rajaamaan pois henkilöt, joilla on liian hyvä tai liian huono hajuaisti. Lisäksi hajupaneeliin valitut henkilöt koulutetaan oikeaan menettelytapaan paneelissa. (Arnold, 2002,12;The New European Olfactometry Standard, 2001,8).

Olfaktometrasta määrittäystä käytetään yleensä vain päästöjen mittauksiin, koska ulkoilman hajupitoisuuksien määrittäystä ei voida tehdä niiden alhaisten hajupitoisuuksien vuoksi. Menettelytavan standardoinnin ja yleisen menetelmäkehityksen ansiosta olfaktometristen mittausten laatu on kehittynyt merkittävästi viimeisten kahdenkymmenen vuoden aikana, joten ennen 1990-luvun alkua tehdyt määrittäykset eivät ole vertailukelpoisia nykyisten määrittäysten kanssa. (Arnold, 2002,Sivu 12).

4.3 Hajujen leviäminen

Hajuyhdisteet ovat koostumukseltaan kaasumaisia ja leviävät sen vuoksi ilmavirtausten ja turbulenssien mukana. Tuuliolosuhteet, ilmanpaine ja maaston muodot sekä hajukaasuihin ja hajulähteisiin liittyvät ominaisuudet vaikuttavat hajuyhdisteiden leviämiseen ympäristöön. Paikallisilla sääolosuhteilla on suuri vaikutus hajujen leviämiseen, optimaalisin hajujen esiintymistiheys vallitsee tuulen nopeuden ollessa 1-1,5 m/s. Myös ilmakehän stabiilisuus, jolloin ilman sekoittuminen on heikkoa, vaikuttaa hajuhavaintojen esiintymistiheyteen, tällaiset olosuhteet ovat tyypillisiä etenkin iltaisin ja aamuisin. Maaston muodostumat vaikuttavat hajuyhdisteiden leviämiseen, kukkuloiden ja mäkien väleihin jäävien laaksojen kautta hajuyhdisteet voivat kulkeutua hyvinkin kauas. Myös kasvillisuudella on merkityksensä hajujen leviämiseen, avoimessa maastossa hajuja havaitaan rehevää maastoa useammin. (Makkonen, 2008, 5-6).

4.4 Hajun määrittäminen ympäristössä

Hajun aistittavuuteen vaikuttaa havainnoitsijan hajuaistin herkkyys, ihmisten vireystila ja terveys, elintavat, ulkoilman lämpötila ja kosteus. (Makkonen, 2008, 6-7).

Eri ihmisillä on eri herkkyysiset hajuaistit, myös sama henkilö saattaa haistaa eri lailla eri tilanteissa ja eri päivinä. Hajuaisti myös väsyä, mikä vaikuttaa hajun havaitsemisen heikkenemisenä haisteltaessa vakiopitoista hajua pidemmän aikaa, toisaalta vaihteleva pitoisuus hajussa saatetaan aistia useampana havaintona. Hajuaistin tehokkuuteen vaikuttaa ihmisen elintavat, terveys ja vireystila, esimerkiksi tupakointi ja flunssa heikentävät hajuaistia, myös iän myötä hajuaisti heikkenee. (Makkonen, 2008, 6-7).

Ympäristön lämpötilan kasvaessa hajukaasujen haihtuminen ilmaan lisääntyy, mutta vastaavasti hajuaistin herkkyys alenee lämpötilan noustessa. Ilman suhteellisen kosteuden lisääntyessä havaitun hajun voimakkuus laimenee, toisaalta aistittu haju koetaan häiritsevämpänä kesällä kuin talvella. Kesällä vietetään enemmän aikaa ulkona, jolloin ulkoilmassa kulkeutuvat hajut havaitaan helpommin, lisäksi hajujen havaitseminen on vaikeampaan kylmässä ilmassa. (Makkonen, 2008, 6-7; Arnold, 2002, 19).

4.5 Viihtyvyyshaitan määrittäminen

Hajuhaitan muodostumiseen vaikuttavat sekä henkilökohtaiset että fyysikaaliset tekijät. Hajun siedettävyyteen tai häiritsevyyteen vaikuttaa hajuun liitetyt mielikuvat. Mikäli asukkaiden toimeentulo riippuu hajupäästöjä aiheuttavasta teollisuudesta, hajuhaittaa ei koeta niin merkittäväksi. Myös maatalousalueilla siedetään hajupäästöjä paremmin kuin asuinalueiksi tai virkistyskäyttöön tarkoitetuilla alueilla. Tutkimuksissa on todettu myös, että etenkin naiset ja korkeasti koulutetut pitävät ympäristöstä kulkeutuvia hajuja häiritsevämpinä kuin muu väestö. Iän karttuessa ympäristöhajujen häiritsevyys laantuu, sillä yleinen tyytyväisyys omaan elinympäristöön yleensä kasvaa. (Makkonen, 2008, 7-8; Arnold, 2002, 20,22).

Lannasta muodostuvat hajukaasut eivät ulkoilmaan sekoittuessaan muodosta selvää terveydellistä riskiä, mutta voivat aiheuttaa pitoisuudesta riippuen muun muassa silmien ja limakalvojen ärsytystä tai päänsärkyä. Joka tapauksessa ongelmaksi koettu haju on stressitekijä, joka voi altistaa ihmisen erilaisille sairauksille, vaikka haju itsessään ei aiheutakaan sairautta. Vaikka hajusta ei muodostuisikaan selvää terveydellistä haittaa, voidaan viihtyisyys haitta kokea hyvinkin häiritsevänä. Haju vaikuttaa asumisviihtyvyyteen, jolloin oleilu ulkoilmassa saattaa vähentyä. Lisäksi hajuhaitta saattaa muokata asuinalueesta syntyvää mielikuvaa, jolloin sillä on vaikutuksia asuntoalueen rahalliseen arvoon. (Makkonen, 2008, 7-8; Arnold, 2002, 20,22).

Teollisuuslaitoksen tai muun hajupäästöjä aiheuttavan toiminnan hajuhaittaa ei edellä mainittujen havaintojen perusteella voida määrittää pelkästään mittaamalla päästön hajupitoisuutta tai esiintymistiheyttä. Jotta todellinen hajuhaitta ympäristön asukkaille voidaan selvittää, onnistuu se vain vaikutusalueen asukkaiden avulla. (Makkonen, 2008, 7-8; Arnold, 2002, 20,22).

5 BIOKAASULAITOSTEN HAJUPÄÄSTÖRAJAT JA MITTAUKSET

Ympäristölupamääräysten mukaiset hajupäästörajat ja hajukaasujen mittaustulokset joiltakin biokaasulaitos toimijoilta (taulukko 1, taulukko 2, taulukko 3). Nämä tiedot on saatu kyseisiltä biokaasulaitoksilta tai ympäristöviranomaisilta.

	Päästörajat		Mittaukset	
	hajupäästö hy/m ³	vaadittu hajunpoiston poistotehokkuus %	hajupäästö hy/m ³	hajunpoiston poistotehokkuus %
Biolaitos1	2000	95	9166	99
Biolaitos 2	2000	90	1500	-
Biolaitos 3	2000	95	4800	99,9
Biolaitos 4	2500	95	57 000	84
Biolaitos 5	2000	95	9283	90
Biolaitos 6	ei hajupäästö rajoja, mittaukset vaaditaan luvissa			ei mittauksia
Biolaitos 7	ei hajupäästö rajoja, mittaukset vaaditaan luvissa			ei mittauksia
Biolaitos 8	2500	90	-	laitos rakenteilla
Biolaitos 9	2000	92	-	laitosta ei ole rakennettu
Biolaitos 10	2000	-	-	laitosta ei ole rakennettu
Biolaitos 11	2000	-	-	laitosta ei ole rakennettu

Taulukko 1. Biokaasulaitosten ympäristöluvuissa määritetyt hajupäästörajat ja saadut mittaustulokset.

	Päästörajat		Mittaukset	
	ammoniakki mg/m ³		ammoniakki mg/m ³	
Biolaitos 1	>5		0	
Biolaitos 2	7,57		0	
Biolaitos 3	>5		5,1	
Biolaitos 4	ei vaadittu		0,01-0,05	
Biolaitos 5	< 28,63		80	
Biolaitos 6	ei vaadittu		-	
Biolaitos 7	ei vaadittu		-	
Biolaitos 8	> 5		laitos rakenteilla	
Biolaitos 9	ei vaadittu		laitosta ei ole rakennettu	
Biolaitos 10	ei vaadittu		laitosta ei ole rakennettu	
Biolaitos 11	< 5		laitosta ei ole rakennettu	

Taulukko 2. Biokaasulaitosten ympäristöluvuissa määritetyt ammoniakkipäästörajat ja saadut mittaustulokset.

	Päästörajat	Mittaukset	
	rikkivety ja metyyli-	rikkivety	metyylimerkaptani
Laitos	merkaptani (MeSH) ppm	ppm	MeSH ppm
Biolaitos 1	0,1	0,07	0,04
Biolaitos 2	0,1	0,21	0,018
Biolaitos 3	0,1	0,33	0
Biolaitos 4	ei vaadittu	-	-
Biolaitos 5	0,1	-	0,17
Biolaitos 6	ei vaadittu	-	
Biolaitos 7	ei vaadittu	-	
Biolaitos 8	ei vaadittu	laitos rakenteilla	
Biolaitos 9	0,1	laitosta ei ole rakennettu	
Biolaitos 10	ei vaadittu	laitosta ei ole rakennettu	
Biolaitos 11	ei vaadittu	laitosta ei ole rakennettu	

Taulukko 3. Biokaasulaitosten ympäristöluvuissa määritetyt rikkivetypäästörajat ja saadut mittaustulokset.

6 HAJUKAASUJEN HALLINTAMENETELMÄT

Biokaasulaitoksella syntyvät hajut tulee hallita siten, etteivät ne aiheuta haittaa lähialueen asutukselle tai yritystoiminnalle. Biokaasulaitoksilla, joissa käsitellään hajuja aiheuttavia raaka-aineita, hajulähteet tulee sulkea ulkoilmasta, kerätä hajukaasut yhteen ja käsitellä ne hallitusti. (Latvala, 2009,60,75).

