

Joni Heikkinen

**MAJASAAREN JÄTEKESKUKSEN BIOKAASUN HYÖDYNTÄMINEN  
TULEVAISUUDESSA**

Insinööriö  
Kajaanin ammattikorkeakoulu  
Tekniikan ja Liikenteen ala  
Rakennustekniikka  
Kevät 2008



**Kajaanin  
ammattikorkeakoulu**

## OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Rakennustekniikka
Tekijä(t) Joni Heikkinen	
Työn nimi Majasaaren jätekeskuksen biokaasun hyödyntäminen tulevaisuudessa	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot	Ohjaaja(t) Jari Kurtelius, Pekka Agarth
	Toimeksiantaja Kainuun jätehuollon kuntayhtymä
Aika Kevät 2008	Sivumäärä ja liitteet 62 + 6
<p>Ilmaston lämpeneminen on vakava maailmanlaajuinen ongelma, jota pyritään estämään erilaisten päästövelvoitteiden ja -tavoitteiden avulla. Vuonna 1997 tuli voimaan valtioneuvoston päätös, joka velvoittaa kaatopaikoilla muodostuvan biokaasun keräämiseen ja käsittelyyn.</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää Kajaanissa toimivan Majasaaren jätekeskuksen biokaasun hyödyntämistä vaihtoehtoja tulevaisuudessa. Tällä hetkellä biokaasua käytetään hyödyksi lämmitykseen, mutta 80 prosenttia kaasusta poltetaan soihdussa. Tavoitteena oli löytää paras ja tehokkain hyödyntämistä vaihtoehto biokaasulle.</p> <p>Työssä perehdyttiin kaatopaikkoja koskeviin lakeihin ja asetuksiin. Selvitykseen kuuluivat myös biokaasun muodostuminen ja kaasun määrään vaikuttavat tekijät. Seuraavaksi selvitettiin Majasaaren jätekeskuksen biokaasupotentiaali ja kaasun hyödyntämiseen käytettävät vaihtoehtot kyseisessä paikassa. Lopuksi laskettiin investointi- ja käyttökustannukset yhdistetylle lämmön ja sähköntuotantolaitokselle.</p> <p>Laskettiin kustannukset suurella ja pienellä investointivaihtoehdolla. Suuri investointivaihtoehto sisältää Majasaarissa muodostuvan biokaasun hyödyntämisen sähkön ja lämmön tuotantoon, lisäksi sähköä tuotettaisiin myös myyntiin asti. Pieni investointivaihtoehto sisältää sähkön ja lämmön tuotannon vain Majasaaren omiin tarpeisiin. Laskelmista todettiin, että laitteiston nykyarvo on molemmilla investointivaihtoehdoilla positiivinen ja näin ollen investointi on kannattava. Laitteiston takaisinmaksuaikaksi saatiin yli 12 vuotta, mitä pidetään liian pitkänä. Laitteiston takaisinmaksuaika täytyisi saada alle 10 vuoteen. Investoinnin kannattavuutta ja biokaasupotentiaalia täytyy selvittää tarkemmin, mikäli ryhdytään toteuttamaan investointeja.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Biokaasu, biokaasun hyödyntäminen, kaatopaikan biokaasun hyödyntäminen
Säilytyspaikka	<input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Construction Engineering
Author(s) Joni Heikkinen	
Title The Utilization of Biogas in Majasaari waste center in the Future	
Optional Professional Studies	Instructor(s) Jari Kurtelius M.Sc. , Lic.Sc. ( Tech ) Pekka Agarth
	Commissioned by Kainuun jätehuollon kuntayhtymä
Date Spring 2008	Total Number of Pages and Appendices 62 + 6
<p>Global warming is a universal topic all over the world nowadays. There are efforts to diminish global warming by different kinds of limits and targets set on emissions. According to the law from the year 1997, the biogas formings in the landfills have to be collected and treated.</p> <p>The purpose of this Bachelor's thesis was to study the utilization potential of biogas at Majasaari waste center in Kajaani in the future. At this moment Majasaari waste center utilizes biogas for heating, but 80 percent of the biogas is burnt in a torch. The main point was to find the best and most effective method for using the biogas.</p> <p>The objective was to study the legislation and articles which affect the landfill. The objective was also to study how biogas forms in the landfill and to study what kind of factors have an influence on the quantity of biogas. The thesis concentrated especially to calculate and estimate the potential for using biogas in Majasaari in the future. In the study investment and consumption costs were calculated for the electricity and heat alternatives.</p> <p>According to the small and big investment calculation, a microturbine is the best solution in Majasaari. Both investment calculations are positive if the current investment value is considered. So it can be said that the investment is profitable. The time of repayment is over twelve years, so it is not reasonable. It is important to study the investment cost-effectiveness.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	Biogas, Utilization of biogas, Landfill
Deposited at	<input type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences



## ALKUSANAT

Insinöörityö on tehty Kainuun jätehuollon kuntayhtymän toimeksiannosta Majasaaren jätekeskuksen biokaasun hyödyntämiselle ja opinnäytetyöksi Kajaanin ammattikorkeakoulun rakennustekniikan osastolle. Ohjaavana ja valvovana opettajana toimi Jari Kurtelius.

Haluan kiittää kaikkia henkilöitä, jotka ovat olleet mukana tämän työn eri vaiheissa. Erityiskiitokset koulun puolesta kuuluvat Jari Kurteliukselle, Pekka Agarhille sekä Eero Soiniselle. Kainuun jätehuollon kuntayhtymän puolesta haluan erityisesti kiittää Esa Kumpulaista sekä Eero Piirasta mielenkiintoisesta ja vaativasta aiheesta, jonka parissa olen viettänyt lukemattomia työtunteja.

Kajaanissa 11.4.2008

Joni Heikkinen

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 KAASTOPAIKKOIHIN LIITTYVÄT ASETUKSET JA LAIT	2
2.1 Kaatopaikan pohja- ja pintarakenteet	3
2.2 Kaatopaikan vesien ja kaasun hallinta	5
2.3 Kaatopaikan perustilaselvitys, jälkihoitovaiheen valvonta ja tarkkailu	5
3 KAASTOPAIKAN TARKKAILU JA SEURANTA	6
3.1 Jätetäyttö	6
3.2 Pohja- ja pintavedet	6
3.3 Kaatopaikkakaasu	6
3.4 Kaatopaikkavedet	7
4 ORGAANISEN AINEEN HAJOAMINEN KAASTOPAIKALLA	8
4.1 Orgaanisen aineen hajoamisprosessit	8
4.2 Aerobinen hajoamisprosessi	8
4.3 Anaerobinen hajoamisprosessi	8
5 BIOKAASUN MÄÄRÄÄN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	10
5.1 Kosteus	10
5.2 Jätteen koostumus	10
5.3 Happi	12
5.4 Ravinteet ja sulfaatti	13
5.5 Lämpötila ja happamuus	13
5.6 Mikrobikanta	14
5.7 Biokaasun muodostumisen vaiheet	14
6 BIOKAASUN VAIKUTUS KAASTOPAIKAN YMPÄRISTÖÖN	17
6.1 Kasvihuonevaikutus	17
6.2 Hajuhaitat ja kaatopaikkapalot	17
6.3 Biokaasun käsittely kaatopaikoilla	18
6.4 Passiivinen käsittely	19
6.5 Aktiivinen käsittely	20

7	BIOKAASUSTA SAATAVA ENERGIA	25
	7.1 Energiasisältö	25
	7.2 Metaani	26
8	MAJASAAREN JÄTEKESKUS	27
9	MAJASAAREN JÄTEPENKAN JÄTEMÄÄRÄT	29
10	MAJASAAREN BIOKAASUN TUOTANTO	30
	10.1 Majasaaren biokaasulaitos	30
	10.2 Hyötykäytetty biokaasun määrä	30
	10.3 Vuosittaisen biokaasupotentiaalin arvioiminen	31
11	HYÖDYNTÄMISVAIHTOEHDOT MAJASAARESSA	35
	11.1 Lämmön tuotanto	35
	11.2 Sähkön ja lämmön tuotanto tai pelkkä sähkön tuotanto	35
	11.3 Liikenteen polttoaine	35
	11.4 Kaasuputki Kainuun voiman lämpövoimalalle	36
12	MITEN KAASUN SISÄLTÄMÄ ENERGIA SAADAAN HYÖTYKÄYTTÖÖN	37
	12.1 Poltto- ja dieselmoottori	37
	12.2 Kaasuturbiini (mikroturbiini)	38
	12.3 Stirling-moottori	39
	12.4 Polttokenno	40
13	INVESTOINTI- JA KÄYTTÖKUSTANNUKSET ERI VAIHTOEHDOILLE	42
	13.1 Polttomoottori	42
	13.2 Kaasuturbiini (mikroturbiini)	42
	13.3 Stirling-moottorit	43
	13.4 Polttokenno	43
	13.5 Kaasuputki Kainuun voiman lämpövoimalalle	43
14	INVESTOINTILASKELMAT	44
	14.1 Investoinnin laskemisessa käytettäviä arvoja	44
	14.2 Investointivaihtoehto 1 (suuri)	46
	14.3 Majasaaren sähkönkulutus	49
	14.4 Nykyarvomenetelmä	51
	14.5 Investointivaihtoehto 2 (pieni)	53

15 SÄHKÖN PIENTUOTANNON LIITTÄMINEN VERKKOON	56
15.1 Pienen sähköntuottajan oikeudet ja lainsäädäntö	56
15.2 Verotus, tuet ja lainsäädäntö	57
15.3 Sähköverkkoon liittyminen	57
15.4 Tarvittavat sopimukset	58
16 YHTEENVETO	62
LÄHTEET	63
LIITTEET	



## 1 JOHDANTO

Tämän insinööriyön tarkoituksena on tutkia biokaasun hyödyntämiseen käytettäviä mahdollisuuksia Kajaanissa toimivassa Majasaaren jätekeskuksessa. Biokaasua hyödynnetään tällä hetkellä jätekeskuksen rakennusten lämmitykseen, mutta suurin osa biokaasusta menee soihduttuun ja näin hyvää energiaa palaa hukkaan. Vuoden 2005 tilastojen mukaan Majasaarossa tuotetusta biokaasusta hyödynnettiin 16 % ja 84 % poltettiin soihdussa. Voin todeta, että ”euroja palaa tälläkin hetkellä hukkaan aika paljon”.

Tavoitteena on saada selvitettyä Majasaaren jätekeskuksessa muodostuvalle biokaasulle sopivin hyödyntämisvaihtoehto. Majasaaren jätemäärät tulevat kasvamaan, koska kaikki Kainuusta (asukkaita n. 83 000) tuleva kaatopaikalle sijoitettava jäte tuodaan Majasaareen. 83 000 asukasta tuottaa kaatopaikkajätettä noin 30 000 tonnia vuodessa. Työssä on tarkasteltu Majasaaren jätekeskuksen tämänhetkistä biokaasupotentiaalia ja pyritty löytämään kustannustehokkain hyödyntämisratkaisu.

Biokaasu sisältää metaania 35–80 %. Metaani vaikuttaa ilmaston lämpenemiseen ja sen lämmityspotentiaali (GWP) on 100 vuoden aikana 23 massayksikköä verrattuna hiilidioksidin yhteen massayksikköön. Lämmityspotentiaali kertoo kaasun aiheuttamaa lämmitysvaikutusta massayksikköä kohti ja sitä verrataan hiilidioksidiin.

## 2 KAASTOPAIKKOIHIN LIITTYVÄT ASETUKSET JA LAIT

Suomessa kaatopaikkatoiminta perustuu voimassa oleviin lainsäädännöksiin ja asetuksiin. Kaatopaikkalainsäädäntö kohtelee tasapuolisesti niin yksityisiä kuin kuntayhtymienkin omistuksessa olevia kaatopaikkoja. Lainsäädännön tarkoitus on ohjata kaatopaikkojen toimintaa sen rakentamisesta aina kaatopaikkojen sulkemiseen ja sen jälkihoitoa ohjaaviin toimenpiteisiin saakka.

Tärkeimpiä lakeja ja asetuksia ovat Laki ympäristövaikutuksen arvioinnista (461/1994), Ympäristölaki (86/2000) ja -asetus (169/2000), Jätelaki (1072/1993) ja -asetus (1390/1993), ympäristöministeriön asetus yleisimpien jätteiden ja ongelmajätteiden luettelosta (1129/2001), Valtioneuvoston päätökset kaatopaikoista (861/1997 ja 1049/1999).

Tämän työn oleellisin laki on Valtioneuvoston päätökset kaatopaikoista (861/1997) ja (1049/1999). Selvitän kyseiset lakikohdat kaatopaikkakaasun keräykseen ja hyötykäyttöön oleellisesti vaikuttavista asioista. Valtioneuvoston päätökset kaatopaikoista (861/1997) liitteessä yksi käytetään seuraavanlaisia termejä.

Kaatopaikalla tarkoitetaan sellaista paikkaa, johon jäte sijoitetaan pysyvästi maan päälle tai maahan, eikä jätettä aiota hyödyntää tai kierrättää sen jälkeen. Päätöksen mukaan on olemassa tavanomaisen jätteen, pysyvän jätteen ja ongelmajätteen kaatopaikkoja. Tarkemmat kaatopaikkamäärittelyt on esitetty tämän työn liitteissä 1–6. Kaatopaikalle saa sijoittaa vain kyseisen luokan jätettä. Kaatopaikkakelpoisuustestien avulla selvitetään jätteen kaatopaikkakelpoisuus, jolloin jätteet voidaan sijoittaa juuri oikean luokan kaatopaikalle.[1.]

Kaatopaikan jälkihoidolla tarkoitetaan käytöstä poistetun tai poistettavan kaatopaikan ympäristövaikutusten seuraamiseksi tai torjumiseksi toteutettavia toimia. Kaatopaikkakaasu eli biokaasu syntyy kaatopaikalle tuotujen bioperäisen aineksen hajoamisen seurauksena. Biokaasu sisältää suurimmaksi osaksi metaania ja hiilidioksidia. Rikkiyhdisteet aiheuttavat biokaasulle ominaisen hajun.

Suotovedellä tarkoitetaan sade- ja sulamisvesien kulkeutumista jätetäytön läpi. Suotovettä muodostuu myös kaatopaikalle tuotavien jätteiden mukana. Kaatopaikka-alueen pinnalla valuvia puhtaita vesiä sanotaan valumavesiksi. Jätepenkereen sisällä olevaa vettä kutsutaan kaatopaikan sisäiseksi vedeksi. [1.]

Valtioneuvoston päätöksessä (861/1997) esitetään kaatopaikalle asetettavia yleisiä vaatimuksia. Näihin kuuluvat kaatopaikan vesien käsittely, kaatopaikan pohjarakenteiden vaatimukset, pintarakenteet, kaatopaikkakaasun keräilyyn ja käsittelyyn liittyviä määräyksiä sekä kaatopaikan jälkihoitovaiheen valvonta ja tarkkailu. Kaatopaikan pohjarakenteiden vaatimukset tulevat voimaan 1.11.2007, minkä jälkeen ns. pohjaamattomia kaatopaikkoja ei saa käyttää. Ne pitää sulkea ja jätteet viedä pohjatulle kaatopaikalle. [2.]

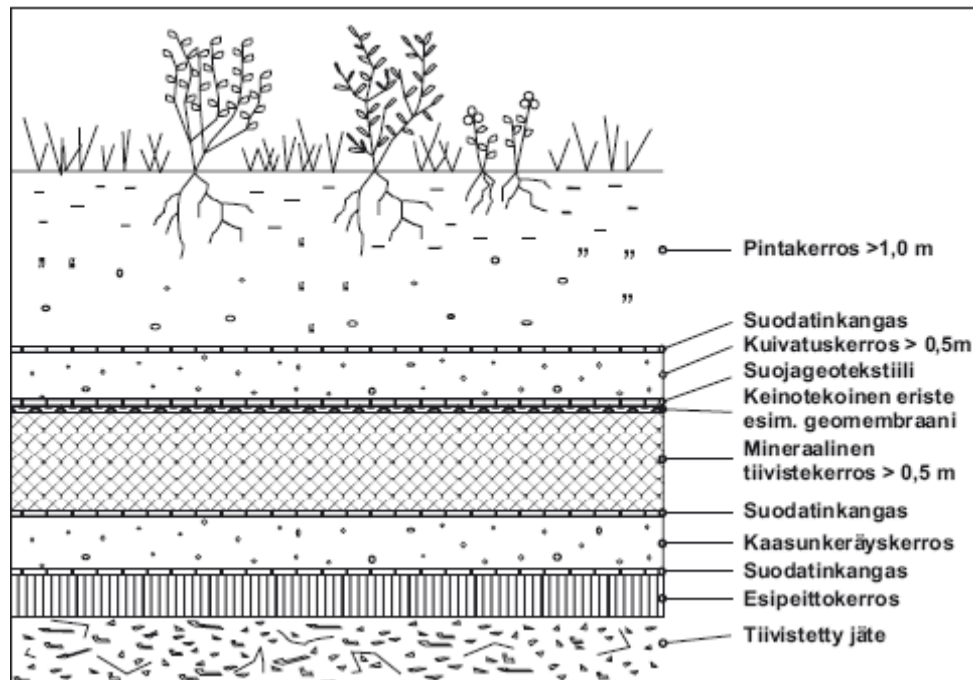
## 2.1 Kaatopaikan pohja- ja pintarakenteet

Kaatopaikan pohjarakenteilta vaaditaan että, maaperän täytyy olla tiivis ja kantava. Tiiviin pohjakerroksen tehtävä on estää jätepenkan läpi kulkeutuneiden suotovesien sekoittuminen puhtaan pohjaveden kanssa. Kaatopaikan maaperälle on olemassa paksuus- ja vedenläpäisevyysvaatimukset riippuen kaatopaikalle sijoitettavasta jätteen laadusta. Majasaaren jätekeskus kuuluu tavanomaisen jätteen kaatopaikkaluokkaan. Kyseiset vaatimukset ovat seuraavanlaisia. Pohjan paksuus tulee olla yhden metrin ja vedenläpäisevyys  $K \leq 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ . Vedenläpäisevyys  $K$  tarkoittaa veden kulkeutumisenopeutta tietyn rakenteen läpi.

Kaatopaikan jätetäytön saavutettua lakikorkeutensa sen päälle on rakennettava tietyt kerrokset. Tavanomaisen jätteen jätteenpenkkaan vaaditaan:

- Kaasunkeräyskerros, joka tulee varsinaisen jätetäytön päälle. Kaasunkeräyskerroksen päälle tulee keinotekoinen eriste, jota ei ole pakollinen tavanomaisen jätteen penkassa
- Tiivistyskerros on vähintään 0,5 metrin vahvuinen ja sen vähimmäiskaltevuus on 5 %
- Kuivatuskerroksen paksuus on vähintään 0,5 metriä
- Pintakerros tulee päällimmäiseksi ja paksuus on vähintään metrin.

Kerrosvaatimukset muuttuvat kaatopaikkaluokan mukaan.[2.] Kuvassa 1 on esitetty periaatekuva kaatopaikan pintarakenteista.



Kuva 1. Kaatopaikan pintarakenteet [3.]

Kaasunkeräyskerroksen pääperiaate on jätetäytössä syntyneen biokaasun kerääminen ja johtaminen hallitusti hyödynnettäväksi. Kaasunkeräyskerros koostuu karkeasta maa-aineksesta, joka liitetään jätetäytössä olevaan kaasunkeräysjärjestelmään. Kerroksen paksuus on vähintään 0,3 metriä. Kaasunkeräyskerrokseen tai sen alapuolelle voidaan myös rakentaa erillinen kosteudenjakokerros putkistoinen. Kosteudella on nimittäin suuri merkitys kaasun muodostukseen. Jätepenkereen kasteluun voidaan käyttää jätepenkan läpi kulkeutuvaa suotovettä.

Tiivistyskerroksen tehtävä on estää jätetäytöstä tulevan biokaasun pääsy ilmakehään. Se myös estää liiallisten vesien imeytymisen jätetäyttöön. Tiivistyskerros täytyy tehdä huolellisesti, sillä muuten jätepenkasta pääsee biokaasua ilmakehään. Tiivistyskerroksen vedenläpäisevyyden ja kaltevuuden avulla voidaan säädellä jätetäyttöön imeytyvän veden määrää ja näin ollen suotoveden määrää. Tiivistyskerros rakennetaan yleensä savesta, siltistä, siltimoreenista tai maabentonitista. Materiaalien täytyy säilyttää tiiviysominaisuutensa myös vetojännitystilanteissa.

Pintakerros tehdään vettä pidättävästä luonnonmaa-aineksesta. Pintakerros toimii kasvualustana kaatopaikan maisemoinnissa käytettävälle kasvillisuudelle. Pintakerroksen vähimmäispaksuus on yksi metri. Pintakerros toimii metaanin ja hajukaasujen biologisena hapettimena. [3.]

## 2.2 Kaatopaikan vesien ja kaasun hallinta

Kaatopaikka-alueen puhtaat pinta- ja valumavedet on pidettävä erillään jätteestä ja kaatopaikkavesistä. Ulkopuolelle johdettavien kaatopaikkavesien määrä on pidettävä pienenä ja niistä aiheutuvat kuormitukset vähäisinä. Kerätyt kaatopaikkavedet on puhdistettava tehokkaasti kaatopaikalla tai johdettava muualle puhdistettavaksi.

Kaatopaikkakaasun kertymistä ja purkautumista on valvottava Valtioneuvoston päätöksen (861/1997) liitteen 3 mukaisesti. Kaatopaikkakaasu on kerättävä yhteen ja mahdollisuuksien mukaan hyödynnettävä. Mikäli kerättyä kaasua ei voida hyödyntää, on se käsiteltävä polttamalla, jos kaatopaikan biokaasuntuotanto on vähäistä ja taloudellisesti kannattamatonta, voidaan biokaasu käsitellä biologisesti eli hapettamalla syntynyt metaani hiilidioksidiksi. Biokaasun talteenotolla on monenlaisia tarkoituksia. Sillä estetään kasvihuoneilmiötä, vähennetään kaatopaikan hajuhaittoja ja kaatopaikkapalon riskiä sekä kaatopaikan pintakasvillisuudelle aiheuttavia haittoja. [4.]

## 2.3 Kaatopaikan perustilaselvitys, jälkihoitovaiheen valvonta ja tarkkailu

Perustilaselvitys on tehtävä ennen kaatopaikkatoiminnan aloittamista tai jälkihoitovaiheen tarkkailun aloittamista. Ennen kaatopaikan sulkemista on tehtävä perustilaselvitys kaatopaikkakaasun muodostumisesta ja alueen pinta- ja pohjavesien korkeudesta sekä tilasta. Myöhemmin tehtävien tarkkailujen tuloksia voidaan verrata perustilaselvityksen antamiin tuloksiin.

