



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Jasmine Mäkelä

Domargårdin jätekeskuksen biokaasun keräys ja käsittely

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Energia- ja ympäristötekniikka

Insinöörityö

9.12.2019

Tekijä Otsikko	Jasmine Mäkelä Domargårdin jätekeskuksen biokaasun keräys ja käsittely
Sivumäärä Aika	38 sivua 9.12.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Energia- ja ympäristötekniikka
Ammatillinen pääaine	Energiatekniikka
Ohjaajat	Lehtori Ismo Halonen Käyttöpäällikkö Sanna Lehtonen
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Domargårdin jätekeskuksen biokaasun käsittelyä ja muodostumista kaatopaikalla sekä sen hyötykäyttöä tulevaisuudessa. Tällä hetkellä biokaasu poltetaan soihdussa kunnes kaukolämpölaitos saadaan käyttöön.</p> <p>Työssä on selvitetty biokaasun koostumusta ja käyttöä yleisesti sekä kaatopaikan biokaasun muodostumista ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Selvityksessä on kerrottu kaatopaikkakaasun pohja- ja pintarakenteista sekä biokaasun keräykseen vaikuttavia lakeja. Opinnäytetyössä on kerrottu myös kaukolämmöstä yleisesti sekä Rosk'n Roll Oy Ab:n biokaasupumppaamon ja kaukolämpölaitoksen toiminnasta.</p> <p>Opinnäytetyöstä tuli selvitys, josta nähdään yleiskuva biokaasun toiminnasta ja sen syntymisestä kaatopaikalla sekä Domargårdin jätekeskuksessa toimivista biokaasulinjoista ja -kaivoista.</p>	
Avainsanat	Kaatopaikkakaasu, metaani, biokaasun hyödyntäminen

Author Title Number of Pages Date	Jasmine Mäkelä Collection and Treatment of Biogas From Domargård Waste Center 38 pages 9 December 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Energy and Environmental Engineering
Professional Major	Energy Engineering
Instructors	Ismo Halonen, Principal Lecturer Sanna Lehtonen, Operation Manager
<p>The purpose of the thesis was to investigate domargård waste center biogas treatment and formation in the landfill and to study how it would be reused in the future. Currently biogas is burned in a torch until the district heating plant is available. The thesis was written in summer 2019.</p> <p>In the thesis the composition and usage of biogas and the formation of biogas in the landfill were investigated. Further, the factors affecting the formation of biogas were studied. The study also included describes the landfill gas base and surface structures and the factors affecting biogas collection. District heating was examined in general and from the point of view of the functioning of Rosk'n Roll Oy Ab's biogas pumping station and district heating plant.</p> <p>The results provide an overview of the function of biogas, its emergence at the landfill and biogas pipelines and the operations in the Domargård waste center.</p>	
Keywords	landfill site gas, methane, utilization of biogas

Sisälllys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Rosk'n Roll Oy Ab	2
3	Biokaasu	5
	3.1.1 Biokaasun koostumus	6
	3.1.2 Biokaasun ympäristövaikutukset	7
	3.2 Biokaasun käyttö	7
	3.3 Biokaasun muodostuminen kaatopaikalla	8
	3.4 Jätteen laadun vaikutus biokaasun muodostumiseen	11
	3.4.1 Lämpötila	11
	3.4.2 pH-arvo	12
	3.4.3 Haitalliset aineet	12
	3.5 Jätetäyttöalueen biokaasun hyödyntäminen ja käsittely	13
	3.6 Kaukolämpö	14
4	Biokaasun muodostuminen ja käsittely Domargårdin jätekeskuksessa	16
	4.1 Biokaasupumppaamo	18
	4.1.1 Biokaasupumppaamon toiminta	19
	4.1.2 Ongelmatilanteet	21
	4.3 Domargårdin jätekeskuksen kaatopaikkakaasun sekä päästöjen tarkkailu	24
	4.1 Biokaasun jakelu kaukolämpölaitokseen	26
	4.2 Kaukolämpölaitoksen toiminta	27
5	Johtopäätelmät	28
	Lähteet	30

Lyhenteet

CHP	Sähkön ja lämmön yhteistuotanto eli yhteistuotantojärjestelmä.
CO ₂ -ekv.	Hiilidioksidiekvivalentti. Kuvaa kasvihuonekaasujen ilmastovaikutusta.
FOD	First Order Decay. Laskentamalli, joka ottaa huomioon metaanin syntymisen aikakäyttäytymisen
PAH	Polycyclic aromatic hydrocarbons. Useammasta aromaattisesta renkaasta koostuvia hiilivety-yhdisteitä.
PEH	Polyeteeni-materiaalista valmistettu putkimalli.
TOC	Total organic carbon. Orgaanisen hiilen kokonaismäärä.
TVOC	Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus.
VOC-yhdisteet	Volatile organic compounds. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet.

1 Johdanto

Opinnäytetyön tavoitteena on tarkastella Domargårdin jätekeskuksessa syntyvää biokaasua sekä sen muodostumista kaatopaikalla. Tällä hetkellä biokaasu poltetaan ainoastaan soih tupolttimessa, ja näin ollen energia palaa hukkaan. Uusi kaukolämpölaitos on valmistunut, ja siellä biokaasu tullaan hyödyntämään kun kaukolämpölaitos saadaan säädettyä ja koeponnistettua siihen pisteeseen, että biokaasua pystytään varmasti hyödyntämään lämmöntuotantoon.

Ennen jätehuoltolain voimaantuloa jätehuoltoon ei kiinnitetty huomiota, vaan jätteet saatiin hävittää esimerkiksi metsään, suolle tai kaivettuun kuoppaan. Jätteistä muodostuvien kaasujen vaarallisuutta ei tunnettu, joten ne hävitettiin helpoimmalla tavalla. Ongelmaksi muodostui jätteen määrän kasvu. (Jätehuollon kehitys itsenäisen Suomen historiassa 2019.)

Kaatopaikkojen toimintaa ohjaavat sekä määräävät jätelaki sekä jäteasetus, ympäristön suojelulaki, ympäristönsuojeluasetus ja valtioneuvoston asetus. Tämän lisäksi muissa lakiesityksissä saattaa olla määräyksiä kaatopaikoista. Valtioneuvoston asetuksessa kaatopaikoista (331/2013) on määrätty kaatopaikkojen velvollisuus kerätä ja käsitellä kaasut, jotka syntyvät jätetäyttöalueella. Biokaasuun sovelletaan myös maakaasuasetusta 1058/1993. Vuonna 2016 astui voimaan laki, jonka mukaan kaatopaikoille ei saa sijoittaa jätettä, jonka orgaanisen hiilen pitoisuus tai hehikutushäviö ylittää 10 prosenttia. Valtioneuvostonasetuksessa on lueteltu jätteet, joiden loppusijoitus poikkeaa asetetusta laista. (Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 2013.)

Vuonna 1978 säädettiin jätehuoltolaki, joka määrää valvomaan kaatopaikkojen sekä jätteenkuljetuksen toimintaa. Vuoden 1997 lainsäädännön asettamat vaatimukset pakottivat sulkemaan pieniä kaatopaikkoja ja rakentamaan sekä korjaamaan uusia kaatopaikkoja kymmenen vuoden siirtymäajalla lain velvoitteiden mukaisesti. (Jätehuollon kehitys itsenäisen Suomen historiassa 2019.)

Biohajoavan jätteen kaatopaikkakäsittely muuttui asteittain vuoteen 2016 saakka, jonka jälkeen on ollut lähes mahdotonta sijoittaa kaatopaikalle orgaanista jätettä. Kaatopaikkoja suljettiin ja samalla Suomessa rakennettiin sekä otettiin käyttöön jätteenpolttolaitoksia. Kaatopaikoille ei saa sijoittaa biohajoavaa yhdyskuntajätettä vuodesta eikä orgaanista jätettä vuodesta 2016, eikä myöskään esikäsittelemätöntä jätettä. Jätteen TOC-pitoisuus saa olla 10 prosenttia ja rakennusjätteen enintään 15 prosenttia. (Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 2013.)

2 Rosk'n Roll Oy Ab

Vuonna 1993 perustettiin Lohjalle kuntien omistama Länsi-Uudenmaan Jätehuolto Oy, koska vuonna 1994 voimaan tullut jätelaki asetti kunnille tiukkoja vaatimuksia muun muassa jätteen kierrätykseen liittyen. Kaatopaikoille uusi jätelaki toi haasteita järjestää muun muassa syntypaikkalajittelu sekä jätteiden siirtäminen oikeille vastaanottajille. (Kaatopaikkayhtiöstä palveluyhtiöksi 2019: 30.)

Vuonna 2000 Länsi-Uudenmaan Jätehuolto Oy:n päätoimipiste rakennettiin Lohjan Munkkaalle. Jätteiden loppusijoitus täytti Euroopan unionin vaatimukset. Nyt myös kaasulaitoksen sekä jätevedenpuhdistamon käyttöönotto olivat mahdollisia. Vuonna 2002 päätettiin vaihtaa yrityksen nimi Rosk'n Rolliksi. Vuonna 2006 perustettiin jätelautakunta, jolloin lautakunnan jäseniksi tulivat Hanko, Tammisaari, Karjaa, Pohja, Inkoo, Siuntio, Vihti sekä Sammatti. Näiden kuntien sekajätteiden kuljetukset pystyttiin aloittamaan seuraavana vuonna. (Kaatopaikkayhtiöstä palveluyhtiöksi 2019: 30–31.)

Vuonna 2012 Rosk'n Rollin sekä Itä-Uudenmaan Jätehuolto Oy:n yhtiöiden kuntaomistajat allekirjoittivat yhdistymissopimuksen, jonka tavoitteena oli parantaa kuntayhtiöiden toimintaedellytyksiä lainsäädännön muuttuessa. Uusi yhtiö antoi esimerkiksi paremmat kehittämismahdollisuudet ja tehosti jätteiden käsittelyä sekä hyödyntämistä kustannustehokkaasti. Fuusoidun yhtiön nimeksi tuli Rosk'n Roll Oy Ab, ja se tuli virallisesti voimaan 1.1.2019. (Kaatopaikkayhtiöstä palveluyhtiöksi 2019: 30–31.)

Yrityksen toimialueeseen kuuluu yhteensä 12 kuntaa Itä- ja Länsi-Uudellamaalla, ja yhteensä noin 320 000 asiakasta. Yrityksessä työskentelee noin 60 työntekijää, ja se hoitaa Itä- sekä Länsi-Uudellamaalla kuntien jätehuoltoa säännösten ja määräysten perusteella. Sen tehtäviin kuuluvat esimerkiksi jätehuollon suunnittelu ja kehitys, jätepisteiden rakentaminen ja niiden ylläpito, jätteiden kierrätysten järjestäminen sekä neuvonta ja tiedotus. (Kaatopaikkayhtiöstä palveluyhtiöksi 2019: 30–31.)