Hajukaasujen käsittelyn jälkeen poistoilma tulee ensisijaisesti johtaa ottoilmaksi biokaasun hyödyntämisprosessiin. Mikäli tämä ei ole mahdollista, tulee puhdistetut hajukaasut johtaa laitokselta pois siten, että ne sekoituvat mahdollisimman hyvin ympäristön ilmavirtoihin. Näillä toimenpiteillä pyritään siihen, että ympäristöön kulkeutuisi mahdollisimman vähän hajuhaittoja. (Latvala, 2009,75).

Hajukaasujen käsittelyyn on olemassa erilaisia menetelmiä muun muassa biologinen hajunpoisto, kemiallinen hapettaminen, aktiivihiihiisuodatin, otsonointijärjestelmä sekä hajukaasujen terminen ja katalyyttinen poltto. Käytettävän menetelmän valintaan vaikuttavat hajukaasujen koostumus ja hajua aiheuttavien yhdisteiden kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet sekä se, miten näihin ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa. Haluttu puhdistustaso sekä menetelmän kustannukset asettavat myös omat vaatimuksensa menetelmän valinnalle. (Latvala, 2009,75).

6.1 Biologinen hajunpoisto

Biosuodattimen toiminta perustuu adsorptioon. Tämä tarkoittaa aineensiirtoprosessia, jossa kaasumaiset aineet sitoutuvat jonkin kiinteän aineen pintaan. Biosuodattimessa suodatinmateriaalina on turve tai komposti. Suodatinmateriaalin paksuus on 0,5 – 1 m. Kustaan suodattimen läpi johdetut

hajukaasut sitoutuvat suodatinmateriaaliin, jossa mikrobit käyttävät niitä ravinnokseen samalla hapettaen niitä. Menetelmää voidaan käyttää sellaisissa kohteissa, joissa epäpuhtaudet ovat biologisesti hajoavia, vesiliukoisia ja kaasuyhdisteitä ei välttämättä tarvitse saada takaisin talteen. Biosuodattimet soveltuvat parhaiten kohteisiin, joissa puhdistettavat kaasumäärät ovat suuria, mutta pitoisuudet alhaisia. Biosuodattimia käytetään muun muassa jätevedenpuhdistamoiden, kompostilaitosten ja biokaasulaitosten hajukaasujen poistoon. (Aaltola, 2008, 28; Tittonen, 2012, 12).

6.2 Kemiallinen hapettaminen

Kemiallinen hapettaminen tapahtuu usein liuospressureilla, jotka ovat täytemateriaalilla pakattuja reaktoreita, joissa kiertää kemikaaliliuos. Hajukaasut johdetaan liuoksen läpi, jolloin hajuyhdisteet sitoutuvat nesteeseen. Hajukaasujen hapettaminen vähentää huomattavasti tai jopa poistaa kokonaan muodostuneen hajuhaitan. Liuospressureita käytetään yleisesti jätevedenpuhdistamoiden ja biokaasulaitosten hajukaasujen puhdistamiseen. (Aaltola, 2008, 27).

6.3 Aktiivihiilisuodatin

Aktiivihiili on rakenteeltaan ja ominaisuuksiltaan sellainen, että se kykenee adsorboimaan useita eri orgaanisia ja epäorgaanisia aineita. Aktiivihiilen rakennetta, huokoskokoa ja ominaisuuksia muokkaamalla saadaan se muokattua käyttötarkoituksen mukaiseksi. Aktiivihiilen raaka-aineeksi sopivat monet puulaadut, pähkinänkuoret ja hiili. Raaka-aineesta poistetaan hiilivedyt pitämällä se punaherkuisena, mutta palaminen estetään happipitoisuutta rajoittamalla. Aktiivihiili aktivoidaan käyttöön käsittelemällä se hiilidioksidilla tai höyryllä, jolloin toivottu huokosrakenne muodostuu.

Aktiivihiilisuodatin on yleensä sylinterinmallinen, jonka sisällä aktiivihiili on staattisena patjana. Käsiteltävä ilma puhalletaan aktiivihiilikerroksen läpi, jolloin haiseva yhdiste adsorboituu aktiivihiileen. Esimerkiksi rikkivety hapettuu ensin rikkihapoksi ja adsorboituu sitten aktiivihiileen. (Pulkinen, 2014, 16 - 17).

6.4 Otsonointijärjestelmä

Otsoni, O₃ on kolmesta happiatomista koostuva ilmaa raskaampi kaasu. Otsoni on erittäin voimakas hapetin, joka pystyy reagoimaan lähes kaikkien aineiden kanssa. Otsoni tulee valmistaa käyttökohteessaan, koska se on herkästi räjähtävää ja hajoaa lämmitettäessä. Otsoni soveltuu sekä nesteettä kaasufaasien puhdistukseen. Nestefaasissa reaktiot tapahtuvat huomattavasti nopeammin kuin kaasufaasissa ja otsonin reaktiot nestefaasissa tunnetaan huomattavasti paremmin kuin kaasufaasissa. Otsonoinnin kontaktiaika ja otsonin oikea annostus ovat tärkeimmät otsonointijärjestelmän suunnittelussa huomioitavat seikat. Myös hajun laatu ja pitoisuus sekä poistokaasun lämpötila ja kosteus täytyy ottaa huomioon suunnittelussa. Riittävän annostuksen suunnittelussa on huomioitava, että otsonia kuluu myös reaktioihin muidenkin kuin hajuyhdisteiden kanssa sekä sen ha-

joamiseen. Otsonointia voidaan käyttää hajukaasujen puhdistukseen joko pelkästään tai lisänä jollekin toiselle järjestelmälle. (Pulkkinen, 2014,16)

6.5 Hajukaasujen poltto

6.5.1 Terminen poltto

Hajukaasujen puhdistusmenetelmistä tehokkain menetelmä on terminen poltto, tosin myös kallein. Orgaanisia yhdisteitä sisältäviä hajukaasuja poltettaessa syntyy hiilidioksidia sekä rikin ja typen oksideja, jotka täytyy poistaa ennen kuin poltosta syntyvät kaasut voidaan vapauttaa ilmakehään. Tätä menetelmää ei yleensä käytetä pelkästään hajukaasujen poistoon, vaan esimerkiksi haihtuvien orgaanisten yhdisteiden poiston yhteydessä myös hajut poistuvat. Menetelmän käyttö on kannattavaa suuren mittakaavan prosesseissa, joissa syntyy paljon haju- ja savukaasuja. Pienemmän mittakaavan prosesseissa tämä ei ole kannattava menetelmä. (Aaltola, 2008, 27; Tittonen, 2012, 11).

6.5.2 Katalyyttinen poltto

Katalyyttisessä poltossa hajukaasut johdetaan katalysaattorin läpi, jossa katalyytteinä käytetään palladiumia ja platinaa. Tässä menetelmässä käytetty lämpötila on huomattavasti alempi kuin termisessä poltossa sekä prosessin tilantarve on pienempi. Katalyyttisessä poltossa ei myöskään synny haitallisia yhdisteitä, kuten termisessä poltossa. Katalyyttistä polttoa ei myöskään käytetä yleensä vain hajukaasujen poistoon, vaan hajut poistuvat samalla, kun poistetaan muita yhdisteitä poistokaasuista. (Aaltola, 2008, 27; Tittonen, 2012, 11).

6.6 Rejektivesien hajujen hallinta

Jätevesiperäisten hajujen muodostumiseen ja hallintaan voidaan vaikuttaa monilla eri keinoilla. Ensisijaisesti kannattaa pyrkiä vaikuttamaan hajujen syntyyn. Hajujen syntyä voidaan ehkäistä joko estämällä bakteeritoimintaa putkistossa tai pyrkiä säilyttämään viemärissä aerobiset olosuhteet. Hajukaasujen muodostumista voidaan estää myös käsittelemällä jätevettä erilaisilla fysikaalisilla ja kemiallisilla menetelmillä ennen rejektiveden viemäriin johtamista. Myös viemärirakenteiden huolellisella suunnittelulla voidaan ehkäistä hajukaasujen muodostumista viemäreissä. (Aaltola, 2008, 24, 26).

7 HAJUKAASUJEN MÄÄRITYS YMPÄRISTÖSTÄ

Ympäristöön leviäviä hajukaasuja voidaan määrittää leviämislaskelmilla, kenttähavainnoinnilla ja asukaspaneelitutkimuksilla. Leviämislaskelmilla voidaan saada tietoa hajun esiintymistiheydestä, eli kuin usein hajua esiintyy prosentteina kokonaisuudesta, kun taas kenttähavainnointi perustuu ympäristössä liikkuvien havainnoitsijoiden aistinvaraisiin havaintoihin. Asu-

kaspaneelitutkimuksella mitataan asukkaiden kokeman viihtyvyyshaitan häiritsevyyttä. (Arnold, 2002,14).

Hajukaasujen ominaisuuksien ja voimakkuuksien määrittämiseen voidaan käyttää sekä laadullisia että määrällisiä menetelmiä. Menetelmät voidaan jakaa analyttisiin, aistinvaraisiin ja instrumentaalisiin tunnistimiin. Analyttisinä menetelminä käytetään kemiallisia analyysejä, joilla voidaan määrittää hajukaasun koostumus sekä laadullisesti että määrällisesti. Aistinvaraisia menetelmiä ovat muun muassa dynaaminen olfaktometri, hajupaneelit ja kenttähavainnointi. Instrumentaalinen tunnistusmenetelmä on elektroninen nenä, joka perustuu erilaisten tunnistimien käyttöön hajukaasujen tunnistamisessa. (Korhonen, 2010, 40).