Valtioneuvoston päätöksen (861/1997) mukaan kaatopaikan jälkihoitovaiheessa täytyy valvoa seuraavia asioita: jätetäyttöä, pohja- ja pintavesiä, kaatopaikkakaasua ja kaatopaikkavesiä. Kaatopaikalla seurattavien vesien ja kaasun tarkkailuun on laadittava tarkkailuohjelma. Vuosittain on myös laadittava kaatopaikan valvonnasta ja tarkkailusta raportti, jossa kerätään yhteen vuoden aikana tehdyt tarkastukset ja selvitykset. Raportista täytyy näkyä myös vastaanotetut jätteet jätelajeittain. [4.]

### 3 KAASTOPAIKAN TARKKAILU JA SEURANTA

#### 3.1 Jätetäyttö

Jätetäytön tarkkailua varten tarvitaan seuraavia tietoja: pinta-ala, tilavuus, koostumus ja painuminen. Jätetäytön sisältä tarvitaan sisäiset ominaisuudet, kuten lämpötila ja pohjaveden korkeus. Täytyy löytyä myös tiedot jätetäytön sijoittamismenetelmästä, käytetyistä täyttöalueilta ja laskelma jätetäytön jäljellä olevasta tilavuudesta. Jätetäyttöä ja sen painumista on tarkkailtava täyttämisen ja jälkihoitovaiheen aikana.

#### 3.2 Pohja- ja pintavedet

Pohjavesiä on tarkkailtava kaatopaikan alapuolelta vähintään kahdesta eri näytteenottokohdasta ja kaatopaikan yläpuolella vähintään yhdestä näytteenottokohdasta. Mikäli kaatopaikan vaikutusalueella on talouskaivo, myös sen veden laatua on tarkkailtava. Kaatopaikan pohja- ja sisäisen veden korkeutta seurataan puolivuositain. Pintaveden laatua ja määrää on tarkkailtava vähintään kahdesta eri näytteenottokohdasta. Mittaukset on tehtävä kaatopaikan käyttövaiheessa neljännesvuositain ja jälkihoitovaiheessa puolivuositain.

#### 3.3 Kaatopaikkakaasu

Kaatopaikkakaasun kertymistä ja purkautumista on seurattava erityisesti kaatopaikalla, jonne on sijoitettu helposti hajoavaa orgaanista ainesta sisältävää ja runsaasti kaasua tuottavaa jätettä. Seuranta on toteutettava siten, että kaasun muodostuksesta saadaan luotettavat tiedot kaatopaikan kaikilla osilla. Kaatopaikkakaasun määrä, paine ja kaatopaikkakaasun ainesosien metaani- ( $CH_4$ ), hiilidioksidi- ( $CO_2$ ) ja happi- ( $O_2$ ) pitoisuudet on selvitettävä käyttövaiheessa kuukausittain ja jälkihoitovaiheessa puolivuositain. Jos osoitetaan, että pitempi mittausväli antaa riittävän luotettavat tiedot, niin mittauskertoja on mahdollista vähentää. Kaatopaikkakaasujen selvittämisperiaatteet määrätään tarvittaessa kaatopaikalle sijoitetun jätteen mukaan. Kaatopaikkakaasun talteenottojärjestelmän kunto on tarkastettava säännöllisesti.

### 3.4 Kaatopaikkavedet

Kaatopaikan ulkopuolelle johdettavien vesien laatua ja määrää on seurattava jokaisesta eripoisjohtokohdasta. Kaatopaikkavesien puhdistuksen tehokkuutta ja vesien aiheuttamaa kuormittamista on pystyttävä seuraamaan. Kaatopaikkaveden määrää ja sähkönjohtavuutta on seurattava viikoittaisin mittauksin. Jälkihoitovaiheessa riittää puolivuositainen seuraaminen. [4.]

## 4 ORGAANISEN AINEEN HAJOAMINEN KAAKTOPAIKALLA

### 4.1 Orgaanisen aineen hajoamisprosessit

Jätteen orgaaninen aines hajoaa joko anaerobisen tai aerobisen biologisten ja kemiallisten prosessien kautta. Kaatopaikalla syntyvien kaasumaisten päästöjen laatu ja haitallisuus riippuvat orgaanisen aineen hajoamistavasta. Jätteen orgaanisen aineen aerobinen hajoaminen vaatii runsaasti happea. Aerobisen hajoamisen seurauksena syntyy hiilidioksidia ja vettä, jotka ovat melko haitattomia yhdisteitä. Orgaanisen aineen hajoamisessa anaerobisesti muodostuu haitallista metaania ja hiilidioksidia sisältävää biokaasua. Anaerobista hajoamista tapahtuu myös merien pohjassa ja suoalueilla. [5.]

### 4.2 Aerobinen hajoamisprosessi

Aerobista hajoamista tapahtuu, kun orgaanista ainetta ja runsaasti happea on saatavilla. Tämä hajoamisprosessin muoto on yleisin luonnossa tapahtuva orgaaniselle aineelle. Erilaisten bakteerien avulla tapahtuvaa orgaanisen aineen hajoamista tapahtuu lähinnä jätepenkoissa, jotka ovat pieniä, heikosti tiivistettyjä, kokoonsa nähden korkeita ja pohjaveden pinta on jätetäytön alapuolella. Aerobisesta hajoamisesta voidaan käyttää myös nimitystä kompostointi. Kompostointi edellyttää että olosuhteet ovat suotuisat bakteeritoiminnan kannalta. Käytännössä kosteus, ravinteiden määrä ja hapen saanti täytyy olla tasapainossa. Liian kosteana oleva orgaaninen aines alkaa mädäntyä. Aerobinen hajoaminen on eksotermisen reaktion, eli reaktiossa muodostuu runsaasti lämpöä. Orgaanisesta aineesta muodostuu aerobisen hajoamisen seurauksena kompostia eli humusta, vettä, hiilidioksidia ja tiettyjä kaasuyhdisteitä.

### 4.3 Anaerobinen hajoamisprosessi

Anaerobisen prosessin seurauksena tapahtuvaa jätteen hajoamista ilmenee suurilla (jätemäärät yli 300 000 tonnia) hyvin tiivistetyillä, peitetyillä ja kokoonsa nähden matalilla jätepenkoilla, joissa pohjaveden pinta on korkealla jätetäytössä. Jätetäytön syvyys vaikuttaa hajoamisprosessiin siten, että pintakerroksissa aerobinen hajoaminen ulottuu kahden metrin syvy-



teen. Hajoamisprosessin metaanin tuottoon vaikuttaa myös täyttöalueen ikä. Metaanin tuotto on voimakkainta 5–10 vuotta vanhoilla täyttöalueilla ja alhaisinta yli 20 vuotta vanhoilla alueilla. Vuodenaikojen vaihtelulla ei ole merkitystä kaatopaikkakaasun koostumukseen. [6.]

Orgaanisen aineen anaerobisen hajoamisprosessin päävaiheet

1. Hydrolyysistä puhuttaessa orgaanisen aineen yhdisteet pilkkoutuvat hiilihydraateiksi, proteiineiksi ja muiksi pienemmiksi yhdisteiksi. Bakteeritoiminnan seurauksena tapahtuvaa orgaanisen aineen hajoamisvaihetta voidaan kutsua pilkkoutumisvaiheeksi.
2. Happokäymisvaihe tarkoittaa sitä, kun asetogeeniset bakteerit tuottavat pilkkoutumisvaiheen tuotteista rasvahappoja, etikkahappoja, alkoholeja, hiilidioksidia, vetyä ja asetaattia. Ensimmäisessä vaiheessa muodostuneet yksinkertaiset yhdisteet toimivat happokäymisvaiheen bakteerien energianlähteenä.
3. Metanogeneesi on metaanikäymisvaihe, jossa metanogeeniset bakteerit käyttävät ensimmäisen ja toisen vaiheen tuotteita ”ravinnokseen” tuottaakseen biokaasua, joka sisältää suurimmaksi osaksi metaania ja hiilidioksidia. [5.]

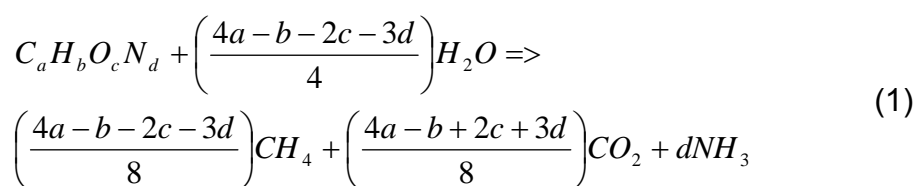
## 5 BIOKAASUN MÄÄRÄÄN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

### 5.1 Kosteus

Anaerobisessa hajoamisprosessin toimivuuden kannalta merkittävässä asemassa on jätteen kosteus. Kosteudella on myös suuri merkitys kaatopaikkakaasun tuottoon. Tuotanto lisääntyy eksponentiaalisesti 25 ja 60 painoprosentin välillä. Anaerobinen hajoaminen kuluttaa 170 litraa vettä tuhatta jätekiloa kohti, kun puhutaan nopeasta hajoamisesta ja 380 litraa vettä hitaassa hajoamisessa. Kaatopaikkajätteessä oleva orgaaninen aines voidaan jakaa kolmeen luokkaan, nopeasti biohajoaviin (kolmesta kuukaudesta viiteen vuoteen), hitaasti biohajoaviin (jopa yli 50 vuotta) ja biohajoamattomiin. Matti Ettalan vuonna 1998 tekemän tutkimuksen mukaan suomalaisten kaatopaikkojen jätteen kosteus vaihteli 21 ja 31 %:n välillä. Tutkimusten mukaan optimaalinen kosteuspitoisuus on 30–60 %. Kriittinen raja kulkee 20 %:n kosteuspitoisuudessa yhdyskuntajätteen kohdalla. Jätepenkereen kosteutta voidaan hallita rakentamalla vedenjakoputkisto kaasunkeräyskerroksen alapuolelle. [5.] [8.]

### 5.2 Jätteen koostumus

Jätteen koostumus vaikuttaa merkittävästi kaatopaikan hajoamisprosessiin ja hajoamisnopeuteen sekä näin ollen myös kaatopaikkakaasun määrään. Syntyvän kaasun metaanipitoisuuden määrään vaikuttaa jätteen hiilipitoisuuden ja hiilyhdisteiden keskimääräinen hapetusluku. Jätteen tiivistämisellä ja peittämisellä on myös vaikutusta. Tiivistämällä jätemassa saadaan kosteus laajemmalle alalle ja näin ollen mikrobiologiselle toiminnalle suurempi pinta-ala kuin tiivistämättömissä jätekasoissa. Anaerobisen prosessin seurauksena tapahtuvaa orgaanisen aineen hajoamista voidaan kuvata seuraavanlaisen reaktioyhtälön 1 avulla. Edellytyksenä on, että hajoaminen on täydellistä. [5.]



Taulukossa 1 on esitetty keskimääräinen kaatopaikkajätteen koostumus ja prosenttiosuudet kokonaismäärästä. Jätteet on myös jaettu niiden orgaanisen aineen hajoavuuden mukaan.

Taulukko 1. Kaatopaikkajätteen koostumus ja biohajoavuus [7]

Jätelaji	%	Nopeasti biohajoavat	Hitaasti biohajoavat	Biohajoamattomat
Biojäte & pehmopaperi	22	X		
”oikea” kaatopaikkajäte	20			X
Muovi	10			X
Tekstiilit	9		X	
Keräyspaperi	6	X		
Keräyspahvi ja kartonki	6	X		
Vaipat ja kuu-kautissiteet	6		X	
Metalli	5			X
SER	5			X
Muu energia	4		X	
Lasi	3			X
Puu	2		X	
Risut ja haravointijäte	2	X		
Ongelmajätteet	1			X

Taulukon termit

Oikea kaatopaikkajäte = PVC-muovit, alumiinia sisältävät pakkaukset, hehkulamput, posliini ja pakkauksissa oleva ruoka.

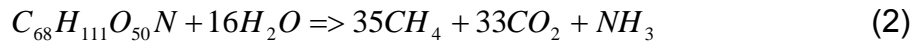
SER = Sähkö- ja elektroniikkaromu

Muu energia = hitaasti biohajoavat muovit ja paperit

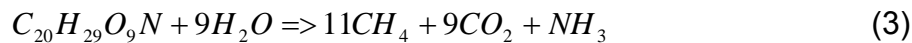
Laskelmien avulla voidaan määrittää, kuinka paljon 100 kg normaalikosteudessa olevaa yhdyskuntajätettä tuottaa biokaasua. Tarkastellaan nopeasti biohajoavan jätteen ja hitaasti biohajoavan jätteen vaikutusta kaasun tuottoon. Nopeasti biohajoavan jätteen (massaosuus 100 kg:sta on 44,8 kg) kemiallinen kaava on  $C_{68}H_{111}O_{50}N$ . Hitaasti biohajoavan jätteen (massa-

osuus on 7,3 kg) kemiallinen kaava on  $C_{20}H_{29}O_9N$ . Kaavoissa 2 ja 3 on molekyyli-suhteiden alku ja lopputilanne.

Nopeasti biohajoavat jätteet



Hitaasti biohajoavat jätteet



Voidaan todeta, että 100 kg normaalikosteudessa olevaa nopeasti biohajoavaa yhdyskuntajätettä tuottaa täydellisessä hajoamisessa biokaasua 46,6 m<sup>3</sup>. Kaatopaikalla hajoaminen ei ole koskaan täydellistä. Näin ollen on arvioitu, että anaerobisen hajoamisen seurauksena syntyy kokonaisuudessaan 100–250 m<sup>3</sup> kaatopaikkakaasua jätetonna kohti. [6.] [9.]

### 5.3 Happi

Happi aiheuttaa anaerobisen toiminnan häiriintymisen jätetäytössä. Hapen vuoksi anaerobinen hajoaminen muuttuu aerobiseksi hajoamiseksi ja kaatopaikalta saatavan kaasun koostumus muuttuu. Hapen kulkeutuminen jätetäyttöön estetään parhaiten kaatopaikan pinnan säännöllisellä tiivistämisellä. Matti Ettalan vuonna 1996 tekemä tutkimus jätetäytön sisäisistä olosuhteista suomalaisilla kaatopaikoilla osoittaa, että kaatopaikkakaasun metaanipitoisuudet voivat olla jopa 50 %, vaikka redox-potentiaalın arvot samoista havaintoputkista mitattuna ovat liikkuneet -120...200 mV:n välillä. Redox-potentiaali tarkoittaa hapetus-pelkistys - potentiaalia eli sähköjännitettä platina- ja vetyelektrodin välillä. Laskee happipitoisuuden laskeissa. Anaerobisten mikroympäristöjen esiintyminen aerobisissa olosuhteissa voi olla pääsyy metaania tuottavien bakteerien selviytymiseen aerobisessa ympäristössä. [5.] [6.]

#### 5.4 Ravinteet ja sulfaatti

Orgaanisen aineksen ja muiden ravinteiden suhde on tärkeä anaerobisen hajoamisprosessin kannalta. Metaanin muodostumisen kannalta optimaalinen hiili-typin suhde on noin 30:1 ja typin fosforisuhde 7:1.

Orgaaninen aines tarvitsee hajoamiseen oikeassa suhteessa typpeä ja fosforia sekä hivenaineita (Rauta, nikkeli, magnesium, kalsium, barium, koboltti ja sulfaatti). Jätteen epätasaisuus voi johtaa ravinteettomiin mikroympäristöihin.

Jätteen epätasaisuus voi johtaa ravinteettomiin mikroympäristöihin. Kotitalousjätteet sisältävät yleensä tarvittavan määrän edellä mainittuja ravinteita. Makroympäristöissä ravinteiden riittämättömyys ei ole hajoamisprosessin rajoittava tekijä.

Metaanintuottoa merkittävästi pienentävä tekijä on sulfaatin esiintyminen. Sulfaatti kilpailee metaanibakteereiden kanssa substraateista eli entsyymiin sitoutuvista aineista. Sulfaatti ja metaanibakteeri kuluttavat runsaasti vetyä ja etikkahappoa. [8, s. 21, 9, s.10.]

#### 5.5 Lämpötila ja happamuus

Lämpötila vaikuttaa merkittävästi jätteen anaerobisen hajoamisprosessin nopeuteen. Bakteerit ovat herkkiä lämpötilan vaihteluille. Anaerobiseen hajoamiseen liittyy kaksi eri metaanibakteerilajia, jotka toimivat kumpikin hieman eri lämpötiloissa. Mesofiilisen (lämpötila-alue 35–40 astetta) bakteerilajin optimilämpötila on 31–38 astetta, ja termofiilisen (lämpötila-alue 55–65 astetta) bakteerilajin optimilämpötila on noin 55–60 astetta. Anaerobisessa hajoamistilassa olevien kaatopaikkojen keskimääräinen sisäinen lämpötila on 5–20 astetta. Lämpötilan nostaminen 20:stä – 40 asteeseen voi nostaa metaanin tuottoa lähes satakertaiseksi. Suomen oloissa kaatopaikan lämpötilaan vaikuttaa jätepenkereen paksuus. [6.] [8.]

Metaanibakteerin toiminnalle optimaalinen pH-alue on 6–8. Mikäli jokin tekijä häiritsee metaanibakteerien toimintaa, niiden vedyn ja etikkahapon muuntaminen hidastuu, mikä aiheuttaa vedyn paineen nousun ja pH:n laskun. Tämä johtaa metaanin tuotannon hidastumiseen tai loppumiseen. Rakennusjäte ja jätemaat tuovat jätetäyttyön puskurikapasiteettia. Tämä parantaa jätetäytön pH-arvon pysymistä optimialueella. [5.] [9.]

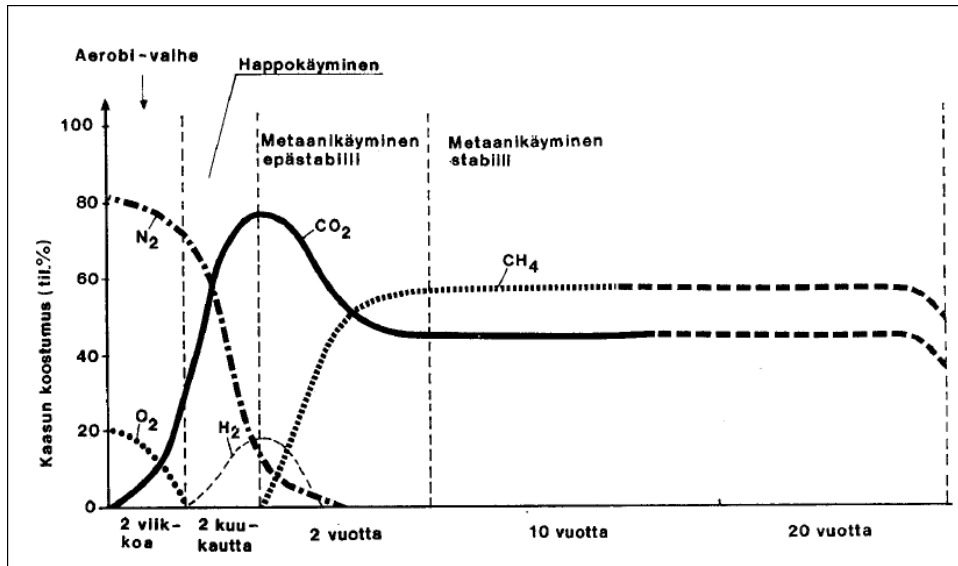
## 5.6 Mikrobikanta

Metaania tuottavat bakteerit ovat herkkiä olosuhdemuutoksille. Kuolleiden bakteerien tilalle tarvitaan runsaasti uutta bakteerikantaa. Mikrobikannan elvyttämiseen käytettäviä toimenpiteitä ovat jätteen kostuttaminen vedellä sekä jätevedenpuhdistamolietteen lisääminen. Nämä toimenpiteet nopeuttavat mikrobikannan elpymistä ja metaanin muodostumista. Toimenpiteillä metaanin muodostuminen saadaan alkamaan jo 2–3 kuukauden kuluessa, muutoin metaanin muodostuminen voi alkaa vasta 6–7 vuoden kuluessa. Jätevedenpuhdistamon liete sisältää metaania tuottavia bakteereita ja lisää metaanin tuottoa. Viimeisin ja parhain keino on lisätä jätteeseen mädätettyä lietettä, johon on lisätty kalsiumkarbonaattia, typpeä ja fosforia. [9, s. 11]

Kaasun muodostumiseen vaikuttavat eniten jätteen koostumus ja kaatopaikalla vallitsevat olosuhteet. Jätteiden sisältämästä orgaanisesti hajoavasta hiilestä vain noin 25 % vapautuu biokaasuna[10]. Jätetäytön kosteuden oikealla säätelyllä voidaan vaikuttaa syntyvän kaasun määrään. Jätetäyttöön voidaan tehdä reikiä ja asentaa kasteluputkia, joilla saadaan kosteutta jätetäytön eri kerroksiin.

## 5.7 Biokaasun muodostumisen vaiheet

Kaatopaikan biokaasutuotannon kehittyminen voidaan jakaa viiteen eri vaiheeseen. Kuvassa 2 esitetään biokaasun muodostuminen eri ajankohtana.



Kuva 2. Biokaasun muodostuminen [5.]

- I Vaihe = aerobinen vaihe

Jätteen läjityksen jälkeen alkaa orgaanisen aineen hajoaminen aerobisesti. Aerobinen vaihe kestää niin kauan kuin happea on helposti saatavilla, eli jäte on peittämättä kaatopaikan pinnalla. [5.]

- II Vaihe

Ensimmäinen anaerobinen vaihe, happokäyminen alkaa välittömästi aerobisen vaiheen jälkeen. Fermatiivisten ja asetogeenisten bakteerien toiminta johtaa nopeaan haihtuvien rasvahappojen, hiilidioksidin ja vedyn muodostumiseen. Suotovesi on tällöin hapanta ja voi sisältää korkeita pitoisuuksia rasvahappoja, kalsiumia, rautaa, raskasmetalleja ja ammoniakkaa. Muodostuvan kaasun tyypipitoisuus laskee hiilidioksidin ja vedyn muodostuksesta johtuen. Redox-potentiaalin pienentyessä sulfaatin korkea lähtöpitoisuus voi hitaasti laskea. Sulfaatin pelkistyessä muodostunut sulfidi voi saostaa rautaa, mangaania ja raskasmetalleja, jotka ovat tämän vaiheen alussa liuenneina. [5.]