Domargårdin jätekeskuksessa loppusijoitettavat jätteet

Vuodesta 1965 lähtien Domargårdin jätekeskus on toiminut jätteen loppusijoituspaikkana. Alueella on eri-ikäisiä loppusijoitusalueita. Vanhimmat loppusijoitusalueet ovat täyttöalueet 1 ja 2, joiden päälle on rakennettu muita jätteenkäsittely- ja hyödyntämisalueita. (Domargårdin ympäristölupa: 6.)

Vuonna 2007 täyttöalue 2 suljettiin ja täyttöalueelle 3 alettiin ottaa loppusijoitettavaa jätettä vastaan. Alueella loppusijoitetaan, hyödynnetään, vastaanotetaan ja siirtokuormataan eri jätteitä, kuten kotitalousjätettä sekä yhdyskuntajätettä, biojätettä, teollisuuden jätettä, rakennus- ja purkujätettä, lievästi pilaantuneita ja pilaantumattomia maa-aineksiä, sähkö- ja elektroniikkajätettä sekä vaarallisia jätteitä. Taulukossa 1 on listattu ympäristöluvun mukaiset jätekeskukselle määrätyt kapasiteettirajoitukset tonnia vuodessa. (Domargårdin ympäristölupa: 6–7.)

Taulukko 1. Täyttöalueella loppusijoitettavat, jätekeskuksen alueella hyödynnettävät jätteet ja välivarastoitavat jätteet

Loppusijoitus tai hyödyn- täminen täyttöalueella	Vastaanot- tomäärä t/a
Yhdyskuntajäte	40 000
Rakennusjäte	30 000
Hiekkakomposti	8 000
Eriyisjäte	4 500
Tuhkat ja kuonat	5 000
Puhtaat maa-ainekset, be- toni- ja tiilijäte	70 000
Lievästi pilaantuneet maat	50 000
Sadevesi- ja hiekanero- tuskaivo liete	3 500

Domargårdin jätekeskuksessa otettiin vastaan vuonna 2018 noin 99 126 tonnia jätettä. Vuonna 2018 loppusijoitettiin 8 189 tonnia jätettä, joista 6 394 tonnia toimitettiin suoraan jätetäyttöalueelle. Omasta toiminnasta syntyi loppusijoitettavaa jätettä 1 794 tonnia, kuten jätettä sisältävää ylijäämämaata ja maiden seulonnasta sekä suurikokoisen jätteen lajittelusta syntyvää jätettä. Vuonna 2018 prosessijätteitä loppusijoitettiin 380 tonnia, erityisjätteitä, kuten kuolleita eläimiä 3,4 tonnia sekä asbestijätettä 486 tonnia. (Domargårdin vuosiraportti, 2018: 19–20.)

Loppusijoitettavista jätteistä kaatopaikkakaasua muodostavat ne jätejakeet, jotka sisältävät orgaanista ainesta. Pääsääntöisesti loppusijoitettavista jätteistä kiviainekset, maa-ainekset, jotka eivät sisällä jätettä ja lievästi pilaantuneet maa-ainekset eivät merkittävästi muodosta kaatopaikkakaasua. Yhdyskunta- ja rakennusjätteen loppusijoitus lopetettiin vuoden 2013 jälkeen Vantaan Energian jätevoimalan valmistuttua. Tätä ennen loppusijoitetut yhdyskuntajätteet muodostavat suurimman osan kaatopaikkakaasusta. Vuonna 2014 Domargårdin jätekeskuksessa yhdyskuntajätteestä kaatopaikalle meni 17,50 % ja vuonna 2017 yhdyskuntajätteestä päätyi kaatopaikalle 1,70 %. (Itä-Uudenmaan jätekeskuksen kuvaajat 2017.)

Yhdyskuntajäte koostuu suurimmaksi osaksi kotitalouksien ja yritysten sekajätteistä. Nykyään yhdyskunta- ja rakennusjätteestä loppusijoitetaan ne jätteet, jotka eivät kelpaa hyötykäyttöön eli lajittelusta syntyvä rejekti (mm. eristevilla ja tasolasi). Betoni- ja tiilijäte vastaanotetaan loppusijoitusalueelle ja niitä voidaan hyödyntää loppusijoitusalueiden rakenteissa. Haitta-aineita sisältäviä betoni voidaan loppusijoittaa sellaisenaan, jos kaatopaikkakelpoisuus sen sallii. Taulukossa 2 on esimerkkejä loppusijoitettavista jätteistä vuosina 2010–2014. Taulukossa mainittujen jätteiden lisäksi Domargårdin jätekeskuksessa vastaanotetaan loppusijoitukseen tuotannosta peräisin olevia jätteitä sekä perusmäärittelylomakkeen ja/tai kaatopaikkakelpoisuusselvityksen perusteella vastaanotettavia jätteitä. Taulukoon ilmoitettu maa-aineksen tonnimäärässä on yhteenlaskettu puhtaat ja pilaantuneet maa-ainekset. Jätettä sisältävät maa-ainekset seulotaan, jolloin saadaan erotettua jätteet maa-aineksesta. Jäljelle jäänyt puhdas ylijäämämaa loppusijoitetaan täyttöalueelle 1 ja lievästi pilaantunut maa loppusijoitetaan täyttöalueelle 3. (Itä-Uudenmaan jätekeskuksen kuvaajat 2017.)

Taulukko 2. 2010–2014 loppusijoitettavia jätteitä (tonnia) (Itä-Uudenmaan jätekeskuksen kuvaajat 2019.)

	2010	2011	2012	2013	2014
Asbesti	1083	463,0	211,68	211,68	211,82
Eryiskäsiteltävä jäte	2 917	2 554	808	1 824	601
Hiekan- ja rasvanerotuskaivojäte	1 508	1 313	1 059	1 435	132
Maa-aines	151 956	179 019,3	65 931,47	38 389,26	7 266,42
Pesuedet	120	104,3	99,68	92,1	–
Rakennusjäte	8 921	11 939,5	7 148,82	14 811,2	8 4571
Riskijäte	35	33	27	36	50
Välppäjäte	172	162	126	142	206
Yhdyskuntajäte	28 344	26 309,7	23 098,05	9 323,75	3 644,18

3 Biokaasu

Biokaasua muodostuu luonnonmukaisesti kosteikoissa, vesistöissä, biokaasureaktoreissa sekä kaatopaikoilla mikro-organismien hajottaessa orgaanista ainetta hapettomissa olosuhteissa. Biokaasureaktorissa käytetään biokaasun raaka-aineina helposti hajoavia orgaanisia yhdisteitä kuten lantaa, biojätettä, viemäriletteitä ja elintarviketeollisuuden jätevesiä. Prosessia, jossa muodostuu runsaasti metaania sisältävää biokaasua,

ravinteita ja mädätysjäännöstä voidaan kutsua anaerobiseksi käsittelyksi, mädätykseksi tai biokaasutukseksi. Tavallisesti biokaasun metaanipitoisuudet ovat noin 40–70 prosenttia ja hiilidioksidipitoisuudet 30–60 prosenttia. Biokaasu voi sisältää pieniä määriä typpeä, vetyä ja vesihöyryä sekä yhdisteitä kuten ammoniakkia ja rikkivetyä. (Tietoa biokaasusta 2019.)

Biokaasua pidetään arvokkaana uusiutuvan energian lähteenä, josta voi muodostaa uusiutuvaa biopolttoainetta, jonka ympäristölle kertyvät vaikutukset ovat alhaiset. Biopolttoaineesta ei synny hiukkaspäästöjä, ja siinä on vähäiset typenoksidi- ja hiilidioksidipäästöt. Tästä syystä biokaasua hyödynnetään liikenteessä sekä sähkön ja lämmön tuotannossa. (Tietoa biokaasusta 2019.)

3.1.1 Biokaasun koostumus

Biokaasu koostuu pääosin metaanista, hiilidioksidista, rikkivedystä, typestä, ammoniakista, siloksaaneista sekä halogenoiduista hiilivedyistä. Biokaasussa voi esiintyä klooria, rikkiä tai fluoria, jotka estävät sen polttamisen ilman erillisiä puhdistusjärjestelmiä. Biokaasun metaanin osuus on yleensä 40–70 prosenttia ja hiilidioksidin 30–60 prosenttia. Biokaasu voidaan luokitella syttyväksi, jos koostumuksesta metaanin määrä on yli 45 prosenttia. Kun biokaasua jalostetaan siten, että sen metaanipitoisuus on noin 98 prosenttia, sitä voidaan kutsua biometaaniksi. Tällöin se on ominaisuuksiltaan lähes samanlainen kuin maakaasu. (Biokaasu 2014.) Taulukossa 3 on esimerkki Ämmässuon raaka-kaatopaikkakaasun koostumuksesta.

Taulukko 3. Ämmässuon kaatopaikkakaasun koostumus (Pulsa 2008: 31.)

Kaasukomponentti	Pitoisuus
Metaani, %	54–58
Hiilidioksidi, %	41,1–42,3
Typpi, %	0–3,7
Happi, %	0–3
Siloksaanit, mg/m ³	7,6
Halogenoidut hiilivedyt, mg/m ³	900
Rikkivety, ppm	1200

3.1.2 Biokaasun ympäristövaikutukset

Biokaasun tuotannossa raaka-aineiden käytöllä on suuri merkitys biokaasun ympäristövaikutuksille. Jätepohjaisten raaka-aineiden vaikutukset ovat pienet, kun taas esimerkiksi viljeltyjen raaka-aineiden käyttö aiheuttaa rehevöitymistä. (Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa 2017: 3,13.) Kuitenkin on huomioitava raaka-aineen hyöty suhteutettuna ympäristövaikutuksiin ja muistettava myös negatiiviset hyödyt, kuten jätepohjaisen biokaasun päästöt verrattuna vaihtoehtoisesti muulla tavalla käsiteltyihin päästöihin. (Uusiutuvan energian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset ja -riskit 2014: 29). Lannoitteissa käytetty epäorgaaninen fosfori aiheuttaa vesistöjen rehevöitymistä, ja erilaiset biomassat sisältävät vuositasolla enemmän kierrätettävää fosforia, joka on enemmän kuin Suomen nurmien ja viljojen lannoitustarve (Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa, 2017: 2.)

Vaikka esimerkiksi viljelty nurmi aiheuttaa rehevöitymistä, sen ympäristövaikutukset ovat pienemmät kuin yksivuotisten kasvien käyttö. Yleensä tarkastellaan ainoastaan negatiivisia haittoja, kun voitaisiin tarkastella myös mahdollisia muita vaihtoehtoja sekä positiivisia ympäristövaikutuksia. Esimerkiksi lannan ravinteet muuttuvat biokaasuprosessissa parempaan muotoon, mikä puolestaan voi vähentää typpihuuhtoumia vesistöihin. (Uusiutuvan energian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset ja -riskit 2014: 29.)

