

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Leena Kiviluoma-Leskelä

BIOKAASUN TUOTTAMINEN JA HYÖDYNTÄMINEN LAPPEENRANNASSA

Työn tarkastajat: Professori, TkT Mika Horttanainen
Ympäristöjohtaja FM Ilkka Räsänen

Työn ohjaajat: Professori, TkT Mika Horttanainen
Ympäristöjohtaja FM Ilkka Räsänen
Lappeenrannan Vesi Oy:n toimitusjohtaja Kirsi Niinimäki
Tuotantojohtaja Pasi Leimi, Lappeenrannan kaupunki

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta
Ympäristötekniikan koulutusohjelma

Leena Kiviluoma-Leskelä

Biokaasun tuottaminen ja hyödyntäminen Lappeenrannassa

Diplomityö

2010

122 sivua, 3 kuvaa, 48 taulukkoa

Tarkastajat: Professori, TkT Mika Horttanainen
Ympäristöjohtaja FM Ilkka Räsänen

Hakusanat: biokaasu, biokaasulaitos, mädätys, kaatopaikkakaasu, kasvihuonekaasu
Keywords: biogas, biogas plant, digestion, landfill gas, greenhouse gas

Lappeenrannassa kerätään ja hyödynnetään tällä hetkellä kaatopaikkakaasua 0,3 milj.m³ vuodessa. Biokaasua voitaisiin tuottaa Lappeenrannassa mädättämällä bioperäisiä jätteitä ja biokaasuntuotantoa varten kasvatettuja energiakasveja. Biokaasuntuotantoon soveltuvia jätteitä ovat erilliskerätty biojäte, jätevedenpuhdistamon jätevesiliete, puutarhajäte, lietelannat ja oljet. Kesannolla olevilla peltoaloilla voitaisiin kasvattaa ruokohelpeä. Biokaasun tuotantoon soveltuvia materiaaleja voitaisiin kerätä 143 000 t/a ja kasvattaa 68 000 t/a. Työssä tarkastellaan vaihtoehtoa, jossa mädätetään vain puhdistamoliete, sekä useita materiaaleja mädättävää yhteismädättämöä, johon liittyen tutkitaan kolmea eri vaihtoehtoa: kunnallisen jätteen mädätystä, kaiken jätteen mädätystä ja jätteen sekä energiakasvien mädätystä. Paras sijoituspaikka mädättämölle olisi jätevedenpuhdistamon läheisyydessä. Jättemateriaalista saataisiin kaasua enintään 12 milj. m³ ja energiakasveista enintään 16 milj. m³. Kaasusta voitaisiin tuottaa energiaa CHP-laitoksessa enintään 184 GWh. Mikäli biokaasun tuotannolla halutaan ensisijaisesti vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, kannattaa kaasu jalostaa ajoneuvopolttoaineeksi. Jalostettu kaasu on mahdollista myös syöttää maakaasuverkostoon. Suurimmat tulot on mahdollista saavuttaa yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa, mikäli biokaasulle suunniteltu syöttötariffi toteutuu. Muussa tapauksessa suurimmat tulot saadaan jalostamalla biokaasua ajoneuvojen polttoaineeksi.

ABSTRACT

Lappeenranta university of Technology
The Faculty of Technology
Degree Programme in Environmental Technology

Leena Kiviluoma-Leskelä

Biogas production and use in Lappeenranta

Master's thesis

2010

122 pages, 3 figures, 48 tables

Examiners: Professor, D.Sc(Tech) Mika Horttanainen
Environment Manager M.Sc Ilkka Räsänen

Keywords: biogas, biogas plant, digestion, landfill gas, greenhouse gas

There is amount of 0,3 Mm³/a landfill gas collected in Lappeenranta. It is possible to make biogas from biodegradable waste and energy crops planted for digestion in Lappeenranta, using anaerobic digestion. Wastes that are suitable for digestion are biodegradable municipal solid waste, wastewater sludge from wastewater treatment plant, yard waste, liquid manure and straw. In fallow lands it is possible to grow reed canary grass (*Phalaris arundinacea*) for digestion. It is possible to collect 143 000 tons of waste materials per year and to grow 68 000 tons per year for digestion. There are two options: biogas plant for digesting biogas from wastewater sludge and biogas plant for different materials. The second option includes three cases: biogas plant for communal waste, biogas plant for all waste, and biogas plant for wastes and energy crops. Best location for biogas plant is near waste water treatment plant. It is possible to make 12 Mm³ of biogas from waste materials and 16 Mm³ from energy crops. Max energy we can get using CHP is 184 GWh. If primary target is to decrease greenhouse gases, best solution is to upgrade biogas and use it in vehicles. It is also possible to feed upgraded gas to the natural gas network. Biggest incomes can be obtained by using CHP, if proposed feed tariff realizes. In other case, biggest incomes can be obtained by upgrading biogas to vehicles fuel.

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	10
1.1 Työn tausta	10
1.1.1 Kioton sopimus	10
1.1.2 Lappeenrannan ilmasto-ohjelma	12
1.2 Työn tavoite	16
1.3 Tutkimusmenetelmä	17
2 BIOKAASUN OMINAISUUDET JA TUOTANTO	17
2.1 Biokaasun tuotanto ja käyttö Suomessa	21
2.1.1 Kaatopaikkakaasu	24
2.1.2 Mädättämökaasu	25
2.2 Biokaasun tuotannon biotekniset perusteet	25
2.3 Biokaasun muodostumiseen ja koostumukseen vaikuttavat tekijät	28
2.3.1 Olosuhteet	31
2.4 Biokaasun tuottopotentiali eri raaka-aineista ja jätteistä	32
2.4.1 Jätevesiliete	33
2.4.2 Yhteismädättämöt	35
2.4.3 Biojäte	36
2.4.4 Maatalouden lannat	38
2.4.5 Kasviraaka-aineet ja kasvijätteet	39
2.4.6 Kaatopaikat	40
2.5 Kaatopaikkakaasun keräily	40
2.6 Biokaasun tuottaminen mädättämällä	41
2.6.1 Eri toimijat biokaasuprojektissa	42
2.6.2 Mädätettävän materiaalin esikäsittely	43
2.6.3 Erilaisia mädätystapoja	44
2.6.4 Reaktorin mitoitus	46
2.6.5 Lietteen jälkikäsittely ja hyötykäyttö	47
3 BIOKAASUN HYÖDYNTÄMINEN	48
3.1 Biokaasun puhdistus ja jalostus	48
3.1.1 Biokaasun puhdistusmenetelmät	49
3.1.2 Biokaasun konsentroidintimenetelmät	50
3.2 Sähkön ja lämmön tuotanto biokaasusta	51