7.1 Hajupäästön mallinnus eli leviämislaskelmat

Hajukaasupäästöjä voidaan myös mallintaa matemaattisesti. Mallinnuksen avulla voidaan arvioida, mihin suuntaan ja kuinka kauaksi kohteessa syntyvät hajupäästöt leviävät. Lisäksi mallinnuksella voidaan arvioida hajun esiintymistiheys ja voimakkuus hajuyksikköinä. Mallinnusta tehtäessä tulee ottaa huomioon säävaihtelut, alueen maaston muodot, vuodenaikojen vaihtelut ja ympäristössä jo olevat hajupitoisuudet. (Tittonen, 2012, 10).

7.2 Kenttähavainnointi

Kenttähavainnointi on hajun esiintymisen suora määritysmenetelmä ja perustuu koulutettujen paneelistien maastokäynteihin. Panelistit määrittävät hajun levinneisyyttä ja voimakkuutta tietyltä ennalta määritetyltä alueelta. Panelistit etenevät hajun esiintymisalueen laitamilta kohti hajulähdettä ja kirjaavat ylös hajun voimakkuuden. Mikäli halutaan selvittää pidempiaikainen altistumistaso, voidaan havainnointia tehdä esimerkiksi kerran viikossa tietyistä pisteistä pidemmän aikavälin havainnointina. (Salmi, 2013, 8).

7.3 Asukaspaneelitutkimus

Asukaspaneelitutkimus perustuu hajupäästö lähteen lähialueiden asukkaiden omiin havaintoihin. Havainnointipisteitä tulisi olla joka ilmasuunnassa ja tasaisesti eri etäisyyksillä hajulähteestä. Lisäksi mukaan tulisi ottaa muutama henkilö hajun vaikutusalueen ulkopuolelta. Tutkimus kestää yleensä pidemmän aikaa, esimerkiksi 4 – 12 kk. Tämän jakson aikana kyseisen alueen asukkaat kirjaavat ylös hajuhavaintojaan. Näistä havainnoista voidaan tilastollisilla menetelmillä analysoida hajun esiintymistiheys ja luonne sekä haisevan lähteen vaikutusalue ja hajun voimakkuus. Asukaspaneelitutkimuksen tuloksia ei voida soveltaa suoraan toiseen alueeseen tai tilanteeseen, vaan tulokset liittyvät juuri kyseiseen kohteeseen. Kertakysely on paneelitutkimuksen kaltainen, mutta perustuu kertaluonteiseen kyselyyn, joka lähetetään alueen asukkaille. (Salmi, 2013, 7 - 8).

7.4 Kemialliset analyysit

Kemiallisilla analyyseillä voidaan erotella ja tunnistaa hajukaasuseoksen yhdisteitä ja määrittää niiden pitoisuuksia. Kaasunäyte kerätään näytepussiin tai suoraan adsorptioaineeseen, tämän jälkeen kaasu voidaan analysoida esimerkiksi massaspektrometriin yhdistetyllä kaasukromatogrammilta. Määritys perustuu standardiaineiden, kuten tolueenin tai metanolin vastaikoihin massaspektrometrissä ja tulos ilmoitetaan $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Kemiallisia analyysimenetelmiä pidetään objektiivisinä, toistettavina ja tarkkoina menetelminä. Yksittäisien aistittujen hajujen erottaminen on kuitenkin vaikeaa, sillä analyysilaitteet eivät pysty tunnistamaan matalan hajukynnyksen yhdisteitä. Myös eri yhdisteiden keskinäiset yhteis- ja peittovaikutukset vaikeuttavat hajujen erottelua. (Korhonen, 2010, 38 - 39).

7.5 Elektroninen nenä

Instrumentaalisen hajuntunnistus- ja mittausmenetelmänä voidaan käyttää elektronista nenää, joka mahdollistaa jatkuvan hajuseurannan ja mittauksen kenttäolosuhteissa. Laitteessa on sensorikammio, jonka läpi ilma pumpataan, tunnistimien signaalit rekisteröidään tietokoneelle ja analysoidaan. Elektronisen nenän tunnistimet eivät tosin useinkaan tunnista matalan hajukynnyksen yhdisteitä, koska tunnistimien tunnistusraja on tähän liian korkea. (Korhonen, 2010, 38).

8 YHDISTETYN BIOLAITOKSEN JA BIOKAASULAITOKSEN HAJUSELVITYS

Tämän työn tavoitteena oli selvittää erään yhdistetyn biolaitoksen ja biokaasulaitoksen toiminnasta aiheutuvat hajuhaitat. Tässä selvityksessä oli tarkoitus keskittyä etupäässä mahdollisiin ilmaveinneisiin hajuihin. Jätevesistä aiheutuvia hajuhaittoja ei ole otettu mukaan tähän selvitykseen.

Samanaikaisesti oli käynnissä erillinen selvitys, jossa selvitettiin laitoksen jätevesien hajupotentiaalia. Selvityksen mukaan jätevesien hajupotentiaaliltaan kannalta ratkaisevia ovat jäteveden pH sekä sulfaatti- ja orgaanisten aineiden pitoisuus. Nämä hallitsemalla voidaan hallita rikkivetypäästöjä.

Tämän selvityksen tavoitteena oli selvittää laitoksen toiminnasta suoraan tai välillisesti aiheutuvat hajuhaitat, niiden voimakkuus ja esiintymistiheys. Työssä arvioitiin laitoksen eri toimintojen vaikutusta hajukaasujen muodostumiseen, ehkäisyyn ja hallintaan. Lisäksi selvitys perustui aistinvaraiseen seurantaan laitosalueella ja lähiympäristössä, jossa kirjattiin kyseisen laitoksen toiminnoista sekä muualta tulevat hajuhavainnot. Biokaasulaitoksen kaasunpesurin hajukaasunmittaukset teetettiin ulkopuolisella akkreditoidulla toimijalla, ja tuloksia verrattiin laitoksen ympäristölupapäätöksen ehtoihin.

Selvitystyö aloitettiin kesäkuussa 2013, jolloin tehtiin kirjallinen selvitys laitoksen toiminnoista. Aistinvaraiset hajuhavaintokierrokset toteutettiin

kesä-, heinäkuun aikana kahtena erillisenä viikon mittaisena jaksena. Mitaukset hajukaasunpesurilta teetettiin heinäkuussa.

Kirjallinen raportti perustuu havainnoiteihin laitoksen toiminnoista, ja taustatietoa on myös haettu mm. ympäristölupapäätöksistä ja kyseisen kaupungin osayleiskaavasta. Lisäksi tietolähteenä on käytetty alan julkaisuja.

8.1 Alueen kuvaus

8.1.1 Laitoksen sijainti

Kyseinen yhdistetty biolaitos ja biokaasulaitos sijaitsee jätteidenkäsittelyalueella. Samalla alueella sijaitsee myös paikallisen jätehuoltoyhtiön jätteidenkäsittelyasema ja alueen pohjoispuolella pienkierrätysaseman toimialue. Alue sijaitsee noin seitsemän kilometriä kaupungin keskustasta etelään ja noin kaksi kilometriä valtatie länsipuolella. Jätteenkäsittelyalueen toimintoja ovat loppusijoitusalue, siirtokuormaus- ja lajitteluasema, pienasiakkaiden jätteiden vastaanotto- ja lajittelualue, hyötyjätteiden vastaanottoalueet, vastaanottopiste kotitalouksien ja pk-yrityksien vaarallisille jätteille, vastaanottokontit sähkö- ja elektroniikkaromulle ja romuajoneuvojen vastaanottoalue. Alueen kokonaispinta-ala on 33 hehtaaria, josta yhdistetyn biolaitoksen ja biokaasulaitoksen toimialuetta on noin yksi hehtaari.

8.1.2 Laitoksen ympäristö

Tämän alueen osayleiskaavassa, vahvistettu 1.9.1992, jätteenkäsittelyalue on merkitty kaatopaikka-alueeksi. Kaakkois-, etelä- ja lounaispuolella sijaitsee kapeana vyöhykkeenä virkistysalue, jonka jälkeinen alue on maa- ja metsätalousvaltaista vyöhykettä, jossa pääpuulajeina ovat kuusi ja mänty. Jätteenkäsittelyalue sijaitsee moreeniselänteellä, joka on voimakkaasti luoteiskaakko-suuntautunutta. Alueella on suuria korkeusvaihteluita ja moreenikumpujen välissä on pienialaisia soita. Korkein kohta on noin +164 mpy ja alimmat kohdat sijaitsevat noin + 110 mpy:n korkeudella. Jätteenkäsittelyalue sijaitsee suojaisessa painanteessa, mäkien ja puuston ympäröimänä. Jätteidenkäsittelyalueen luoteispuolella, noin 700 metrin etäisyydellä, sijaitsee Natura 2000-verkoston kuuluva alue, jossa on hämeenkylmänkukan esiintymä, laitosalueella hämeenkylmänkukkaa ei ole tavattu. Tiesyhteys alueelle kulkee koillisesta. Tien varteen on kaavoitettu liike-, teollisuus- ja varastorakennusten korttelialueita. Lähimmät asuinrakennukset sijaitsevat noin 1,5 km:n etäisyydellä alueen kaakkoispuolella, alueen koillispuolella hieman alle kahden kilometrin etäisyydellä sijaitsee omakotitalo alue.

8.2 Biolaitos

Laitoksella vastaanotetaan erilliskerättyä biojätettä ja elintarviketeollisuuden biojätteitä sekä sivuvirtoja. Laitos toimii yhteistyössä paikallisen jätehuoltoyhtiön kanssa. Jätehuoltoyhtiö toimittaa laitokseen erilliskerättyä

biojätettä toimialueeltaan ja lisäksi laitos vastaanottaa biojätettä suoraan asiakkailta. Enimmillään biojätettä käsitellään 19 000 t/a, vastaanoton kapasiteetti on enimmillään 15 t/h. Kaikki ilmanpoisto biolaitoksella tapahtuu suoraan ulkoilmaan, poistoilmaventtiilien asennuskorkeudella on pyritty vaikuttamaan mahdollisten hajukaasujen tehokkaaseen sekoittumiseen ulkoilmaan.