- III Vaihe

Anaerobisessa välivaiheessa alkaa metaanibakteerien kasvaminen. Siirtymävaihe, jolloin kaatopaikka siirtyy happokäymisvaiheesta metaanikäymisvaiheeseen. Muodostuvan kaasun metaanipitoisuus kasvaa ja samalla hiilidioksidin ja haihtuvien rasvahap-

pojen pitoisuudet pienenevät. Sulfaatin pelkistyminen jatkuu. Rasvahappojen väheneminen johtaa pH:n ja alkaliteetin nousuun. Biokaasun tuotanto on suurimmillaan kolmannen vaiheen loppupuolella. [5.]

- IV Vaihe

Stabiili metaanikäyminen. Kaatopaikka tuottaa metaania tasaisesti orgaanisen aineen hajotessa. Tämä vaihe voi kestää pisimmillään useiden vuosikymmenien ajan. Metaanivaiheessa kaasun metaanipitoisuudet ovat 45–65 %.

- V Vaihe

Biologisesti hajoavan orgaanisen jätteen pienentyessä metaanin tuotto vähenee. Kaasuun siirtyy ilmasta typpeä ilmakehästä, koska metaanin muodostuminen on vähäistä. Viidennessä vaiheessa jätetäytön yläosaan muodostuu aerobisia alueita. Viidennen eli jälkivaiheen aikana kaatopaikan biokaasuntuotanto loppuu vähitellen kokonaan. [5.]

Kyseinen hajoamisketju käsittelee homogenisoitua jätemassaa. Puhuttaessa kaatopaikasta, jossa on laadun ja iän suhteen heterogeenista jätettä, hajoamisketju voi olla hyvinkin erilainen. Hajoamisketjun ensimmäinen vaihe kestää ainoastaan muutamia päiviä ja muiden vaiheiden kesto on kuukausia, vuosia ja vuosikymmeniä riippuen kaatopaikan olosuhteista, kuten jätteen laadusta ja kaatopaikkatekniikasta ja elottomista ympäristötekijöistä. [5.]



## 6 BIOKAASUN VAIKUTUS KAAKTOPAIKAN YMPÄRISTÖÖN

Hallitsemattomasti käsitelty kaasu aiheuttaa paikallisesti erilaisia ympäristöhaittoja kuten hajuhaittoja, kasvivaurioita sekä palo- ja räjähdysvaaran. Globaalisesti biokaasu vaikuttaa kasvihuoneilmiöön. Biokaasu sisältää metaania noin 55–75 % ja hiilidioksidia 45–25 %.

### 6.1 Kasvihuonevaikutus

Kasvihuoneilmiö on planeettojen kaasukehien prosessi, jossa kaasukehän kaasut imevät itseensä ja säteilevät infrapunasäteilyä lämmittäen planeetan ilmakehää ja pintaa. Kasvihuoneilmiö näin ollen aiheuttaa alailmakehän lämpötilan nousua ja yläilmakehän lämpötilan laskua. Se aiheuttaa maapallon lämpötilan nousua, merien pintojen nousua, tulvat ja kuivuudet lisääntyvät ja keskimääräiset sademäärät kasvavat. Tunnetuimpia kasvihuonekaasuja ovat:

- vesihöyry, joka aiheuttaa noin 36–70 %
- hiilidioksidi ( $CO_2$ ), joka aiheuttaa 9–26 %
- metaani ( $CH_4$ ), joka aiheuttaa 4–9 %
- otsoni ( $O_3$ ), joka aiheuttaa 3–7 % kasvihuoneilmiöstä.

Kasvihuonekaasut viipyvät ilmakehässä muutamista päivistä (vesihöyry) satoihin vuosiin (hiilidioksidi).

### 6.2 Hajuhaitat ja kaatopaikkapalot

Kaatopaikan hajuhaitat aiheuttaa biokaasu. Biokaasu sisältää hajuja aiheuttavia rikki-, kloori- ja fluoriyhdisteitä. Voimakkaasti purkautuva kaatopaikkakaasu voi aiheuttaa hajuhaittoja kilometrien etäisyydelle kaatopaikasta. [6, s. 18]

Kaatopaikoilla tapahtuva tulipalo aiheuttaa merkittävän ympäristöhaitan. Palossa muodostuu haitallisia savukaasuja ja yhdisteitä. Kuopion yliopiston 1995 tekemän tutkimuksen mukaan

kaatopaikoilla palaa keskimäärin 380 kertaa vuodessa. Kaatopaikoilla palanut jätemäärä oli keskimäärin 84 000 tn. Kaatopaikkapaloista vapautuvat furaanit ja dioksiinit ovat supermyrkkijä, jotka kertyvät ruoan ja hengitysilman kautta ihmisiin ja muodostavat ympäristöhaitan. Mikäli kaatopaikoilta purkautuu metaania, niin se lisää merkittävästi kaatopaikkapalojen vaaraa ja voi näin vaikeuttaa palojen sammuttamista. Rakennuksiin tai rakenteisiin kertyvä metaani aiheuttaa räjähdysvaaran.

### 6.3 Biokaasun käsittely kaatopaikoilla

Kaasun käsittelyn keskeisiä tavoitteita on ehkäistä metaanin ja haisevien yhdisteiden purkautumista ympäristöön. Yhdisteet eivät saa aiheuttaa vaaraa ympäristölle ja terveydelle. Kaatopaikoilla muodostuvan biokaasun käsittelyyn on olemassa kaksi vaihtoehtoa. Käytössä olevat vaihtoehdot ovat joko passiivinen tai aktiivinen käsittely. Kaatopaikan koosta ja mitatusta kaasumäärästä sekä mahdollisuuksista hyödyntää talteen saatu biokaasu riippuu käytettävä käsittelyvaihtoehto. Aktiivinen käsittely sisältää imujärjestelmät, biokaasupumppaamon, putkistot, soihtupolton tai hyötykäytön. Passiivisella käsittelyllä tarkoitetaan biologisesti tapahtuvaa kaasun hapettumista kaatopaikan pintakerroksissa tai erillisissä biosuotimissa ennen ilmakehään pääsyä. Passiivisen käsittelyn edellytyksenä on toimintalämpötilan pysyminen yli 10 asteessa.

Käsittelytavan valintaan vaikuttaa muodostuvan metaanin määrä, kaatopaikan sijainti ja toiminta sekä biokaasun hyödyntämisen mahdollisuudet. Passiivista käsittelyä käytetään esim. pienen paikkakunnan kaatopaikalla, joka on poistettu käytöstä tai tullaan poistamaan käytöstä ja kaasun hyödyntäminen ei ole taloudellisesti kannattavaa. Tällöin on viisainta rakentaa kaatopaikan pintaan sellainen kerros, joka biologisesti hapettaa metaanin ja estää muiden yhdisteiden pääsyn ilmakehään.

Taulukon 2 mukaan biokaasun määrä ja metaanipitoisuus vaikuttavat käytettävän käsittelymenetelmän valintaan. Käytännössä pienillä kaatopaikoilla riittää biologinen käsittely. Suurilla kaatopaikoilla, joissa biokaasumäärä ylittää 50 m<sup>3</sup> tunnissa hehtaarilta tai polttoaineteho on yli puoli megawattia, kannattaa biokaasu käyttää hyödyksi. [5.]

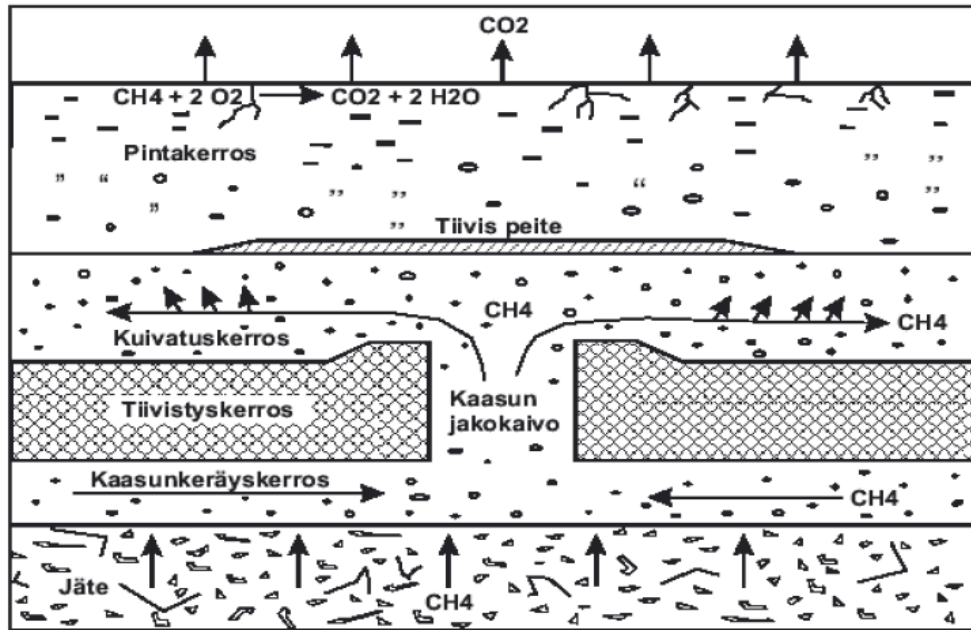
Taulukko 2. Käsittelytavan valinta riippuu metaanipitoisuudesta ja biokaasun määrästä [5.]

Kaatopaikan pinnasta mitattu biokaasun määrä ja metaanipitoisuus	Biokaasun käsittelymenetelmä
Biokaasumäärä $< 10 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{ha}$ , metaanipit. $< 100 \text{ ppm}$	Biologinen käsittely
Biokaasumäärä $10 - 50 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{ha}$ , metaanipit. $> 100 \text{ ppm}$ ja polttoaineteho $< 0,5 \text{ MW}$ havaittavissa olevia kasvivaurioita jätepenkereellä, hajuhaittoja ja räjähdysvaara ympäristössä	Biologinen käsittely, soihtupoltto, kaasun kulkeutuminen rakenteisiin estettävä
Biokaasumäärä yli $50 \text{ m}^3/\text{ha}\cdot\text{h}$ tai polttoaineteho $> 0,5 \text{ MW}$	Hyötykäyttö tai soihtupoltto, kaasun kulkeutuminen rakenteisiin estettävä

#### 6.4 Passiivinen käsittely

Biokaasun passiivisen käsittelyn pääperiaate on, että jätepenkan pinnassa olevan maakerroksen tai biosuotimen mikro-organismit hapettavat metaanin ja haisevat kaasuyhdisteet. Näin estetään metaanin (moninkertaisesti hiilidioksidia vaarallisempi kasvihuonekaasu) ja hajuhaittoja synnyttävien rikkiyhdisteiden pääsy ilmakehään. Kaatopaikoille tehtyjen tutkimusten mukaan biokaasun sisältämä metaani hapettuu metanotrofisten bakteerilajien toiminnan seurauksena. Passiivisella käsittelyllä saadaan jokseenkin samanlainen lopputulos kuin aktiivisella käsittelyllä. Kustannukset jäävät huomattavasti pienemmiksi kuin passiivisella käsittelyllä, koska ei ole aktiivisen käsittelyn vaativia käyttö- ja kunnossapitokustannuksia.

Mikrobiologisen toiminnan edellytyksenä on riittävä kosteus, lämpötila ja hapensaanti. Suomen ilmaston suuret lämpötilanvaihtelut kesän ja talven välillä on otettava huomioon suodinkerrosta rakennettaessa. Suurimpia ongelmia passiiviselle käsittelylle aiheuttavat kylmät talvet. Bakteerit tarvitsevat tietyn lämpötilan toimiakseen, lämpötilan laskiessa bakteerien toimintakyky heikkenee ja sitä kautta hapetuskyky laskee ja on vaarana, että metaania pääsee ilmakehään. Yksi vaihtoehto on rakentaa kaatopaikan pintaan biosuodinkerros kompostista (biojäte ja paperitehtailta, paperin valmistuksesta saatava puunkuori tai jätevesiliete ja puunkuori). [5.] [6.] Kuvassa 3 esitetään metaanin kulkeutuminen kaatopaikan eri kerroksien läpi ja pintakerroksessa tapahtuva hapettumisreaktio. Hapettumisreaktiossa syntyy hiilidioksidia, joka vapautuu ilmakehään.



Kuva 3. Passiivisen käsittelyn periaate [4.]

### 6.5 Aktiivinen käsittely

Aktiivisen keräysjärjestelmään kuuluvat biokaasun keräys- ja imukaivot, keräilyputket ja biokaasupumppaamo. Aktiivisen käsittelyn tarkoitus on kerätä imukaivojen tai salaojien avulla jätepenkasta muodostuva biokaasu talteen. Imukaivot soveltuvat vanhoille ja korkeille kaatopaikoille. Salaojat soveltuvat uusille ja matalille kaatopaikoille. Metaani voidaan hyödyntää energiantuotannossa tai polttaa hallitusti soihdussa. Soihtupoltossa täytyy ottaa huomioon lämpötila ja viipymäaika, koska epäpuhtauksia voi muuten päästä ilmakehään. Oikea polttolämpötila soihdussa on noin 1000–1200 °C ja viipymäaika 0,2–2 sekuntia. Kuvassa 4. esitetään Majasaaren jätekeskuksen biokaasupumppaamo ja soihtu, jossa biokaasua hallitusti poltetaan.



Kuva 4. Soihtu ja biokaasupumppaamon kontti Majasaaresta

Biokaasupumppaamon avulla tuotetaan jätetäytössä sijaitseviin kaasunkeräyskaivoihin alipaine. Alipaineen johdosta biokaasu virtaa keräyskaivojen kautta biokaasupumppaamolle ja sitä kautta joko soihtuun tai muuten hyödynnettäväksi. Biokaasupumppaamolla voidaan säädellä imutehoa kaatopaikan biokaasutuottokapasiteetin mukaan. Liian suurella imuteholla ilma voi ruveta kulkeutumaan pintakerroksen läpi jätetäyttöön, jolloin se voi haitata metaaninkäymisprosessia. Imutehot kannattaa säädättää alan asiantuntijalla tietyin väliajoin, vaikka vuosi- huoltojen yhteydessä. Nykyään on myös saatavilla automaattisia imupaineensäätimiä. Biokaasupumppaamo järjestelmineen on esitetty kuvassa 5. Kuvassa oikealla puolella on nähtävissä jätetäytöstä tulevat imuputket, joita on käytössä tällä hetkellä 10 kpl. Takaseinällä on vedenerotussäiliö.



Kuva 5. Biokaasupumppaamo Majasaaresta

Kaasu johdetaan viettoviemärin tapaan rakennetulla putkistolla biokaasupumppaamolle. Pumppaamo ylläpitää kaasun keräämiseen tarvittavan alipaineen ja korottaa kaasun paineen soihutupolton tai kaasun hyödyntämisen edellyttämälle tasolle.

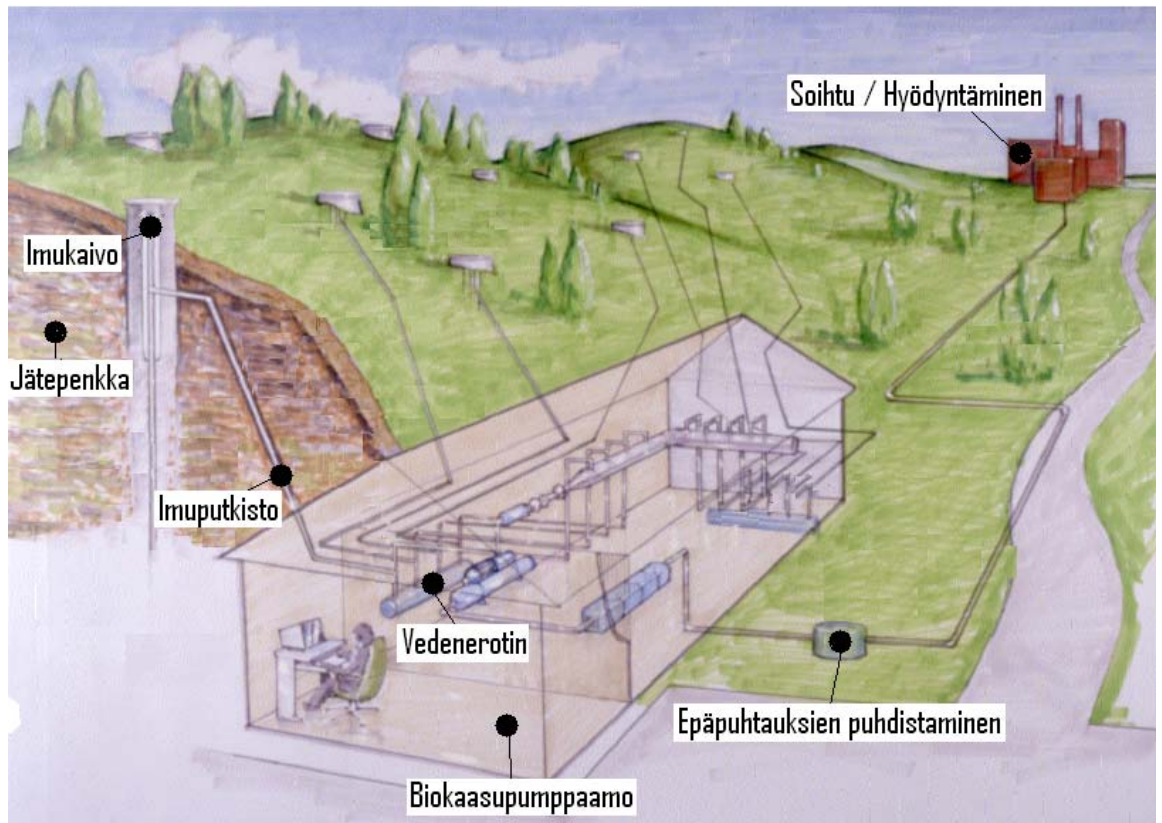
Biokaasun talteenotto kannattaa aloittaa jo ennen kaatopaikan sulkemista, mikäli halutaan saada biokaasut mahdollisimman tehokkaasti talteen. Mikäli biokaasun imukaivot ja -järjestelmät rakennetaan jo kaatopaikan täyttövaiheessa, niin jätepenkassa syntyvästä kaatopaikkakaasusta saadaan talteen yli 70 %. Järjestelmän rakentaminen on kalliimpaa ja hankalampaa kaatopaikan sulkemisvaiheessa. [10.]

Taulukossa 3 vertaillaan biokaasun talteenottojärjestelmien tehokkuutta kaatopaikan sulkemisen jälkeen. Järjestelmien tehokkuus vaihtelee aina 30 %:sta 55 %:iin. Tämäkin asia kannattaa ottaa huomioon, kun valitaan omaa järjestelmää.

Taulukko 3. Biokaasun talteenottojärjestelmien tehokkuus kaatopaikan sulkemisen jälkeen [5.]

Talteenottojärjestelmä	Tehokkuus %
Pystysuorat kaasukaivot, asennus sulkemisen jälkeen	39
Pystysuorat kaasukaivot, osastoittain pystytetyt	55
Horisontaalinen järjestelmä	45
Pintaan asennetut kaasusalaajaputket	30

Biokaasupumppaamon yhteyteen kannattaa sijoittaa vedenerotusjärjestelmä. Biokaasu sisältää vesihöyryä ja mikäli vesihöyry pääsee tiivistymään laitteistoihin, se voi aiheuttaa toimintahäiriöitä. Jatkokäsittelyä varten kannattaa myös rikki- ja klooriyhdisteet poistaa, sillä jos esim. kaasumoottoria käytetään biokaasulla niin kyseiset yhdisteet voivat aiheuttaa ennen aikaista moottorin kulumista ja korroosiota. Kuvassa 6 on esitetty pelkistetysti kaasunkeräykseen liittyvät laitteistot. [5.]



Kuva 6 Biokaasupumppaamo oheislaitteineen [6.]

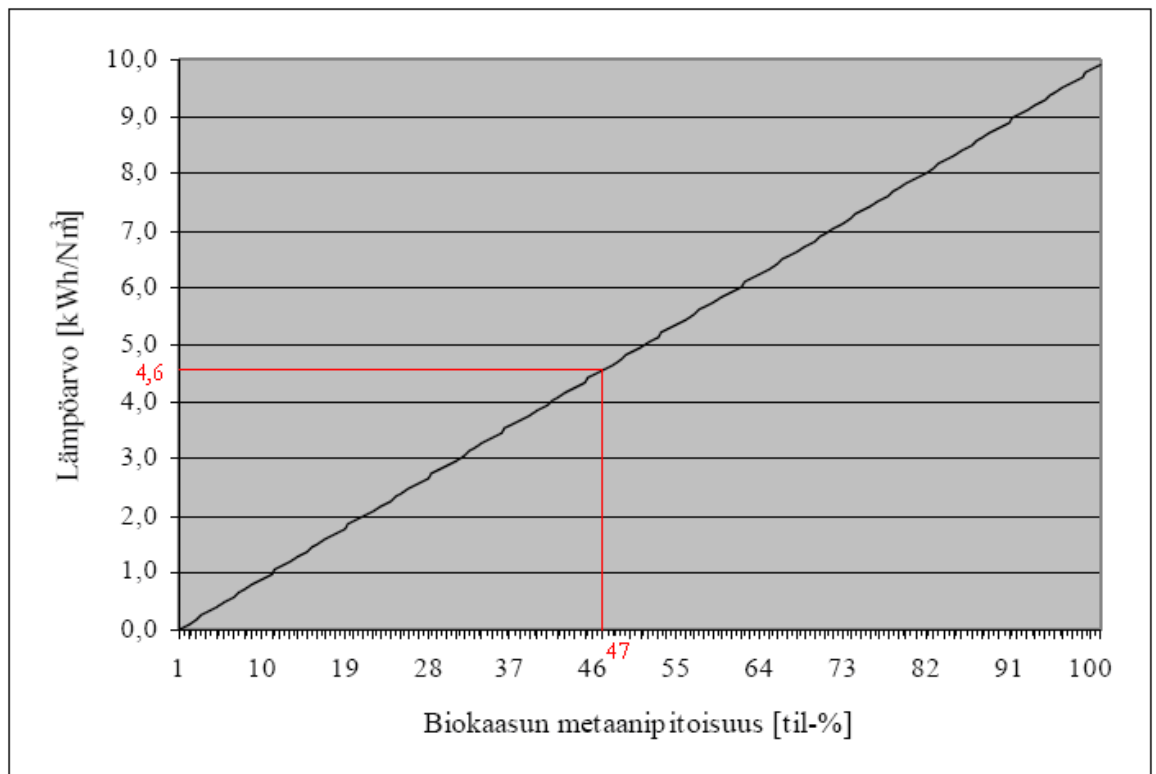
Biokaasupumppaamo oheislaitteineen on merkittävä ja pitkäaikainen investointi. Biokaasupotentiaali kannattaa tutkia tarkoin erilaisten kaasumittauksien ja suunnitelmien avulla. Investointiin ei kannata lähteä, mikäli hyötykäyttömahdollisuudet ovat olemattomat ja sitä kautta kaasusta ei saada taloudellista hyötyä. Biokaasu rinnastetaan maakaasuun ja samat turvallisuusohjeet, -asetukset ja -määräykset ovat voimassa biokaasupumppaamossa ja -putkistoissa. Mikäli biokaasulaitoksen polttoaineteho ylittää 1,2 MW, on biokaasulaitoksella oltava käytönvalvoja, vaikka kaasu poltettaisiin soihdussa.