3.2.1 Kaasukattila	52
3.2.2 Kaasumoottori	53
3.2.3 Kaasu- ja mikroturbiini	54
3.3 Biokaasun ajoneuvokäyttö	55
3.3.1 Biokaasu otto- ja dieselmoottorin polttoaineena	56
3.3.2 Kaasun tankkaus	58
3.3.3 Biokaasu polttokennojen polttoaineena	59
3.4 Lainsäädännön vaikutus biokaasun hyödyntämiseen	60
3.4.1 Biokaasun syöttötariffi	61
3.4.2 Ajoneuvovero	62
3.4.3 Päästökauppa	62
4 LAPPEENRANNAN ALUEELTA KERÄTTÄVISSÄ OLEVAN BIOKAASUN TUOTANTOON SOVELTUVAN MATERIAALIN MASSA- JA ENERGIATASE	63
4.1 Biojäte	64
4.2 Puhdistamoliete	65
4.3 Maatalous	68
4.3.1 Lanta	68
4.3.2 Kasvipöytämaatalousjäte	73
4.3.3 Energiakasvit	74
4.4 Toikansuon kaatopaikka	74
4.5 Puutarhajätteet	75
4.6 Massa- ja energiatase	75
5 BIOKAASUN TUOTANTO JA HYÖDYNTÄMINEN LAPPEENRANNASSA	77
5.1 Biokaasun tuottamisvaihtoehtoja	78
5.1.1 Toikansuon biokaasupumppaamo	79
5.1.2 Puhdistamolietteen mädättäminen	82
5.1.3 Yhteismädätyslaitos	83
5.2 Energian tuottaminen biokaasusta	84
5.2.1 Sähkön ja lämmön yhteistuotanto	85
5.2.2 Lämmön tuotanto	87
5.3 Tuotetun energian hyödyntäminen	87
5.3.1 Jätevedenpuhdistamon ja biokaasupumppaamon omakäyttö	88
5.3.2 Omakäytöstä yli jäävän sähkön ja lämmön hyödyntäminen	91

5.4 Biokaasun syöttö maakaasuverkostoon	94
5.5 Biokaasun ajoneuvokäyttö	97
5.6 Mädätteen käsittely ja hyödyntäminen	98
5.7 Herkkyystarkastelu	101
6 BIOKAASUN TUOTANNON VAIKUTUKSET	
KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖIHIN	103
7 YHTEENVETO	109
8 SUOSITUKSET	112
LÄHTEET	113

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. Biokaasun koostumus ja epäpuhtauksien mahdollisia pitoisuuksia	20
Taulukko 2. Kaasun tuotanto tuhatta asukasta kohti vuorokaudessa Suomalaisten kaupunkien jätevedenpuhdistamoilla sijaitsevissa jätevesilietteen mädättämöissä	34
Taulukko 3. Kaasun tuotanto m^3/m^3 lietettä, lietteen TS ja metaanin tuotanto m^3/m^3 lietettä Suomalaisten kaupunkien jätevedenpuhdistamoilla sijaitsevissa jätevesilietteen mädättämöissä	35
Taulukko 4. Kaasun ja metaanin tuotanto kahdella Suomalaisella yhteismädätyslaitoksella	36
Taulukko 5. Ruokajätteen koostumus ja sen avulla lasketut ruokajätteen mooliosuudet	37
Taulukko 6. Eri maatilan eläimien lantojen määrät vuorokaudessa ja vuodessa, lantojen kuiva-ainepitoisuudet, sekä yhden eläimen lannasta vuorokaudessa tuotettavissa olevan biokaasun määrä.	38
Taulukko 7. Eräistä kasveista hehtaaria kohti saatavissa olevat metaanin ja energian määrät	39
Taulukko 8. Biojättemäärä ja biojätteestä vuodessa saatavan biokaasun määrä, kun biokaasun saanto on 100 tai 150 $\text{m}^3/1000$ kg biojätettä ja metaanipitoisuus 51 tai 66 %, sekä biojätteestä tuotetusta biokaasusta saatavan energian minimi- ja maksimimäärät	65
Taulukko 9. Lappeenrannan jätevesilietteestä saatavan biokaasun määrä arvioituna Suomen puhdistamoilta saatujen tilastotietojen avulla, laskentatavassa 1 laskennan lähtöarvon yksikkö on [m^3 biokaasua/ m^3 lietettä] ja laskentatavassa 2 [m^3 CH_4/m^3 lietettä]	67
Taulukko 10. Lappeenrannan alueen nautakarja vuonna 2008	69
Taulukko 11. Lappeenrannan alueen siat vuonna 2008	70
Taulukko 12. Lappeenrannan biokaasuntuotantoon soveltuvien maatilojen eläinten lannasta saatavan biokaasun arvioidut minimi ja maksimimäärät	71
Taulukko 13. Lannoista saatavan biokaasun energiasisältö metaanipitoisuuden ollessa 58 tai 67 %	72
Taulukko 14. Lappeenrannassa biokaasuntuotantoon soveltuvilla maatiloilla vuodessa syntyvä lietelantamäärä yksiköissä [m^3] ja [t]	73
Taulukko 15. Vuosina 2003 – 2008 Lappeenrannassa käytetty kaatopaikkakaasumäärä ja siitä saadun energian määrä	74
Taulukko 16. Lappeenrannan biokaasuntuotannon massa- ja energiatase	76
Taulukko 17. Työssä tarkasteltavien biokaasuntuottamisvaihtoehtojen kuvaus	79
Taulukko 18. Penkkaan lajitetun jätteen koostumus Toikansuon kaatopaikalla	80
Taulukko 19. Työssä tarkasteltavat mädättämövaihtoehdot ja niissä mädätettävien materiaalien energiasisällöt (GWh/a)	84
Taulukko 20. Kaasumootorilla tuotettavissa oleva energia kussakin tapauksessa, sekä sähkö- ja lämpöenergian osuudet tuotetusta energiasta	86
Taulukko 21. Mikroturbiinilla tuotettavissa oleva energia kussakin tapauksessa, sekä sähkö- ja lämpöenergian osuudet tuotetusta energiasta	86
Taulukko 22. Mädätettävän materiaalin energiasisällöt ja lämpökattilalla tuotettavissa oleva lämpöenergia kussakin tapauksessa	87
Taulukko 23: Omaan käyttöön ja myyntiin jäävän sähköenergian ja lämpöenergian määrä, kun tuotetun energian määrästä on vähennetty biokaasulaitoksen toimintaan tarvittava energia, 26 % kokonaisenergiansaannosta	88