8.2.1 Biojätteen vastaanotto

Biojätettä laitokselle saapuu tällä hetkellä 5-8 kertaa päivässä. Biojätteen vastaanotto tapahtuu katetussa tilassa, jossa sijaitsee maanpintaa alempana olevat säiliöt, joihin biojäte kaadetaan. Säiliöt on varustettu suljettavilla luukuilla. Biojäte ajetaan suoraan prosessiin, tämä tarkoittaa sitä, että se käsitellään vähintään 2-3 tunnin kuluessa saapumisesta. Säiliöistä imetään poistoilmaa ja ilmanpoisto tapahtuu katolla olevasta poistoilmakanavasta noin 15 metrin korkeudella. Näillä toimenpiteillä pyritään vähentämään mahdollisesti muodostuvia hajuhaittoja. Vastaanottopisteessä laitoksen ulkoalueella on aistittavissa selvä paikallinen hajuhaitta, vastaanottosäiliöiden luukkujen ollessa auki haju on selvästi voimakkaampi kuin niiden ollessa suljettuina.

8.2.2 Biojätteen esikäsittelyt

Biojäte sisältää pieniä määriä muovia ja pahvia, lisäksi seassa saattaa olla hieman lasia, hiekkaa ja metallia. Näiden rejektien kokonaismäärä on noin 10 prosenttia vastaanotetusta raaka-aineesta. Biojätteen esikäsittelyt, murskaus ja inertin aineksen poisto, tapahtuvat sisätiloissa. Ensin biojäte murskataan oikeaan palakokoon, minkä jälkeen se johdetaan liukuhihnalle, jossa tapahtuu metallinerotus. Metallinerotuksen jälkeen biojätteestä erotellaan vielä kuivajae, joka johdetaan katetussa tilassa olevalle lavalle. Esikäsittelyistä ilmanpoisto tapahtuu ulkoilmaan noin kolmen metrin korkeudella olevan poistoilmaventtiilin kautta. Esikäsittelyt hoidetaan sisätiloissa mahdollisten hajuhaittojen ehkäisemiseksi. Esikäsitelty biojäte johdetaan prosessointiin ja hygienisointikäsitelyyn.

8.2.3 Hygienisointi- ja prosessointikäsitely

Hygienisoinnissa eli lämpökäsittelyssä raaka-aine kuumennetaan siten, että koko massassa saavutetaan sivutuoteasetuksen mukainen lämpötila +70°C vähintään yhden tunnin ajaksi. Tällä käsittelyllä tuhoetaan haitalliset mikrobit raaka-aineesta. Prosessoinnissa osa raaka-aineesta esikäsitellään jatkoprosessiin soveltuvammaksi.

Hygienisoitu kiintoaines johdetaan suljettua putkistoa pitkin biokaasulaitokselle. Hygienisointi- ja prosessointikäsitelystä ilmanpoisto tapahtuu ulkoilmaan seinässä olevan poistoilmaventtiilin kautta, noin kolmen metrin korkeudelta. Tässä tutkimuksessa ei havaittu rakennuksen ulkopuolella näistä käsittelyistä johtuvaa hajuhaittaa.

8.2.4 Biologinen käsittely ja haihdutus

Osa biolaitoksen nestevirroista käsitellään biologisessa osaprosessissa, jossa muodostuu hiilidioksidia. Vuonna 2012 prosessissa syntyi laskennallisesti 221 tonnia CO₂:ta. Hiilidioksidi ei aiheuta hajua ympäristöön. Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä syntyy 680 kg vuodessa. Ilmanpoisto (sis. CO₂) tapahtuu katolta, noin 15 metrin korkeudella olevan ylipaineventtiilin kautta ulkoilmaan, eikä tässä tutkimuksessa havaittu tästä käsittelystä johtuvaa hajuhaittaa.

Haihdutuskäsittelyssä ilmanpoisto prosessissa tapahtuu ulkoilmaan noin 10 metrin korkeudella. Prosessista ei vapaudu kaasua ilmaan, eikä tässä tutkimuksessa havaittu rakennuksen ulkopuolella tästä käsittelystä johtuvaa hajuhaittaa. Haihtunut vesi johdetaan biokaasulaitokselle suljettua putkistoa pitkin.

8.2.5 Kemikaalien varastointi ja lastaus

Toiminnoissa varastoidaan erilaisia teollisuuden kemikaaleja. Ilmanpoisto tapahtuu varastosäiliöstä suoraan ulkoilmaan, jolloin myös pieniä määriä kemikaaleja voi vapautua ilmakehään. Myös kemikaalien lastauksen ja purun yhteydessä ilmaan saattaa päästä pieniä määriä kemikaaleja.

8.3 Biokaasulaitos

Biokaasulaitoskäsittely vähentää kaasumaisia ympäristöpäästöjä. Mikäli käsittelemätön orgaaninen aines hajoaa hallitsemattomasti, muodostuvat kasvihuonekaasut johtuvat suoraan ilmaan, kun taas biokaasulaitoksessa ne otetaan talteen biokaasuna hyödynnettäväksi. Biokaasun tuotto tapahtuu anaerobisissa oloissa biologisesti hajoavasta orgaanisesta aineksestä. Biokaasua voidaan yleisesti käyttää sähkön ja lämmöntuotantoon tai liikennepolttoaineeksi. (Latvala 2009, 3,59; Motiva, 2011). Tällä laitoksella biokaasu käytetään sähkön ja lämmön tuotantoon.

Tämän laitoksen biokaasun tuotantoprosessi poikkeaa yleisestä biokaasun tuotantoprosessista siten, että biokaasulaitos toimii jatkona samalla tontilla sijaitsevalle biolaitokselle, josta syntyvät sivuvirrat ja jätevedet johdetaan syötteeksi biokaasureaktoriin. Biokaasulaitoksella käsitellään tällä hetkellä vain laitoskokonaisuuden toiminnasta syntyviä jätteitä ja sivuvirtoja. Laitos on suunniteltu tuottamaan biokaasua noin 2 miljoonaa m³/a eli noin 2500 t/a. Syntynyt biokaasu hyödynnetään sähköä ja kaukolämpöä tuottavassa kaasumoottorissa (CHP-yksikössä). Biokaasulaitoksen kaikki prosessit tapahtuvat suljetussa tilassa ja kaikki biokaasulaitoksen prosessitiloista ja -laitteista poistettava ilma käsitellään kaasunpesurissa ennen ulospuhaltamista. Biokaasulaitoksen sisätiloissa on aistittavissa paikallista hajua, myös sisäilma käsitellään kaasunpesurissa.

8.3.1 Biokaasureaktori

Biolaitoksessa syntyneet sivujakeet ja jätevedet johdetaan suljettua putkistoa pitkin biokaasulaitokselle kaasuntuotantoon. Syöte säädetään oikeaan kuiva-ainepitoisuuteen ja lämpötilaan ja suljetaan hapettomaan reaktoriin, jossa mikrobit hajottavat syötteen orgaanisen aineksen erilaisiksi aineenvaihduntatuotteiksi.

Prosessissa syntyy biokaasua, joka sisältää metaanin lisäksi pääasiassa hiilidioksidia, siinä on myös vähäisessä määrin happea ja typpeä sekä kosteutta, orgaanisia piiyhdisteitä ja partikkeleita. Biokaasu voi sisältää myös hajuhaittoja aiheuttavia kaasuja, kuten rikkivetyä ja ammoniakkaa. (Latvala 2009, 29,40).

Muodostuessaan biokaasu kerääntyy reaktorin yläosaan, josta se johdetaan varsinaiseen biokaasuvarastoon. Reaktorin yläosan kaasutilavuus on 250 - 300 m³. Kaasuvarastosta biokaasu johdetaan suoraan sähköä ja kaukolämpöä tuottavaan kaasumoottoriin (CHP-yksikkö), tämän laitoksen biokaasu soveltuu sellaisenaan poltettavaksi kaasumoottorissa. Biokaasuprosessissa syntyvä mädätysjäännös johdetaan dekanterilingolle. (VTT, 2009,43).

8.3.2 Dekanterilinko

Syntynyt mädätysjäännös kuivataan dekanterilingolla, josta vesi johdetaan vedenkäsittelyyn MVR-haihturille. Haihturin jälkeen vesi johdetaan prosessivedeksi ja ylijäämä viemäritäviksi. Kuivattu mädätysjäännös johdetaan siirtolavalle suljettuun tilaan. Ilmanpoisto prosessitilasta tapahtuu kaasunpesurin kautta.

8.3.3 Mädätysjäännös

Kuivattu mädätysjäännös siirtyy lingolta siirtolavalle suljettuun tilaan, josta poistoilma johdetaan kaasujen käsittelyyn. Ennen poiskuljetusta mädätysjäännös varastoidaan sisätiloissa kolmelle lavalle, tarvittaessa lavat voidaan varastoida ulos hyvin peitettyinä. Tällä hetkellä mädätysjäännöstä ei varastoida tuotantolaitoksessa, vaan se kuljetetaan lavan täytyttyä pois. Näillä toimilla pyritään minimoimaan mahdollisia muodostuvia hajupäästöjä. Tuotantolaitos on saanut lannoitevalmistelain ja sivutuoteasetuksen mukaisen laitoshyväksynnän ja mädätysjäännös saatetaan markkinoille maanparannusaineena ja rejektivesi orgaanisena liuoslannoitteena.

8.3.4 Jätevesien käsittely

Jätevedet esikäsitellään laitoksen omassa jätevedenkäsittelyssä MVR-haihturilla. Haihturin jälkeen vesi johdetaan prosessivedeksi ja ylijäämä viemäritäviksi. Viemäritävä vesi johdetaan jätevesiverkostoon. Viemäroinnissä noudatetaan vesilaitoksen ohjeita. Viemäritävää vettä syntyy enimmillään 30 000 m³/a. Poistoilma haihturilta johdetaan kaasunpesurille.