## 7 BIOKAASUSTA SAATAVA ENERGIA

### 7.1 Energiasisältö

Teoreettisesti yhdyskuntajätetonnista saadaan elinaikana 100–250 m<sup>3</sup> biokaasua. Jätepenkkatonnista saadaan Sarlin Hydron tekemien tutkimusten mukaan 5–10 m<sup>3</sup> biokaasua vuodessa [11]. Matti Ettalan laskeman arvion mukaan biokaasua syntyy jätetonnista 3 m<sup>3</sup> vuodessa. (Jätepenkkatonni eli tuhat kiloa kaatopaikalle sijoitettua jätettä). Matti Ettalan laskelmissa on huomioitu kaatopaikan nuori-ikä, biojätteen erilliskeräys ja REF-kierrätyspolttoaineiden (erilliskerätystä energiajätteestä valmistettua polttoainetta, joka on materiaalikeräykseen kelpaamatonta) keräys. Biokaasun energiasisältö muodostuu metaanista. Biokaasusta muodostuu metaania noin 50–70 %. Metaanin lämpöarvo on 35600 KJ/m<sup>3</sup> eli 9,9 kWh / m<sup>3</sup>. Kuutio biokaasua sisältää energiaa 4–5 kWh. Parhaimmillaan kuutiometristä kaasua voidaan tuottaa sähköä noin 1,5 kWh ja lämpötehoa 2,5 kWh tai pelkästään lämpöä 4 kWh. Majasaarella pumpatun biokaasun metaanipitoisuus oli vuonna 2006 47 % eli kuvassa 7 olevan kuvaajan mukaan kyseisen metaanin lämpöarvo on noin 4,6 kWh/m<sup>3</sup>. [5, s. 51, 7, s. 36] Kuva 7 esittää lämpöarvon muutoksen biokaasun metaanipitoisuuden funktiona.



Kuva 7. Biokaasun lämpöarvo suhteessa metaanipitoisuuteen [5.]

## 7.2 Metaani

Metaani on yksinkertaisin hiilivety. Se on puhtaana hajuton ilmaa kevyempi kaasu. Metaani syntyy eloperäisen aineen mädäntyessä hapettomissa olosuhteissa. Metaanin palamisreaktio tuottaa runsaasti lämpöenergiaa. Metaani on 23-kertaa vaarallisempi kasvihuonekaasu kuin hiilidioksidi. Metaani vaikuttaa osittain suoraan maapallon lämpösäteilyn pidättämiseen. Metaani vaikuttaa myös epäsuorasti reagoidessaan hydroksyyli-ioneiden kanssa alailmakehässä muodostaen otsonia ja yläilmakehässä muodostaen vesihöyryä. Metaanipäästöistä 70 % on ihmisen aikaansaamia.

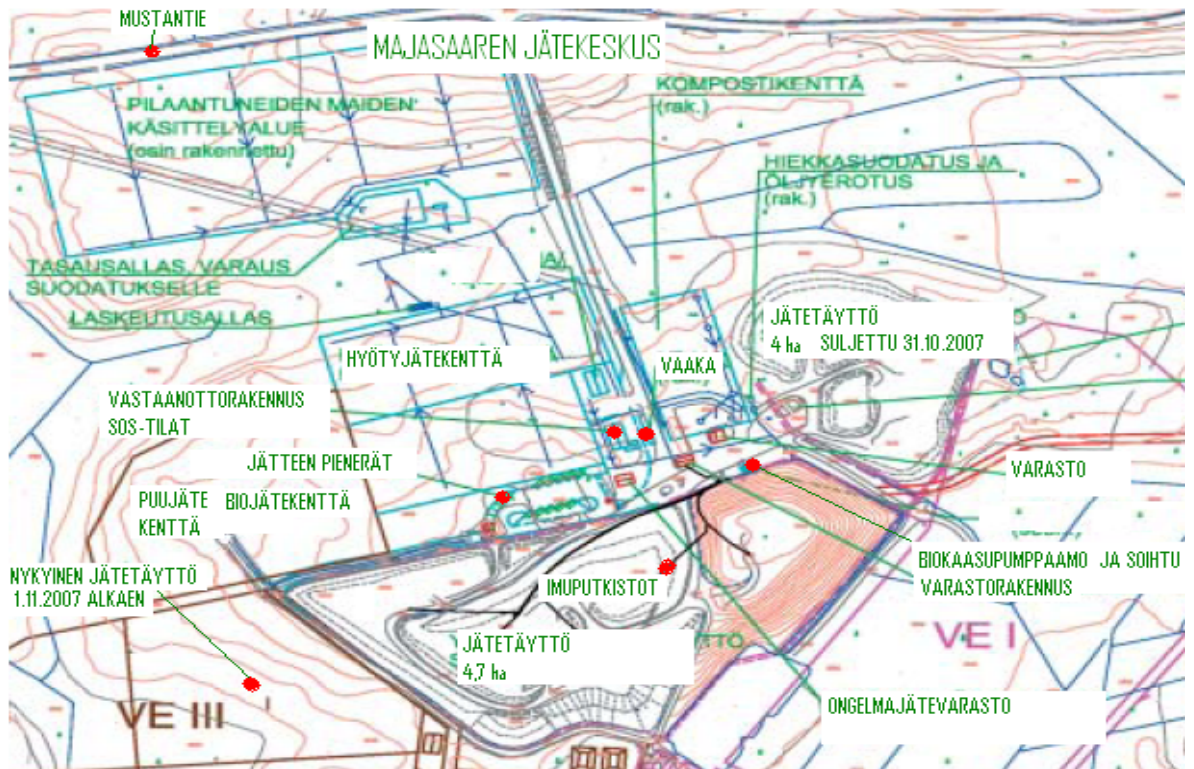
## 8 MAJASAAREN JÄTEKESKUS

Majasaaren jätekeskus sijaitsee Kajaanin kaupungissa, noin 14 kilometriä Kajaanista lounaaseen Lahjoitusmaa nimisellä kylällä. Majasaarella kaatopaikkatoiminta aloitettiin vuonna 1983, jolloin Kajaanin kaupunki aloitti jätteiden vastaanoton Majasaaren. Vuonna 2002 kaatopaikan toiminnat siirtyivät Kainuun jätehuollon kuntayhtymän hoidettavaksi. Majasaari on Kainuun ainoa loppusijoittavien jätteiden kaatopaikka ja se täyttää nykypäivän tiukat kaatopaikkamääräykset. Majasaarella on seuraavanlaisia toimintoja:

- Yhdyskuntajätteen ja lajittelemattoman rakennusjätteen loppusijoitus
- Ongelma- ja erityisjätteiden vastaanotto
- Jätteen pienerien vastaanotto
- Pilaantuneiden ja öljyisten maiden käsittely aumakompostoinnilla
- Biojätteen käsittely aumakompostoinnilla.

Alueen vedet käsitellään uutta tekniikkaa hyväksikäyttäen. Majasaaren kokonaispinta-ala on 100 ha, josta vuoden 2008 alussa on käytössä 14 ha.

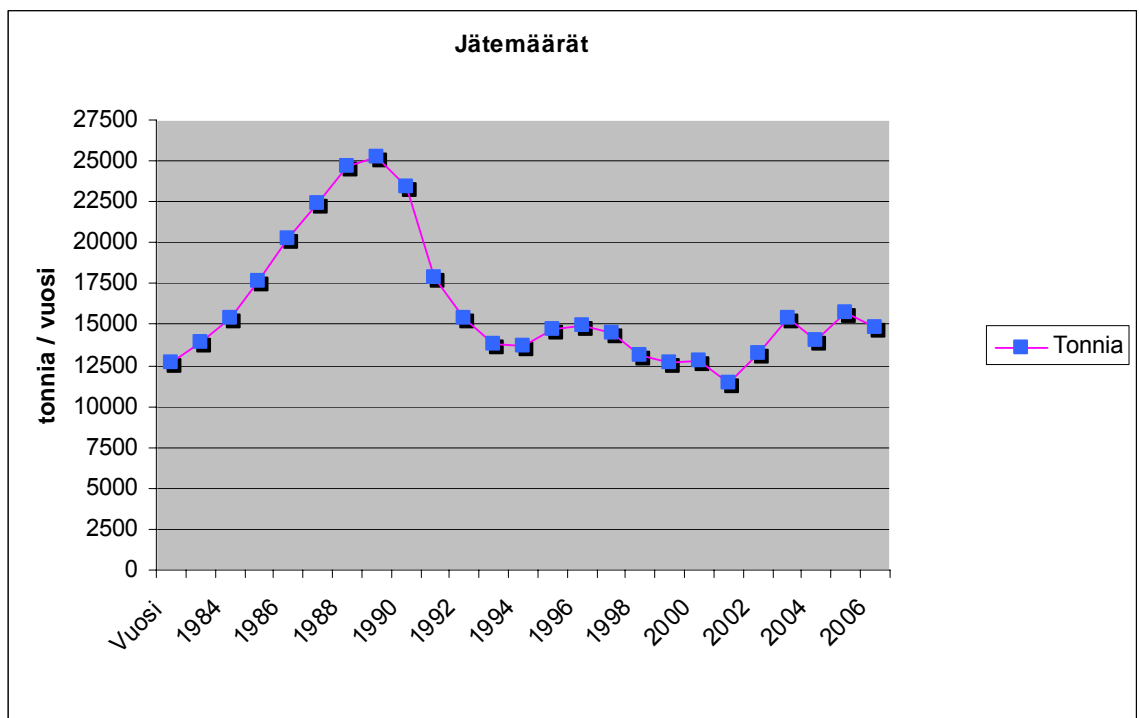
Kuvassa 8 nähdään Majasaaren jätekeskuksen jätetäyttöjä, joista 4,7 hehtaarin alue on vanhin ja sinne on myös rakennettu imuputkistot (kuvassa mustat viivat). 4 hehtaarin jätetäyttö suljettiin 31.10.2007. Alue on vielä ilman kaasunkeräysputkistoja. Tällä hetkellä kaasut tulevat pelkästään vanhimmalta kasalta biokaasupumppaamolle, jossa se hyödynnetään osittain lämmitykseen ja osittain poltetaan soihdussa. Nykyiselle jätetäyttöalueelle pitäisi rakentaa jo nyt vaakakeräysputkistot, jotta hapettomassa tilassa syntynyt kaasu saataisiin talteen mahdollisimman tarkasti.



Kuva 8. Majasaaren jätekeskuksen kartta [12.]

## 9 MAJASAAREN JÄTEPENKAN JÄTEMÄÄRÄT

Majasaaren jätekeskuksella on tällä hetkellä kolme eri jätepenkkaa. Vanhimasta kasasta on otettu talteen biokaasua neljä vuotta. Vanhimman kasan jätemäärät on osittain arvioitava ja osittain tilastojen perusteella laskettava. Viimeksi suljetun penkan jätemäärät voidaan arvioida tilastojen mukaan. Uusin kasa otettiin käyttöön marraskuussa 2007. Kuva 9 havainnollistaa Majasaaren jätekeskukseen vuosittain tuotujen kaatopaikalle sijoitettavien jätteen määrää. Vuosina 1983–2007 Majasaaren jätekeskukseen on vastaanotettu 403,7 tuhatta tonnia jätettä. Jätteen määrä Majasaarissa tulee kasvamaan, koska Majasaari toimii Kainuun ainoana kaatopaikkajätteen sijoituspaikkana.



Kuva 9. Majasaaren jätekeskukseen vastaanotettu jäte vuosina 1983–2007.

## 10 MAJASAAREN BIOKAASUN TUOTANTO

### 10.1 Majasaaren biokaasulaitos

Taulukon 4 mukaan biokaasulaitos tuotti biokaasua vuonna 2007 keskimäärin 61 m<sup>3</sup>/h. Keskimääräinen polttoaineteho oli 320 kW. Laitokselta pumpattiin biokaasua 0,53 milj. m<sup>3</sup>, tuotettiin polttoaine-energiaa 2780 MWh. Keskimääräinen metaanipitoisuus oli 49 %. Näiden tunnuslukujen perusteella voidaan laskea esim. Majasaaren biokaasukuutiosta saatava energiamäärä. [13.]

Taulukko 4. Majasaaren biokaasulaitoksen tiedot vuodelta 2007 [13]

Suure	Yksikkö	Lukuarvo
Kaasumäärä (pumpattu)	Milj. m <sup>3</sup>	0,53
Polttoaineteho (keskimääräinen)	kW	320
Virtaama (keskimääräinen)	m <sup>3</sup> / h	61
Polttoaine-energia	MWh	2780
Metaanipitoisuus (ka)	%	49
Hiilidioksidipitoisuus (Ka)	%	32
Happipitoisuus (ka)	%	0,3

### 10.2 Hyötykäytetty biokaasun määrä

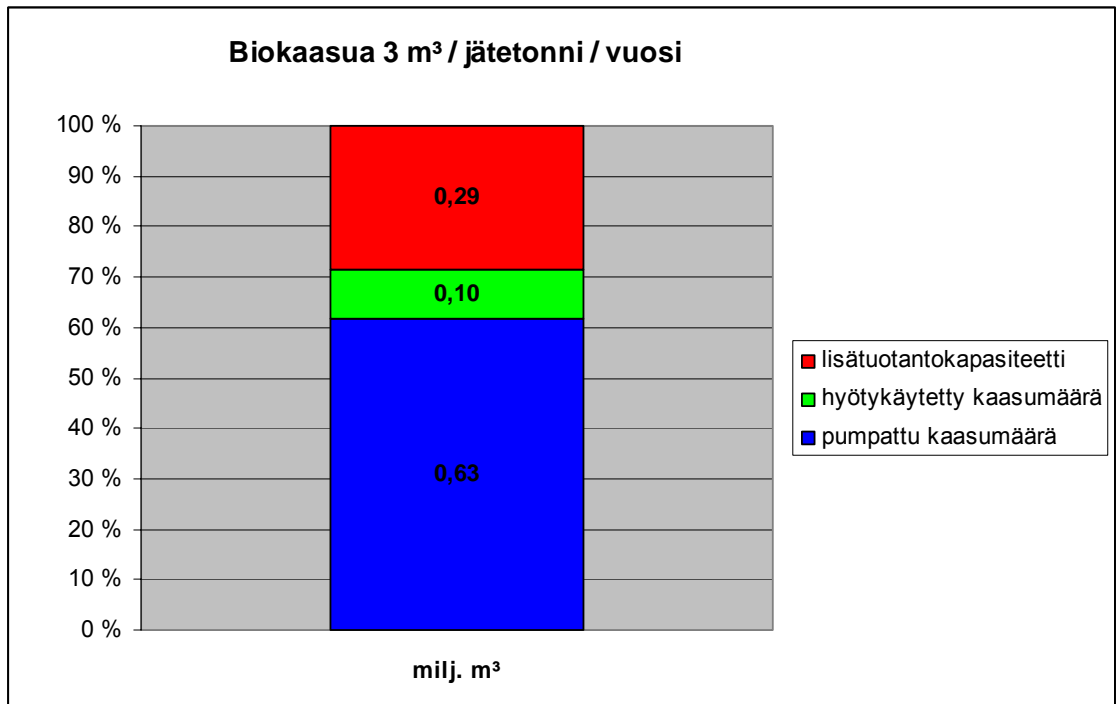
Lämmityksessä hyödynnetty kaasun määrä vuonna 2006 perustuu Sarlin Oy:n tekemään raporttiin biokaasulaitoksen käytöstä. Näiden tietojen mukaan hyötykäytetty biokaasun määrä oli 100 000 m<sup>3</sup>. Biokaasulla lämmitettäviä kohteita olivat vastaanottorakennus, öljyisille maille tarkoitettu kenttä ja biojätekenttä. Vuonna 2006 pumpattiin kokonaisuudessaan 630 000 m<sup>3</sup> biokaasua. Biokaasun polttoaine-energia oli 2966 MWh. Soihdussa poltettiin noin 530 000 m<sup>3</sup> kaasua. Hyötykäytön määrää voidaan lisätä nykyisestä, mikäli löydetään sopiva hyödyntämismuutosto. [13.]

### 10.3 Vuosittaisen biokaasupotentiaalin arvioiminen

Majasaaren jätekeskukseen on vastaanotettu jätettä vuosina 1983–2007 noin 400 000 tonnia. Biokaasua muodostuu keskimäärin 20 vuoden ajan ja näin ollen jätteiden kokonaismäärästä täytyy vähentää neljän ensimmäisen vuoden jätemäärät. Tällöin Majasaaren biokaasupotentiaali voidaan laskea arvolla (400 000t – 59700t) 340 300 tonnilla. Seuraavassa arvioidaan Majasaaren biokaasupotentiaalia tulevaisuudessa

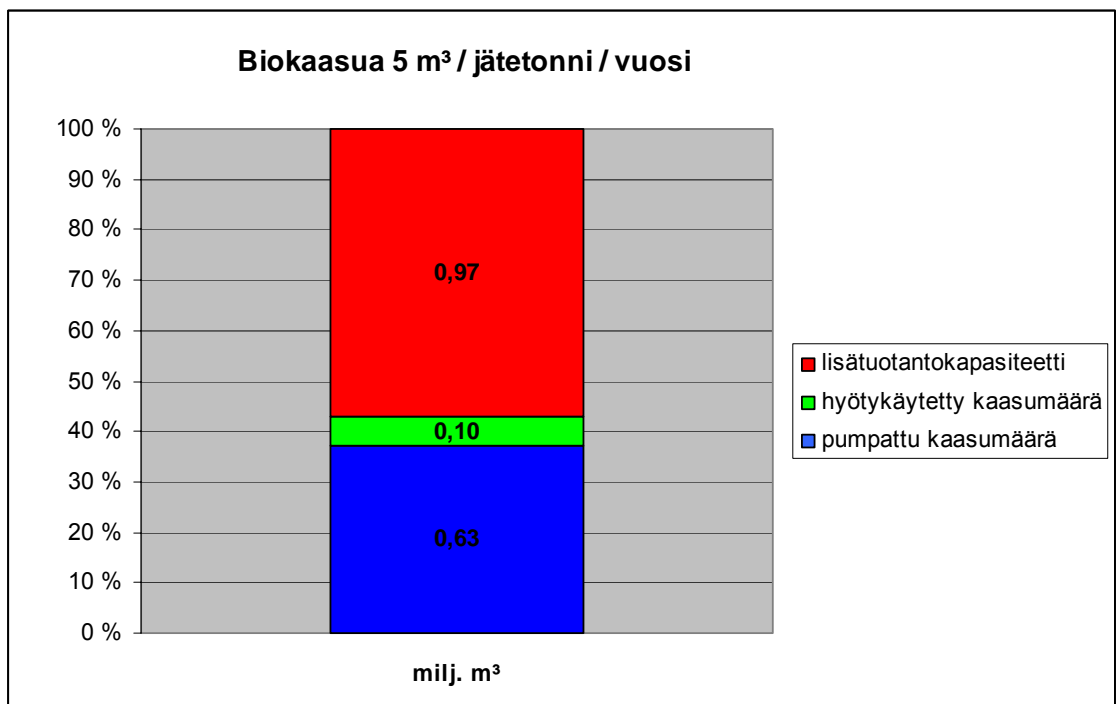
Arvioiden mukaan jätetonnista saadaan 3-10 m<sup>3</sup> biokaasua vuodessa. Arvioissa on käytetty Matti Ettalan (3 m<sup>3</sup> biokaasua / jätetonne) ja Sarlin Oy:n (5-10 m<sup>3</sup> biokaasua / jätetonne) tekemien laskelmien arvoja, suhteutettuna Majasaaren tulevien jätteiden laatuun. Lasketaan biokaasuntuotto kaikilla kolmella arvolla. Saadusta kaasumäärästä vähennetään jo pumpattu biokaasu, jolloin saadaan todellisempi arvo biokaasun kokonaismäärästä.

Lasketaan vuodessa muodostuvan kaasun määrä. Käytetään vuoden 2006 Sarlin Oy:n tekemän raportin lukuja. Hyötykäytetty kaasumäärä 100 000 m<sup>3</sup> Kuvassa 10 on oletettu biokaasua syntyvän 3 m<sup>3</sup> yhdestä tonnista kaatopaikkajätettä. Kokonaismääräksi saadaan 1 020 000 m<sup>3</sup>, ja kun siitä vähennetään vuonna 2006 pumpattu ja hyötykäytetty kaasumäärä niin saadaan mahdollinen lisätuotantokapasiteetti. Kaatopaikkakaasun potentiaalia arvioidessa on hyvä ottaa huomioon vanhimman kasan pintarakenteiden rakentaminen, joka aiheuttaa häiriöitä biokaasun tuottoon. Biokaasun tuottoon vaikuttavat myös biojätteen erilliskeräys, joka alkoi vuonna 1996.



Kuva 10. Jätetonnista muodostuu 3 m<sup>3</sup> biokaasua vuodessa

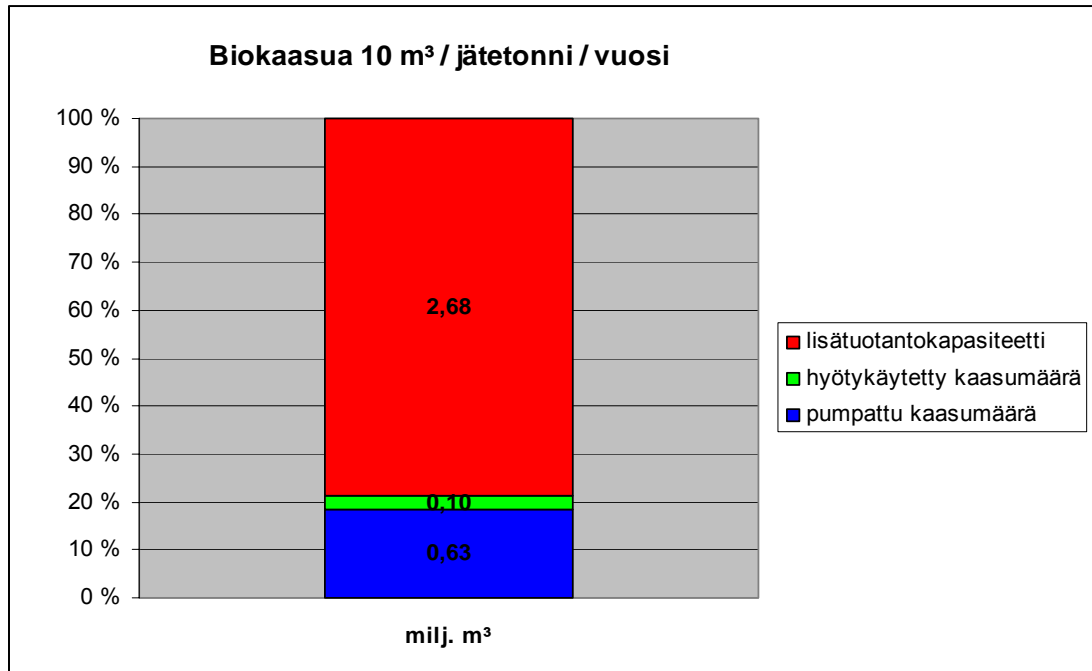
Kuvassa 11 on tehty samat tutkimukset ja havainnot kuin kuvassa 10, mutta biokaasua oletetaan syntyvän 5 m<sup>3</sup> jätetonnista vuodessa.  $5\text{m}^3/\text{jätetonne/vuosi} * 340\,300\text{ jätetonne/vuosi} = 1\,701\,500\text{ m}^3/\text{vuosi}$



Kuva 11. Jätetonnista muodostuu 5 m<sup>3</sup> biokaasua vuodessa.