Taulukko 24: Saatavissa oleva rahallinen säästö mädätettäessä puhdistamolietettä puhdistamon yhteydessä sijaitsevalla biokaasulaitoksella, tuottaessa sähköä ja lämpöä kaasumootorilla tai mikroturbiinilla, tai lämpöä lämpökattilalla	90
Taulukko 25. Saatavissa oleva rahallinen säästö puhdistamon yhteydessä tai läheisyydessä sijaitsevalla yhteismädättämöllä, tuottaessa sähköä ja lämpöä kaasumootorilla tai mikroturbiinilla, tai lämpöä lämpökattilalla	91
Taulukko 26. Kaasumootorilla tuotetusta sähköstä myyntiin jäävä sähköenergia Toikansuolla sekä yhteismädättämöllä kussakin tapauksessa, kun puhdistamon sähköenergian tarve, 2 GWh/a, katetaan ensin, sekä sähkön myynnistä saatavissa olevat tulot	92
Taulukko 27. Mikroturbiinilla tuotetusta sähköstä myyntiin jäävä sähköenergia Toikansuolla sekä yhteismädättämöllä kussakin tapauksessa, kun puhdistamon tarvitsema sähköenergian tarve, 2 GWh/a, katetaan ensin, sekä sähkön myynnistä saatavissa olevat tulot	92
Taulukko 28. Lämmöstä saatavissa olevat maksimitulot oman käytön jälkeen	93
Taulukko 29. Energiasisällön perusteella tuotettavissa oleva kaasumäärä kussakin tapauksessa yksikössä m ³ /h	94
Taulukko 30. Biokaasun jalostuslaitoksen energiankulutus kussakin tapauksessa sekä jalostuslaitoksen energiankulutuksen osuus energiasisällöstä	95
Taulukko 31. Maakaasuverkostoon syötettäväksi jäävän kaasun energiasisältö kun kaasusta on tuotettu ensin kaasumootorilla biokaasulaitoksen tarvitsema sähkö- ja lämpöenergia, 26 % kokonaisenergiasta, sekä biokaasun jalostuslaitoksen tarvitsema sähköenergia	96
Taulukko 32. Maakaasuverkostoon syötettävissä olevan biokaasun määrä ja sen arvioitu rahallinen arvo	96
Taulukko 33. Henkilöautojen ja bussien lukumäärä, joiden vuotuinen polttoaineenkulutus voitaisiin kattaa puhdistetulla biokaasulla	97
Taulukko 34. Kilometrimäärä, jonka ajamiseen puhdistettu ja jalostettu biokaasu riittäisi vuodessa ajettaessa henkilöautolla tai bussilla	98
Taulukko 35. Tuotettavissa oleva ajoneuvopolttoaineen määrä ja siitä saatavissa olevat tulot, mikäli kaupungilla olisi oma jakeluasema	98
Taulukko 36. Mädätettävien materiaalien typpi- ja fosforipitoisuudet	99
Taulukko 37. Mädätysjäännöksen määrä ja mädätteen sisältämän typen ja fosforin määrät	101
Taulukko 38. Mädätteen levitykseen tarvittava peltoala	101
Taulukko 39. Päästöjen vähentämismahdollisuus tuottaessa energiaa kaasumootorilla, mikroturbiinilla tai lämpökattilalla ja korvattaessa turvetta (kaikki energia oletetaan käytettävän hyödyksi)	104
Taulukko 40. Päästöjen vähentämismahdollisuus tuottaessa energiaa kaasumootorilla, mikroturbiinilla tai lämpökattilalla ja korvattaessa maakaasua (kaikki energia oletetaan käytettävän hyödyksi)	105
Taulukko 41. Päästöjen vähentämismahdollisuus kun biokaasu syötetään maakaasuverkostoon ja sillä oletetaan korvattavan maakaasua	105
Taulukko 42. Päästöjen vähentämismahdollisuudet kussakin tapauksessa korvattaessa biokaasulla bensaa tai dieseliä	106
Taulukko 43. Päästöjen vähennysmahdollisuuksien minimi- ja maksimimäärät korvattaessa biokaasulla turvetta tai maakaasua, sekä päästöjen vähennysmahdollisuuksien osuudet päästöjen vähennystavoitteesta 105 000 t CO ₂ -ekv. (Energiantuotannon- ja kulutuksen, Maa- ja karjatalouden ja Jätehuollon päästöjä vähennystavoite)	107

Taulukko 44. Päästöjen vähentämismahdollisuudet, sekä niiden osuudet Lappeenrannan liikenteen päästöjen vähentämistavoitteesta tuotettaessa biokaasusta ajoneuvojen polttoainetta, sekä ajoneuvojen polttoainetta tuotettaessa saavutettavissa oleva päästöjen vähennysmahdollisuus (jossa on huomioitu myös Toikansuolla vältettävä metaanipäästö) yhteensä, sekä sen osuus Lappeenrannan päästöjen kokonaisvähentämistavoitteesta	108
Taulukko 45. Mädättämön oman energiankulutuksen kattamisen jälkeen hyödynnettäväksi jäävä sähkö ja lämpö sekä saatavissa olevat kulut ja tuotot yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa	110
Taulukko 46. Biokaasun syöttö maakaasuverkostoon: energia, tulot ja säästöt	111
Taulukko 47. Biokaasun ajoneuvokäyttö: polttoaineen määrä, kuinka monen henkilöauton vuotuisen kulutukseen riittää, tulot ja säästöt	111
Taulukko 48. Biokaasun tuotannon kasvihuonekaasupäästöjä vähentävä vaikutus korvattavasta polttoaineesta riippuen	111

1 JOHDANTO

Biokaasu on bioperäistä, pääosin metaanista ja hiilidioksidista koostuvaa kaasua. Sitä syntyy hapettomissa oloissa sekä luonnossa, että ihmisen toiminnan ansiosta, mm. kaatopaikoilla ja biokaasun tuotantoa varten rakennetuissa mädätyslaitoksissa. Biokaasua voi syntyä tai voidaan tuottaa lähes kaikesta eloperäisestä aineksesta. Biokaasusta voidaan tuottaa lämpöä, sähköä ja ajoneuvojen polttoainetta. Tässä työssä tarkastellaan biokaasun lähteitä, sekä tuottamis- ja hyödyntämismahdollisuuksia Lappeenrannassa. Biokaasu on uusiutuva energianlähde, jonka käytöllä voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Biokaasun avulla voidaan siksi osittain täyttää Kioton pöytäkirjan Suomelle asettamia päästöjä vähentämistavoitteita.