8.3.5 Kaasunpesuri ja otsonointi

Biokaasulaitoksen prosesseista syntyvät hajukaasut kerätään talteen ja johdetaan keskitetysti kaasunpesurille. Pesuveden pH säädetään annostelemalla rikkihappoa pesuvedeen kemikaalipumpulla, minkä jälkeen hajukaasut johdetaan vielä otsonointikäsittelyyn. Hajukaasujen käsittelyn jälkeen poistoilma johdetaan purkuputkeen, joka purkaa käsitellyn ilman noin 40 metrin korkeudessa.

8.4 Energian tuotanto

Tarvittava lämmitysenergia laitokselle saadaan alueella olevasta kiinteän polttoaineen kattilasta. Kaasumootorissa käsitellään sekä alueen kaatopaikka- että biokaasut. Sekä kiinteän polttoainekattilan että kaasupolttimen savukaasut johdetaan ulkoilmaan 10 metrin korkeudella olevasta piipusta.

8.4.1 Kiinteän polttoaineen kattila

Kiinteän polttoaineen kattila on arinakattila, jonka polttoaineteho on 3,3 MW ja polttoaineena käytetään pellettiä. Tässä tutkimuksessa ei havaittu rakennuksen ulkopuolella tästä käsittelystä johtuvaa hajuhaittaa.

8.4.2 Kaasuvarasto

Biokaasureaktorin yläosasta biokaasu johdetaan biokaasuvarastoon odotamaan hyödyntämistä CHP-yksikössä. Kaasuvaraston koko on 1000 m³, mikä vastaa noin viiden tunnin biokaasuntuotantoa.

8.4.3 Soihtu

Soihtu toimii biokaasulaitoksella vararatkaisuna varsinaisen energiantuotantolaitteiston seisokin aikana tai häiriötilanteissa. Soihtua käytetään biokaasun poltossa kaasumootorin vararatkaisuna. Mikäli kaasupoltin on poissa käytöstä huollon tai rikkoontumisen vuoksi, poltetaan ylimääräinen tuotekaasu soihdussa. Tällä varajärjestelmällä voidaan varmistaa, ettei metaania pääse merkittävästi vapautumaan ilmakehään.

Biokaasun soihtupoltto aiheuttaa yleensä vähäisiä hajupäästöjä kaasun sisältämän rikkipitoisuuden vuoksi, soihtupolton päästöt kuitenkin liittyvät vain poikkeustilanteisiin, eikä sen pitkäaikainen käyttö ole kannattavaa myöskään energiahukan vuoksi. (Latvala, 2009,48, 74).

8.4.4 Kaasumoottori

Syntynyt biokaasu hyödynnetään sähköä ja kaukolämpöä tuottavassa kaasumootorissa (CHP-yksikkö). Biokaasun esikäsittelyjä ei tarvita, vaan tuotettu biokaasu soveltuu sellaisenaan CHP-yksikössä poltettavaksi. Laitetoimittajan selvityksen mukaan syötteen esikäsittelystä johtuen syöte ei

sisällä sellaisia määriä rikkivetyä, joka voisi aiheuttaa ongelmia energiantuotannossa. Kaasumoottorista syntyy hiilidioksidi päästöjä, toisaalta lämmön ja sähkön tuotantoon ei käytetä fossiilisia polttoaineita, joten toiminta on ympäristöystävällistä. Tässä tutkimuksessa ei havaittu rakennuksen ulkopuolella biokaasun polton aiheuttavan hajuhaittaa.

8.5 Prosessihäiriöt

Biolaitoskäsitelty orgaaninen aines on lähes poikkeuksetta hajuttomampaa, kuin käsittelemätön aines. Kuitenkin biokaasulaitosten häiriötilanteissa saattaa syntyä hajukaasupäästöjä, kasvihuonekaasupäästöjä ja terveydelle haitallisia päästöjä, joten prosessihäiriöihin ja huoltokatkoksiin varautuminen täytyy suunnitella huolellisesti. (Latvala, 2009, 59).

Kyseisen biolaitoksen ja biokaasulaitoksen henkilökunta on saanut tarvittavan käyttö- ja huoltokoulutuksen prosessi- ja laitetoimittajilta. Laitoksen käyttöön sisältyvät muun muassa prosessien ajo- ja kunnossapitosuunnitelmat sekä käyttöpäiväkirjanpito. Laitoksilla pidetään huoltoseisokit, joiden yhteydessä tarkistetaan kriittisten laitteiden tila ja suoritetaan tarvittavat huolto- ja korjaustoimenpiteet. Lisäksi oikeilla materiaalivalinnoilla on pyritty minimoimaan tarpeettomat tuotantokatkokset ja häiriötilanteet. Näillä ennakoivilla toimilla voidaan minimoida häiriötilanteiden aiheuttamat päästöt ympäristöön.

Tuotantolaitosten häiriötilanteet ovat pääsääntöisesti sisätiloissa tapahtuvia tuotantohäiriöitä, joten ne aiheuttavat mahdollisesti hajupäästöjä sisätiloissa, mutta niistä ei aiheudu hajuvaikutusta ulkoalueille.

8.5.1 Biojätteen vastaanotto

Mikäli raaka-aineen vastaanotossa ilmenee prosessihäiriö, kuten ruuvinjumiutuminen tai moottorin hajoaminen, tyhjenetään säiliöt ja raaka-aine toimitetaan muualle käsiteltäväksi. Tästä aiheutuu paikallisia hajuhaittoja, koska pois toimitettava määrä on yleensä enintään yhden kuorman verran.

8.5.2 Biolaitoksen tuotantotilojen sisäiset prosessihäiriöt

Biolaitoksen esikäsitelyissä ilmenevät tukokset ja laitoksen pumpuissa tai putkistoissa ilmenevät tukokset aiheuttavat paikallisia hajupäästöjä laitoksen sisätiloissa. Mikäli biolaitokselle ei voida syöttää raaka-ainetta, biojätettä kertyy vastaanottoon ja tämä saattaa muodostaa hajupäästöjä. Käytännössä katkokset ovat yleensä muutamia tunteja eikä niillä vielä ole vaikutusta hajupäästöjen lisääntymiseen. Mikäli prosessihäiriö jatkuu pidempään, keskeytetään biojätteen vastaanotto, tarvittaessa raaka-aine säiliöt tyhjenetään ja raaka-aine toimitetaan muualle käsiteltäväksi. Tämä ehkäisee hajupäästöjen muodostumista.

8.5.3 Biokaasureaktorin toimintahäiriö

Laitos on suunniteltu siten, että kaasuvuotojen riski on mahdollisimman pieni, kuitenkin häiriötilanteessa mahdollinen. Vuototilanteessa saattaa laitoksen sisätiloihin vapautua biokaasun sisältämiä kaasuja, metaania (CH₄) ja hiilidioksidia (CO₂), sekä pienempinä pitoisuuksina esiintyviä rikkiveityä (H₂S) ja ammoniakkia (NH₃), jotka aiheuttaisivat terveysriskin sekä tulipalon ja räjähdysvaaran. Tällainen vuototilanne aiheuttaisi vaaraa sisätiloissa laitoksen työntekijöille ja laitosalueella oleskeleville, mutta ei laitosalueen ulkopuolisille henkilöille, sillä purkautuessaan ulkoilmaan kaasu laimenee tehokkaasti. (Latvala, 2009, 68).

Vuotoihin on varauduttu automaattisilla kaasun mittaus- ja hälytysjärjestelmillä, lisäksi jokaisella laitosalueella liikkuvalla on käytössään henkilökohtainen kaasumittari. Mikäli kaasun poistuminen bioreaktorista estyy tai estetään, purkautuu biokaasu suunnitellusti reaktorin yläosassa sijaitsevan vesilukon kautta ilmakehään.

Biokaasureaktorin toimintakatkoksen aikana biolaitoksen sivujakeet johdetaan jätteenä muualle käsiteltäväksi.

8.5.4 Kaasuputken rikkoutuminen

Kaasuputken rikkoutuminen aiheuttaisi vaaraa sisätiloissa laitoksen työntekijöille ja laitosalueella oleskeleville, mutta ei laitosalueen ulkopuolisille henkilöille, sillä purkautuessaan ulkoilmaan kaasu laimenee tehokkaasti. Vuotoihin on varauduttu automaattisilla kaasun mittaus- ja hälytysjärjestelmillä, lisäksi jokaisella laitosalueella liikkuvalla on käytössään henkilökohtainen kaasumittari. Mahdollisen vuodon ilmaantuessa suljetaan linjasto mahdollisimman nopeasti ja estetään näin kaasun purkautuminen.

8.5.5 Kaasusäiliön rikkoutuminen

Kaasusäiliön rikkoutuminen aiheuttaa biokaasun purkautumisen ulkoilmaan, jolloin kaasu laimenee tehokkaasti. Vuotoihin on varauduttu automaattisilla kaasun mittaus- ja hälytysjärjestelmillä. Mahdollisen vuodon ilmaantuessa suljetaan linjasto mahdollisimman nopeasti ja estetään näin kaasun purkautuminen. Kaasuvaraston rakenteellisilla ratkaisuilla sekä käytönaikaisella seurannalla on pyritty minimoimaan kaasuvuotojen esiintymisen todennäköisyyttä.

8.5.6 Lingon toimintakatkos

Dekantterilingon ollessa pois käytöstä, ei biokaasureaktorissa syntyvää mädätysjäännöstä voida kuivata. Tässä tapauksessa lopetetaan mädätysjäännöksen ulosajo biokaasureaktorista. Biokaasureaktorissa on puskurikapasiteettia muutamaksi päiväksi. Mikäli mädätysjäännöksen käsittelyyn tulee pidempi katkos, voidaan lopettaa syötteen lisääminen biokaasureak-

toriin, jolloin mädätysjäännöksen muodostuminen lakkaa. Lingon toimintakatkos ei aiheuta lisääntyntä hajun muodostumista.

8.5.7 MVR-haihturin toimintakatkos

Mikäli rejektiveden käsittelyyn tulee katkos esimerkiksi laiterikon vuoksi, ensimmäisenä lopetetaan mädätysjäännöksen ulosajo biokaasureaktorista, jolloin rejektiveden muodostuminen lakkaa. Biokaasureaktorissa on puskurikapasiteettia muutamaksi päiväksi, mikäli rejektiveden käsittelyyn tulee pidempi katkos, voidaan lopettaa syötteen lisääminen biokaasureaktoriin, jolloin rejektivesien muodostuminen lakkaa. Näin ollen haihturin toimintakatkos ei aiheuta lisääntyntä hajun muodostumista.