Kaatopaikkakaasun ympäristövaikutukset ovat negatiivisia, sillä kaatopaikkakaasu sisältää pääosin metaania ja täten sen merkittävin ympäristövaikutus on ilmaston lämpeneminen. Metaani on voimakas kasvihuonekaasu, ja kaatopaikkakaasu voi aiheuttaa hajusekä terveyshaittoja ja kaatopaikkapaloja. Kaatopaikkakaasu sisältää myös muita ympäristölle haitallisia päästöjä. Kaatopaikkakaasun energianhyötykäyttö ja soihdussa polttaminen vähentävät ympäristövaikutuksia. (Niskanen 2012.)

3.2 Biokaasun käyttö

Biokaasua voidaan käyttää sellaisenaan raakakaasuna sähkön- ja lämmöntuotantoon tai jalostaa liikennekäyttöön polttoaineeksi. Poistamalla hiilidioksidi ja epäpuhtaudet sekä

mahdollinen tyyppi biokaasusta saadaan maksimoitua jalostusarvo ajoneuvojen polttoaineksi. Kemiallisesti jalostettu maakaasu ja jalostettu biokaasu ovat lähes samanlaisia kaasuja, jolloin niitä voidaan käyttää yhdessä. Ympäristövaikutusten kannalta biokaasu on hiilidioksidineutraalisempaa kuin maakaasu, joka on fossiilista polttoainetta. (Biokaasun käyttö 2019.)

Biokaasun pienet tuotantolaitokset sijaitsevat usein maataloilla, tai ne ovat usean maatalon käytössä olevia keskitettyjä laitoksia tai useita raaka-aineita vastaanottavia mädätyslaitoksia. Myös kaatopaikoilla kerätään biokaasua jätetäyttöalueilta. (Biokaasun tuotanto 2019.)

3.3 Biokaasun muodostuminen kaatopaikalla

Kaatopaikoille tuotu jäte hajoaa joko ilman happea (anaerobisesti) tai hapen avulla (aerobisesti) sekä kemialliset reaktioiden kautta. Jätetäyttöjen ollessa tiiviitä tai korkeita hajoaminen tapahtuu anaerobisesti, kun hapen pääsy rajoittuu selvästi eikä happea pääse virtaamaan täyttöalueelle. (Väisänen & Salmenoja 2002: 3.) Aerobisessa vaiheessa hajoaminen tuottaa pääasiassa hiilidioksidia, kunnes jätteen läjityksen jatkuessa sekä jätetäytön tiivistyessä hapen pääsy jätetäyttöön estyy, jolloin hajoaminen kuluttaa jäljellä olevan hapen loppuun (Ekroos 2013: 10–11).

Anaerobinen vaihe kaasun muodostumisessa jaetaan kahteen vaiheeseen: happo- ja metaanikäymiseen. Happokäyminen katsotaan alkaneeksi, kun happi on kulunut jätetäytössä loppuun, jolloin hiilidioksidipitoisuus nousee, jopa 70 prosenttiin kaasun sisällöstä. Metaanikäyminen alkaa happovaiheen jälkeen, jolloin hiilidioksidipitoisuudet laskevat ja metaanipitoisuudet nousevat 40–65 prosenttiin kaatopaikkakaasun sisällöstä. (Ekroos 2013: 10–11.)

Kaatopaikkarakenne biokaasun keräyksessä

Vaarallisen jätteen kaatopaikalle sekä tavanomaisen jätteen kaatopaikalle on määrätty tietyt pohja- ja pintarakenteet, joita kaatopaikkojen rakenteissa on noudatettava. Kaa-

sunkeräyskerros on rakennettava tavanomaisen jätteen kaatopaikalle. Vaarallisen jätteen kaatopaikalle se on rakennettava tarpeen mukaan täyttöalueen saavutettua lopullisen korkeutensa. (Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista 2013.)

Kaatopaikkarakenteen pintarakenne pitää sisällään useita eri kerroksia, ja niillä on omat vaatimukset sekä tehtävät. Kaasunkeräyskerros edistää ja kerää jätetäyttöalueilla muodostuvaa kaasua. Kerroksen tehtävä on edistää kaasun siirtymistä kaasunkeräysjärjestelmään ja käsittelyyn. Materiaaleille ei ole asetettu vaatimuksia valtioneuvoston asetuksessa 331/2013, mutta kerrosten toiminnalliset vaatimukset asettavat kuitenkin tiettyjä ehtoja myös materiaaleille. Kaasunkeräyskerroksessa käytetyn materiaalin tulee olla kestävää sekä johtaa hyvin kaasua. Materiaali ei saa reagoida kaatopaikkakaasun eikä muodostuvan veden kanssa siten, että kaasunkeräysjärjestelmä tai johtavuus heikenee. Kerroksen alapuolelta ei saa kohdistua painetta keinotekoiseen eristeeseen tai myöskään tiivistyskerrokseen. Kaasunkeräyskerros lisää jätetäyttöalueen kantavuutta, ja sitä pystytään hyödyntämään esimerkiksi tasaamalla epätasaisia painaumuksia tiivistyskerroksen pysyvyyden parantamiseksi. Kerroksen suositeltava paksuus on yli 0,3 metriä. (Kaatopaikkojen tiivistysrakennemateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus 2004: 20, 22–23.)

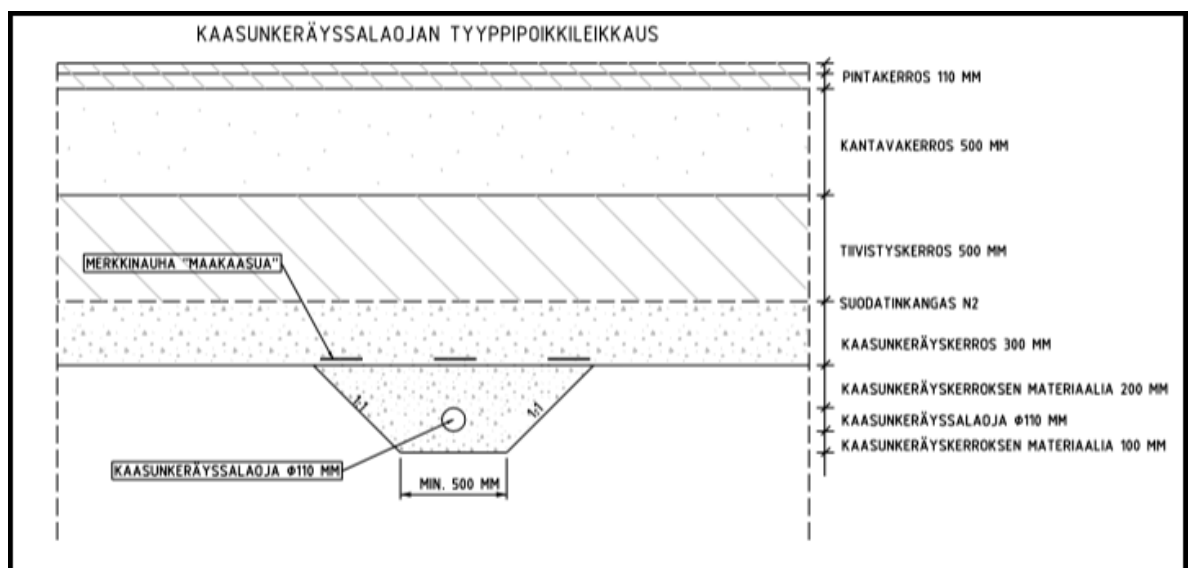
Kaatopaikkojen pohjarakenteet on rakennettu tiiviiksi siten, että täyttöalueen sisäiset vedet johdetaan joko jätevedenpuhdistamolle tai ne käsitellään kaatopaikalla. Jätevesien tarkkailu on tärkeää. Tarkkailussa nähdään jätteestä liukenevia aineita sekä pitoisuuksia. Kaatopaikoille on asennettu rakennusvaiheessa tarkkailuputkia tai kaatopaikkakaasun keräilykaivoja, joista pääsee seuraamaan pinnan korkeutta ja laatua. (Jätetäytön sisäinen vesi 2019.)

Jätetäyttöalueelle suunniteltavassa kaatopaikkakaasun keräysjärjestelmässä on otettava huomioon esimerkiksi jätetäytön rakenne, imusäteet, kaasun määrä ja jätteen laatuvario. Emissiokartoituksen tekeminen auttaa kaasukaivojen sijoittamisessa. Kartoituksessa selvitetään, missä kaasua purkautuu eniten. Kaivoja ei tule sijoittaa alueelle, missä on runsaasti vaarallista jätettä, jätetäytön korkeus on alle 3–5 metriä tai alueella on vain vähän biologisesti hajoavaa jätettä. Jätetäyttöalueiden painaumat tulee ottaa huomioon kaivojen ja putkistojen rakenteissa. Suositettu putkistomateriaali jätetäytöissä on PEH-ma-

tereaali, jonka paineluokka on PN10 (kaasuluokitus PN4/S5). Jätetäyttöalueiden painaumista johtuen suositeltava asennustapa tästä syystä on teleskooppimainen putkistorakenne, jolloin yläosa voi vapaasti painua sisään eikä rakenne rasitu putkistojen ja kaivojen liitoskohdista. (Kukkamäki 2008: 76–78.)

Kun tehdään jätetäyttöön imukaivoja, jätteeseen lyödään tai porataan reikä. Reikään asennetaan siiviläputki, jonka ympärille valutetaan soraa, ja yläpäähän asennetaan kaasutiivis liitos, joka yhdistyy siirtoputkeen. Pystyputket voidaan vaihtoehtoisesti rakentaa vaakatasoon salaojiksi. Vaakasalaojaputket ovat yleisemmin käytössä matalilla ja pienemmällä kaatopaikoilla. Vaakasalaojitus takaa suuremman imupinta-alan, eikä rakentamiseen tarvita erikoiskalustoa samalla tavalla kuin pystykaivojen rakentamisessa. Vaakasalaojien rakentaminen on kuitenkin hitaampaa, ja ne tarvitsevat enemmän täyttöpinta-alaa kuin pystykaivot. Ne myös rakennetaan sisäisen vedenpinnan yläpuolelle, jotta ne toimisivat halutulla tavalla. (Kukkamäki 2008: 76–78.)

Pystykaivot imevät koko täyttöalueen korkeudelta. Ne rakennetaan uudelleen kerroksittain täyttöalueen noustessa korkeammaksi, jotta koko kaasunkeräys saadaan tehokkaaksi ja yltämään koko jätetäyttöalueelle. (Kukkamäki 2008: 76–78.) Kuvassa 2 on esimerkki kaasunkeräyssalaojan poikkileikkauksesta sekä kaatopaikkarakenteesta.



Kuva 1. Tyypipoikkileikkaus kaasunkeräyssalaojasta (Rosk'n Roll Oy Ab 2019.)

3.4 Jätteen laadun vaikutus biokaasun muodostumiseen

Hajoamisprosessin anaerobisessa hajoamisessa jätteen laadulla, tiivistämisellä, peittämisellä sekä kosteudella on merkittävä vaikutus biokaasun muodostumisessa. Tasaisesti tiivistetyllä jätetäyttöalueella kosteus jakautuu tasaisesti, jolloin pinta-ala mikrobiologiselle toiminnalle on suurempi kuin tiivistymättömällä jätetäyttöalueella. (Väisänen & Salmenoja 2002: 4-5.)