1.1 Työn tausta

Tämä työ liittyy Lappeenrannan kaupungin ilmasto-ohjelmaan. Ilmasto-ohjelman taustalla vaikuttava asetus on Kioton pöytäkirja. Ilmasto-ohjelman avulla pyritään Kioton velvoitteiden lisäksi vastaamaan myös muihin EU:ssa sovittuihin päästöjä vähentämistavoitteisiin. EU:n laajuisesti on sovittu useita ilmastollisia tavoitteita vuodelle 2020. Kasvihuonekaasupäästöjä mm. pyritään vähentämään siihen mennessä 20 %. Tavoitteena on myös, että vuonna 2020 liikennepolttoaineista 10 % saataisiin uusiutuvista lähteistä. (Ympäristöministeriö 2008)

1.1.1 Kioton sopimus

Kioton pöytäkirja tuli voimaan 16.2.2005. Se on useiden maiden (12.2.2007 mennessä 167 maan) allekirjoittama sitoumus, jolla pyritään vähentämään ihmisten aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä ja siten ehkäisemään tai hillitsemään ilmastonmuutosta Kasvihuonekaasut, joita sopimus koskee, ovat hiilidioksidi, metaani, dityppioksidi, fluorihiilivedyt, perfluorihiilivedyt ja rikkiheksafluoridi. (Ympäristöministeriö 11.11.2008) Päästöjä tarkasteltaessa nämä kaikki päästöt ilmoitetaan yhtenä päästömäärälukemana, hiilidioksidiekvivalenttina. Päästöjen pitoisuudet muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi

GWP (Global Warming Potential) kertoimien avulla. Kerroin riippuu siitä kuinka voimakkaita kasvihuonekaasuja ne ovat hiilidioksiini verrattuna. Kertoimia on määritetty eri tarkasteluajoille, joista tavallisimpia ovat 20, 100 ja 500 vuotta. Yleisimmin käytetään 100 vuoden tarkasteluaikaa. Hiilidioksidin kerroin on aina 1. Esimerkiksi metaanin (CH₄) GWP-kerroin (100 vuoden tarkasteluajalla) on 21, joten metaanipitoisuus muunnetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi kertomalla se 21:llä. Hiilidioksidiekvivalenttia merkitään lyhenteellä CO₂-ekv. (Kara ym. 2004 s. 139 - 141)

Kioton pöytäkirjassa on esitetty yleisen päästövähennystavoitteen lisäksi maakohtaiset päästövähennystavoitteet. Maakohtaiset päästövähennystavoitteet on ilmoitettu kertoimen avulla, joka on Suomelle 0,92. Tämä tarkoittaa sitä, että Suomen tulisi vuosina 2008 – 2012 vähentää päästöjään 8 % vuoden 1990 hiilidioksidipäästöistä. (13/2005 Valtion asetukset) EU on kuitenkin tehnyt sisäisen taakanjakosopimuksen, jossa EU:lle yhteisesti asetettu päästövähennystavoite, -8 % vuoden 1990 päästöistä, jaetaan maakohtaisiin velvoitteisiin. Näissä joitakin maita veloitetaan vähentämään päästöjään vuoden 1990 tasosta EU:n yhteistä päästövähennystavoitetta enemmän, joitain taas vähemmän. Suomen osalta näissä velvoitteissa määrätään, että Suomen tulee vähentää kasvihuonekaasupäästöjään siten, että ne eivät vuosina 2008 – 2012 ylitä Suomen vuoden 1990 kasvihuonekaasupäästöjen tasoa. (Ympäristöministeriö 2003 s. 21 - 22) Euroopan unionissa on lisäksi päätetty, että EU:n alueella vähennetään päästöjä 20 % vuoden 1990 tasosta vuoteen 2020 mennessä. Mikäli päästöjen vähentämisestä saadaan aikaan maailmanlaajuinen sopimus, on EU sitoutunut vähentämään päästöjään 30 % vuoteen 2020 mennessä. (Ympäristöministeriö 2007)

Kioton pöytäkirjan toisessa artiklassa määritellään toimintaohjelmia ja toimenpiteitä, joiden avulla päästövähennyksiin pyritään. Tämän työn kannalta oleellisimpia ovat toisen artiklan kahdeksasta kohdasta seuraavat: ”(iii) kestävän maatalouden edistäminen, ottaen huomioon ilmastonmuutokseen liittyvät näkökohdat; (iv) uusien ja uusiutuvien energianlähteiden, hiilidioksidin sitomistekniikan sekä kehittyneen ja uuden ympäristön huomioon ottavan teknologian tutkimus, edistäminen, kehittäminen ja laajempi käyttö; (vii) toimenpiteet muiden kuin Montrealin pöytäkirjan sääntelemien kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamiseksi ja/ tai vähentämiseksi liikennesektorilla; sekä (viii) jätehuollon metaanipäästöjen rajoittaminen ja/ tai vähentäminen jätteiden talteenotolla ja käytöllä, sekä energiantuotannon, -siirron ja -jakelun metaanipäästöjen rajoittaminen ja/

tai vähentäminen.” (Kohdassa vii mainittu Montrealin pöytäkirja käsittelee otsonikerokseen vaikuttavia kasvihuonekaasuja.) (13/2005 Valtion asetukset)

Maatalouslietteen tarkastelun osalta on siis kyse kestävästä maatalouden edistämisestä. Itse biokaasu on neljännessä kohdassa tarkoitettu uusiutuva energianlähde. Biokaasun käytöllä liikenteessä voidaan vaikuttaa liikenteen päästöihin, sekä kaikella biokaasuun liittyvällä toiminnalla, etenkin kaatopaikkakaasun hyödyntämisellä, rajoitetaan metaanipäästöjä.