8.5.8 Kaasumoottorin rikkoutuminen tai huolto

Soihua käytetään biokaasun poltossa kaasumoottorin vararatkaisuna. Mikäli kaasupoltin on poissa käytöstä huollon tai rikkoutumisen vuoksi, poltetaan ylimääräinen tuotekaasu soihdussa. Mikäli soihtu on samanaikaisesti pois käytöstä, voidaan kaasua lyhytaikaisesti varastoida kaasukelloon.

8.5.9 Kaasunpesurin rikkoutuminen

Kaasunpesurin mahdollinen rikkoutuminen saattaa aiheuttaa tilapäisiä hajuhaittoja. Kaasunpesurin tehtävänä on poistaa ammoniakki kaasusta, joten pesurin rikkoutuminen aiheuttaa ammoniakkipäästöjä. Kaasunpesurin toiminnan seuraamiseksi automaatioon on asetettu mitatuille parametreille hälytysrajoja. Mikäli kaasunpesurin toimintahäiriö on pitkäaikainen, voidaan biokaasuprosessi tarvittaessa keskeyttää.

9 MITTAUKSET KAASUNPESURILTA

9.1 Hajukaasuyksikkö

Yksi hajukaasuyksikkö (hy/m^3 , ou/m^3) tarkoittaa sitä, kuinka monta kertaa hajukaasunäyte on laimennettava, jotta vain puolet hajupaneelin jäsenistä haistaa sen. Hajupaneeli koostuu asiantuntijaryhmästä, joiden hajuaisti on testattu. Yleensä ilman hajupitoisuus vaihtelee välillä 10 – 100 hy/m^3 hajupäästölähteistä riippuen ja on kaikkien hajupäästöjen (muun muassa liikenne, maatalous, teollisuus, luonnon omat hajut) yhteissumma. (Latvala, 2009, 61).

9.2 Hajukaasupäästöjen raja-arvot

9.2.1 Yleistä

Suomen ympäristölainsäädännössä ei ole määritelty normeja hajupäästöille. Laitosten ympäristövaikutusten arvioinnin (YVA) yhteydessä sekä myönnettäessä ympäristölupaa on kuitenkin otettava huomioon biokaasulaitosten läheisyydessä sijaitseva asutus ja asukkaille mahdollisesti aiheutuva hajuhaitta. Naapuruussuhdelain perusteella biokaasulaitosten ympäristöluvuissa on saatettu antaa määräyksiä hajujen selvittämisestä ja käsittelystä sekä normaalitoiminnan että häiriötilanteiden aikana. Suomessa biokaasulaitosten ympäristölupapäätöksissä on voitu edellyttää enintään 1500 – 4000 hy/m³ hajukaasupitoisuuksia, tosin alimpien arvojen saavuttamisessa on ollut teknisiä ongelmia. Raja-arvojen määrittäminen on vaikeaa, koska biokaasulaitosten hajupäästöistä ja hajukaasujen puhdistusjärjestelmien tehokkuuksista ei ole riittävästi tietoa saatavilla. Hajukaasujen haittaa voidaan vähentää myös johtamalla ne riittävän korkeaan poistoilma-putteihin. (Latvala, 2009, 62).

9.2.2 Kyseinen biokaasulaitos

Tämän biokaasulaitoksen prosesseissa syntyvät kaasut kerätään talteen ja johdetaan keskitetysti kaasunpesurille. Kaasunpesurin tehtävänä on poistaa ammoniakki hajukaasusta, ammoniakin hajukynnys on 3,6 – 36 mg/m³. Kaasunpesurille on laitoksen ympäristölupapäätöksessä määritelty seuraavat tehokkuus vaatimukset. Hajunpoistossa tulee saavuttaa 95 prosentin tehokkuus, eikä hajupitoisuus kaasunpesurin jälkeen saa ylittää 2500 hy/m³ poistohormista mitattuna.

9.3 Mittausten toteutus

9.3.1 Hajukaasupitoisuusmittaukset

Tuotantolaitoksen hajukaasun hajupitoisuuden mittaus toteutettiin ulkopuolisella akkreditoidulla toimijalla. Laitoksen hajukaasunpesurilta otettiin kaasunäytteitä ennen hajukaasunpesuria ja pesurin jälkeen, yksi näyte myös otsonoinnin ollessa pois päältä. Hajukaasunäytteille suoritettiin hajupitoisuuden määrittäminen olfaktometrillä Jyväskylän yliopistolla. Hajuyksikköpitoisuuden määrittämiseen käytettiin olfaktometrilaitteistoa ECOMA TO7 ja siihen kuuluvaa ohjelmistoa. Laitteisto täyttää SFS-EN 13725 vaatimukset. Näytteitä ennen pesuria ja pesurin jälkeen (otsonointi pois) laimennettiin ennen määrittäystä vastaavasti suhteissa 1:120 ja 1:47 niiden korkean hajupitoisuuden vuoksi.

9.3.2 Ammoniakkipitoisuusmittaukset

Tuotantolaitoksen poistokaasun ammoniakkipitoisuuksien mittaus toteutettiin ulkopuolisella akkreditoidulla toimijalla. Poistokaasun ammoniak-

kipitoisuus mitattiin ennen ja jälkeen hajukaasunpesuria. Mittaukset toteutettiin 11.7.2013 klo 10:45-11:45 ja klo 12:17-12:38. Kaasunäytteet otettiin yhteistä ennen pesuria ja piipusta otsonoinnin jälkeen. Näytteet kuplitettiin kaasunpesupulloissa olleeseen happoliuokseen ja analysoitiin ulkopuolisen akreditoitun toimijan laboratoriossa ioniselektiivisellä elektrodilla.

9.4 Mittaustulokset ja niiden tarkastelu

9.4.1 Hajukaasut

Taulukossa 4 on esitetty näytteen hajupitoisuus ja hajunkuvaukset. Näytteitä ennen pesuria ja pesurin jälkeen (otsonointi pois) laimennettiin ennen määrittystä vastaavasti 1:120 ja 1:47 niiden korkean hajupitoisuuden vuoksi. (Taulukko 4).

Taulukko 4. Poistokaasun hajupitoisuus ja hajun kuvaus.

Näyte	Hajupitoisuus hy/m^3	Hajun kuvaus
ennen pesuria	350 000	palanut, maksamakkara, palanut maksapihvi, hernekeittomainen
pesurin jälkeen (otsonointi pois)	180 000	huono poronlihakeitto, palanut, kitkerä, hapan
pesurin jälkeen	57 000	sipuli, öljyinen maa

Tulosten mukaan hajukaasupitoisuus piipussa oli $57\,000\ \text{hy}/\text{m}^3$. Pesurin erotusaste on hajupitoisuuksien perusteella laskettuna 84 %. Hajupitoisuus $57\,000\ \text{hy}/\text{m}^3$ ylittää raja-arvopitoisuuden $2500\ \text{hy}/\text{m}^3$ ja pesurin erotusaste alittaa ympäristöluvassa vaaditun 95 %:n erotusasteen.

9.4.2 Ammoniakki

Taulukossa 5 on esitetty poistokaasun ammoniakkipitoisuuksien (NH_3) mittaustulokset (Taulukko 5).

Taulukko 5. Poistokaasun NH_3 pitoisuudet ennen ja jälkeen hajukaasunpesurin.

	NH_3 ennen pesuria	NH_3 pesurin jälkeen
	mg/m^3	mg/m^3
Koe 1	0,29	0,05
Koe 2	0,55	0,01

Tulosten mukaan ammoniakkipitoisuus poistokaasussa mitattuna oli ennen pesuria 0,29 - 0,55 mg/m^3 ja pesurin jälkeen 0,01-0,05 mg/m^3 , pitoisuus ei ylitä ammoniakin hajukynnystä (3,6 – 36 mg/m^3) ennen hajukaasunpesuria eikä pesurin jälkeen.

10 AISTINVARAINEN HAJUSEURANTA

10.1 Yleiskuvaus tuotantotilanteista seurantajaksojen aikana

Aistinvaraisten hajuseurantajaksojen 24.6. - 30.6.2013 ja 16.7. - 22.7.2013 aikana biolaitos ja biokaasulaitos toimivat normaalitilassa. Normaalitilanteessa raaka-ainetta laitokselle vastaanotetaan vain arkipäivisin. Viikonloppuisin laitos on etäajossa. Molemmilla seurantajaksoilla kaksi päivää sijoittui viikonloppuun, jolloin raaka-aineen vastaanotto ei ollut toiminnassa. Vaikka raaka-ainetta ei vastaanoteta laitokselle viikonloppuisin, on biolaitos toiminnassa normaalisti. Biokaasulaitoksen jäteveden käsittelyyksikkö ajetaan alas perjantai iltaisin ja käynnistetään uudelleen maanantaiaamuna. Tällöin bioreaktorin raaka-aineen syöttömäärä lasketaan viikonlopun ajaksi normaalisyöttömäärää alemmalle tasolle. Viikonloppuisin ei myöskään oteta mädätysjäännöstä ulos bioreaktorista.

Aistinvaraisten hajuseurantajaksojen aikana tuotantoyksiköissä oli joitakin prosessihäiriöitä, jotka on merkitty hajuseurantapäiväkirjaan (Liitteet ovat yritykselle tehdyssä luottamuksellisessa versiossa). Seurantajaksojen aikana ei ollut hajukaasupäästöjen synnyn kannalta merkittäviä prosessihäiriöitä.