Pohjois-Suomessa on tutkittu pienien kaatopaikkojen hajoamisprosessia ja todettu, ettei vuodenajalla ole suurtakaan merkitystä biokaasun muodostumisessa. Tutkimuksien mukaan ainoastaan jätetäytön korkeudella on merkitystä. Hajoamisprosessin aerobisen vaiheen havaittiin olevan aerobista jopa kahden metrin syvyydessä. (Väisänen & Salmenoja 2002: 4-5.)

3.4.1 Lämpötila

Lämpötilalla on oleellinen vaikutus jätteen hajoamisprosessissa anaerobiseen vaiheeseen, esimerkiksi hajoamisen reaktionopeuteen eli toisin sanoen siihen, miten nopeasti jätteen hajoaminen alkaa. Ilman happea toimivan anaerobisen hajoamisen on mahdollista toimia useissa eri lämpötiloissa, mikä johtuu mädättäjäbakteerien erilaisista optimaalisista lämpötiloista. Anaerobiseen hajoamiseen liittyy kaksi eri mädättäjäbakteeria, joista kumpikin toimivat eri rajatuilla lämpötila-alueilla. (Väisänen & Salmenoja 2002: 8–9.)

Mesofiilisen ryhmän optimilämpötila on noin 40 °C ja termofiilisen ryhmän optimilämpötila on noin 60 °C (Väisänen & Salmenoja 2002: 8–9.) Oikeassa optimilämpötilassa vaaditaan hyvää kaatopaikan prosessisuunnittelua sekä -sääntöä. Mesofiilinen prosessi on jopa 2–4 kertaa hitaampaa kuin termofiilinen prosessi, ja hajoamisen vaatima viipymä on vain 15–20 päivää. Mesofiilisen prosessin reaktoritilavuus on suurempi kuin termofiilisen prosessin tilavuus. Termofiilinen prosessi muodostaa ihanteellisissa olosuhteissa

8–20 prosenttia enemmän biokaasua. (Termofiilinen 2019.) Suomen kaatopaikoilla anaerobisessa hajoamisessa sisäiset keskilämpötilat ovat 5–20 °C, joten täyttöalueen nostaminen termofiilisen prosessin optimilämpötilaan tuottaa huomattavasti enemmän biokaasua. Jätetäytön lämpötilaan vaikuttaa suuresti jätetäyttöalueen paksuus. (Väisänen & Salmenoja 2002: 8.)

3.4.2 pH-arvo

Metaanin tuotannossa suurin osa metaanibakteereista toimii parhaiten, kun pH-arvo on neutraali eli 6–8. Jos niiden toiminta häiriintyy, vedyn ja etikkahapon muuntaminen hidastuu ja siitä voi seurata pH:n lasku ja vedyn paineen nousu. Metaanin tuotanto loppuu, jos edellä olevien tekijöiden seurauksena muodostuu propioni- ja propionibutyrihappoa muodostukseen. (Väisänen & Salmenoja 2002: 9–10.) Mädätysprosessin muuttuessa happamaksi jätteen syöte on lopetettava, jotta bakteerit pystyvät muodostamaan hapon metaaniksi. Näin prosessi alkaa toimia taas normaalisti. (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013: 6.) pH:n pysymistä neutraalina edesauttavat kaatopaikan rakennusjäte ja jätemaat, jotka tuovat puskurikapasiteettia metaanibakteeritoiminnalle. Puskurikapasiteetilla tarkoitetaan pH:n pysymistä optimaalisella alueella, eikä se pääse laskemaan eikä nousemaan. (Väisänen & Salmenoja 2002: 9.)

3.4.3 Haitalliset aineet

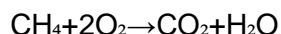
Biokaasun muodostumiselle haitallisia aineita jo pieninä pitoisuuksina ovat raskasmetallit, suolot, antibiootit ja kasvimyrkyt (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013: 7). Biokaasun muodostumista voivat haitata bakteerien omat aineenvaihduntatuotteet, kuten esimerkiksi ammoniakki, rikkivety ja rasvahapot. Muita epäpuhtauksia biokaasussa ovat siloksaanit. Siloksaanit sitoutuvat yleensä kaasuturbiinissa teriin ja suuttimiin, mikä luonnollisesti haittaa biokaasuprosessia sekä biokaasun muodostumista (Läntelä 2007: 20). Halogenoiduilla yhdisteillä tarkoitetaan haihtuvia orgaanisia yhdisteitä eli VOC-yhdisteitä. Suurin VOC-yhdisteiden aiheuttajista ovat peräisin erilaisista rakennus- ja sisustusmateriaaleista. (Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality 2019.)

Biokaasussa muodostuvien haitallisten aineiden poistamiseksi tarvitaan erilaisia poistamismenetelmiä. Rikkivety lyhentää putkistojen sekä komponenttien elinikää. Biokaasun palamisessa muodostuu rikin oksideja, jotka syövyttävät metalleja ja happamoittavat biokaasupumppaamon moottorissa käytettävää öljyä. Rikkivetyä poltettaessa voi muodostua rikkihappopäästöjä, joten rikkivetyä pyritään ennaltaehkäisemään jo reaktorissa, ettei niitä pääse syntymään. Tekijät, jotka haittaavat biokaasun muodostumista, ovat joko fyysisiä tai kemiallisia. (Biokaasun tuotanto maatilalla 2013: 7.)

Haitallisia aineita päätyy kaatopaikoille esimerkiksi kosmetiikkatuotteiden mukana, joissa käytetään siloksaaneja, jotka päätyvät lopulta usein kaatopaikoille sekä jätevesiin (Hirvonen 2010: 1,6). Kun biokaasua käytetään energialähteenä, kaasussa saattaa olla halogenoituja yhdisteitä, jotka sisältävät orgaanisia kloridiyhdisteitä. Tämä saattaa aiheuttaa korroosiota moottoriin. (Rasi 2009: 10–12, 15–16.)

3.5 Jätetäyttöalueen biokaasun hyödyntäminen ja käsittely

Biokaasun kaasunmäärään ja sen hyötykäyttömahdollisuuksiin vaikuttaa jätetäyttöalueen koko ja koostumus. Yleensä jätetäyttöalueiden biokaasua hyödynnetään mahdollisimman lähellä kaatopaikkaa, sillä pitkien välimatkojen vuoksi siirtäminen ei ole taloudellisesti kannattavaa. (Filatov & Sormunen 2012.) Biokaasua hyödynnetään polttamalla, ja sen sisältämä energiasisältö on metaanissa, jonka palamisreaktio on esitetty seuraavasti reaktioyhtälössä.



Yhtälöstä selviää, että yhden metaanimolekyylin palamiseen tarvitaan kaksi molekyyliä happea, ja näin ollen siitä syntyy hiilidioksidia sekä kaksi molekyyliä vettä.

Kaatopaikkakaasuja pystytään hyödyntämään joko lämmöntuotannossa tai sähkön ja lämmön yhteistuotannossa. Lämmöntuotannossa kaatopaikkakaasua hyödynnetään syöttämällä kaasua lämpölaitokseen, josta se tuotantoprosessin jälkeen siirretään joko kaukolämpöverkkoon tai siirtoputkia pitkin teollisuuslaitoksille. (Filatov & Sormunen 2012.)

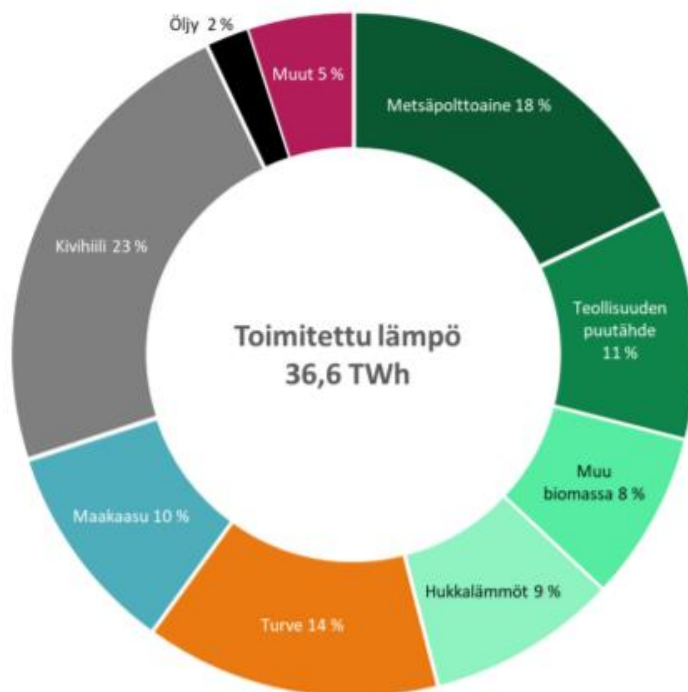
Sähkön ja lämmön yhteistuotannossa CHP-moottorit ovat kannattavia yleensä vain siirtoputkien suurille kaasuvirtaamille. Yhteistuotanto on kannattavaa, jos kaasuvirtaama ylittää 200 m³/h:ia ja kaasun metaanipitoisuus on yli 40 prosenttia. Kaasupitoisuuden alittaessa 45 prosenttia sähköteho alenee merkittävästi. Kaasumäärän vaihtelu voi rajoittaa CHP-moottorin käyttöä, vaikka ne ovat säädettävissä 50–100 prosenttia noin 80 prosentin hyötysuhteesta. (Filatov & Sormunen 2012.)

Mikroturbiinit soveltuvat hyvin kaasuvirtaamille <300 m³/h. Niiden sähköteho on noin 30 prosenttia ja lämpöteho noin 50 prosenttia. Mikroturbiinin käytössä pidetään rajana 40 prosentin metaanipitoisuutta, mutta niitä voidaan säätää 0–100 prosenttia kapasiteetista vastaamaan kaasumäärää. (Filatov & Sormunen 2012.)

3.6 Kaukolämpö

Kaukolämmöllä tarkoitetaan kuumaa vettä, joka kiertää kaukolämpöjärjestelmässä asiakkaiden lämmönvaihtimiin ja sieltä takaisin voimalaitokselle, jossa kaukolämpöä tuotetaan. Kiinteistöjen lämmitysverkon vesi ja käyttövesi lämmitetään kaukolämpövedellä lämmönvaihtimissa, jotka erottavat vesijärjestelmät toisistaan, etteivät ne sekoitu keskenään. (Tietoa kaukolämmöstä 2019.)