Kioton pöytäkirjan mukaan päästöjen rajoittamiseksi tulee laatia kansallisia ja tarvittaessa alueellisia ohjelmia, joissa määritellään tavoitteet ja toimenpiteet, joilla vaaditut päästövähennykset saavutetaan. (13/2005 Valtion asetukset)

1.1.2 Lappeenrannan ilmasto-ohjelma

Tämä työ liittyy Lappeenrannan kaupungin ilmasto-ohjelmaan. Lappeenrannan kaupunginhallitus on päättänyt 28.1.2008 laatia Lappeenrannan kaupungille ilmasto-ohjelman EKIS eli ”Etelä-Karjalan kaupunkien ilmastomuutoksen ehkäisy ja siihen sopeutuminen”-hankkeen avulla. EKIS-hanke kestää maaliskuun 2009 loppuun saakka. (Piutunen 2008) Kunnan tulee ilmasto-ohjelmaa varten ensin selvittää kasvihuonekaasupäästönsä ja tehdä arvio niiden kehityksestä päästölaskennan avulla. Laskennan tuloksien perusteella saadaan selville kuinka paljon kunnan pitää päästöjään vähentää, minkä jälkeen voidaan laatia suunnitelma niistä toimenpiteistä, joilla tähän tavoitteeseen päästään. Kunnat voivat omalla toiminnallaan vaikuttaa päästöihin seuraavilla alueilla: oma energiankäyttö – ja tuotanto, jätehuolto, liikenne, kaavoitus ja yhdyskuntasuunnittelu. (KTM 2/2003 s. 45) Tämä työ liittyy kolmeen ensiksi mainittuun alueeseen.

Lappeenrannan Ilmasto-ohjelman avulla pyritään löytämään ne paikalliset keinot, joilla kasvihuonekaasupäästöjä voidaan hillitä ja sitä kautta vaikuttaa ilmastomuutokseen. Ilmasto-ohjelman avulla pyritään siis täyttämään kuntatasolla EU:n asettamat (Kioton sopimuksen) päästönvähennysvelvoitteet. (Piutunen 2008) Kyseessä on siis Kioton pöytäkirjassa tarkoitettu alueellinen ohjelma. Lappeenrannan kaupungin ilmasto-ohjelman valmistelu on käytännössä edennyt siten, että ensin vuonna 2007 teetettiin kasvihuone-

kaasupäästöjen laskenta diplomityönä. Saman työn puitteissa laadittiin myös luonnos ilmasto-ohjelmaksi. Tässä luonnoksessa mietittiin alustavasti niitä toimia, joilla päästöjä voitaisiin vähentää, sekä arvioitiin ehdotetuin toimin saavutettavissa olevaa päästöjenvähentämispotentiaalia. (Huttula 2007a; Huttula 2007b) EKIS- hankkeeseen liittyen pidettiin ”Ilmastotalkoot” – aloitusseminaari 2.9.2008. Ilmasto-ohjelmaan liittyen muodostettiin työryhmiä, joissa mietittiin keinoja ilmastonmuutoksen ehkäisyyn ja siihen sopeutumiseen. Näitä työryhmiä olivat Maankäyttö, Liikenne, Rakennusten energiatehokkuus ja Energiantuotanto- ja jakelu. Työryhmien sekä konsulttien ehdotusten ja ideoiden pohjalta laadittiin ilmastoraportti, jonka luonnos esiteltiin tilaisuudessa ”Ilmastotalkoot osa 2” 19.2.2009. Varsinainen ilmasto-ohjelma on tarkoitus saada valmiiksi ja esitellä huhtikuun 2009 alkuun mennessä. Tämän jälkeen ohjelma siirtyy lautakuntiin ja sen jälkeen kaupunginvaltuustoon hyväksyttäväksi. (Ilmastoraportin esittely 19.2.2009) Kaupunginhallitus hyväksyi Lappeenrannan kaupungin ilmasto-ohjelman 28.9.2009. Ilmasto-ohjelmassa on esitetty 10 toiminnallista tavoitetta, joista tämän työn aihe liittyy tavoitteeseen ”energiantuotannon kasvihuonekaasujen vähentämistä jatketaan”. Toiminnalliset tavoitteet on jaettu pienempiin osatavoitteisiin, joista tähän työhön liittyy ”biokaasun käyttömahdollisuuksien lisääminen”, jota on tarkoitus seurata viiden vuoden välein mittarilla biokaasun osuus (%) energiankäytöstä. Tavoitteiden tarkennuksessa mainitaan käytännön toimenpiteinä biokaasun käyttöön liittyen ”kaatopaikkakaasun hyödyntäminen”, lisäksi tämä työ liittyy myös osaltaan toimenpiteeseen ”selvitetään aktiivisesti vaihtoehtoisten energiamuotojen hyödyntämistä”. (Lappeenrannan kaupunki 2009 s. 6, 8, 12)

Lappeenrannan teknillisen yliopiston energia- ja ympäristötekniikan osastolla tehtiin vuonna 2007 diplomityö Lappeenrannan kasvihuonekaasupäästöjen laskennasta. Diplomityöhön liittyen julkaistiin erillinen tutkimus, jonka on tarkoitus toimia luonnoksena Lappeenrannan kaupungin ilmasto-ohjelmalle vuoteen 2020. Tässä tutkimuksessa selvitetään Lappeenrannan kaupungin kasvihuonekaasupäästöt ja esitetään toimenpideehdotuksia, joilla näitä päästöjä voitaisiin vähentää Kioton sopimuksen velvoittamalle tasolle ja enemmänkin. Tutkimuksesta selviää, että Lappeenrannan kaupungin hiilidioksidipäästöt olivat Kioton sopimukseen valittuna vertailuvuonna 1990 yhteensä 1 108 000 t CO₂-ekv ja vuonna 2004 yhteensä 1 180 000 t CO₂-ekv (Huttula 2007a, s. 13). Tutkimuksen päästöjenvähennysehdotuksissa lähdetään oletuksesta, että Lappeenrannan kaupungin päästöjenvähentämistavoite vuodelle 2020 on sama kuin EU:n ylei-

nen tavoite, -20 % vuoden 1990 tasosta (Huttula 2007a, s. 30). Päästöjä täytyisi siis vähentää Lappeenrannassa 72 000 tonnia CO₂-ekv vuosina 2008 – 2012 ja 221 600 t CO₂-ekv vuoteen 2020 mennessä (mikäli maailmanlaajuinen päästöjä vähennys sopimus ei toteudu).