10.2 Toteutus

Aistinvarainen hajuseuranta perustuu yhden henkilön aistinvaraiseen hajuseurantaan laitosalueella ja lähiympäristössä. Hajuseurannassa on kirjattu laitoksen toiminnoista sekä muualta tulevat hajuhavainnot, lisäksi on kirjattu sää tiedot kyseisiltä päiviltä. Sää tiedot on saatu ilmatieteenlaitoksen väliaikaiselta säähavaintoasemalta, joka sijaitsee kaatopaikka-alueella, kaatopaikkapenkan päällä. Aistinvaraiset hajukierrokset on suoritettu kahdena erillisenä viikon mittaisena jaksena kesä- ja heinäkuun 2013 aikana. Havainnot sijoittuvat jaksoille 24.6. - 30.6.2013 (Liite on yritykselle tehdyssä luottamuksellisessa versiossa) ja 16.7. - 22.7.2013 (Liite on yritykselle tehdyssä luottamuksellisessa versiossa).

Havainnoinnit on tehty kahdestatoista erillisestä pisteestä (Liitteet ovat yritykselle tehdyssä luottamuksellisessa versiossa), jotka on merkitty kartalle. Neljä kaukaisinta havainnointipistettä (1-4) on valittu noin 1,5 km:n etäisyydeltä kaatopaikka-alueelta, lähimmiltä asuinalueilta. Seuraavat neljä havainnointipistettä (5-8) sijaitsevat kaatopaikka-alueen reunamilla ja lähimmät neljä havainnointipistettä (9-12) sijaitsevat laitoksen toiminta-alueen rajoilla, noin 50 metriä laitoksesta. Havainnointi ajanjaksoina yksi henkilö on kiertänyt joka päivä kaikki 12 havainnointipistettä, kirjatun aistitut hajut. Hajuseurannassa imelä/hapan on määritelty tyypilliseksi kaatopaikkapenkan hajuksi, lisäksi muutamana havaintokertana esiintynyt ammoniakkin haju on todettu olevan peräisin kaatopaikkapenkalta soihdun toimintahäiriöiden ajalta. Makea/etova kuvaa tyypillistä biolaitoksesta tulevaa hajua ja etova/paahnutun on määritelty tyypilliseksi biokaasulaitoksen hajuksi.

Tulokset käsiteltiin Excel-taulukkolaskenta ohjelmalla. Jotta tämä oli mahdollista, ovat hajuseurannassa käytetyt sanalliset selitykset muutettu numeerisiksi arvoiksi. (Taulukko 6).

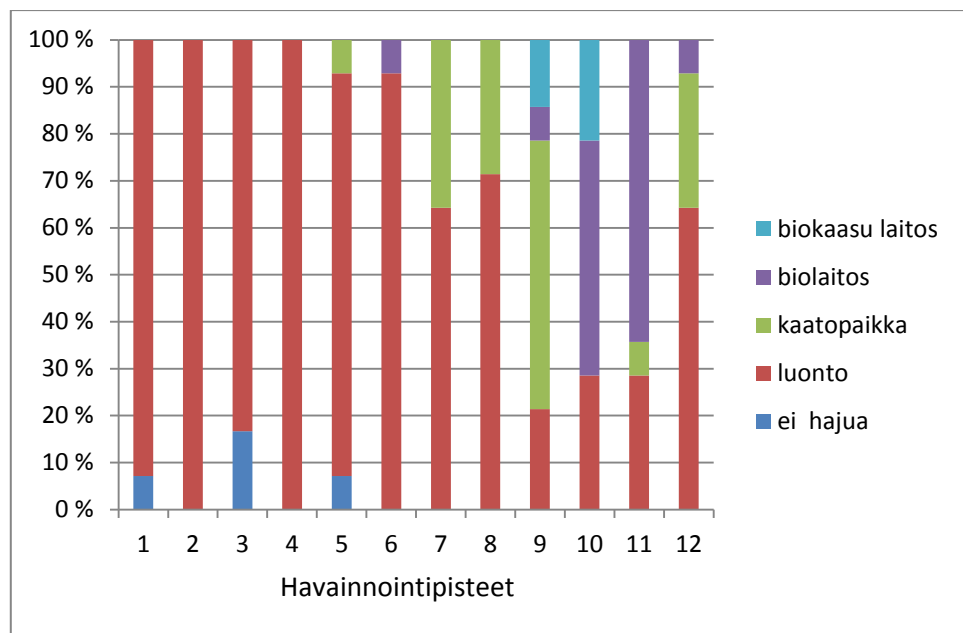
Taulukko 6. Hajuseurannassa käytetyt sanalliset selitykset lukuarvoina.

Hajun voimakkuus	Hajun alkuperä
0 ei hajua	1 ei hajua
1 tuskin havaittava	2 luonto
2 lievä	3 kaatopaikka
3 selvä	4 biolaitos
4 voimakas	5 biokaasulaitos
5 hyvin voimakas	

10.3 Tulokset ja niiden tarkastelu

10.3.1 Hajuhavainnot

Kahdestatoista havaintopisteestä kahdeksassa havaittiin muita kuin luonnon omia hajuja. Viidessä pisteessä hajujen voitiin todeta olevan peräisin laitoksen toiminta-alueelta tai kaatopaikkapenkasta. Näistä viidestä pisteestä yhdessä biolaitokselta tai biokaasulaitokselta tulevaa hajua esiintyi yhdellä havaintokerralla. Neljässä pisteessä, jotka sijaitsivat välittömästi laitosalueen rajalla, hajuhavaintoja todettiin useammalla havainnointikeralla. Nämä hajut olivat peräisin joko kaatopaikkapenkasta tai yhdistetyltä biolaitokselta ja biokaasulaitokselta. Asutusalueilla sijaitsevilla pisteillä ei havaittu muita kuin luonnon omia hajuja. (Kuvio 1.)



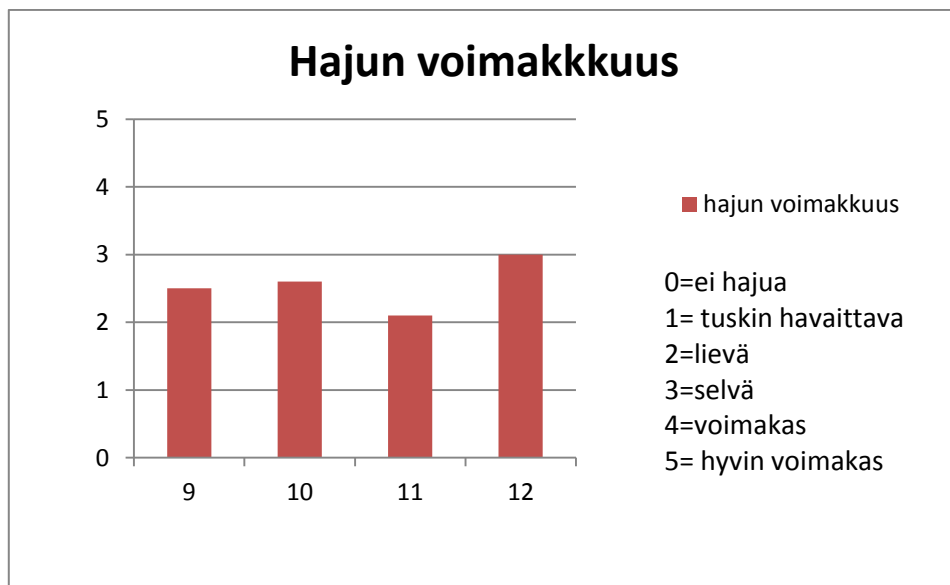
Kuvio 1. Hajujen lähteet prosentiosuuksina havaintopisteittäin.

Laitoksen toimialuetta lähimpänä sijaitsevissa neljässä havainnointipisteessä (laitosalueen rajalla, noin 50 metriä laitoksesta) havaitun biolaitokselta tai biokaasulaitokselta peräisin olevan hajun voimakkuus vaihteli tuskin havaittavan ja voimakkaan välillä, havaintokerrasta riippuen. Tyhjät kohdat taulukossa merkitsevät, ettei kyseisessä pisteessä ole tuolloin havaittu kyseiseltä laitokselta peräisin olevaa hajua. Useimmiten havaitun hajun voimakkuus oli lievä tai selvä, voimakasta hajua havaittiin yhdellä havainnointikerralla, yhdessä pisteessä. Tuskin havaittavaa hajua oli neljänä havainnointikertana, kaikki samasta havainnointipisteestä. Eniten hajuhavainnoita tehtiin pisteissä 10 ja 11, jotka sijaitsivat lähimpänä raaka-aineen vastaanottoa ja prosessoinnin ilmanpoistoventtiiliä (Kuvio 2.).

Havainnointipisteet	Havainnointikerrat													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
9	3		2											2
10	2	2			3	2	3	3	3	3	3		2	
11	3	3	1	1	3			4	2	1	2	1		
12			3											

Kuvio 2. Laitoksen toimialueelta peräisin olevan hajun voimakkuus laitosalueen reunamilla sijainneissa neljässä havainnointipisteessä havaintokerroittain.

Keskimääräisesti laitokselta peräisin olevan hajun voimakkuus laitosalueen reunamilla, noin 50 metriä laitoksesta, sijainneissa havainnointipisteissä oli lievän ja selvän hajuhaitan väliltä (Kuvio 3.).



Kuvio 3. Laitokselta peräisin olevan hajun voimakkuuden keskiarvo havainnointipisteittäin laitosten lähimmässä neljässä havaintopisteessä.

10.3.2 Säätiiedot

Havaintojaksojen ajalta tallennettiin säätiiedot, jotta mahdolliset sääolojen vaikutukset hajupäästöjen muodostumiseen ja kulkeutumiseen voidaan huomioida. Tallennettavia säätiietoja olivat lämpötila, sade/pouta, sadekertymä, tuulen nopeus ja suunta, ilmanpaine ja kosteus (Kuvio 4.). Säätiiedot on haettu ilmatieteenlaitoksen väliaikaiselta säähavaintoasemalta, joka sijaitsee kyseisellä kaatopaikka-alueella, kaatopaikkapenkan päällä.