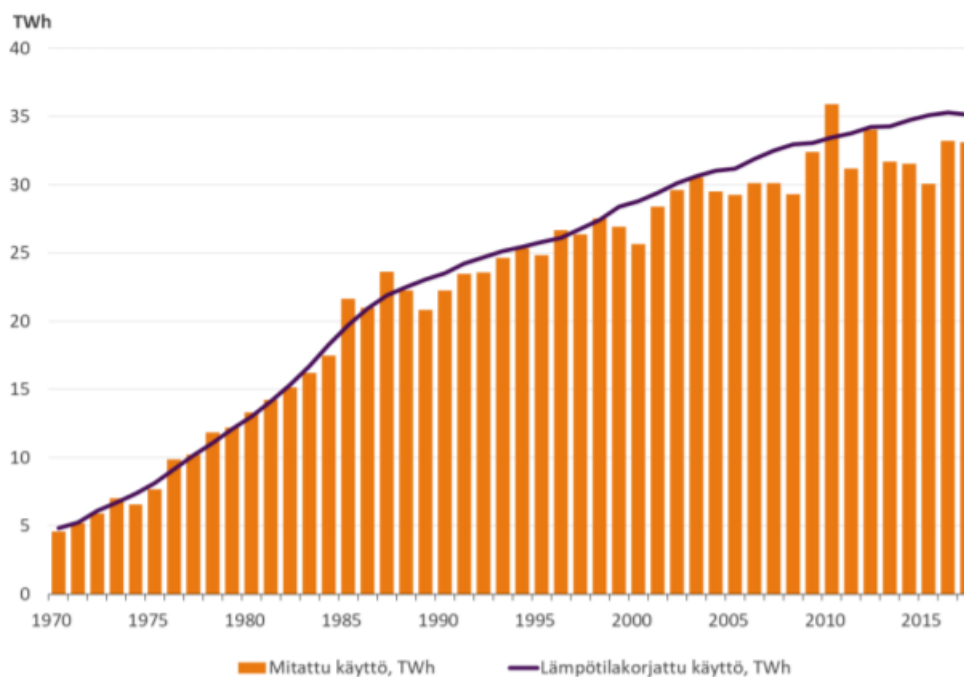
Biokaasua hyödynnetään kaukolämmön tuotannossa. Kaukolämpöä hyödynnetään rakennusten ja käyttöveden lämmitykseen sekä teollisuusprosesseihin tarvittavan lämpöenergian keskitettyä tuotantoa ja jakelua. Kaukolämmityksen hyviä puolia ovat tuotannon korkea hyötysuhde, polttoaineiden tehokas käyttö sekä pienemmät päästöt ja hyvä toimitusvarmuus. Tuotettua lämpöä pystytään varastoimaan. Monesta polttoaineesta pystytään valmistamaan kaukolämpöä. (Kaukolämmöntuotanto 2019.) Kuvassa 2 on kerrottu kaukolämmön tuotannon lämmönlähteet ja prosentiosuudet lähteittäin.



Kuva 2. Kaukolämmön tuotannon lämmönlähteet vuonna 2017 (Kaukolämpötilastot 2017)

Kaukolämmön haittapuolia ovat sen korkeat investointikustannukset ja jakeluverkoston rakennusvaiheessa ilmenneet ympäristövaikutukset. Jakeluhäiriöt vaikuttavat laajaan alueeseen. Kaukolämmön käyttö on kasvanut vuosittain pienestä asiakasmäärän vaihtelusta huolimatta, kuten kuvassa 3 on esitetty. (Tietoa kaukolämmöstä 2017.)

Asiakkaina ovat usein liiketilat, julkiset rakennukset, pientalot, rivitalot sekä kerrostalot ja teollisuusrakennukset. Talvisin kaukolämmön tarve on suurempaa kuin kesäaikana, jolloin käyttöveden lämmitykseen tarvitaan suurimmaksi osaksi ainoastaan kaukolämpöä. (Tietoa kaukolämmöstä 2017.)



Kuva 3. Kaukolämmön käyttö vuodesta 1970–2017 (Kaukolämpötilastot 2017).

4 Biokaasun muodostuminen ja käsittely Domargårdin jätekeskuksessa

Jätetäyttöalueiden sulkemisella on merkitys metaanin talteenottoasteelle ja jätetäyttöalueelta purkautuville päästöille. Domargårdin jätekeskuksessa arvioidaan metaanin määrän kohoavan 80 m³/h vuoteen 2020 mennessä. Tämän jälkeen metaanin määrä laskee noin kaksi prosenttia vuodessa, koska orgaanisen jätteen käymisreaktio vähenee vuosittain. Domargårdin jätetäyttöalueelta 1 kerättiin kaatopaikkakaasuja vuodesta 1996 vuoteen 1999. Keräily lopetettiin, kun kaatopaikkakaasujen muodostumisen huomattiin vähentyvän. (Filatov & Sormunen 2012.)



Kuva 4. Ilmakuva Domargårdin jätekeskuksesta

Jätetäyttöalueilta 2 ja 3 kerätään tällä hetkellä biokaasua, ja sen määrää sekä koostumusta mitataan säännöllisesti noin kolmen kuukauden välein ja myös esimerkiksi päivittäisillä metaanin määrän mittauksilla. Biokaasua arvioidaan hyödynnettävän Domargårdin jätekeskuksessa ainakin seuraavat 10–20 vuotta. (Filatov & Sormunen 2012.) Kuvassa 4 on Domargårdin jätekeskuksen ilmakuva täyttöalueista 1 ja 2.

Häiriötilanteissa sekä vuoden 2012 jälkeen biokaasua alettiin polttaa soihdussa (kuva 5). Biokaasun sisältämä metaani saatiin muutettua ympäristölle ystävällisempään muotoon polttamalla se soihdussa, sillä ilmaan päässyt metaani on 21 kertaa voimakkaampi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi. (Domargårdin ympäristölupa 2017: 26, 59.)

Maaliskuussa 2018 valmistui Rosk'n Roll'in omistama uusi kaukolämpölaitos, jossa biokaasu tullaan hyödyntämään. Kaukolämpölaitos valmistui Porvoon Energian omistamalle alueelle. Laitoksessa aletaan hyödyntämään Domargårdin jätekeskuksesta tulevaa biokaasua, joka johdetaan kaasulinjaa pitkin. (Domargårdin ympäristölupa 2017:

26.) Tähän mennessä vuosina 1996–2012 kaatopaikkakaasuja hyödynnettiin johtamalla biokaasut Porvoon Energian lämpökattiloille, joissa tuotettiin kaukolämpöä.



Kuva 5. Domargårdin jätekeskuksen soihtu

4.1 Biokaasupumppaamo

Biokaasupumppaamon tehtävänä on pitää riittävä alipaine imuputkistossa siten, että kaasu virtaa hallitusti ja turvallisesti pumppaamojärjestelmään, ja että haitalliset päästöt ympäristöön vähenevät. Alipaineen vaikutuksesta kaatopaikkakaasut kulkeutuvat kairoja ja putkistoja pitkin kaasupumppaamon kautta hyötykäyttöön tai soihtupolttoon. Vuodesta 2012 alkaen biokaasua on poltettu soihdussa, mutta vuoden 2019 aikana biokaasu saadaan johdettua lämpökattilalaitokselle. (Biokaasu pumppaamon tekninen erittely.)

Domargårdissa sijaitseva biokaasupumppaamo on miehittämätön ja automaattisesti toimiva laitos, jota ohjaa ohjelmoitu logiikkajärjestelmä. Biokaasulaitos on jaettu kahteen osaan: konehuoneeseen ja sähkötilaan. Konehuoneessa sijaitsee biokaasupumppaamo ja sähkötilaan on sijoitettu sähkökeskus laitteineen sekä logiikkajärjestelmä. Biokaasupumppaamo säädetään lähinnä metaani- ja happipitoisuuksien sekä kaasuvirtaamien

perusteella. Metaanipitoisuus ja kaasunkeräysaste ylläpidetään mahdollisimman suurena. Samalla pyritään kuitenkin välttämään ilman, esimerkiksi typen ja hapen pääsyä keräysjärjestelmään. (Biokaasu pumppaamon tekninen erittely.)



Kuva 6. Domargårdin jätekeskuksen biokaasulaitoksen sähkötila

Sähkötilan käyttöliityntä on toteutettu valvontajärjestelmällä, johon voidaan ottaa yhteys matkapuhelinverkon kautta. Biokaasulaitoksenvalvontajärjestelmä myös rekisteröi biokaasun koostumuksessa tapahtuvat muutokset muistiin tarkasteluita varten. (Biokaasupumppaamon tekninen erittely.)

4.1.1 Biokaasupumppaamon toiminta

Kaatopaikkakaasuja kerätään tällä hetkellä kahdelta jätetäyttöalueelta: täyttöalueelta 3 ja suljetulta alueelta 2. Kaasunkeräysjärjestelmän muodostavat 12 kaivoa ja kolme vaakalinjaa sekä kaasusalajalinjoja. (Domargårdin vuosiraportti 2018: 5.)

Muodostuva kaatopaikkakaasu menee biokaasupumppaamon vieressä sijaitsevaan vedenerottimeen, jossa neste erottuu vedenerotuskaivoon ja kaatopaikkakaasu nousee laitoksen mittauslinjaan. Mittauslinjan jälkeen kaatopaikkakaasu virtaa kokoojatukkiin ja siitä sisäiseen vedenerottimeen, jolloin suuret kiintoainepartikkelit ja jäljelle jääneet vesipisarot poistuvat kaasusta. Tämän jälkeen kaatopaikkakaasu menee suodattimen ja pikasulkuventtiilin läpi biokaasupumpulle. (Biokaasupumppaamon tekninen erittely.)

Kerran kuukaudessa kaasulinjoista mittavien kaasun koostumuksen, imupaineen, lämpötilan ja virtaustulosten perusteella biokaasulaitoksen pumppausteho säädetään sellaiseksi, että laitoksen polttoaineteho saadaan mahdollisimman suureksi. Koostumuksen tai kokonaispolttoainetehon muuttuessa suuresti tarkistusmittauksia voidaan tehdä useammin. (Biokaasupumppaamon tekninen erittely.) Biokaasupumppaamossa on omat virtaama- ja pitoisuusmittarit, joilla pystytään mittaamaan virtaamia ja pitoisuuksia tarpeen mukaan pitoisuuksien vaihdellessa tai ongelmatilanteissa. Biokaasulaitos huolletaan kolmen kuukauden välein, jolloin kaasukaivojen ja kaasulinjojen pitoisuudet ja virtaamat tutkitaan. (Domargårdin vuosiraportti 2018: 24.)

Biokaasupumppaamon kaasupumppu on kierroslukusäätöinen kiertomäntäpuhallin, jota on mahdollista ajaa vakio kierroksilla (eli vakiovirtaus) tai imupainesäädöllä (vakio imupaine) tai lähtöpainesäädöllä (vakio lähtöpaine). Kaasun kuivausjärjestelmä toimii jäähdytysperiaatteella, eli veden jäähdytin jäähdyttää vesi-glykoliseoksen asetusarvoon. Kiertovesipumppu 1 siirtää jäähdytysnesteen säiliöön, kiertovesipumppu 2 pumppaa jäähdytysnesteen säiliöstä lämmönvaihtimeen ja 3-tieventtiili säätää jäähdytysnesteen lämpötilan asetusarvoon. (Biokaasupumppaamon tekninen erittely.)