Kuvassa 12 oletetaan biokaasua syntyvän  $10 \text{ m}^3$  jätetonnista vuodessa.  $10 \text{ m}^3$  biokaasua / jätetonne / vuosi \* 340 300 jätetonna =  $3\,403\,000 \text{ m}^3$  / vuosi



Kuva 12. Jätetonnista muodostuu  $10 \text{ m}^3$  biokaasua vuodessa.

Kuvista 10, 11, ja 12 voidaan todeta seuraavaa. Hyödyntämiseen käytetty biokaasumäärä on erittäin alhainen, eli suuri osa pumpatusta kaasusta menee soih tupolttoon. Tällä hetkellä lämmitykseen käytettävän biokaasun määrä on noin  $100\,000 \text{ m}^3$  vuodessa. Tutkimusten ja laskujen mukaan biokaasua voitaisiin käyttää hyödyksi ainakin  $900\,000 \text{ m}^3$  vuodessa. Biokaasun nykyistä tuottoa voitaisiin lisätä asentamalla uusia kaivoja vanhalle ja uudelle täyttöalueelle. Tämä edellyttää myös vanhojen täyttöalueiden pintarakenteiden rakentamista

Lasketaan Majasaaren biokaasupotentiaali 20 vuodessa. Oletetaan, että vuodessa saadaan  $1\,020\,000$  kuutiota biokaasua (kaasuntuotto  $3 \text{ m}^3$  / jätetonne).

$$1\,020\,000 \text{ m}^3/\text{a} * 20 \text{ a} = 20\,400\,000 \text{ m}^3$$

Kokonaismäärästä vähennetään neljän vuoden aikana pumpatut biokaasut ( $2\,400\,000$  kuutiota). Oletetaan, että vuodessa on pumpattu  $600\,000$  kuutiota.

$$4 \text{ a} * 600\,000 \text{ m}^3/\text{a} = 2\,400\,000 \text{ m}^3$$

$$20\,400\,000 \text{ m}^3 - 2\,400\,000 \text{ m}^3 = 18\,000\,000 \text{ m}^3$$

Lopputuloksena saadaan, että Majasaaren kokonaisbiokaasupotentiaali on ainakin 18 milj. m<sup>3</sup>. Oletetaan, että biokaasua muodostuu 20 vuoden ajan tasaisesti noin 1 milj. m<sup>3</sup> vuodessa.

Lasketaan 20 vuoden aikana saatava keskimääräinen polttoaine-energia. Kuvasta 7 nähdään, että 47 % metaanipitoisuudella saatava lämpöarvo on 4,6 kW/m<sup>3</sup>.

$$18\,000\,000\text{ m}^3 * 0,0046\text{ MWh/m}^3 = 82800\text{ MWh}$$

Yllä olevan laskelman mukaan 20 vuodessa saadaan yhteensä 82800 MWh polttoaine-energiaa.

Lasketaan Majasaaren biokaasupumppaamolta (vuonna 2006) saatujen tietojen avulla biokaasun lämpöarvo.

$$2966\text{ MWh} / 630\,000\text{ m}^3 = 0,0047\text{ MWh/m}^3 = 4,7\text{ kWh} / \text{m}^3$$

$$1\text{ kWh} = 3,6\text{ MJ}$$

$$3600\text{ kJ} * 4,7\text{ kWh/m}^3 = 16560\text{ kJ/m}^3$$

## 11 HYÖDYNTÄMISVAIHTOEHDOT MAJASAARESSA

### 11.1 Lämmön tuotanto

Majasaaren kaatopaikkakaasua käytetään tällä hetkellä hyväksi lämmöntuotantoon. Vastaanottorakennus, biokenttä ja öljyisten maiden vastaanottoalue lämmitetään biokaasulla. Käytössä on yhdistetty kaasu ja öljypoltin. Öljy toimii varajärjestelmänä, jos sattuu metaanin tuottoon tulemaan ongelmia. Nykyinen lämmöntuotanto riittää hyvin lämmittämään vastaanottorakennuksen, biokentän ja öljyisten maiden kentän. Lämmitettäviä kohteita voisi olla työkoneiden tallit. Koneiden säilytys lämpimässä tallissa suojaisi koneita. Etenkin talvella niiden korjaaminen olisi mukavampaa lämpimässä tallissa.

### 11.2 Sähkön ja lämmön tuotanto tai pelkkä sähkön tuotanto

Kaasun energiasisällöstä saadaan talteen 80–85 % yhdistämällä sähkön- ja lämmöntuotanto. Yhteistuotannolla saadaan 30–35 % sähköä ja 50 % lämpöä. Energiantuotantokustannukset ovat 15–30 euroa/MWh. Pelkällä sähköntuotannolla hyötysuhde jää 30–35 %:iin. Pelkän sähkötuotannon hyötysuhde jää niin pieneksi, että se ei ole järkevää. Yhteistuotannolla saadaan parempi tuotto sijoitetulle pääomalle. Majasaarella yhteistuotannolla saataisiin sähköä ainakin omaan käyttöön ja lämpöä omien rakennusten lämmitykseen.

### 11.3 Liikenteen polttoaineena

Kaasun käyttö liikenteen polttoaineena vaatii kaasun käsittelyn, johon kuuluvat kuivaus, puhdistus ja paineistus. Lisäksi kaasusta täytyy erottaa hiilidioksidi ja rikkivety. Painevesiabsorptiossa kaasusta voidaan erottaa hiilidioksidi ja rikkivety, jotka liukenevat veteen herkemmin kuin metaani. 100 m<sup>3</sup>/h virtaavan painevesiabsorptionlaitteiston investointikustannukset ovat 720 000 € ja käyttökustannuksia tulee 50 000 € vuodessa. Majasaaren työkoneita on mahdollista käyttää biokaasusta saatavalla polttoaineella. Liikenteen polttoaineen valmistaminen on kallista ja tuotanto täytyisi olla suurta ennen kuin sitä kannattaa alkaa jalostamaan. Pelkästään kaatopaikkakoneisiin ei kannata polttoainetta ruveta tekemään. Kaasu täy-

tyisi saada riittävän puhtaaksi, muutoin koneiden käyttöaika lyhentyisi epäpuhtaan kaasun johdosta.

#### 11.4 Kaasuputki Kainuun Voiman lämpövoimalalle

Majasaaren biokaasu voitaisiin hyödyntää Kainuun Voiman lämpövoimalassa. Kaasuputki Majasaaresta Kainuun Voimalle tulisi noin 12,6 kilometriä pitkäksi. Yksi varteen otettava vaihtoehto on rakentaa biokaasulaitos Majasaareen. Samalla putkella saadaan kaatopaikan -ja biokaasulaitokset kaasut vietyä Kainuun voimalle. Sarlin Oy:n tekemässä tutkimuksessa hyödyntämispaikka tulisi sijaita alle 10 kilometriä päässä, jotta putken tekeminen olisi taloudellisesti kannattavaa ja järkevää.

Yksi vaihtoehto olisi keskittää jätevesilietteet Majasaareen ja yhdistää jätevesilietteistä saatava kaasu biokaasun kanssa. Kainuun ympäristökeskuksen tutkija Tatu Turunen on arvioinut Majasaarenkangasta biokaasulaitoksen sijaintipaikkana. Etuina ovat tulleet esille juuri kaatopaikkakaasun ja jätevesilietteiden yhteistuotanto ja sitä kautta suuremmat biokaasumäärät. Kyseisen raportin mukaan 12,6 kilometrin putki maksaisi 0,5 miljoonaa euroa[14]. Kaasuputken rakentaminen ei ole taloudellisesti kannattavaa yli 10 kilometrin matkalle.

Biokaasu voitaisiin hyödyntää muutenkin, esimerkiksi lämmitykseen. Tämä edellyttää sitä, että hyödyntämispaikka on kohtuullisen matkan päässä Majasaaresta. Kaikki vaihtoehdot kannattaa selvittää tarkoin ja mahdollisuuksien mukaan hyödyntää jätteen sisältämä energia.

## 12 MITEN KAASUN SISÄLTÄMÄ ENERGIA SAADAAN HYÖTYKÄYTTÖÖN

### 12.1 Poltto- ja dieselmoottori

Moottorivoimala koostuu mäntämoottorista ja siihen liitetystä sähköä tuottavasta generaattorista. Kaasumoottorilla saadaan muutettua 30–40% kaasun energiasisällöstä sähköksi. Kaasumoottorin toiminta edellyttää metaanipitoisuudeksi 38 %. Sähköntuotantokustannukset ovat keskimäärin 30–50 euroa/MWh. Kiinteää biomassaa käytettäessä on polttoaine kaasutettava ja kaasu puhdistettava ennen polttamista kaasui- tai polttomoottorissa. Poltto- ja dieselmoottorien hankintakustannukset ovat alhaiset, mutta moottorien vaatima voitelu ja tiheä hoitoväli johtavat matalaan käyttöaikaan ja -ikään. Lisäksi melutaso on huomattava verrattuna muihin moottoreihin. Kaasumoottorin 1 MW polttoainetehosta saadaan 300 kW sähkö ja 600 kW lämpöä. [15.] Kuvassa 13 on esitetty kaasumoottori.



Kuva 13. Kaasumoottori [16.]

Mikäli polttomoottoria käytetään mikro CHP-laitteena, niin käytettävä kokoluokka on alle 100 kW. CHP tarkoittaa lämmön ja sähkön yhteistuotantoa. Järjestelmä on usein sarjavalmistettu pienmoottori, johon on liitetty kolmivaihegeneraattori. Iskutilavuudet ovat 250 – 1500 cm<sup>3</sup> sähkötehon pyöriessä muutamasta kW:sta 25–30 kW:iin. Kipinäsytytteisiä ns. otomoottoreita käytetään alle 100 kW:n luokassa ja suuremmissa luokissa puristus- ja dieselmoottoreita. Mikäli tällaisen moottorin laittaa biokaasulla toimivaksi, on oltava tarkkana, että biokaasu täyttää samat vaatimukset kuin diesel tai maakaasu. Muutoin takuu ei ole enää voimassa. Eri moottorivalmistajat ovat tutkineet biopolttoaineiden käyttöä polttomoot-

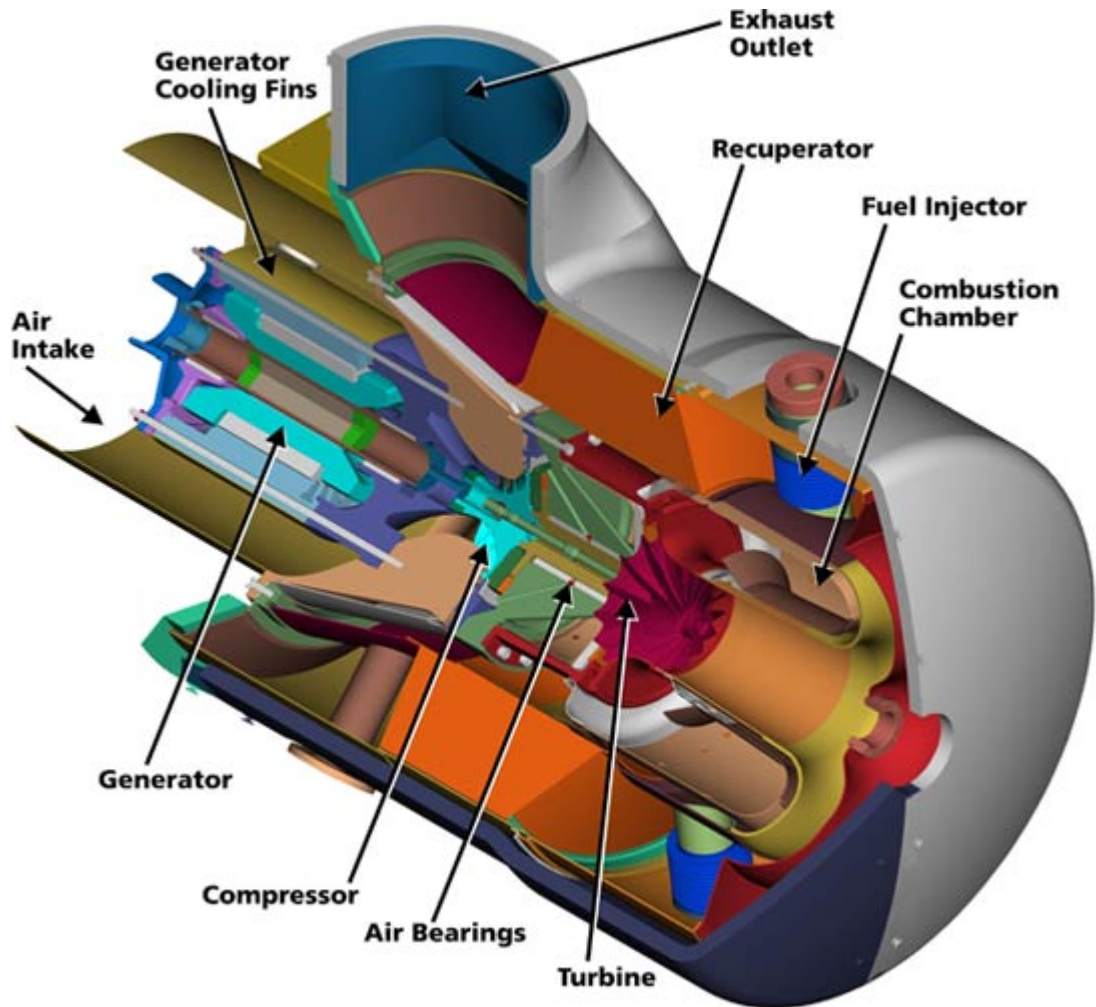
toireissa ja todenneet ne ongelmallisiksi. Biokaasu sisältää epäpuhtauksia, jotka syövyttävät konetta [15.]

## 12.2 Kaasuturbiini (mikroturbiini)

Mikroturbiini on varteenotettava vaihtoehto alle 200 kW:in luokassa. Mikroturbiinin käyttöikä on pitkä ja huoltovälit harvoja. Sen sijaan laitteiston hankintakustannukset ovat korkeat. Laitteen pitkä käyttöikä ja helppokäyttöisyys nostavat laitteen hankintahintaa. Laitteiston on oltava käytössä jatkuvasti, että toiminnasta saadaan kannattava. Mikroturbiinin etuna voidaan myös pitää sopeutumista verkon kuormituksiin. Yksittäisiä yksiköitä voidaan tarvittaessa sammuttaa.

Mikroturbiinilla saadaan muutettua kaasun energiasisällöstä 25–30 % sähköksi. Asennettaessa lämmön talteenotto saadaan energiasisällöstä muutettua 30 % sähköksi ja 60 % lämmöksi. Kaasuturbiinin minimimetaanipitoisuus on 30 %, ja se sietää hyvin epäpuhtauksia. Mikroturbiineja on 25–250 kW-tehoisia. Palamisilman esilämmityksellä saadaan parempi hyötysuhde. Turbiinista tulevan kaasun lämpötila on 450–550 astetta, jolloin sitä voidaan hyödyntää höyryn tuottamiseen. Mikroturbiineissa voidaan käyttää sekä kaasumaisia että nestemäisiä polttoaineita.

Mikroturbiinin toimintaperiaate on samanlainen kuin turboahtimen. Turboahtimessa ahdinpyörä työntää ilmaa palotilaan ja siellä syntyvät palokaasut pyörittävät poistuessaan turbiinipyörää. Mikroturbiinissa ahdinpyörän tuottama ilma johdetaan esilämmittimen kautta palotilaan, jossa siihen suihkutetaan polttoainetta ja palamisesta syntyvä energia pyörittää turbiinipyörää. Ahdin, turbiini ja generaattorin ankkuri ovat samalla akselilla. Generaattorin ankkuri tuottaa sähköä pyöriessä käämin sisällä. Syntyvä sähkö on suuritaajuuksista, johtuen turbiinin pyörimisnopeudesta, joka on 70 000–100 000 kierrosta minuutissa. Sähkö muutetaan muuntajassa verkkoon sopivaksi. Voidaan todeta, että mikroturbiini soveltuu hyvin kaatopaikkakäyttöön, koska biokaasun metaanipitoisuus vaihtelee kausittain ja mikroturbiini pystyy silti toimimaan häiriöitä [15.] Kuvassa 14 on esitetty mikroturbiinin periaatekuva.



Kuva 14. Mikroturbiinin periaatekuva [17.]

### 12.3 Stirling-moottori

Stirling-moottori eroaa diesel- ja ottomoottoreista sylinteritilan ja palamisen suhteen. Sylinteritila on suljettu ja palaminen tapahtuu sylinterien ulkopuolella. Stirling-moottorissa mäntä liikkuu työkaasun painenvaihteluiden seurauksena, kun sylinteriä lämmitetään ja jäädytetään. Tämän ulkoisen palamisen seurauksena moottoria voidaan käyttää erilaisilla polttoaineilla, kuten maakaasulla, öljyllä ja kiinteällä puumassalla. Stirling-moottorin etuina voidaan pitää alhaisia käyttökustannuksia, pitkää huoltoväliä, alhaista melutasoa ja pieniä päästöjä. Pienessä kokoluokassa se on kilpailukykyinen diesel- ja kaasumoottoreiden kanssa. Kokonaishyötysuhde on samalla tasolla kuin muissakin CHP-tekniikkaa hyödyntävissä laitoksissa, kun lämpö hyödynnetään käyttöveden ja tilan lämmittämiseen. Stirling-moottori soveltuu

parhaiten pieniin CHP-sovelluksiin. Stirling-moottoreita on saatavana vain kotitalouskäyttöön, joten kapasiteetti ei riitä kaatopaikalle tulevan biokaasun hyötykäyttöön ja kokemuksia kyseisestä laitteesta ei ole Suomesta saatavilla. Stirling-moottoria en näe Majasaareen soveltuvana, joten en ota sitä kustannus selvitykseen. [15.]

#### 12.4 Polttokenno

Polttokennossa kemiallinen energia (yleisimmin vety) muutetaan suoraan sähköksi. Yleisimmin polttoaineena on vety, jota voidaan tuottaa esimerkiksi maakaasusta reformoimalla. Polttotekniikassa reformoinnilla vetypitoinen polttoaine muutetaan vedyksi tai vetypitoiseksi kaasuseokseksi. Polttokennossa toiselle elektrodille syötetään polttoainetta ja toiselle elektrodille hapetinta, happea tai ilmaa. Kennon sisällä oleva elektrolyytti toimii varauksen kuljettajana (ionit) ja ulkoisessa virtapiirissä kulkevat elektronit puolestaan synnyttävät sähkövirran. Polttokennon reaktio riippuu käytetystä polttoaineesta ja elektrolyytistä. Karkeassa jaottelussa polttokennot jaetaan elektrolyytin mukaan happamiin ja alkaalisiin.

Kennoreaktiossa syntyvä vesi voidaan käyttää hyödyksi lämmityksessä. Hyötysuhde sähkön tuotannossa on 40–60 %, kun käytetään vetyä polttoaineena. Polttoaineen reformointi aiheuttaa hyötysuhteen laskemisen. Kokonaishyötysuhdetta laskee myös tarve muuttaa kennon tuottama tasavirta vaihtovirraksi. Polttokennojen etuja ovat erittäin alhainen melutaso ja korkea käytettävyys. Taloudellisesti kannattavia mikro CHP-polttokennoja arvioidaan olevan vuonna 2010.

Wärtsilän polttokennoteknologian kehittämisohjelmassa ensimmäinen SOFC-polttokennotyyppi käynnistettiin 29.10.2007. Prototyypin teho on 20 kilowattia. Tämä on ensimmäinen Suomessa rakennettu polttokenno ja ensimmäinen tasomaiseen SOFC-teknologiaan perustuva yksilö maailmassa, joka voi hyödyntää polttoaineena muun muassa biokaasua. SOFC eli Solid Oxide Fuel Cell on kiinteäoksidipolttokenno, joka toimii korkeissa lämpötiloissa. Polttokennoa pidetään yhtenä lupaavimmista energiantuotantomuodoista tulevaisuudessa [18]. Myös Siemensillä on olemassa 5 kW osista rakennettu 200 kW:n voimala, joka tosin ei perustu SOFC-teknologiaan. Ongelmana on saada taloudellisesti kannattava laitos, johon tällä hetkellä pystyy vain suuret noin 200 kW:n laitokset. Pienillä laitoksilla tuotot jää investointikustannuksia pienemmiksi. Nykyisellä hintatasolla polttokenno ei ole helposti kannattava, hintojen odotetaan laskevan kuluttajaystävälliselle tasolle vuoteen 2010 mennessä. Käy-



tännön tuloksia ja kokemuksia täytyy saada lisää, ennen kuin kannattaa kyseinen laite hankkia.

## 13 INVESTOINTI- JA KÄYTTÖKUSTANNUKSET ERI VAIHTOEHDOLLE

### 13.1 Polttomoottori

Polttomoottoriin perustuvaa valmista pakettia ei ole saatavilla, joten ainoa vaihtoehto on rakentaa järjestelmä itse. Romuttamoilta löytyy vanhoja diesel- ja bensiinimoottoreita kohtuulliseen hintaan. Tarvittava generaattori ja säätöosat eivät paljoa maksa, varsinkin jos niitä löytää käytettyinä. Lopputuloksena saadaan aggregaatti, joka toimii biodieselillä tai biokaasulla (biokaasun käyttö vaatii lisäksi sytytysjärjestelmän dieseliin tai bensiinimoottoriin). Esim.