Tutkimuksessa oletetaan, että kaupungin teollisuus saavuttaa päästöjä vähennystavoitteen sa päästökauppane mekanismien avulla. Päästöjä vähennys potentiaalia tarkastellaan muiden kuin teollisuuden osalta, eli lähinnä energiantuotannon ja rakennusten energiatehokkuuden osalta. Lappeenrannan kaupungin päästöt ilman teollisuuden aiheuttamia päästöjä olivat 401 000 t CO₂-ekv vuonna 1990 ja 441 800 t CO₂-ekv vuonna 2004. Päästöjä tulisi siis vähentää 20 % vuoden 1990 päästöistä. Vähennettävä määrä on siis 80 200 t CO₂-ekv verrattuna vuoden 1990 päästöihin. Päästöt saisivat vuonna 2020 olla siis korkeintaan (401 000 - 80 200) t CO₂-ekv = 320 800 t CO₂-ekv. Kaupungin päästöjä tulisi siis vähentää vuoteen 2020 mennessä vuoden 2004 päästöihin verrattuna (441 800 – 320 800) t CO₂-ekv = 121 000 t CO₂-ekv. Päästöjä olisi tutkimuksen mukaan mahdollista kuitenkin vähentää jopa 137 700 t CO₂-ekv. (Huttula 2007a 30 - 31)

Tärkeimmäksi yksittäiseksi päästöjä vähentäväksi tekijäksi osoittautui jo rakenteilla oleva biovoimalaitos. Sen päästöjä vähentävä vaikutus voi olla 80 900 – 90 000 CO₂-ekvivalenttia, eli 66,9 – 74,4 % prosenttia vähennystarpeesta tai 58,8 – 65,4 % kokonaisvähennys potentiaalista, riippuen turpeen osuudesta käytettävässä polttoaineessa Seuraavaksi eniten, 11 % kokonaisvähennys potentiaalista eli 15 000 t CO₂-ekvivalenttia, olisi luonnoksen mukaan mahdollista vähentää käyttämällä kaukolämpövoimalaitoksissa maakaasun sijasta biokaasua. Kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää myös käyttämällä biokaasua ajoneuvojen polttoaineena. Mikäli 10 % fossiilisista ajoneuvo polttoaineista korvataan biopolttoaineilla, niin päästöt voisivat vähentyä tehdyn tutkimuksen mukaan 1000 t CO₂-ekv. (Huttula 2007a, s. 30 – 33) Tästä biopolttoaineesta ainakin osa voisi olla biokaasua. Mikäli oletetaan, että koko 10 % olisi biokaasua, olisi biokaasun päästöjä vähentävä potentiaali 16 000 t CO₂-ekv eli kaikkiaan 11,6 % kokonaisvähennys potentiaalista ja 13,2 % vähentämisvelvoitteesta.

Koska biovoimala on jo käytössä, voitaneen olettaa, että se vähentää päästöjä 2010 vähintään 80 900 t CO₂-ekv. Siten vuoden 2010 jälkeen päästöjä tulisi vähentää vuoden 2004 tasosta vielä 40 100 t CO₂-ekv. Tällöin biokaasun osuus voisi ilmasto-

ohjelmaluonnoksessa tehtyjen päästövähennyspotentiaalitarkastelujen perusteella olla jopa 39,9 %. Mikäli oletetaan, että biovoimala vähentäisi turpeen osuutta polttoainesta ja siten saavutettaisiin päästöjen vähenemä 90 000 t CO₂-ekv, jäisi päästöjä vähennettäväksi 31 000 t CO₂-ekv, jolloin biokaasun käytön osuus päästövähennysvelvoitteesta olisi 51,6 %. Biokaasu voisi siis olla alustavien päästöjä vähennysehdotusten perusteella tärkein yksittäinen keino, jolla kunnan päästöjä voidaan vähentää.

Biovoimala korvaa käyttöön tullessaan Lappeenrannassa toimivan yhdistetysti sähköä ja lämpöä (CHP combined heat and power) tuottavan laitoksen. Kaupungissa jää käyttöön erillisiä, pelkkää lämpöä tuottavia kaukolämpölaitoksia. Nämä tuottavat energiaa yhteensä 86 GWh. (Trans-Mond Environment Oy 2009, s. 14) Toikansuon kaatopaikka-kaasusta tuotettiin energiaa vuonna 2008 noin 1,6 GWh. (Biokaasumäärien tilastot 2.1.2009) Suomen suurimmassa mädättämössä, joka sijaitsee Helsingin veden omistamalla Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla, tuotettiin vuonna 2007 energiaa biokaasusta 55 GWh. (Kuittinen 2007, s. 16) Tästä voidaan päätellä jo melko varmasti, ettei Lappeenrannassa voida tuottaa biokaasua niin paljon, että sillä voitaisiin korvata kaikkien kaukolämpölaitosten polttoaine.

Tutkimuksessa tai itse diplomityössä ei otettu kantaa myöskään siihen, kuinka maakaasun korvaaminen biokaasulla kaukolämpövoimaloissa voitaisiin käytännössä toteuttaa. Ilmastoraportin esittelytilaisuudessa mietittiin mahdollisuutta korvata em. erillisten, pelkästään lämpöä tuottavien kaukolämpölaitosten maakaasupolttoainetta biokaasulla. (Ilmastoraportin esittely 19.2.2009) Tilaisuudessa todettiin, että tämä olisi käytännössä mahdollista, mikäli biokaasua syötettäisiin maakaasuverkostoon. (Parviainen 19.2.2009) Biokaasun syöttämiseksi maakaasuverkostoon vaaditaan yhteistyötä verkon haltijan Gasum Oy:n kanssa. Gasum Oy:llä ollaan kiinnostuneita biokaasun syöttämisestä maakaasuverkostoon, mutta biokaasu haluttaisiin keskittää ajoneuvokäyttöön ja jakaa olemassa olevan maakaasupolttoaineen jakeluaseman kautta. (Torri 23.2.2009) Tämän vuoksi maakaasun osittainkaan korvaaminen biokaasulla kaukolämpölaitoksissa ei liene ainakaan helposti toteutettavissa.

Todellinen päästövähennyspotentiaali poikkeaa siis todennäköisesti ilmasto-ohjelmaluonnoksessa esitetyistä, koska siinä ei oltu tarkasteltu biokaasun todellista tuotantopotentiaalia. Toisaalta siinä tarkasteltiin biokaasulla korvattavana polttoaineena

vain maakaasua, jolla on fossiilisista polttoaineista alhaisin päästökerroin. Biokaasulla todellisuudessa saavutettavissa olevat päästövähennykset riippuvatkin siitä, mitä polttoaineita, taikka millä polttoaineilla tuotettua sähköä sillä korvataan. Jenni Huttulan diplomityössä todetaan teollisuuden päästöjen osalta, että kunta voisi vähentää biokaasun avulla myös teollisuuden päästöjä. Paroc Oy käyttää prosessipolttoaineekseen biokaasua. Biokaasu poltetaan kaasupolttimella, joka polttaa biokaasua aina kun biokaasuputkiston paine on riittävä. Paineen ollessa liian alhainen biokaasun sijasta käytetään maakaasua. Putken painetta tulisi siis kasvattaa, koska siten Paroc Oy voisi käyttää biokaasua enemmän ja näin vähentää päästöjään. (Huttula 2007 s. 45) Biokaasulaitoksen toimintaa on säädetty joulukuussa 2009 muuttamalla kompressori tuottopaineen suhteen itsesäätöiseksi. Tämä on parantanut laitoksen toimintaa ja siten myös vaikuttanut Parocin kaasunsaantiin. Pelkkä kaasun tuotannon lisäys pumppaamalla sitä enemmän ei auta vähentämään päästöjä, sillä silloin pumpattavan kaasun metaanipitoisuus ja sitä kautta energiasältö pienenee. Koska tässä työssä tutkitaan Toikansuolta saatavan biokaasun vaihtoehtoisia käyttömuotoja, täytyy huomioida myös mahdollinen kasvihuonekaasupäästöjen lisääntyminen, mikäli Paroc Oy:llä on tulevaisuudessa käytettävä biokaasun sijasta maakaasua.