Kaasuputkiston painepuolella on kaasun kierrätysyhde. Kierrätysyhteeseen on sijoitettu ylivirtausventtiili, joka päästää paineen sen noustessa takaisin asetettuun arvoon kaasupumpun imupuolelle. Tämän vuoksi biokaasu voi jatkaa kiertoa vaikkei kaasua poltettaisikaan. Järjestelmä toimii myös varoventtiilinä, jottei biokaasua tarvitse ylipainetilassa päästää ulkoilmaan. Lähtöputkeen on asennettu jatkuvatoimiset kaasuanalysointorit, paineensäädin soihdupolttimen käyttöä varten ja virtaamamittari. (Biokaasupumppaamon tekninen erittely.)



Kuva 7. Sisäkuva Domargårdin kaasupumppaamosta

4.1.2 Ongelmatilanteet

Domargårdin biokaasupumppaamon yleisimmät pysähdysviat ovat joko erinäisiä sähkövikoja esimerkiksi sähkökatkoksista johtuen, tai tapauksia, joissa metaanipitoisuus laskee asetetun pysähdysrajan alapuolelle.

Kaatopaikkakaasun pumppaustehoa sekä biokaasun koostumusta ja lämpötilaa valvotaan jatkuvatoimisin mittauksin. Jos imulinjajärjestelmään menee liikaa ilmaa, pikasulkuventtiili menee kiinni ja alhaiset metaanipitoisuudet ja korkeat happipitoisuusarvot pysäyttävät kaasun pumppauksen. Kaasunpumpkauksen pysäytysrajoja pääsee muutta-

maan siten, että hapen ja metaanin tilavuusprosenttia säädetään (esimerkiksi happipitoisuus 6 tilavuusprosenttia ja metaanipitoisuus 25 pitoisuusprosenttia). Happi- ja metaanipitoisuuksien lisäksi muita kaasupumppauksen pysäytyksen johtavia ovat

- kaasun yllämpötila imu- tai painepuolella
- liian suuri kaasun imupaine tai lähtöpaine
- inventterihäiriö
- kiertomäntäpuhaltimen moottorin ylikuorma ja
- kaasuvuodonilmaisimen aiheuttama pysäytys.

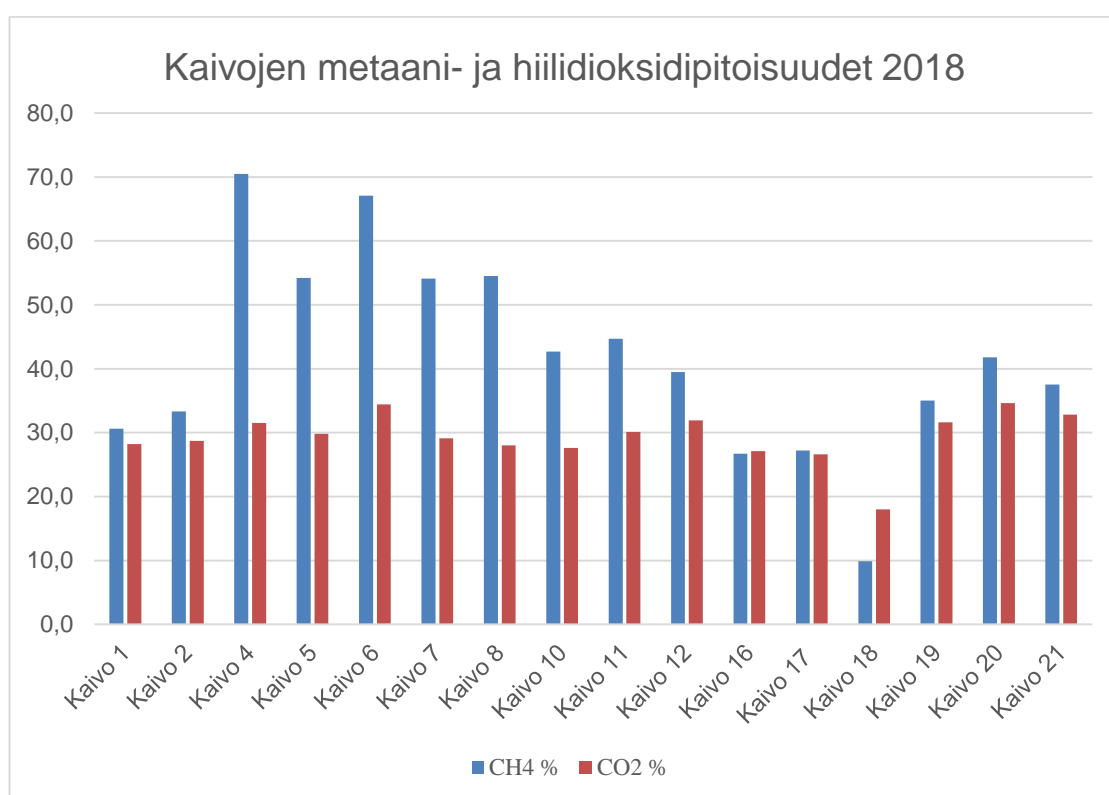
Kaasuvuodonilmaisimen on asennettu konehuoneeseen kaasupumpun yläpuolelle. Ilmaisimen hälytysrajan ylitys käynnistää konehuoneen tuulettimen ja pysäytysrajan ylitys pysäyttää kaasupumpun ja sulkee pikasulkuventtiilin. Pikasulkuventtiili sulkeutuu automaattisesti sähkökatkoksen yhteydessä. Äkillinen paineisku tai liekki estetään putkistossa liekinestimien avulla, jotka on sijoitettu imu- ja painepuolelle. Kaasupumpun molemmin puolin on asennettu palkeet vaimentamaan puhaltimen aiheuttamaa kuormitusta putkistossa. (Biokaasupumppaamon tekninen erittely.)

4.2 Biokaasulinjat ja -kaivot

Kaasunkeräysputkiston suunnitteluun vaikuttaa täyttöalueen virtaama ja arviointi siitä, kuinka paljon metaania muodostuu. Biokaasulinjojen ja -kaivojen sijoituksessa on kaksi vaihtoehtoa: imukaivot yhdistetään pumppaamolle tai ne yhdistetään ala-asemiin ja kaasu siirretään sieltä kokoojaputkistolla pumppaamolle. Imukaivojen yläosassa kaasun lämpötila vaihtelee 5–30 °C välillä. Lähellä maanpintaa kaasu voi jäähtyä, jolloin mahdollinen kaatopaikkakaasussa oleva vesihöyry tiivistyy putkistoon vedeksi. (Kukkamäki 2008: 78.)

Kaasunkeräysputkistossa oleva vesi on yksi suurimmista ongelmista biokaasulaitoksen toiminnassa. Tämän vuoksi kaasunkeräysputkisto on rakennettava yli 5 %:n kaltevuuteen sekä sijoitettava routarajan alle. Tärkeää on myös tarkkailla täyttöalueen painumia sekä kaltevuuksia. (Kukkamäki 2008: 78.)

Taulukossa 4 on esitetty metaani- ja hiilidioksidipitoisuuksia vuonna 2018. Taulukosta nähdään, että kaivon 18 metaanipitoisuus on alle 10 %, mikä on jo heikko tulos muiden kaivojen metaanipitoisuuksiin verrattuna. (Kaatopaikkakaasupumppaamon toimintaraportti 2018.)



Taulukko 4. Domargårdin kaivojen hiilidioksidi- ja metaanipitoisuudet vuonna 2018 (Kaatopaikkakaasupumppaamon toimintaraportti 2018).

Biokaasua kerätään suljetulta täyttöalueelta 2 yhteensä kahdeksalla kaivolla sekä yhdellä kaasusalaojaputkella. Aktiiviselta täyttöalueelta 3 kerätään tällä hetkellä neljällä kaivolla ja kolmella vaakalinjalla. Täyttöalueella 1 metaanipitoisuudet ovat pienet, eikä kaasun muodostumista juurikaan synny. Tällä täyttöalueella riittää jälkihoito ja tarkkailu.

Vuoden 2018 arvot laskivat hieman edellisvuosien arvoista lukuun ottamatta happipitoisuutta, jonka arvo nousi hieman. Taulukossa 5 on esitetty eri vuosien kaasun koostumukset sekä pitoisuudet vuosilta 2014–2018. Rikkivedyn pitoisuus oli hieman laskenut kuitenkin sen ollessa vielä suhteellisen korkea taulukon 5 mukaan.

Taulukko 5. Kaasun koostumus ja kokonaismäärä 2014-2018

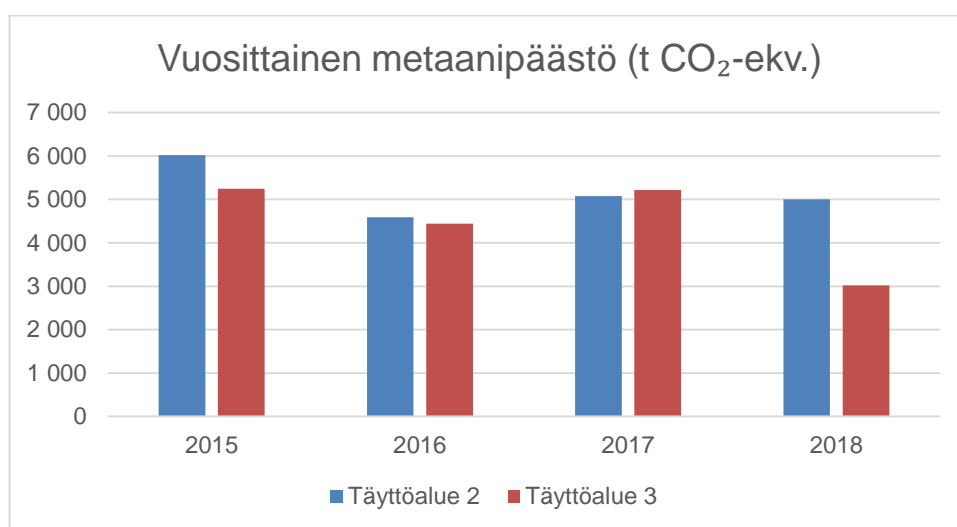
	2014	2015	2016	2017	2018
Metaani, %	46	44	39	40	34
Hiilidioksidi, %	36	35	34	33	30
Happi, %	0,3	0	0,1	0,3	0,8
Rikkivety, ppm	1791	1747	1515	1374	1098
Kokonaiskaasumäärä, milj.Nm ³	1,43	1,4	1,36	0,95	0,92

Kerätyn biokaasun kokonaismäärä oli vuotta 2017 pienempi huolimatta käyttöasteen noususta, mikä johtui pienemmästä tuntivirtaamasta (Kaatopaikkakaasupumppaamon toimintaraportti 2014–2018).