- Volkswagenin kone 66 kW bensiinikone maksaa noin 400 €.
- Generaattori ja säätöosat n. 3000 €
- Lämmönvaihtimet käsityönä, asennukset ja hienosäätö n. 2000 €

Loppuhinta on noin 6000 € perinteisellä tekniikalla ja käytetyillä osilla. Kustannukset kasvavat, mikäli halutaan käyttää uudempia osia. Järjestelmän eri vaiheisiin pystyy itse vaikuttamaan, kun on kyseessä osista rakennettu, eikä valmis paketti. Ilman osaavaa työvoimaa järjestelmän rakentaminen on mahdotonta.

Biokaasukäyttöön suunniteltu valmis polttomoottoripaketti maksaa 450–1000 €/kW. Kyseinen hinta sisältää kaikki tarvittavat osat ja asennukset. Hinnat vaihtelevat moottori koon mukaan, moottoreiden kokoluokka vaihtelee 100 kW:sta 2 MW:n tehoihin.

Polttomoottorin käyttökustannukset ovat korkeammat kuin muilla hyödyntämisvaihtoehdoilla. Käyttökustannuksiin täytyy laskea mahdolliset hihnojen ja öljyjen vaihdot sekä muut mahdolliset toimintahäiriöt. Polttomoottori vaatii käytännössä jokapäiväiset tarkistukset. Käyttökustannukset ovat arviolta 0,02–0,05 €/kWh. [12.]

### 13.2 Kaasuturbiini (mikroturbiini)

Suomessa mikroturbiinien jakelua hoitavat Sarlin ja Greenviroment. Greenviromentin Gaps-tone mikroturbiini (toimii biokaasulla ja -dieselillä) kustannukset vaihtelet turbiinin koon

mukaan. Investointikustannukset ovat arviolta 700–1200 €/kWh. Käytännössä 150 kW mikroturbiini maksaa noin 102 000 – 180000. Laskelmissa on käytetty hankintahintana keskiarvoa 141 000 €. Laitteiston toimittajien mukaan kustannukset tulevat laskemaan tulevaisuudessa. Huolto- ja käyttökustannukset ovat 0,006 – 0,017 € /kWh. Mikroturbiinien investointikustannusten arvioidaan olevan vuonna 2010 noin 650 € / kW.

### 13.3 Stirling-moottorit

Ulkomailta tilatun Solon V161 stirling-moottorin (toimii maakaasulla, pitäisi näin toimia bio-kaasullakin) hinta ilman arvonlisäveroa on noin 24 900 €. Kokonaishinta on noin 31 000 € johon sisältyy rahti ja arvonlisävero. Kustannuksia tulee lisää vielä asennuksesta. Käyttökustannukset ovat alhaiset noin 0,03 – 0,08 €/kWh.

### 13.4 Polttokenno

Polttokennon kustannuksia ei ole vielä saatavilla, koska laite on vasta prototyyppiasteella. Kaupallisesti sitä ei ole vielä saatavilla. Kustannuksia ei voi kuin arvailla ja oman näkemyksen mukaan laitteet ovat hintavia, kyseessä on ainut 50 %:in hyötysuhteeseen sähköntuotannossa pääsevä hyödyntämisvaihtoehto. Polttokennojen hinnat ovat arviolta 2500–3000 € / kW. Arvioiden mukaan hinnat tulevat laskemaan ja ne tulevat olemaan 1500 -2000 € luokkaa vuonna 2010. Aika näyttää, miten hintojen laskun todella käy.

### 13.5 Kaasuputki Kainuun voiman lämpövoimalalle

Kaasuputken kustannukset 40–100 €/m riippuen putken halkaisijasta ja maastosta. Lasketaan keskiarvolla 70 € / m.  $70 \text{ €} * 12600 = 882 \text{ 000 €}$

## 14 INVESTOINTILASKELMAT

### 14.1 Investoinnin laskemisessa käytettäviä arvoja

Taulukossa 5 on laskettu biokaasun normivirtaama tunnissa ja polttoaineteho

Normivirtaama saadaan biokaasun määrä jaettuna vuodessa olevilla tunneilla

$$1\,020\,000\text{ m}^3\text{ a} / 8760\text{ h (365d * 24h)} = 116\text{ Nm}^3/\text{h}$$

Polttoaineteho saadaan normivirtaama kertomalla lämpöarvolla

$$116\text{ Nm}^3/\text{h} * 4,3\text{ kWh/Nm}^3 = 498,8\text{ kW}$$

Taulukko 5. Biokaasusta saatava virtaama ja polttoaineteho

biokaasun määrä m <sup>3</sup> /a	virtaama Nm <sup>3</sup> /h	metaanipitoisuus til-%	lämpöarvo kWh/Nm <sup>3</sup>	polttoaineteho kW
1 020 000	116	45	4,3	501
1 701 500	194	45	4,3	835
3 403 000	388	45	4,3	1670
1 020 000	116	50	4,9	571
1 701 500	194	50	4,9	952
3 403 000	388	50	4,9	1904
1 020 000	116	55	5,4	629
1 701 500	194	55	5,4	1049
3 403 000	388	55	5,4	2098

Lasketaan biokaasusta saatava polttoaine-energia 45 % metaanipitoisuudella. Polttoaine-energia saadaan biokaasun määrä kerrottuna lämpöarvolla

$$1\,020\,000\text{ m}^3 / \text{a} * 4,3\text{ kWh} / \text{m}^3 = 4386000\text{ kWh} = 4386\text{ MWh}$$

$$1\,701\,500\text{ m}^3 / \text{a} * 4,3\text{ kWh} / \text{m}^3 = 7316450\text{ kWh} = 7316\text{ MWh}$$

Biokaasusta saatava polttoaine-energia 50 % metaanipitoisuudella

$$1\,020\,000\text{ m}^3 / \text{a} * 4,9\text{ kWh} / \text{m}^3 = 4998000\text{ kWh} = 4998\text{ MWh}$$

$$1\,701\,500\text{ m}^3 / \text{a} * 4,9\text{ kWh} / \text{m}^3 = 8337350\text{ kWh} = 8337\text{ MWh}$$

Lasketaan polttoainetehon pohjalta kannattavuuslaskelmat. Taulukosta 5 otetaan taulukkoon 6 polttoainetehoksi 500 kW. Polttoainetehto on laskettu pienimmillä arvoilla, joten sitä voidaan pitää melko todennäköisenä. Taulukon 6 mukaan laitteiston käyttöajaksi oletetaan 8400 tuntia vuodessa, ja otetaan huomioon mahdolliset huoltokatkot tuotannossa. Investoinnin pitoajaksi valitaan 20 vuotta. Investoinnin kannattavuutta laskettaessa otetaan huomioon 4,5 prosentin korko. Tässä laskelmassa otetaan huomioon ns. pakolliset kaasuinvestoinnit (esiselvitystyö, kaasunkeräysputkisto ja siirtoputket).

Taulukko 6. Investointeihin käytettäviä lähtöarvoja

Kohde	arvo	yksikkö
Polttoainetehto	0,5	MW
Käyttöaika	8400	h/a
investoinnin pitoaika	20	a
laskentakorko	5	%
Esiselvitystyö kaatopaikalla	3000	€
Kaasunkeräysputkiston rakentaminen	120000	€
Siirtoputket a 40 € / m	3000	€

Taulukossa 7 on esitetty hyödyntämisvaihtoehdot ja niiden investointikustannukset euroa / kilowatti, huolto- ja käyttökustannukset euroa / kWh, hyötysuhde lämmön ja sähkön yhteistuotannolla ja sähkön tuotantokustannukset euroa / kWh. Kustannukset on otettu laitevalmistajien sivuilta, Oulun Jätehuollon rakentaman ja Sarlin Oy:n toimittaman mikroturbiinilaitoksen toteutuneista kustannuksista sekä muissa vastaavanlaisissa tutkimuksista käytetyistä hinnoista. Olen pyrkinyt ottamaan huomioon tämän päivän hintatason taulukossa. Käytän laskuissa hintojen keskiarvoa.[19].

Taulukko 7. Hyötykäytön kustannuksia eri vaihtoehdoilla

hyödyntämisvaihtoehto	investointi €/kW	huolto- ja käyttö €/kWh	hyötysuhde lämpö / sähkö %	sähkön tuotantokustannukset € / kWh
polttomoottori	450–1000	0,02–0,05	50 30	0,035–0,045
mikroturbiini	700–1200	0,008–0,015	50 30	0,03–0,04
kaasumoottori	600–1200	0,018–0,035	60 30	0,03–0,05
polttoaineeksi jalostus tankkaus	400–1200 80–130	0,01–0,045 0,001–0,005		

## 14.2 Investointivaihtoehto 1 (suuri)

Suuri investointivaihtoehto sisältää kaikki Majasaaren jätekeskuksessa syntyvän biokaasun hyödyntämisen lämmön ja sähkön yhteistuotannolla. Tuotanto kattaa oman kulutuksen lisäksi ylijäämä sähkön myymisen sähköverkkoon. Laskelmissa vertaillaan kolmen (mikroturbiini, polttomoottori ja kaasumoottori) eri moottorivaihtoehdon kannattavuutta investointi- ja käyttökustannuksien avulla.

Saatujen laskelmien pohjalta polttoainetehoksi on saatu noin 500 kW. Otetaan huomioon hyötysuhteet lämmön- ja sähköntuotannossa. 500 kilowattitunnista saadaan muutettua 30 % sähköksi ja 50 % lämmöksi. Näin saadaan sähköksi 150 kW ja lämmöksi 250 kW. Tarkastelen pelkästään sähköntuottoa, koska polttoaineeksi jalostaminen näyttää tulevan sen verran kalliiksi, että ei kannata kyseisellä tuotolla polttoaineeksi jalostaa.

Laskukaavat

$$P = \frac{E}{t} \quad (4)$$

P = teho [kW]

E = energiamäärä [kWh]

t = aika [h]

$$P * \eta = P_{tot}$$

$\eta$  = hyötysuhde

### **Mikroturbiini**

Lasketaan mikroturbiinilla tuotetun sähkön 30 % ja lämmön 50 % määrä. Käyttöaika oletetaan olevan 8400 tuntia vuodessa.

polttoaineteho kerrottuna hyötysuhteella, näin ollen saadaan todellinen sähköteho.

$$500 \text{ kW} * 0,30 = 150 \text{ kW}$$

Lasketaan kaavaa 4 soveltaen sähkön energiamäärä.

$$150 \text{ kW} * 8400 \text{ h} = 1\,260\,000 \text{ kWh} = 1260 \text{ MWh sähköä}$$

polttoaineteho kerrottuna hyötysuhteella, näin ollen saadaan todellinen lämpöteho.

$$500 \text{ kW} * 0,50 = 250 \text{ kW.}$$

Lasketaan kaavaa 5 soveltaen lämmön energiamäärä

$$250 \text{ kW} * 8400 = 2\,100\,000 \text{ kWh} = 2100 \text{ MWh lämpöä.}$$

Investointikustannukset

Mikroturbiini 145 kW + lämmöntalteenotto.

$$150 \text{ kW} * 900 \text{ €} / \text{ kW} = \mathbf{135\,000 \text{ €}}$$

Huolto- ja käyttökustannukset

$$150 \text{ kW} * 8400 \text{ h} = 1\,260\,000 \text{ kWh} * 0,012 \text{ €/kWh} = \mathbf{15\,120 \text{ €}}$$

### **Polttomoottori**

Lasketaan polttomoottorilla tuotetun sähkön 30 % ja lämmön 50 %. Käyttöaika oletetaan olevan 8400 tuntia vuodessa.

$$500 \text{ kW} * 0,30 = 150 \text{ kW}$$

$$150 \text{ kW} * 8400 \text{ h} = 1\,260\,000 \text{ kWh} = 1260 \text{ MWh sähköä}$$

$$500 \text{ kW} * 0,50 = 250 \text{ kW}$$

$$250 \text{ kW} * 8400 \text{ h} = 2\,100\,000 \text{ kWh} = 2100 \text{ MWh lämpöä}$$

Investointikustannukset

Polttomoottori + generaattori 150 kW + lämmöntalteenotto.

$$150 \text{ kW} * 750 \text{ €} / \text{ kW} = \mathbf{112\,500 \text{ €}}$$

Huolto- ja käyttökustannukset

$$150 \text{ kW} * 8400 \text{ h} = 1\,260\,000 \text{ kWh} * 0,03 \text{ €/kWh} = \mathbf{37\,800 \text{ €}}$$

### Kaasumoottori

Lasketaan kaasumoottorilla tuotetun sähkön 30 % ja lämmön 60 %. Käyttöaika oletetaan olevan 8400 tuntia vuodessa.

$$500 \text{ kW} * 0,30 = 150 \text{ kW.}$$

$$150 \text{ kW} * 8400 \text{ h} = 1\,260\,000 \text{ kWh} = 1260 \text{ MWh sähköä}$$

$$500 \text{ kW} * 0,60 = 300 \text{ kW}$$

$$300 \text{ kW} * 8400 = 2\,520\,000 \text{ kWh} = 2520 \text{ MWh lämpöä}$$

Investointikustannukset

Kaasumoottori 150 kW + lämmöntalteenotto

$$150 \text{ kW} * 800\text{€} / \text{kW} = \mathbf{120\,000 \text{ €}}$$

Huolto- ja käyttökustannukset

$$150 \text{ kW} * 8400 \text{ h} = 1\,260\,000 \text{ kWh} * 0,020 \text{ €/kWh} = \mathbf{25\,200 \text{ €}}$$

Taulukossa 8 lasketaan 500 kilowatin polttoainetehosta saatavat sähkön ja lämmön energiamäärät vuodessa.

Taulukko 8. 500 kW:n polttoainetehosta saatavat energiat vuodessa

hyödyntämismuoto	mikroturbiini	polttomoottori	kaasumoottori
sähkön tuotto MWh / a	1260	1260	1260
lämmön tuotto MWh / a	2100	2100	2520

Taulukossa 9 on laskettu kolmen (mikroturbiini, polttomoottori ja kaasumoottori) eri hyödyntämismuotojen kokonaiskustannukset. Investointikustannuksiin kuuluvat moottori, generaattori, lämmöntalteenotto, rakentaminen, asentaminen ja muut mahdolliset oheislaitteet. Kokonaiskustannuksiin on lisäksi laskettu esiselvitystyöt kaatopaikalla, uusien kaasunke- räysputkien rakentaminen ja mahdolliset siirtoputket. Kustannustiedot on saatu soveltamalla toteutuneiden hankkeiden kustannuksia laitetoimittajien kustannustaulukoihin. Kauppa- ja



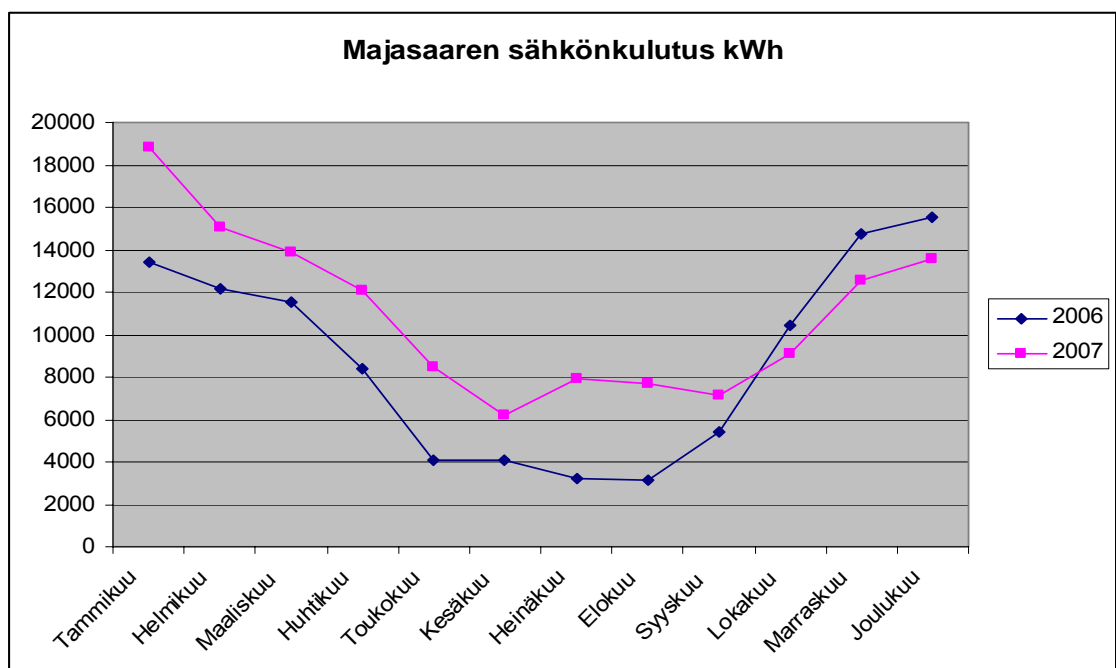
teollisuusministeriö tukee yleiseen sähköverkkoon liitettyä voimalaa, joka tuottaa sähköä uusiutuvilla energiamuodoilla. Tuki on yleensä 20–35 %.

Taulukko 9. Investointien kokonaiskustannukset

hyödyntämismuoto	mikroturbiini	polttomoottori	kaasumoottori
investoinnit €	135000	112000	120000
Esiselvitystyö	3000	3000	3000
Kaasunkeräysputkisto	120000	120000	120000
Siirtoputket	3000	3000	3000
Investoinnit € yhteensä	261000	238000	246000
investointituki -35 %	91350	83300	86100
investointituki -20 %	52200	47600	49200

### 14.3 Majasaaren sähkönkulutus

Kuvassa 15 on esitetty Majasaaren sähkönkulutukset kahden viime vuoden ajalta. Taulukkoa tutkimalla nähdään, kuinka sähkönkulutus on noussut yhdeksän kuukauden aikana ja laskeut vastaavasti kolmen kuukauden aikana. Tämä johtuu osittain lisääntyneistä tekniikoista ja uuden vastaanottorakennuksen käyttöönotosta. Sähkön kulutuksen laskeminen talvikuukausina on johtunut leudosta talvesta. Majasaaren sähkönkulutus oli vuonna 2006 noin 106 031 kWh ja vuonna 2007 noin 132 530 kWh.



Kuva 15. Majasaaren sähkönkulutus vuosina 2006 ja 2007.

Taulukossa 10 on esitetty sähkön tuotannosta aiheutuvia kustannuksia vuodessa. Kustannuksiin täytyy lisätä vielä mahdollinen liittymismaksu, joka riippuu paikallisesta sähköyhtiöstä. Arvioiden mukaan se on noin 7000 €. Huolto- ja käyttökustannusten määrät ovat laitteiden toimittajien antavien arvioiden pohjalta laskettu.

Taulukko 10. Sähkön tuotosta aiheutuvat kustannukset vuodessa

hyödyntämismuutosto	mikroturbiini	polttomoottori	kaasumoottori
huolto- ja käyttökustannukset € / a	15120	37800	25200
verkkoon annon siirtohinta 3,4 € / MWh (sis. paikallistuotantomaksun ja kuormituskustannuksen)	4284	4284	4284
Yhteensä €	19261	42084	29484

Arvioidaan kulutuksen olevan 135 MWh vuodessa Kokonaistuotannosta vähennetään oman sähkön käytön osuus. Näin ollen myyntiin saadaan eri vaihtoehdoilla

Mikroturbiini, 1260 MWh – 135 MWh = 1125 MWh

Polttomoottori, 1260 MWh – 135 MWh = 1125 MWh

Kaasumoottori, 1260 MWh – 135 MWh = 1125 MWh

Taulukossa 11 on esitetty sähkön myynnistä saatavia tuloja. Sähkön myyntihinta on otettu keskiarvon mukaan. Tarkka myyntihinta voidaan tarkistaa paikallisesta sähköyhtiöstä ja sähkön hinnan jatkuvan nousumisen johdosta luulen sen olevan korkeampi kuin mitä olen laskuissa käyttänyt. Pienvoimaloille yleisesti annettava sähkön tuotannon tuki on 4,2 €/ MWh. Lisäksi taulukkoon on laskettu oman sähkönkäytön osuus vuodessa ja lisätty se tuotoksi. Sähkön ostohintana on käytetty 9 c / kWh (sis. sähköveron ja siirron).

Taulukko 11. Sähkön myynnistä saatavat tuotot

hyödyntämismuutosto	mikroturbiini	polttomoottori	kaasumoottori
sähkön myynti 35 € / MWh	37905	39375	39375
sähkön tuotannon tuki 4,2 € / MWh	4549	4725	4725
oman kulutuksen säästö vuodessa 135 MWh	12150	12150	12150
yhteensä	54604	44100	44100

#### 14.4 Nykyarvomenetelmä

Investoinnin kannattavuus lasketaan nykyarvomenetelmällä, jossa investoinnissa syntyneet kokonaiskustannukset ja koko investoinnin pitoajalta saadut säästöt diskontataan nykyhetkeen. Nykyarvomenetelmällä saadaan selville investoinnin nykyarvo ja sen ollessa positiivinen, investointi on kannattava.

Nykyarvomenetelmän lasketaan yhtälöllä 5

$$NA = -I_0 + \sum a_{t/i} \cdot S_a + a^t \cdot JA_t \quad (5)$$

Yhtälössä 5.

NA = investoinnin nykyarvo

$I_0$  = perusinvestoinnin suuruus

$S_a$  = vuotuinen nettosäästö

JA = investoinnin jäännösarvo

$a_{t/i}$  = jaksollisten maksujen diskonttaus, nykyarvotekijä

$a^t$  = yksittäisen maksun diskonttaustekijä

t = investoinnin pitoaika

Investoinnin  $I_0$  määrä lasketaan taulukossa 9 tehtyjen laskujen pohjalta. Vertaillaan mikroturbiinilaitoksen investointia, koska se oli laskelmissa edullisin vaihtoehto. Oletetaan, että

investointituen määrä on 35 %. Näin ollen investoinniksi saadaan  $256\,500\text{ €} - 89\,775\text{ €} = \mathbf{166\,725\text{ €}}$

Vuotuinen nettosäästö  $S_a =$  sähkötuotot - tuotantokustannukset

$$S_a = 54\,604\text{ €} - 18\,253\text{ €} = \mathbf{36\,351\text{ €}}$$

Nettosäästön osuus muuttuu, mikäli sähköntuotanto- ja huoltokustannukset saadaan arvioitua pienemmiksi tai sitten myytävän sähkön hinta korkeammaksi kuin arvioitu sähkön myynti hinta.