1.2 Työn tavoite

Työn tavoitteena on vastata kysymyksiin: kuinka paljon Lappeenrannassa voidaan tuottaa biokaasua, mistä, miten ja missä sitä voidaan tuottaa, sekä missä ja miten biokaasua voidaan hyödyntää, sekä mitä hyötyä biokaasun käytöstä on?

Työssä pyritään siis saamaan kokonaiskuva biokaasun tuottamis- ja hyödyntämismahdollisuuksista ja tavoista. Työssä selvitetään kuinka paljon biokaasua Lappeenrannan alueella voidaan tuottaa ja kuinka paljon tästä kaasusta saadaan energiaa. Biokaasun tuotannon raaka-aineina tarkastellaan Lappeenrannan alueelta kerättävissä olevia biope räisiä jätteitä ja lietteitä, sekä kesantopelloilla kasvatettavia energiakasveja. Kaasun tuottotapoina tarkastellaan sekä olemassa olevaa Toikansuon kaatopaikan biokaasupumppaamoja, että biokaasun tuotantoa varten mahdollisesti rakennettavaa mädättämöä.

Työssä tutkitaan mädättämällä tuotettavan biokaasun, tai siitä saatavan energian hyötykäyttöä. Toikansuon kaatopaikalta saatavalle kaasulle pyritään löytämään vaihtoehtoisia hyödyntämistapoja nykyisen hyödyntämistavan sijaan, tai sitä täydentämään. Kaasun mahdollisena jakelutapana tarkastellaan sen syöttöä maakaasuverkkoon. Mädätyksessä syntyvän lietteen määrä ja hyötykäyttömahdollisuudet arvioidaan. Työssä selvitetään suuntaa-antavasti erilaisten kaasun tuottamis- ja hyödyntämismahdollisuuksien kustannuksia ja tuottoja. Niiden perusteella arvioidaan onko biokaasun tuotanto taloudellisesti kannattavaa, ja mitkä tekijät ovat kannattavuuden kannalta kaikkein ratkaisevimpia. Kustannusarvioita tehdään siinä laajuudessa kuin kirjallisuudessa esitetyjä ja laitevalmistajien esittämiä kustannus- ja tuottoarvioita on saatavilla, ne eivät perustu tarjouspyyntöihin. Yksityiskohtaisempi kustannuslaskenta on rajattu tämän työn ulkopuolelle. Lopuksi työssä selvitetään biokaasun käytön vaikutuksia kunnan kasvihuonekaasupäästöihin, sekä arvioidaan muita biokaasun hyödyntämisestä saatavissa olevia etuja.

1.3 Tutkimusmenetelmä

Työn teoriaosuus on tehty käyttäen pääasiassa kirjallisia lähteitä. Lappeenrantaa koskevassa osassa (kappaleet 4 – 6) hyödynnetään tilastotietoa, esim. jätetilastoja ja maatalouden eläinten lukumäärätilastoja. Biokaasun potentiaalista määrää arvioidaan laskennallisilla menetelmin, laskennassa käytetään kirjallisuudesta saatuja biokaasuntuottoarvioita eri materiaaleille. Biokaasulaitoksen sijoituspaikkaa pohdittaessa hyödynnetään mm. maakaasuverkkoston karttoja. Päästöjen arviointiin käytetään kappaleen 5 tuloksia ja kirjallisuudesta saatuja päästökertoimia.

2 BIOKAASUN OMINAISUUDET JA TUOTANTO

Biokaasun tuottaminen käyttämällä biomassaa biokaasureaktorissa anaerobisessa eli hapettomassa tilassa on mahdollista kaikesta olemassa olevasta biomassasta. Biomassalla tarkoitetaan eloperäisiä hiilipitoisia aineita, joihin on sitoutunut auringon energiaa. Tällaisia ovat esimerkiksi puu ja puujäte, viljakasvit, levät ja vesikasvit, oljet, ruoho, eläinten lanta ja kotitalouksien biojätteet. (Hellgren 1999 s. 30 - 31) Puu ei sovellu biokaasun tuotantoon kovin hyvin, sillä mädätettäessä puun sisältämä lingniini, selluloosa

ja hemiselluloosa ovat hitaasti hajoavia ja tuottavat siksi vain vähän kaasua. (Pipatti ym. 1996, s.33) Edellä mainittujen biokaasun lähteiden lisäksi tärkeitä biokaasun lähteitä ovat jätevesilietteet, joita on hyödynnetty biokaasun tuotannossa jo kauan. Lietteen käsittely anaerobisissa oloissa on yksi lietteen käsittelymuoto. Anaerobikäsittelyn avulla voidaan myös puhdistaa jätevettä, mutta yleisemmin sitä kuitenkin käytetään lietteiden käsittelymenetelmänä. (Mennola 2006, s. 173) Biokaasu voidaan jakaa mädättämällä tuotettuun biokaasuun eli mädättämökaasuun ja kaatopaikoilla syntyvään kaatopaikkakaasuun.