4.3 Domargårdin jätekeskuksen kaatopaikkakaasun sekä päästöjen tarkkailu

Vuonna 2012 Domargårdin jätekeskuksessa tarkasteltiin kaatopaikkakaasun muodostumisista sekä kaasunkeräysjärjestelmän toimintaa. Tulosten perusteella ehdotettiin toimenpiteitä biokaasun hallinnan tehostamiseksi. Vuonna 2012 tehdyt mittaukset osoittivat, kuinka kaasun muodostuminen oli vähentynyt merkittävästi verrattuna hajoamismalleihin perustuvissa laskelmissa. Täyttöalueella 2 suljettiin kaksi kaivoa vähäisen kaasun määrän vuoksi, mutta toimenpiteet eivät vaikuttaneet kaasupäästöihin vaan sen sijaan paransivat kaasulaitoksen käyttövarmuutta. Kerätyn metaanin määrä oli noin 60 m³/h ja metaanipäästö 7–8 m³/h. Kaasupäästöissä hiilidioksidin määrä oli lähes kaksinkertainen metaaniin verrattaessa, mikä johtui kaatopaikan pintarakenteessa hapettuvasta metaanista. Täyttöalueen 3 metaanin muodostuminen oli noin 117 m³/h ja hiilidioksidin muodostuminen 242 m³/h. Täyttöalueen 3 keskeisin tehostamistarve oli lisätä kaasukaivoja, joita on myös sinne tehty, viimeisimmät vuoden 2018 aikana. (Laurila & Sormunen 2012.)

Mallilaskelmien avulla pystytään määrittämään kaatopaikkojen metaanipäästöjä, sillä mittaamalla niitä ei pystytä tarkasti määrittämään. Laskelmissa tulee huomioida metaanin hajoamisen hitaus, jotta päästään luotettaviin laskelmiin. Yksi luotettava laskelma- malli on FOD-menetelmä. FOD-menetelmällä lasketaan kaatopaikkojen biohajoavien jät- teiden metaanipäästöt. (Kansallista aineistoa päästöjen mittaamiseen 2014.) Kuvassa 8 on esitetty Domargårdin jätekeskuksen metaanipäästöt vuosilta 2015–2018 (Domargår- din metaanilaskenta 2019).



Kuva 8. FOD-menetelmällä lasketut metaanipäästöt.

Kaatopaikalta purkautuvasta kaasun päästöjen mittauksessa tulee huomioida pinnan halkeamat sekä rakenteista, kuten kaivoista ja tarkistusputkista purkautuvat kaasut. Luotettavana menetelmänä pidetään mikrometeorologista tutkimista, jolloin päästöä mitataan joko ilmassa tai täyttöalueen päällä. Mikrometeorologinen kovarianssimenetelmä on myös ainoa, jolla mitataan hiilidioksidipäästöä luotettavasti. Tutkimuksen mittausjak- son aikana pyrittiin täyttöalueen 2 kaasunkeräysjärjestelmä optimoimaan sulkemalla kai- voja, joissa oli korkea typpipitoisuus tai vähäinen metaanin määrä. Näin pyrittiin välttä- mään myös eri toimintahäiriöt. (Laurila & Sormunen 2012.)

Vuoden 2012 mikrometeorologinen mittaus perustui kaasun virtauksen ominaisuuksien ja päästöjen mittaukseen. Kovarianssimenetelmä taas perustuu tuulivektorin ja kaasupi- toisuuksien turbulenttisen vaihtelun mittaamiseen 10 kertaa sekunnissa, jolloin myös

kaasuvuon havainnointi tehdään noin kaksi metriä maan pinnan yläpuolelta. (Laurila & Sormunen 2012.)

Domargårdin jätekeskuksessa on toteutettu kaatopaikkakaasujen purkautumisen määrän mittaamista kahdella eri tekniikalla. Ensimmäisessä mittaustekniikassa käytettiin liekin ionisaatiota, jossa mittaukset tehdään ruudukolla ja tulos kertoo ruudukon mittapisteen pitoisuuden. Toisessa mittaustekniikassa käytetään pintaemissiomittauksia jäte-täyttöalueen yläpuolella. Tekniikassa saadaan kattavasti tulos koko jäte-täyttöalueelta eikä ainoastaan pistemäisiä mittaustuloksia. Lisäksi pintaemissiomittauksessa saadaan lisätä mitattavia kohteita, kuten rikkiyhdisteet ja ammoniakki. (Domargårdin vuosiraportti 2018: 26–27.)

4.1 Biokaasun jakelu kaukolämpölaitokseen

Vuoden 2018 maaliskuussa saatiin Rosk'n Roll Oy Ab:n valmius laitoksen toimintaan, jonka jälkeen laitokseen on tehty teknisiä muutoksia ja kaasun optimointia. Vuoden 2019 aikana suunnitelmissa on saada uusi kaukolämpölaitos, joka sijaitsee Porvoossa Tarmolan teollisuusalueella, tuotannolliseen käyttöön. Tavoitteena on saada mahdollisimman suuri hyöty kaatopaikalla syntyvästä biokaasusta, jota vuodesta 2012 lähtien on jouduttu erinäisistä syistä polttamaan soihdussa.

Kaukolämpölaitoksella valmistetaan lämpöenergiaa, jota syötetään Porvoon Energian kaukolämpöverkkoon. Kaukolämpölaitoksen toiminnan saaminen tuottavaksi edellyttää kaasun säätelyä optimaaliseksi eli kaasun määrän ja laadun oikean tason löytämistä. (Filatov 2017.)

Kaukolämpöä tuotetaan jätekeskuksesta muodostuvasta biokaasusta, ja kaukolämpölaitoksen täytyy kestää metaanipitoisuuksien vaihteluja, suuria siloksaanipitoisuuksia sekä halogenoituja yhdisteitä, joita kaatopaikkakaasuissa yleensä muodostuu. Kaasun puhdistuksessa käytetään aktiivihiihi-suodatinta sekä kaasupesuria. Kaukolämpölaitoksen tuotantotehoksi edellytetään 0,4–2 kW, koska kaatopaikkakaasua muodostuu vaihtelevasti. (Filatov 2017.)

4.2 Kaukolämpölaitoksen toiminta

Uuden kaukolämpölaitoksen pääpolttonaineena on Domargårdin jätekeskuksessa muodostuva kaatopaikkakaasu, joka on säädetty taulukossa 6 laitokselle optimaalisiin arvoihin.

Taulukko 6. Kaatopaikkakaasun optimaaliset pitoisuudet kaukolämpölaitokset

Metaani	39,9 %
Hiilidioksidi	31,1 %
Typpi	28,1 %
Happi	0,3 %
Paine toimitusrajalla	150-200 mbar(g)

Kaukolämpölaitoksella tehty lämpöenergia siirretään kulutuskohteisiin eri putkistojen ja kiertovesipumppujen avulla. Kaukolämpölaitokselle virtaava vesi on valmistettu raakavedestä sitä pehmentämällä sekä lisäämällä kemikaaleja niin, ettei se aiheuta korroosiota esimerkiksi putkistoissa tai muissa kulutuskohteissa. (Filatov 2017.)

Lähtevän veden lämpötilaa säädetään siten, että lämpötila säätyy automaatiojärjestelmän asetusten mukaisesti. Säästöventtiilien avulla pystytään sekoittamaan palaavaa vettä lähtevän kuuman veden joukkoon, jolloin saadaan halutun lämpöistä vettä. Palaava vesi on puhdistettava epäpuhtauksista mekaanisen suodattimen avulla. Mekaanisen suodattimen sijoitetusta painemittarista voidaan lukea veden paine-ero ja puhdistustarve. Kiertovesipumppuja on kaukolämpölaitoksella kaksi kappaletta, joista kukin on teholtaan 22 kW. Yksi pumppu riittää siirtämään kattilan tuottaman tehon. Ongelmatilanteissa toinen kiertovesipumppu on varapumppuna. (Filatov 2017.)

Tarmolan teollisuusalueella sijaitseva kaukolämpölaitoksen kaasupoltintyyppi on Oilon GP-250 M, joka on täysin automaattinen ja toiminnaltaan luotettava poltin. Kaasupolttimen palopää on valmistettu ruostumattomasta terässeoksesta, ja palopää sekä liekki-levy kestävät jopa 1200 °C kuumuutta. Palopäässä ilmavirtausta pystytään säätämään koko tehoalueella. Liekin tarkkailua varten kaasupolttimeen on asennettu lasipäälysteinen aukko. Poltin soveltuu useisiin lämmitysratkaisuihin kuten höyrykattiloihin, lämmin- ja kuumavesikattiloihin sekä prosessilämmityksiin. Poltin on moduloiva, siinä on säätömoottori ja se toimii koko tehoalueella kuormasta riippuen. (Kiinteistöpolttimet 2019: 8.)

Lämpölaitoksen suunnittelupaine on 16 baaria ja suunnittelulämpötila 140 °C. Verkos-
toon lähtevä vesi on 75–120 °C ja palaava vesi noin 40–55 °C. (Filatov 2017.)

5 Johtopäätelmät

Luvussa 3.2 on esitetty taulukossa 3 metaanipitoisuuksia eri kaivoissa ja taulukossa 4 metaanin kokonaispitoisuuksia eri vuosilta. Metaanipitoisuuksien lasku johtui vedenpin-
nan noususta täyttöalueella 2 koska vedenpinnan nousu esti kaasun keräilyyn muuta-
masta hyvin kaasua tuottavasta kaivosta jätetäyttöalueella. Täyttöalueelle 2 rakennettiin
vuoden 2019 aikana kaksi uutta kaivoa, joiden pitäisi laskea vedenpintaa. Jos veden-
pinta laskee, pitäisi metaanipitoisuuksien ja kaasuntuoton nousta entiselle tasolle. Jäte-
täyttöalueelle 2 on valmistunut pintarakenteet, joiden pitäisi parantaa kaasun keräysti-
lannetta ja kaasunpitoisuuksia. (Rosk'n Roll Oy Ab sisäiset tiedot.)

Muita syitä metaanipitoisuuksien laskuun voi olla heikentynyt anaerobinen hajoaminen
linjan vaikutusalueella. Jos happipitoisuuden nousu on huomattavaa, voi olla kyse myös
täyttöalueen rakenteiden ongelmista. Kaivaukset tai raskas liikenne voivat saada täyttö-
alueen suojarakenteiden murtumaan ja näin ollen happea pääsee kertymään linjoihin
enemmän. Kuitenkin tämä on erittäin epätodennäköistä Domargårdin jätekeskuksessa,
uuden pintarakenteen vuoksi.

Opinnäytetyöni aikana kaukolämpölaitosta ei ehditty saamaan sellaiseen kuntoon, että
olisin voinut seurata kaukolämmön jakelua sekä sen toimintaa.

Yleisesti katsottuna biokaasun tuotanto ja käyttö tulevaisuudessa ovat mahdollisesti
nousussa. Biokaasua ja sen sisältää metaania voidaan käyttää monissa eri laitoksissa
sekä eri tarkoituksiin. Eri hyödyntämismuotoja ovat lämmöntuotanto kattilan poltto-
aineena ja sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitoksissa sekä ajoneuvopolttoaineena.
Yksi mahdollinen kehitysvaiheessa oleva menetelmä on Power-to-Gas-teknologia. (Bio-
kaasun tuotanto 2019.)