Käytetään taulukossa 8 olevia arvoja investoinnin pitoajalle  $t = 20$  vuotta ja laskentakorolle  $i = 5\%$  saadaan jaksoittaisille maksuille nykyarvo. 1. diskonttaustekijälle  $a_{t/i}$  yhtälön 6 avulla.

$$a_{t/i} = \frac{(1+i)^t - 1}{i \cdot (1+i)^t} = \frac{(1+0,05)^{20} - 1}{0,05 \cdot (1+0,05)^{20}} = 12,46 \quad (6)$$

Yhtälön 6 avulla saadaan laskettua investoinnin nykyarvo NA:

$$NA = -166\,725\text{ €} + (12,46 \cdot 36\,351)\text{ €} = \mathbf{286\,208\text{ €}}$$

Investoinnin nykyarvo näyttää olevan positiivinen ja näin ollen taloudellisesti kannattavaa. Täytyy huomioida, että biokaasun tuotto on laskettu pienemmällä mahdollisella arvolla ja metaanipitoisuudella 40 %. [6.]

Lasketaan mahdollisen lainan annuiteetti ja korko. Otetaan lainaa 20 000 enemmän mahdollisten yllättävien kustannusten varalta.

Lainamääräksi otetaan 185 000 €, korko 5 % ja laina-aika 10 vuotta.

Tasaerä on

$$\frac{1,05^{10} \cdot 0,05}{1,05^{10} - 1} \cdot 185\,000\text{ €} = 23\,958\text{ €}$$

Kokonaiskorko

$$10a \cdot 23\,958\text{ €} / a = 239\,584\text{ €} - 185\,000\text{ €} = \mathbf{54\,584\text{ €}}$$

Lasketaan 185 000 € luotolle 10 tasaeran korko ja lyhennys. Vuodessa lyhennetään lainasta noin 24 000 euroa. Kokonaiskoroksi tulee noin 54 600 € ja näin ollen lainan kokonaismäärä on 240 000 €.

#### 14.5 Investointivaihtoehto 2 (pieni)

Pieni investointivaihtoehto käsittää biokaasun sisältämän energian hyödyntämisen sähkön ja lämmön tuottamiseen pelkästään Majasaaren jätekeskuksen omaan käyttöön.

Lasketaan Majasaaren vuotuiselle sähkönkulutukselle (135 MWh) tarvittavan mikroturbiinin teho ja sen investointikustannukset.

Kaavan 4 avulla lasketaan Majasaaren tehontarve.

$$P = 135000 \text{ kWh} / 8760 \text{ h} = 15,4 \text{ kW}$$

Otetaan huomioon kulutusvaihtelukerroin, jolla saadaan vuorokaudessa tapahtuvien kulutuserojen keskiarvo. Esim. yöllä sähkönkulutus on vähäisempää kuin päivällä. Kulutusvaihtelukerroin arvioidaan olevan 1,4.

$$15,4 \text{ kW} * 1,4 = 21,56 \text{ kW}$$

Majasaaren sähkönkulutus vaatii arviolta 21,6 kW sähkötehontarpeen. Lasketaan tarvittava mikroturbiinin teho, joka on 88 kW. Tällä saadaan sähkötehoa 25 % hyötysuhteella 22 kW ja lämpötehoa 55 % hyötysuhteella 48,4 kW. Lasketaan 88 kW:n turbiinin investointikustannukset

Taulukosta 11 saadaan investoinnille kustannukset seuraavasti

$$88 \text{ kW} * 900 \text{ €} / \text{kW} = \mathbf{79\ 200 \text{ €}}$$

$$79\ 200 \text{ €} + 3000 \text{ (esiselvitys)} + 60\ 000 \text{ (keräysputkisto)} + 3000 \text{ (siirtoputket)} =$$

$$145\ 200 \text{ €} - 50820 \text{ € (35 \% avustus)} = \mathbf{94\ 380 \text{ €}}$$

Tuotot

$$\text{Oletetaan, että tuotetaan sähköä } 22 \text{ kW} * 8400 \text{ h} = 184800 \text{ kWh} = 185 \text{ MWh}$$

siitä otetaan 135 MWh omaan käyttöön.

$$4,2 \text{ € / MWh} * 135 \text{ MWh} = 567 \text{ € (Sähkön tuotannon tuki 4,2 € / MWh)}$$

$$135\ 000 \text{ kWh} * 9 \text{ c / kWh} = 1215000 \text{ c} = 12150 \text{ € (Oma käyttö 135 MWh)}$$

Yhteensä **12 717 €**

Kulut

Huolto- ja käyttökustannukset

$$1,1 \text{ c / kWh} * 135\ 000 \text{ kWh} = \mathbf{1485 \text{ €}}$$

Lasketaan yhtälön 5 avulla investoinnille nykyarvo. Oletetaan käyttöiän olevan 20 vuotta ja korkokannan 5 %

$$NA = -94\ 380 \text{ €} + (12,4 * 11232) \text{ €} = \mathbf{44\ 897 \text{ €}}$$

Investoinnin nykyarvo saadaan positiiviseksi. Käytännössä pelkästään omaan käyttöön tuotettu sähkökin on kannattavaa pitkällä aikavälillä.

Lasketaan 88 kW:n kaasumoottorin investointikustannus.

$$88 \text{ kW} * 800 \text{ € / kW} = \mathbf{70\ 400 \text{ €}}$$

$$70\ 400 \text{ €} + 3000 \text{ (esiselvitys)} + 60\ 000 \text{ (keräysputkisto)} + 3000 \text{ (siirtoputket)} =$$

$$136\ 400 \text{ €} - 47\ 740 \text{ € (35 \% avustus)} = \mathbf{88\ 660 \text{ €}}$$

Tuotot (samat kuin mikroturbiinilla) **12 717 €**

Kulut

Huolto- ja käyttökustannukset

$$2,0 \text{ c / kWh} * 135\ 000 \text{ kWh} = \mathbf{2700 \text{ €}}$$

Lasketaan yhtälön 5 avulla investoinnille nykyarvo. Oletetaan käyttöiän olevan 20 vuotta ja korkokannan 5 %

$$NA = -88\,660 \text{ €} + (12,4 * 10017) \text{ €} = \mathbf{35\,550 \text{ €}}$$

## 15 SÄHKÖN PIENTUOTANNON LIITTÄMINEN VERKKOON

Sähkön pientuotannolle on olemassa monia eri määritelmiä. Määritelmät riippuvat usein määritelmän tekijästä. Nimellis- ja maksimitehot ovat yleensä määritelmien pohjana, kuitenkin liittymäverkon mukaista rajausta käytetään. Pienimuotoisesta sähköntuotannosta puhuttaessa tarkoitetaan tuotantoa muutamasta kymmenestä kilowatista muutaman megawatin tehoihin. VTT:n mukaan sähkön pientuotantoa on sähköntuotantolaitos, joka on liitetty pien- tai keskijänniteverkkoon tai siihen liitetyn asiakkaan verkkoon. Pienjänniteverkolla tarkoitetaan 0,4 kV:n verkkoa ja keskijänniteverkolla 6-70 kV:n verkkoa.

### 15.1 Pienen sähköntuottajan oikeudet ja lainsäädäntö

Sähkön tuottaminen on vapaata toimintaa kaikille. Lisäksi sähköverkkoon liittyminen ja sähkön myyminen avoimilla markkinoilla on sallittua. Sähköntuotantolaitoksen täytyy täyttää viranomaisten asettamat tekniset- ja ympäristövaatimukset. Pienvoimalat jaotellaan kahteen eri ryhmään. On olemassa voimaloita, joita ei ole liitetty yleiseen verkkoon vaan ne toimivat vaihtoehtona yleiselle sähköverkolle sekä voimaloita, jotka toimivat rinnan yleisen sähköverkon kanssa eli tuotantoa voidaan siirtää yleiseen verkkoon.

Verkkotoiminnan harjoittajaa sitoo sähkömarkkina- ja laissa määritetyt yleiset velvoitteet. Tärkeimmät pientuottajaan koskevat velvoitteet ovat kehittämis-, liittämisen- ja siirtovelvollisuus. Verkon kehittämisvelvollisuuden mukaan verkonhaltija tulee ylläpitää, käyttää ja kehittää verkkoa asiakkaiden kohtuullisten tarpeiden mukaan ja turvata hyvänlaatuinen sähkö kuluttajille. Liittämisenvelvollisuuden mukaan verkonhaltijalla on velvollisuus liittää tekniset vaatimukset täyttävät sähköntuotantolaitos ja käyttöpaikat verkkoonsa kohtuullista korvausta vastaan. Verkonhaltijalla on annettava liittäjälle yksityiskohtainen arvio kustannuksista. Verkonhaltijan siirtovelvollisuus velvoittaa verkonhaltijaa myymään sähkön siirtopalveluja kohtuullista korvausta vastaan niitä tarvitseville. Pienvoimaloihin riittää usein rakennuslupa ja siihen liittyvät liitteet. Mikäli sähköverkkoon liittyminen vaatii jakeluverkon rakentamista sähköntuotantopaikkaan, tarvitaan sähköverkon rakentamiseen luvat. [21.]



## 15.2 Verotus, tuet ja lainsäädäntö

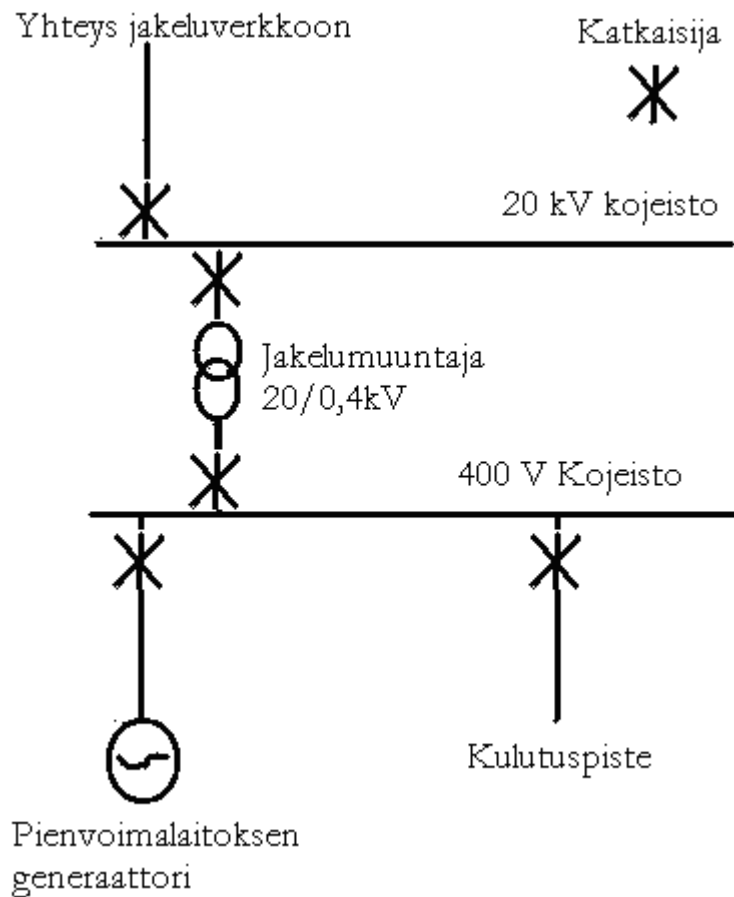
Sähköntuottaja on sähköverovelvollinen yhdessä verkonhaltijan kanssa. Näin ollen molemmilla täytyy ilmoittaa rekisteröitymisestä paikalliselle tullipiirille. Sähköveroon kuuluu valmistevero ja huoltovarmuusmaksu. Mikäli sähkön on tuotettu alle 2 MW:n tehoisessa generaattorissa ja sitä ei siirretä valtakunnan sähköverkkoon, siitä ei tarvitse maksaa sähköveroa.

Sähkön valmistevero ja huoltovarmuusmaksu määrätään verokaudella tuotetusta sähköstä. Sähköveroa ei tarvitse maksaa mikäli sähköntuottaja luovuttaa sähkön sähköverkkoon tai sähkö kulutetaan sähkön tai yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon omakäyttölaitteessa. Yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon verotus perustuu siihen mitä laitos tuottaa kyseisen verokauden aikana. Energiaverolainsäädännön periaatteena on se, että sähkön tuotannossa kulutetut polttoaineet on verottomia ja lämmöntuotannossa kulutetut polttoaineet verollisia.

Biokaasulla tuotetulle sähkölle saa tukea 4,2 €/ MWh. Tuen saaminen edellyttää, että sähköä on tuotettu vähintään 100 MWh. Tukea haetaan paikalliselta tullipiiriltä. Lisäksi uusiutuvia energianlähteitä käyttäviin energiaratkaisuihin on mahdollista saada investointitukea. Tuen määrä voi olla enimmillään 40 % investointikustannuksista. Alle kahden miljoonan euron investointeihin haetaan tukea paikalliselta TE-keskukselta tai KTM:ltä. [11.]

## 15.3 Sähköverkkoon liittyminen

Pienvoimalan liittäminen verkkoon on haasteellista. Sähköverkkoon liittymiseen vaikuttavat tuotantolaitoksen koko, generaattorityyppi, jakeluverkon rakenne ja ominaisuudet. Verkkoon liittäminen voi muuttaa tehovirtauksen suuruutta tai jopa suuntaa. Pienvoimalan sähköverkkoon liittäminen on arvioitava aina tapauskohtaisesti. Kuvassa 16 on esitetty yksinkertainen ja pelkistetty kaavio pienen noin 100 kW:n voimalaitoksen liittämisestä samaan 400 V kojeistoon kulutuksen kanssa.



Kuva 16. Kaaviokuva pienvoimalan kytkemisestä [21.]

#### 15.4 Tarvittavat sopimukset

Sähköverkkoon liittymiselle tarvitaan seuraavat sopimukset. Liittymissopimuksessa jakeluverkkoyhtiön kanssa, sovitaan mm. seuraavista asioista:

- liittämiskohta
- sähköntuotantolaitteistolle asetettavat vaatimukset
- sähköntuotantolaitteiston käyttö ja suojaus
- teho- ja energia-arvojen rajat ja vastuuhenkilöt.

Seuraavaksi tarvitaan verkkopalvelusopimus verkkoyhtiön kanssa. Kyseisen verkkopalvelusopimuksen tehnyt tuotantolaitos voi toimia rinnan jakeluverkon kanssa. Liittymissopimuk-

set kyseistä sähköntuotantopaikkaa koskien täytyvät olla voimassa ja verkkopalvelun aloittaminen edellyttää voimassa olevaa sähkönmyyntisopimusta. Sähkönmyyntisopimuksessa sähköntuottaja sopii sähköenergian myyntimäärän ja –hinnan.

Liittymismaksujen ja siirtotariffien hinnoitteluperiaatteista kannattaa olla yhteydessä jo voimalaitoksen suunnitteluvaiheessa paikallisen verkkoyhtiön kanssa.

Sähkön siirtohinnat voivat vaihdella esim. biokaasulla toimivassa kaasumoottorilaitoksessa 600 € hyvityksestä 6200 euron maksuun. Jotkut yhtiöt voivat siis jopa hyvittää sähkön siirrosta. [21.]

## 16 TYÖN ANALYSOINTI KOKONAISUUTENA

Insinööriyössä on selvitetty Majasaaren jätekeskuksen biokaasun hyödyntämistä tulevaisuudessa. Merkittävässä asemassa on Majasaaren tuotavien jätteiden laatu eli kuinka paljon jätteet sisältävät orgaanista ainetta, joka hajotessaan anaerobisesti tuottaa biokaasua. Työssä on laskettu Majasaaren jätekeskukseen tuodut jätteet kokonaisuudessaan. Biokaasunpotentiaali ja niistä saatavat energiat on määritetty pienimmällä tuottokertoimella kaatopaikkajätetonna kohti. Tuottokertoimet on saatu tunnetuimpien tutkijoiden (Matti Ettala ja Sarlin Oy:n) tekemistä kaatopaikkatutkimuksista.

Tarkkaa biokaasunmäärää on mahdoton selvittää, laskelmat ovat arvioita, joiden pohjalta voidaan tehdä lisätutkimuspäätöksiä. Käytännössä investointipäätökseen täytyy olla tarkka ja varma tieto biokaasuntuottopotentiaalista. On olemassa mittareita, joilla mitataan kaasunpurkautumista kaatopaikan pinnalla. Tämän menetelmän avulla saadaan kartoitettua tarkemmin biokaasun määrät sekä alueet, joissa biokaasua syntyy eniten.

Tutkimuksen mukaan paras hyödyntämisvaihtoehto Majasaaren olisi lämmön ja sähkön yhteistuotanto, näin ollen jätepenkassa muodostuvalla biokaasulla voitaisiin tuottaa energiaa sekä lämmitykseen että sähkön kulutukseen. Mikroturbiini on laskujeni mukaan kannattavin ja varmin ratkaisu lämmön ja sähkön yhteistuotannolle. Vaikka hankintahinta on hieman suurempi kuin muilla, niin käyttö- ja huoltokustannukset jäävät pienemmiksi. Lisäksi mikroturbiini kestää parhaiten biokaasussa olevia epäpuhtauksia, jolloin saadaan varmuutta energiantuotannon toimivuudelle. Täytyy myös huomata että energianhinta ja etenkin sähkön markkinahinnat ovat olleet jatkuvasti nousussa eikä jaksu uskoa sähköhinnan laskevan tulevaisuudessakaan.

Mikäli biokaasua halutaan saada talteen mahdollisimman paljon, niin putkistot täytyy rakentaa jo alkuvaiheessa. Tällöin biokaasua pääsee mahdollisimman vähän ilmakehään ja sitä saadaan eniten hyötykäyttöön.

Oulun jätehuollon omistama Ruskon jätekeskus tuottaa biokaasulla 500 000 euroa voittoa vuodessa. Biokaasua myydään esim. Oulun yliopistolliseen sairaalaan desinfiointihöyryksi ja Parocille lämmitykseen. Majasaaren jätekeskuksessa voisi myös olla mahdollisuus biokaasusta saatavaan pienimuotoiseen tuottoon. Esim. biokaasulla tuotettaisiin sähköä ja lämpöä omaan tarpeeseen. Pelkästään sähkömenot ovat noin 10 000 € vuodessa. Vuonna 2007 käyttöön

otetulle jätetäyttöalueelle pitäisi rakentaa jo nyt vaakakeräysputkisto, jotta hapettomassa tilassa syntynyt kaasu saataisiin talteen mahdollisimman tarkasti.

## 17 YHTEENVETO

Kajaanissa sijaitsevassa Majasaaren jätekeskuksessa on käytetty biokaasua lämmitykseen vuodesta 2005 lähtien. Lämmityksessä hyödynnetyn biokaasun osuus pumpatusta biokaasusta on vain 16 %. Biokaasusta 84 % poltetaan edelleen soihdussa ja sitä kautta energiaa palaa ”hukkaan”. Insinööriyössäni oli tarkoitus selvittää Majasaaressa syntyvän biokaasun hyödyntämisvaihtoehdot tulevaisuudessa. Työn tavoitteena oli löytää kustannustehokkain ratkaisu.

Aluksi selvitettiin kaatopaikkoihin ja etenkin biokaasun talteenottoon liittyvät lait ja asetukset. Seuraavaksi täytyi selvittää kaatopaikalle tuodun jätteen hajoaminen, eli miten biokaasua syntyy. Jätteet sisältämä orgaaninen aines hajoaa joko anaerobisen tai aerobisen biologisen ja kemiallisen prosessin kautta. Biokaasua syntyy orgaanisen aineen hajotessa hapettomissa eli anaerobisissa olosuhteissa.

Seuraavaksi tutkittiin biokaasun määrään vaikuttavia tekijöitä. Tärkeimpinä tekijöinä voidaan pitää kaatopaikalle tuodun jätteen koostumusta ja kosteutta. Biokaasulla on myös vaikutus kaatopaikan ympäristöön. Biokaasu aiheuttaa kasvihuonevaikutuksen lisäksi hajuhaittoja ja kaatopaikkapalojen riskin. Biokaasun purkautuminen ympäristöön on estettävä joko passiivisen tai aktiivisen käsittelyn avulla. Passiivinen käsittely tarkoittaa biologisesti tapahtuvaa kaasun hapettumista kaatopaikan pintakerroksissa. Aktiivinen käsittely on kaasun keräämistä putkistojen avulla joko poltettavaksi tai hyödynnettäväksi.

Tutkimusosassa selvitettiin aluksi Majasaaren jätekeskukseen tuotujen jätteiden määrää viimeisen 24 vuoden ajalta. Tämän jälkeen täytyi saada selville, kuinka paljon kaatopaikkajätetonnei tuottaa biokaasua vuodessa. Laskin kolmen eri kertoimen (3 m<sup>3</sup>, 5 m<sup>3</sup> ja 10 m<sup>3</sup>) avulla Majasaaren jätekeskuksen arvioidun biokaasupotentiaalin vuodessa sekä 20 vuodessa.

Tutkimusosassa kartoitettiin lisäksi Majasaareen soveltuvat biokaasun hyödyntämisvaihtoehdot ja valittiin yhdistetty lämmön- ja sähköntuotanto. Selvitetiin biokaasun hyödyntämiseen käytettävien laitteiden investointi- ja käyttökustannukset, minkä perusteella laskettiin investointilaskelmat pienelle ja suurelle investointivaihtoehdolle. Nykyarvomenetelmällä tutkittiin takaisinmaksuaikoja sekä investoinnin nykyarvoa. Molempien investointivaihtoehtojen nykyarvo saatiin positiiviseksi, mutta takaisinmaksuaika menee 12 vuoteen, joka ei vaikuta järkevältä. Lopuksi selvitettiin pääkohdat sähkön pientuotannon liittämistä sähköverkkoon.