	Lämpötila	Pouta/	Sadeker-	Tuuli, m/s	Ilman-	
Pvm	C°	Sade	tymä mm	suunta	paine hPa	Kosteus
24.6.	22	pouta	0	1.9, etelä	1015	58 %
25.6.	20	pouta	0	1.2, itä	1015	83 %
26.6.	24	pouta	0	2.5, koillis	1015	72 %
27.6.	24	pouta	0	2.2, kaakkois	1014	70 %
28.6.	15	pouta	0	2.5, lounais	1017	85 %
29.6.	15	pouta	0	2.5 luoteis	1014	70 %
30.6.	14	pouta	0	2.2, itä	1002	82 %
16.7.	13	pouta	0	5.5, länsi	1000	57 %
17.7.	16	pouta	0	3.6, länsi	1002	62 %
18.7.	15	pouta	0	1.9, lounais	1003	72 %
19.7.	13	pouta	0	4.0, luoteis	998	80 %
20.7.	13	pouta	0	3.6, luoteis	1002	82 %
21.7.	12	pouta	0	2.0, länsi	1003	86 %
22.7.	13	pouta	0	4.6, pohjois	1003	78 %

Kuvio 4. Säätiiedot havaintojaksojen ajalta.

11 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulosten perusteella hajukaasujen pitoisuus poistoputkessa ylittää raja-arvopitoisuuden 2500 hy/m^3 . Pesurin erotusaste oli hajupitoisuuksien perusteella laskettuna 84 %, ja alittaa ympäristöluvassa vaaditun 95 %:n erotusasteen. Mittaustuloksista huolimatta kaasunpesurin läheisyydessä ja ympäristössä ei tämän tutkimuksen perusteella ole havaittavissa aistinvaraisesti erityisiä kaasunpesurilta tulevia hajuja.

Tulosten mukaan ammoniakkipitoisuus poistokaasussa mitattuna oli ennen pesuria $0,29 - 0,55 \text{ mg/m}^3$ ja pesurin jälkeen $0,01-0,05 \text{ mg/m}^3$, pitoisuus ei ylitä ammoniakkin hajukynnystä ($3,6 - 36 \text{ mg/m}^3$) ennen hajukaasunpesuria eikä pesurin jälkeen. Ammoniakille ei ole päästörajoja ympäristölupapäätöksessä.

Säätilan vaikutuksen merkitystä hajujen ilmenemiseen tutkittiin tarkkailemalla niiden päivien sääparametreja, jolloin hajuhavaintokierroksia suoritettiin. Sääparametreissa oli näiden neljäntoista päivän aikana merkittäviä muutoksia lämpötilassa, tuulen voimakkuudessa ja suunnassa, ilmanpaineessa ja kosteuspitoisuudessa. Tuulen suunta vaikutti hajuhavaintojen sijaintiin laitosalueella ja sen laitamilla. Säätilojen vaihtelulla ei tässä selvityksessä kuitenkaan ollut havaittavaa vaikutusta hajupäästöjen muodostumiseen eikä kulkeutumiseen kaatopaikka-aluetta kauemmas.

Näiden havaintojaksojen aikana ilmenneiden poikkeus- ja häiriötilanteiden aikana hajua havaittiin lähinnä laitosalueella ja sen välittömässä läheisyydessä. Asuinalueille asti hajukaasujen vaikutus ei tämän selvityksen mukaan ulotu lainkaan.

Tässä selvityksessä tehtyjen aistinvaraisten hajuhavaintojen perusteella voidaan arvioida, ettei kyseisen laitoksen toiminnasta aiheudu ilmaitse kulkeutuvaa hajuhaittaa ympäristön asutukselle.

LÄHTEET

Aaltola L. V. 2008. Viemärihajujen synty ja hallintamenetelmät. Tampereen teknillinen yliopisto.

http://www.vvy.fi/files/217/Dtyo_Aatola_291207.pdf

viitattu 7.4.2014

Albers M., Helle H., Itävalta M., Kapanen A., Varpula T., Vikman M. V. 2003. Kompostointiprosessin monitorointi ja ohjaus.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2003/T2207.pdf>

viitattu 26.3.2014

Arnold M. V. 2002. Eläinsuojien hajuhaitat – ohjeistusmallit, arviointi ja vähentäminen sekä käytäntö eri maissa: Susies –loppuraportti. Länsi-Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Edita. ISBN 952-11-1143-7.

Arnold. M. V. 2009. Reduction and monitoring of biogas trace compounds. VTT Tiedotteita.

<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2496.pdf>

viitattu 21.5.2014

Biokaasuyhdistys. V. 2010. Biokaasu ja maatilat.

http://www.biokaasuyhdistys.net/index.php?option=com_content&view=category&id=57&layout=blog&Itemid=82

viitattu 21.5.2014

Finlex

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>

<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130331>

viitattu 9.7.2013

viitattu 19.5.2014

Finnlund M., Idström L. V. 2009. Biohajoavat jätteet - nykytilanne. Etelä- ja Länsi-Suomen jätesuunnitelma.

<http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B0329B8B2-B75C-47B8-90B9-2EC9D2495749%7D/93082>

viitattu 8.7.2013

Havukainen J.V. 2009. Bioenergiaa ja ravinteita kasvi- ja eläinperäisistä sivuainevirroista Parikkalassa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Teknillinen tiedekunta.

<https://doria17-kk.lib.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/45051/nbnfi-fe200905131445.pdf?sequence=3>

viitattu 11.3.2014

Hämäläinen N. V.2006. Sianlannasta vapautuvien hajupäästöjen vähentäminen *Lactobacillus plantarum*- ja hiilihydraattisäyksillä.

<http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/12045/2006-08-17-16.pdf?sequence=1>

viitattu 26.3.2014

Ilmatieteen laitos.

<http://ilmanlaatu.fmi.fi/karanojan-jatekeskus/index.php?tab=2>

viitattu 6.8.2013

Janhunen M. V. 2012. Jäteveden biokaasutus ja lietteen kaasun tuottavuuden määrittäminen.

<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205076733>

viitattu 26.3.2014

Korhonen P. V. 2010. Rejektikaatopaikan kaasujen ja hajujen hallinta.

http://www.jly.fi/korhonen_rejektien_loppusijoituksen_kasut_2010.pdf

viitattu 26.3.2014

Latvala M. V. 2009. Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT).

https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37998/SY_24_2009.pdf?sequence=1

viitattu 13.6.2013

viitattu 5.8.2013

viitattu 6.8.2013

viitattu 11.7.2013

viitattu 20.3.2014

viitattu 7.4.2014

Lehtomäki A., Paavola T., Luostarinen S., Rintala J. V. 2007. Biokaasusta energiaa maatalouteen – raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet. Jyväskylän yliopiston bio- ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85.

viitattu 11.7.2013

viitattu 19.3.2014

Lonka-Huotari P. V. 2006. Kuivafermentaatiolaitos broileritilalla. Jyväskylän yliopisto. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Ympäristötieteen ja – teknologian pro gradu tutkielma.

https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/7225/URN_NBN_fi_jyu-2006256.pdf?sequence=1

viitattu 21.5.2014

Makkonen T. V. 2008. Biovakka Oy:n biokaasulaitoksen hajujen leviämisen selvitys hajupaneelin avulla. Turun yliopiston merenkulkualan koulutus- ja tutkimuskeskuksen julkaisuja. B 156.

<http://mkkdok.utu.fi/pub/B156-biovakka.pdf>

viitattu 9.7.2013

Motiva. Biokaasu. Päivitetty viimeksi 28.3.2014

http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/energiaa_pelloilta/biokaasu

viitattu 11.7.2013

viitattu 19.5.2014

Motiva. Biokaasun hyödyntäminen. 20.4.2011.
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/liikenteen_biopolttoaineet
viitattu 10.6.2013

Pitkonen P. V. 2013. Selvitys rikkivetypitoisuuksista viettoviemärissä Mikkelissä. Kemikaalin syötön vaikutus rikkivetypitoisuuksiin.
http://theseus17-kk.lib.helsinki.fi/bitstream/handle/10024/62237/Paula_Pitkonen.pdf?sequence=1
viitattu 7.4.2014

Pulkkinen J. V. 2014. Rikkivetypitoisuuksien hallinta ja optimointi Pyhtään siirtolinjalla. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201402252644>
viitattu 8.4.2014

Rantanen M. V. 2010. Renderöintilaitoksen ja teurastamon typpipitoisten sivutuotteiden käsittely mesofiilisessa ja termofiilisessa anaerobiprozessissa. Jyväskylän yliopisto. Bio- ja ympäristötieteiden laitos. Ympäristötiede ja –teknologia. Pro gradu – tutkielma.
<https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/25655/URN:NBN:fi:ju-201012033138.pdf?sequence=1>
viitattu 19.3.2014

Salmi K. V. 2013. Korvenmäen jätekeskuksen hajupaneeli. Mikkelin ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2013110116504>
viitattu 8.4.2014

Solunetti. V. 2006. Rikkiä sisältävät aminohapot.
http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/rikkipitoiset_aminohapot/2/
viitattu 21.5.2014

The New European Olfactometry Standard: Implementation, Experience, and Perspectives. V. 2001.
<http://www.fivesenses.com/Documents/Library/35%20%20New%20Euro%20Odor%20Standard.pdf>
viitattu 10.4.2014

Tittonen J. V. 2012. Asfalttitehtaan bitumisäiliöiden hönkäkaasuista syntyvän hajuhaitan käsittely. Lahden ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201205219112>
viitattu 8.4.2014
viitattu 9.4.2014

Vesilaitosyhdistys. Päivitetty 8.5.2013.
http://www.vvy.fi/?29_m=2905&s=20
viitattu 19.5.2014

VTT. Rättö M., Vikman M., Siika-aho M. V. 2009. Yhdyskuntajätteiden hyödyntäminen biojalostamossa
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2009/T2494.pdf>
viitattu 13.6.2013
viitattu 5.8.2013

Väisänen P., Salmenoja J. Biokaasun muodostuminen ja sen hallittu käsittely kaatopaikoilla.
<http://www.biokaasuyhdistys.net/docs/kaatgas.pdf>
viitattu 9.7.2013