Power-to-Gas-menetelmällä pystytään varastoimaan uusiutuvaa energiaa kuten tuuli- tai
aurinkoenergiasta säästä riippumatta. Menetelmässä tuotetaan kemiallisesti metaania

pilkkomalla elektrolyysin avulla vettä hapeksi sekä vedyksi. Happea ja vetyä voidaan käyttää sellaisenaan tai jatkokäsitellä metaaniksi metanoinnin avulla, jolloin niitä on helppompi hyödyntää. (Biokaasun tuotanto 2019.)

Lähteet

Tietoa biokaasusta. 2019. Verkkoaineisto. Biokaasuyhdistys. <<http://www.biokaasuyhdistys.net/tietoa-bikaasusta/>> Luettu 3.5.2019

Biokaasu. 2014. Verkkoaineisto. Bioste. <<http://bioste.fi/bioenergia/biokaasu/>> Luettu 3.5.2019

Biokaasupumppaamon tekninen erittely. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Rosk'n Roll Oy Ab. 20.6.2019

Biokaasun käyttö. 2019. Verkkoaineisto. Biokaasuyhdistys. <<http://www.biokaasuyhdistys.net/tietoa-biokaasusta/kaytto/>> Luettu 3.5.2019

Biokaasun tuotanto. 2019. Verkkoaineisto. Biokaasuyhdistys. <<http://www.biokaasuyhdistys.net/tietoa-biokaasusta/tuotanto/>> Luettu 3.5.2019

Biokaasun tuotanto maatilalla. 2013. Verkkoaineisto. Motiva. s. 6–7. <https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf> Luettu 17.5.2019.

Domargårdin metaanilaskenta. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Rosk'n Roll Oy.

Domargårdin jätekeskuksen vuosiraportti. 2018. Verkkoaineisto. Rosk'n Roll Oy Ab. <<https://roskroll.sharepoint.com/sites/Toimialat/Vuosiraportit/Domarg%c3%a5rd%20vuosiraportti%202018.pdf>> Luettu 6.5.2019

(Domargårdin jätekeskuksen vuosiraportti. 2017. Verkkoaineisto. Rosk'n Roll Oy Ab. <<https://vk2017.roskroll.fi/iuj/>> Luettu 21.6.2019)

Domargårdin ympäristölupa. 2017. Verkkoaineisto. Rosk'n Roll Oy Ab. <<https://roskroll.sharepoint.com/sites/Toimialat/Ympristluvut/Domarg%c3%a5rd%20ymp%c3%a4rist%c3%b6lupa%2015.12.2017.pdf>> Luettu 21.6.2019

Filatov, Markku. 2017. Kaukolämpöyksikön määrittely. Yrityksen sisäisen dokumentti. Rosk'n Roll Oy Ab. Luettu 16.7.2019

Filatov, Markku & Sormunen, Kai. 2012. Kaasun hyödyntämistarkastelut. Yrityksen sisäisen dokumentti. Rosk'n Roll. Oy Ab. Luettu 20.6.2019

Hirvonen, Janne. 2010. Kaatopaikkakaasun puhdistaminen ja analysointimenetelmät. Pro Gradu – tutkielma. Jyväskylän yliopisto, Uusiutuvan energian maisteriohjelma. s.1–6. < <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/24571/1/URN%3ANBN%3Afi%3Aaju-201007012210.pdf>> Luettu 10.6.2019

Itä-Uudenmaan jätekeskuksen kuvaajat. 2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Rosk'n Roll Oy Ab. Luettu 29.11.2019

Jätehuollon kehitys itsenäisen Suomen historiassa. 2019. Verkkoaineisto. Kivo.< <https://kivo.fi/jatehuollon-kehitys-itsenaisen-suomen-historiassa/>> Luettu 6.5.2019

Jätetäytön sisäinen vesi. 2019. Verkkoaineisto. Kiertokapula. < <https://www.kiertokapula.fi/kiertokapula/vuosikatsaus-2012/ymparistokatsaus/jatetayton-sisainen-vesi/>>

Kaatopaikkakaasupumppaamon toimintaraportti. 2013. Yrityksen sisäinen dokumentti. Rosk'n Roll Oy Ab. Luettu 9.7.2019

Kaatopaikkakaasupumppaamon toimintaraportti. 2014. Yrityksen sisäinen dokumentti. Rosk'n Roll Oy Ab. Luettu 9.7.2019

Kaatopaikkakaasupumppaamon toimintaraportti. 2015. Yrityksen sisäinen dokumentti. Rosk'n Roll Oy Ab. Luettu 9.7.2019

Kaatopaikkakaasupumppaamon toimintaraportti. 2016. Yrityksen sisäinen dokumentti. Rosk'n Roll Oy Ab. Luettu 9.7.2019

Kaatopaikkakaasupumppaamon toimintaraportti. 2017. Yrityksen sisäinen dokumentti. Rosk'n Roll Oy Ab. Luettu 9.7.2019

Kaatopaikkakaasupumppaamon toimintaraportti. 2018. Yrityksen sisäinen dokumentti. Rosk'n Roll Oy Ab. Luettu 12.6.2019

Kaatopaikkojen tiivistysmateriaaleina käytettävien teollisuuden sivutuotteiden ympäristökelpoisuus. 2004. Verkkoaineisto. VTT. s. 22-23. Verkkoaineisto. <<https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2246.pdf>> Luettu 20.6.2019

Kansallista aineistoa päästöjen mittaamiseen. 2014. Verkkoaineisto. Ympäristö. <https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Asiointi_luvat_ja_ymparistovaikutusten_arviointi/Luvat_ilmoitukset_ja_rekisterointi/Paastotiedon_ilmoittaminen_paastorekistereihin_PRTR/Kansallista_aineistoa> Luettu 15.6.2019

Kaukolämpötilastot. 2017. Verkkoaineisto. Energia. <https://energia.fi/files/2949/Kaukolampotilasto_2017.pdf> Luettu 16.6.2019

Kaukolämmöntuotanto. 2019. Verkkoaineisto. Energia. <https://energia.fi/energia-asta/energiantuotanto/kaukolammon_tuotanto> Luettu 16.6.2019.

Kiinteistöpolttimet. 2019. Verkkoaineisto. Oilon. s. 8 <https://oilon.com/fi/system/files?file=2019-04/Household_polttimet_FI.PDF> Luettu 16.7.2019.

Kohti ravinteiden kierrätyksen läpimurtoa. 2019. Marttinen, Sanna; Venelampi, Olli; Iho, Antti; Koikkalainen, Kauko; Lehtonen, Eeva; Luostarinen, Sari; Rasa, Kimmo; Sarvi, Minna; Tampio, Elina; Turtola, Eila; Ylivainio, Kari; Grönroos, Juha; Kauppila, Jussi; Koskiahho, Jari; Valve, Helena; Laine-Ylijoki, Jutta; Lantto, Raija; Oasmaa, Anja; zu Castell-Rüdenhausen, Malin. Verkkoaineisto. Luonnonvarakeskus. s. 2–3,13 <https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/540214/luke-luobio_45_2017.pdf?sequence=12> Luettu 15.5.2019.

Kukkamäki, Markku. 2008. Kaatopaikkojen käytöstä poistaminen ja jälkihoito. Verkkoaineisto. SYKE. s. 76–78. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10138/41544/SYKE_OH_1_2008.pdf?sequence=2> Luettu 17.5.2019.

Laurila, Tuomas & Sormunen Kai. 2012. Kaasujen hallinnan tehostaminen. Yrityksen sisäinen dokumentti. Rosk'n Roll Oy Ab. Luettu 17.6.2019.

Läntelä, Jussi. 2007. Kaatopaikkakaasun puhdistaminen liikennepolttoaineeksi vastavirtavesiabsorptiolla. Pro gradu tutkielma. Jyväskylän yliopisto, Bio- ja ympäristötieteidenlaitos. s. 20. <<https://docplayer.fi/8149213-Kaatopaikkakaasun-puhdistaminen-liikennepolttoaineeksi-vastavirtavesiabsorptiolla.html>> Luettu 29.11.2019.

Niskanen, Antti. 2012. Kaatopaikkakaasujen keräämisessä ja käsittelyssä on paljon parantamisen varaa. Verkkoaineisto. LUT. <https://www.lut.fi/uutiset/-/asset_publisher/h33vOeufOQWn/content/vaitos-kaatopaikkakaasujen-keräämisessä-ja-käsittelyssä-paljon-parantamisen-varaa> Luettu 10.11.2019.

Nygård, Henry & Rosk'n Roll. 2013. Kaatopaikkayhtiöstä palveluyhtiöksi. Rosk'n Roll Oy Ab. s. 30–31

Pulsa, Mikko. 2008. Biokaasun syöttö maakaasuverkostoon. Diplomityö. Lappeenrantaan teknillinen yliopisto, Energiatekniikan koulutusohjelma. s.31 <<https://lut-pub.lut.fi/bitstream/handle/10024/38643/nbnfi-fe201105171575.pdf?sequence=5&isAllowed=y>> Luettu 3.6.2019.

Termofiilinen. 2019. Verkkoaineisto. Eneferm. <<http://eneferm.fi/teknologiat/termofiilinen/>> Luettu 12.5.2019

Tietoa kaukolämmöstä. 2019. Verkkoaineisto. Rauman energia. <<https://raumanenergia.fi/kaukolampo/tietoa-kaukolammosta>> Luettu 12.6.2019.

Tyypipipoikkileikkaus kaasunkeräyssalaojasta. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. Rosk'n Roll Oy Ab.

Uusiutuvan energian tuotannon ja käytön ympäristövaikutukset ja – riskit. 2014. Leskinen, Pekka; Holma, Anne; Manninen, Kaisa; Sinkko, Taija; Pasanen, Karri; Rantala, Mirja; Sokka, Laura. Verkkoaineisto. Ympäristöministeriön raportteja. s. 29 <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/44838/YMra_9_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Luettu 20.5.2019

Valtionneuvoston asetus kaatopaikoista. 2013. 331/2013. Verkkoaineisto. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130331>> Luettu 6.5.2019

Volatile Organic Compounds' Impact on Indoor Air Quality. 2019. Verkkoaineisto. Epa. <<https://www.epa.gov/indoor-air-quality-iaq/volatile-organic-compounds-impact-indoor-air-quality>> Luettu 7.5.2019.

Väisänen, Petri & Salmenoja, Jarkko. 2002. Verkkoaineisto. Biokaasun muodostuminen ja sen hallittu käsittely kaatopaikoilla. s. 22<<https://docplayer.fi/80171-Biokaasun-muodostuminen-ja-sen-hallittu-kasittely-kaatopaikoilla-petri-vaيسانen-jarkko-salmenoja.html>> Luettu 6.5.2019