## LÄHTEET

1. Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista. [WWW-dokumentti] <<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1997/19970861>>. (Luettu 18.7.2008.)
2. Valtioneuvoston päätös (861/1997) Kaatopaikalle asetettavat yleiset vaatimukset Liite 1 [pdf-dokumentti] 2007<<http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/1937.pdf>>. (Luettu 18.7.2007.)
3. YO89 Kaatopaikkojen lopettamisopas. Suomen ympäristökeskus 2001,[WWW-dokumentti] [www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=65180&lan=fi](http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=65180&lan=fi) (Luettu 18.1.2008.)
4. Valtioneuvoston päätös (861/1997) Kaatopaikan ja sen jälkihoitovaiheen valvonta ja tarkkailu Liite 3[pdf-dokumentti] <<http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/1939.pdf>>. (Luettu 18.7.2007.)
5. Turunen, O. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Energia- ja ympäristötekniikan osasto, diplomityö, Metsäteollisuuden kaatopaikkatoiminnan kehittäminen,[pdf-dokumentti] <[http://edu.lut.fi/LutPub/web/olltur\\_teks.pdf](http://edu.lut.fi/LutPub/web/olltur_teks.pdf)>. (Luettu 14.1.2008.)
6. Väisänen, P. Salmenoja, J. Biokaasun muodostuminen ja sen hallittu käsittely kaatopaikoilla.[pdf-dokumentti] <[www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus/docs/kaatgas.pdf](http://www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus/docs/kaatgas.pdf)>. (Luettu 26.2.2007.)
7. Päijät-Hämeen Jätehuolto Oy:n kaatopaikkajätetutkimus [pdf-dokumentti] <[www.vanamohanke.net/tiedostot/File/Kaatopaikkajätetutkimus\\_2006.pdf](http://www.vanamohanke.net/tiedostot/File/Kaatopaikkajätetutkimus_2006.pdf)>. (Luettu 23.7.2007.)
8. Ripatti, R. Hänninen, K. Vesterinen, R. Vihersaari, M. Savolainen, I. Jätteiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin VTT Energia, [pdf-dokumentti] <[www.vtt.fi/inf/pdf/julkaisut/1996/J811.pdf](http://www.vtt.fi/inf/pdf/julkaisut/1996/J811.pdf)>. (Luettu 20.7.2007.)
9. Kivimäki, V-J. Tampereen ammattikorkeakoulu, Kemianteeniikka, Opinnäytetyö, Biokaasun tulevaisuus [pdf-dokumentti] <<https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/6081/Kivim%c3%a4ki.Velijukka.pdf?sequence=1>>.(Luettu 31.7.2007.)
10. Sipilä, K. Mäkinen, T. Liikenteen biopolttoaineet –työryhmä. Liikenteen biopolttoaineiden tuotannon ja käytön edistäminen Suomessa. Julkaistu 11/2006. ISBN 951-739-983-9
11. Hatsala, A. Kanta-Hämeessä Hämeen ammattikorkeakoulu, ympäristötekniikan koulutusohjelma, Opinnäytetyö, Biokaasun tuotanto- ja käyttömahdollisuudet [pdf-dokumentti] <http://www.greennetfinland.fi/attachment/ee246cbb04c1da363116122aebb56633/19264351e78bffb4327fe0f8f522694/Biokaasun+tuotanto-+ja+hy%C3%83%C2%B6tyk%C3%83%C2%A4ytt%C3%83%C2%B6mahdollisuudet>. (Luettu 15.8.2007.)

12. Insinööritoimisto Paavo Ristola Oy, Ympäristövaikutusten Arviointiselostus Majasaarenkankaan jätekeskus 1.3.2004 [pdf-dokumentti] <<http://www.ekokymppi.fi/majasaari/YVA-selostustiivistelma.pdf>>. (Luettu 6.2.2008.)
13. Valovirta, L. Sarlin Oy Ab, Biokaasulaitoksen toimintaraportit vuodelta 2004–2007, Majasaaren Jätekeskus 29.2.2008 [pdf-dokumentti] (Luettu 12.3.2007.)
14. Turunen, T. Kainuun jätevesilieteprojekti, Kainuun ympäristökeskus. Opasluonnos 1.6.2007, (Luettu 17.7.2007.)
15. Hintikka J. Biomassapohjaiset mikro CHP-tekniikat Jyväskylän ammattikorkeakoulu. [pdf-dokumentti] <[www.jamk.fi/luva/tutkimus\\_ja\\_kehitys/materiaalia/mikro-chp-raportti\\_nro8.pdf](http://www.jamk.fi/luva/tutkimus_ja_kehitys/materiaalia/mikro-chp-raportti_nro8.pdf)> (Luettu 13.9.2007.)
16. Höyrytys Oy [www-dokumentti] <http://www.hoyrytys.fi/palvelut-ja-tuotteet/kaasumoottorit-chp/etaone/>. (Luettu 13.2.2008.)
17. Mikroturbiinin kuva [html-dokumentti] <<http://www.offshore-technology.com/contractors/power/capstone-turbine/capstone-turbine2.html>>(Luettu 13.2.2008.)
18. Ensimmäinen Sofc-polttokenno prototyyppi käynnistettiin, julkaistu 29.10.2007 Tekes.[www.dokumentti]<http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/Polttokennot/fi/system/uutinen.html?id=3374&nav=Uutisia> (luettu 15.11.2007.)
19. Luentomateriaalit, Jätelaitospäivät 23–24.5.2007 Turku.
20. Hagström, M. Vartiainen, E. Vanhanen, J. Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvitys [pdf-dokumentti] <[http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2006/siirto/trm2006\\_1\\_Biokaasun%20maatilatuotannon%20kannattavuusselvitys\\_julkinen.pdf](http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2006/siirto/trm2006_1_Biokaasun%20maatilatuotannon%20kannattavuusselvitys_julkinen.pdf)>. (luettu 2.2.2008.)
21. Pöyry Energy Oy, Sähkön pientuotannon liittäminen verkkoon [http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/e24c2d740c717b0e58faa7fa0f2e0319/S%C3%83%C2%A4hk%C3%83%C2%B6n\\_pientuotannon\\_liitt%C3%83%C2%A4minen\\_verkkoon.pdf](http://www.motiva.fi/attachment/f16d4d543f99d7a59f54560a69063a0e/e24c2d740c717b0e58faa7fa0f2e0319/S%C3%83%C2%A4hk%C3%83%C2%B6n_pientuotannon_liitt%C3%83%C2%A4minen_verkkoon.pdf) (luettu 15.1.2007.)



22. Suomen säädöskokoelma 2006 N:o198-202 julkaistu Helsingissä 28 päivänä maaliskuuta 2006 <http://www.miljo.fi/download.asp?contentid=48983&lan=fi>

## KAATOPAIKKA MÄÄRITYKSET [22.]

## 2.2. Vastaavuustestaus

Jätteestä, joka syntyy säännöllisesti samassa prosessissa, on tehtävä vastaavuustestaus.

Vastaavuustestausta ei kuitenkaan edellytetä, jos jäte on 2.1.2 kohdan toisen kappaleen

## 3.1. Pysyvän jätteen kaatopaikat

Pysyvän jätteen kaatopaikalle sijoitettavan jätteen on täytettävä 3.1.1 tai 3.1.2 kohdan mukaiset kelpoisuusvaatimukset.

N:o 202

635

### 3.1.1. Ilman testausta hyväksyttävät jätteet

Taulukossa 1 lueteltu jäte voidaan hyväksyä pysyvän jätteen kaatopaikalle ilman testausta. Jätteen on oltava yhden jätelajin erillinen jätevirta ja yhdestä syntypaikasta. Taulukossa lueteltuja jätteitä voidaan hyväksyä myös yhdessä, jos niiden syntypaikka on sama.

Jäte on kuitenkin testattava 2 kohdan mukaisesti, jos epäillään, että jäte on pilaantu-

nut, tai jos ei ole varmuutta siitä, että se vastaa pysyvän jätteen määritelmää ja täyttää 3.1.2 kohdan mukaiset kelpoisuusvaatimukset. Jätettä ei saa hyväksyä pysyvän jätteen kaatopaikalle, jos testaus osoittaa, että jäte on pilaantunut tai sisältää metalleja, asbestia, muoveja, kemikaaleja tai muita materiaaleja tai aineita siten, että mainituista seikoista aiheutuvan riskin lisääntymisen takia on perusteltua sijoittaa jäte muun luokan mukaiselle kaatopaikalle.

**Taulukko 1**

Jätenimikkeen tunnusnumero <sup>1)</sup>	Kuvaus	Rajoitukset
10 11 03	Lasipohjaisten kuitumateriaalien jätteet	Ainoastaan jätteet, jotka eivät sisällä orgaanisia sideaineita
15 01 07	Lasipakkaukset	
17 01 01	Betoni	Ainoastaan tietyt rakentamisessa ja purkamisessa syntyvät jätteet <sup>2)</sup>
17 02 02	Tiilet	Ainoastaan tietyt rakentamisessa ja purkamisessa syntyvät jätteet <sup>2)</sup>
17 01 03	Laatat ja keramiikka	Ainoastaan tietyt rakentamisessa ja purkamisessa syntyvät jätteet <sup>2)</sup>
17 01 07	Betonin, tiilien, laattojen ja keramiikan seokset	Ainoastaan tietyt rakentamisessa ja purkamisessa syntyvät jätteet <sup>2)</sup>
17 02 02	Lasi	
17 05 04	Maa- ja kiviainekset	Lukuun ottamatta pintamaata ja turvetta sekä maa- ja kiviainesta pilaantuneilta alueilta
19 12 05	Lasi	
20 01 02	Lasi	Ainoastaan erikseen kerätty lasi
20 02 02	Maa- ja kiviainekset	Ainoastaan puutarha- ja puustojätteistä Lukuun ottamatta pintamaata ja turvetta

<sup>1)</sup> Yleisimpien jätteiden sekä ongelmajätteiden luettelosta annetun ympäristöministeriön asetuksen (1129/2001) mukainen jätenimikkeen tunnusnumero.

<sup>2)</sup> Tietyillä rakentamisessa ja purkamisessa syntyvillä jätteillä tarkoitetaan jätteitä, joissa on vain vähäinen määrä metalleja, muoveja, orgaanisia aineita, puuta, kumia tai muita vastaavia aineita tai materiaaleja ja joiden alkuperä on tiedossa. Käsitteellä ei tarkoiteta rakentamisessa ja purkamisessa syntyviä jätteitä rakennelmista, — jotka rakentamisprosessien, maaperän pilaantumisen, torjunta-aineiden tai muiden vaarallisten aineiden varastoinnin tai käytön taikka muun näihin rinnastettavan syyn takia ovat epäorgaanisten tai orgaanisten vaarallisten aineiden pilaamia, ellei selvästi osoiteta, että purettu rakennelma ei ole ollut merkittävästi pilaantunut; — jotka on käsitelty, suojattu tai maalattu materiaaleilla, jotka sisältävät merkityksellisiä määriä vaarallisia aineita.

3.1.2. *Kelpoisuusperusteet*

Pysyvän jätteen kaatopaikalle sijoitettavaan muuhun kuin 3.1.1 kohdassa tarkoitettuun

jätteeseen sovelletaan taulukon 2 mukaisia liukoisuusominaisuuksien ja taulukon 3 mukaisia orgaanisten aineiden kokonaispitoisuuksien raja-arvoja.

Taulukko 2

Aine/muuttuja	Raja-arvo, mg/kg kuiva-ainetta (L/S = 10 l/kg)
Arseeni (As)	0,5
Barium (Ba)	20
Kadmium (Cd)	0,04
Kromi yhteensä (C <sub>Tkok</sub> )	0,5
Kupari (Cu)	2
Elohopea (Hg)	0,01
Molybdeeni (Mo)	0,5
Nikkeli (Ni)	0,4
Lyijy (Pb)	0,5
Antimoni (Sb)	0,06
Seleeni (Se)	0,1
Sinkki (Zn)	4
Kloridi (Cl)	800
Fluoridi (F <sup>-</sup> )	10
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	1 000 <sup>1)</sup>
Fenoli-indeksi	1
Liuenneet orgaaninen hiili (DOC) <sup>2)</sup>	500
Liuenneiden aineiden kokonaismäärä (TDS) <sup>3)</sup>	4 000

<sup>1)</sup> Jätteen katsotaan täyttävän kelpoisuusvaatimuksen myös, jos sulfaattipitoisuus ei ylitä seuraavia arvoja: 1 500 mg/l (läpivirtaustestin ensimmäinen uutos uuttosuhteessa L/S = 0,1 l/kg) ja 6 000 mg/kg (uuttosuhteessa L/S = 10 l/kg). Pitoisuuden määrittämiseksi uuttosuhteessa L/S = 0,1 l/kg on käytettävä läpivirtaustestiä. Pitoisuus uuttosuhteessa L/S = 10 l/kg voidaan määrittää joko ravistelu- tai läpivirtaustestillä.

<sup>2)</sup> Jos liuenneen orgaanisen hiilen raja-arvo ylittyy jätteen omassa pH:ssa, voidaan jäte vaihtoehtoisesti testata uuttosuhteessa L/S = 10 l/kg pH:ssa 7,5–8,0. Jätteen katsotaan täyttävän liuenneen orgaanisen hiilen kelpoisuusvaatimuksen, jos pitoisuus on enintään 500 mg/kg.

<sup>3)</sup> Liuenneiden aineiden kokonaismäärän raja-arvoa voidaan soveltaa sulfaatin ja kloridin raja-arvojen sijasta.

Taulukko 3

Aine/muuttuja	Raja-arvo, mg/kg
Orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC)	30 000
Bentseeni, tolueni, etyylibentseeni ja ksyleenit (BTEX)	6
Polyklooratut bifenyylit (PCB <sup>1)</sup> )	1
Mineraaliöljy (C10-C40)	500
Polyaromaattiset hiilivedyt <sup>2)</sup> (PAH)	40

<sup>1)</sup> Kongeneerien 28, 52, 101, 118, 138, 153 ja 180 kokonaismäärä.

<sup>2)</sup> Yhdisteiden (antraseeni, asenafteni, asenaftyleeni, bentso(a)antraseeni, bentso(a)pyreeni, kryseeni, bentso(b)fluoranteeni, bentso(g,h,i)peryleeni, bentso(k)fluoranteeni, dibentso(a,h)antraseeni, fenantreeni, fluoranteeni, fluoreeni, indeno(1,2,3-cd)pyreeni, naftaleeni, pyreeni) kokonaismäärä.

### 3.2. Tavanomaisen jätteen kaatopaikat

Tavanomaisen jätteen kaatopaikalle sijoitettavan 3.2.1, 3.2.2 ja 3.2.3 kohdassa tarkoitettujen jätteen on täytettävä jäljempänä jätelaiteittain määritellyt kelpoisuusvaatimukset.

#### 3.2.1. Ilman testausta hyväksyttävät jätteet

Yleisimpien jätteiden sekä ongelmajätteiden luettelosta annetun ympäristöministeriön asetuksen mukaisen luettelon nimikeryhmässä 20 (Yhdyskuntajätteet (asumisessa syntyvät jätteet ja niihin rinnastettavat kaupan, teollisuuden ja muiden laitosten jätteet) erilliskerätyt jakeet mukaan luettuina) tarkoitetut tavanomaiset jätteet voidaan hyväksyä ilman testausta tavanomaisen jätteen kaatopaikalle, jos:

1) jäte on esikäsitelty tämän päätöksen 4 §:n 1 momentin 1 kohdan mukaisesti;

2) jäte ei ole pilaantunut siten, että lisääntyneen ympäristöriskin takia on perusteltua käsitellä jäte muulla tavoin;

3) jätettä ei sijoiteta kaatopaikan osaan, johon sijoitetaan kipsipohjaista jätettä tai vakaata reagoimatonta ongelmajätettä.

Rakentamisessa syntyvä ja muu soveltuva asbestijäte voidaan hyväksyä ilman testausta tavanomaisen jätteen kaatopaikalle, jos jätteen sijoittamisessa noudatetaan asbestijätteitä koskevia 3.2.3 kohdan mukaisia erityisiä vaatimuksia.

#### 3.2.2. Kelpoisuusperusteet kipsipohjaisen jätteen sijoittamisessa

Tavanomaiseksi jätteeksi luokiteltuja kipsipohjaisia jätteitä saa sijoittaa vain tavanomaisen jätteen kaatopaikan sellaiseen osaan, johon ei sijoiteta biohajoavaa jätettä.

Tavanomaiseen jätteeseen, joka sijoitetaan kaatopaikalle yhdessä kipsipohjaisten jätteiden kanssa, sovelletaan taulukon 4 mukaisia raja-arvoja.

<sup>2</sup> Käsitteellä vakaa reagoimaton tarkoitetaan, että jätteen liukoisuusominaisuudet eivät muutu epäsuotuisasti pitkällä aikavälillä kaatopaikan tavanomaisen käytön mukaisissa olosuhteissa eikä ennustettavissa olevissa vahinkotapauksissa

— itse jätteen vuoksi (esimerkiksi biohajoamisen vuoksi),

— pitkäaikaisten ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta (esimerkiksi veden, ilman, lämpötilan tai mekaaninen vaikutus) eikä

— muiden jätteiden taikka kaatopaikkaveden tai -kaasun vaikutuksesta.

Taulukko 4

Muuttuja	Raja-arvo
Orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC)	5 %
Liennut orgaaninen hiili (DOC)	800 mg/kg <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Uuttosuhteessa L/S = 10 l/kg joko jätteen omassa pH:ssa tai pH:ssa 7,5—8,0.

3.2.3. *Kelpoisuusperusteet tavanomaisen jätteen ja vakaan reagoimattoman ongelmajätteen sijoittamisessa yhdessä*

Vakaata reagoimatonta ongelmajätettä saa sijoittaa vain tavanomaisen kaatopaikan sellaiseen osaan, johon ei sijoiteta biohajoavaa jätettä.

Tavanomaiseen jätteeseen ja vakaaseen

reagoimattomaan ongelmajätteeseen, jotka sijoitetaan yhdessä kaatopaikalle, sovelletaan taulukon 5 mukaisia liukoisuusominaisuuksien raja-arvoja ja taulukon 6 mukaisia muita vaatimuksia.

Tiivistämisestä tai muista vastaavista toimista mahdollisesti aiheutuva jätteen murskaantuminen ja siitä aiheutuvat vaikutukset on otettava huomioon jätteen fysikaalisen vakavuuden arvioinnissa.

Taulukko 5

Aine/muuttuja	Raja-arvo, mg/kg kuiva-ainetta (L/S = 10 l/kg)
Arseeni (As)	2
Barium (Ba)	100
Kadmium (Cd)	1
Kromi yhteensä (Cr <sub>kok</sub> )	10
Kupari (Cu)	50
Elohopea (Hg)	0,2
Molybdeeni (Mo)	10
Nikkeli (Ni)	10
Lyijy (Pb)	10
Antimoni (Sb)	0,7
Seleeni (Se)	0,5
Sinkki (Zn)	50
Kloridi (Cl)	15 000
Fluoridi (F)	150
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	20 000
Liennut orgaaninen hiili (DOC) <sup>1)</sup>	800
Liunneiden aineiden kokonaismäärä (TDS) <sup>2)</sup>	60 000

<sup>1)</sup> Jos liunneen orgaanisen hiilen raja-arvo ylittyy jätteen omassa pH:ssa, voidaan jäte vaihtoehtoisesti testata uutusuhteessa L/S = 10 l/kg pH:ssa 7,5—8,0. Jätteen katsotaan täyttävän liunneen orgaanisen hiilen kelpoisuusvaatimuksen, jos pitoisuus on enintään 800 mg/kg.

<sup>2)</sup> Liunneiden aineiden kokonaismäärän raja-arvoa voidaan soveltaa sulfaatin ja kloridin raja-arvojen sijasta.

Taulukko 6

Muuttuja	Raja-arvo/muu vaatimus
Orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC)	5 %
pH	Vähintään 6,0
Haponneutralointikapasiteetti (ANC)	Aina tutkittava ja arvioitava

Taulukoiden 5 ja 6 mukaisia raja-arvoja ja muita vaatimuksia ei sovelleta vakaaksi reagoimattomaksi ongelmajätteeksi luokiteltavan rakentamisessa syntyvän ja muun soveltuvan asbestijätteen sijoittamiseen tavanomaiselle kaatopaikalle tai sen erilliseen eristettyyn osaan, jos noudatetaan seuraavia menettelyjä ja vaatimuksia:

1) jäte ei saa sisältää muita vaarallisia aineita kuin sidottu asbesti mukaan lukien kuidut, jotka on sidottu sidemateriaaliin tai pakattu muoviin;

2) kaatopaikalle tai sen erilliseen osaan saa hyväksyä vain rakentamisessa syntyvää ja muuta soveltuvaa asbestijätettä;

3) alue, johon asbestijätettä sijoitetaan, on peitettävä päivittäin ja ennen jokaista tiivistyskertaa sopivalla peittoaineksella; jos asbestijätettä ei ole pakattu, on jätettä kasteltava säännöllisesti sijoittamisen aikana;

4) kaatopaikka tai sen erillinen osa on peitettävä pysyvästi pintakerroksella asbestikuitujen leviämisen estämiseksi; alueella ei saa

porata reikiä tai toteuttaa muita töitä, jotka voivat aiheuttaa kuitujen vapautumista; kaatopaikan osa, johon sijoitetaan asbestijätettä, on merkittävä muistiin tämän päätöksen 7 §:n 1 momentin 6 kohdan mukaisesti;

5) kaatopaikan sulkemisen jälkeen on toteutettava asianmukaiset toimet maa-alueen käytön rajoittamiseksi siten, että vältetään ihmisten joutuminen kosketuksiin jätteen kanssa.

### 3.3. Ongelmajätteen kaatopaikat

Ongelmajätteen kaatopaikalle sijoitettavaan jätteeseen sovelletaan taulukon 7 mukaisia liukoisuusominaisuuksien raja-arvoja ja taulukon 8 mukaisia muita vaatimuksia.

Tiivistämisestä tai muista vastaavista toimista mahdollisesti aiheutuva jätteen murskaantuminen ja siitä aiheutuvat vaikutukset on otettava huomioon jätteen fysikaalisen vakavuuden arvioinnissa.

640

N:o 202

Taulukko 7

Aine/muuttuja	Raja-arvo, mg/kg kuiva-ainetta (L/S = 10 l/kg)
Arseeni (As)	25
Barium (Ba)	300
Kadmium (Cd)	5
Kromi yhteensä (C <sub>Ikok</sub> )	70
Kupari (Cu)	100
Elohopea (Hg)	2
Molybdeeni (Mo)	30
Nikkeli (Ni)	40
Lyijy (Pb)	50
Antimoni (Sb)	5
Seleeni (Se)	7
Sinkki (Zn)	200
Kloridi (Cl)	25 000
Fluoridi (F)	500
Sulfaatti (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	50 000
Liuennot orgaaninen hiili (DOC) <sup>1)</sup>	1 000
Liuenneiden aineiden kokonaismäärä (TDS) <sup>2)</sup>	100 000

<sup>1)</sup> Jos liuenneen orgaanisen hiilen raja-arvo ylittyy jätteen omassa pH:ssa, voidaan jäte vaihtoehtoisesti testata uutossuhteessa L/S = 10 l/kg pH:ssa 7,5–8,0. Jätteen katsotaan täyttävän liuenneen orgaanisen hiilen kelpoisuusvaatimuksen, jos pitoisuus on enintään 1 000 mg/kg.

<sup>2)</sup> Liuenneiden aineiden kokonaismäärän raja-arvoa voidaan soveltaa sulfaatin ja kloridin raja-arvojen sijasta.

Taulukko 8

Muuttuja	Raja-arvo/muu vaatimus
Hehkutushäviö (LOI) <sup>1)</sup>	10 %
Orgaanisen hiilen kokonaismäärä (TOC) <sup>1)</sup>	6 %
Haponneutralointikapasiteetti (ANC)	Aina tutkittava ja arvioitava

<sup>1)</sup> On sovellettava joko hehkutushäviön tai orgaanisen hiilen kokonaismäärän raja-arvoa.