Biokaasun pääkomponentit ovat metaani CH_4 ja hiilidioksidi CO_2 . Mädättämökaasussa metaanipitoisuus on yleensä korkeampi kuin kaatopaikkakaasussa. Mädättämökaasun koostumus vaihtelee kaasun tuottamiseksi käytetyn teknologian ja mädätettävän materiaalin mukaan. Mädätettäessä kiinteitä bioperäisiä jätteitä ns. matalan kiintoainepitoisuuden mädätyksessä, eli kun mädätettävän lietteen kiintoainepitoisuus on pieni (8 – 10 %) ja vastaavasti vesipitoisuus suuri (prosessiin lisätään vettä), kaasun koostumus on tyypillisesti 55 % CH_4 ja 45 % CO_2 . Korkean kiintoainepitoisuuden mädätyksessä (kiintoainepitoisuus 22 – 28 %) kaasun koostumus on tyypillisesti 50 % CH_4 ja 50 % CO_2 . (Tchobanoglous ym. 1993 s. 701 – 702) Mädätettäessä jätevesilietteitä syntyvän kaasun metaanipitoisuus on 65 – 75 % ja hiilidioksidipitoisuus 25 – 30 %. Kaasu sisältää myös pieniä määriä typpeä N_2 , vetyä H_2 ja rikkivetyä H_2S sekä vesihöyryä. (Tchobanoglous ym. 2003 s. 1523) Vuonna 2007 Suomessa yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoiden yhteydessä jätevesilietteestä biokaasua tuottavien reaktorilaitosten tuottaman biokaasun keskimääräiset metaanipitoisuudet olivat 43 – 71 % ja muiden reaktorilaitosten 43 – 73 %. Biokaasureaktoreita oli Suomessa 30 kpl vuonna 2007 (Kuittinen ym. 2008 s. 4, 12, 44). Muualla maailmassa niitä on käytössä jo yli 10 miljoonaa (Lampinen 2004 s. 1).

Kaatopaikkakaasun tyypillinen koostumus on 45 – 60 % CH_4 , 40 – 60 % CO_2 , 2 – 5 % typpeä N_2 , 0,1 – 1 % happea O_2 , 0 – 1 % rikin yhdisteitä kuten sulfidit, disulfidit ja merkaptaanit, 0,1 – 1 % ammoniumia NH_4 , 0 – 0,2 % vetyä H_2 , 0 – 0,2 % hiilimonoksidia CO sekä 0,01 – 0,6 % muita ainesosia. Kaatopaikkakaasun koostumukseen vaikuttaa kaatopaikan ikä. (Tchobanoglous ym. 1993 s. 382) Kaatopaikkakaasun pääkomponenttien pitoisuudet voivat vaihdella esimerkiksi seuraavissa rajoissa: metaanipitoisuus 48 – 64 %, hiilidioksidipitoisuus 19 – 47 % ja typpi 2 - 13 % (KTM 1984 s. 6) Uusimmasta biokaasulaitosrekisteristä selviää, että vuonna 2007 Suomalaisilta kaatopaikoilta kerätyn

kaasun metaanipitoisuudet ovat vaihdelleet 30 %:sta 56 %:iin. (Kuittinen ym. 2008 s. 44) Todellisuudessa kaatopaikkakaasua kerätessä pitoisuudet vaihtelevat paljon lyhyenkin ajan sisällä.

Kaatopaikkakaasun epäpuhtauksista tärkeimpiä ovat rikin yhdisteistä rikkivety ja merkaptani, sekä asetoni ja asetaldehydi (haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, VOC). Lisäksi kaatopaikkakaasussa voi olla kloorattuja hiilivetyjä, joita todennäköisesti syntyy, mikäli kaatopaikalle on viety teollisuusjätteitä. Saksalaisilla kaatopaikoilla tehdyissä mittauksissa kloorattujen hiilivetyjen pitoisuudet vaihtelivat 10,2 – 219,1 mg Cl/m³ kaasua. (KTM 1984, s. 11)

Merkittäviä epäpuhtauksia sekä kaatopaikka- että mädättämökaasussa ovat myös siloksaanit, jotka ovat peräisin hygienia- ja kosmetiikkatuotteista, pesuaineista tai teollisuusprosesseista. Siloksaanit ovat haihtuvia yhdisteitä, jotka muuttuvat kaasufaasiin mädätysprosessin aikana. Hämeen ammattikorkeakoulussa (HAMK) tehdyissä biojätteen ja yhdyskuntajätevesilietteiden mädätyskokeissa yleisin siloksaanityyppi oli D5 eli dekametyylisyklopentaanisiloksaani, sen pitoisuus oli 70 – 85 % kaikista siloksaanityyppien mitatuista pitoisuuksista. Kokeessa mitattiin yhteensä kuuden erilaisen siloksaanin pitoisuuksia. Mitatut siloksaanipitoisuudet vaihtelivat 0,2 ja 0,7 ppm välillä. Reaktorin kiintoainepitoisuuden nousu ei vaikuttanut siloksaanipitoisuuksiin, merkittävimmät pitoisuuden lisäykset aiheutuivat kun reaktoriin lisättiin uusi liete-erä. Tutkimuksessa reaktorin kuormitus, eli lietteen kiintoainepitoisuus reaktorin tilavuutta kohti vuorokaudessa (kgVS/m³d) nostettiin 1:stä 10:een kgVS/m³d. Muita kokeessa mitattuja epäpuhtauksia olivat rikkiyhdisteet; rikkivety (H₂S), metyylimerkaptani, dimetyylisulfidi ja etyylimerkaptani (etaanitioli) sekä haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC), sekä ammoniakki ja typpioksiduuli (N₂O). Rikkivedyn pitoisuudet voivat vaihdella todella laajasti, esimerkiksi 10 – 30 000 mg/m³. HAMK:in tutkimuksessa rikkivetypitoisuus oli keskimäärin 10 ppm kaikissa mittauksissa. (Matala rikkivetypitoisuus johtui todennäköisesti mädätettävän materiaalin sisältämästä ferrosulfaatista, joka hillitsee rikkivedyn muodostumista) Muiden rikinyhdisteiden pitoisuudet olivat alle 0,2 ppm kaikissa mittauksissa, paitsi kuormituksen ollessa korkeimmillaan (10 kgVS/m³d), jolloin metyylimerkaptanin ja dimetyylisulfidin pitoisuudet nousivat hetkellisesti yli 30 ppm, mutta palautuivat alhaiselle tasolle 5 – 7 tunnin kuluessa. Ammoniakkipitoisuudet olivat alle toteamisrajan (5 ppm) kaikissa mittauksissa. Typpioksiduulia havaittiin viidessä tapauk-

sessä, luultavasti sitä syntyi reaktorin lataamisen yhteydessä, jolloin sinne pääsi happea. (Kymäläinen ym. 2008 s. 4 – 7)

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet vaihtelivat 1 – 8 ppm. Osa haihtuvien yhdisteiden pitoisuuksista oli jatkuvasti alle 1 ppm, tällaisia olivat tolueni, etyylibentseeni, nonaniini, oktaani, o-ksyleeni ja m-ksyleeni. Hiukan korkeampia määriä 1 – 2 ja 1 – 8 ppm mitattiin limoniiniä, p-ksyleeniä ja alfa-pineniiniä. Minkään edellä mainittujen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet eivät olleet riippuvaisia prosessin kuormituksesta tai muista prosessin muutoksista. Sen sijaan etanolin pitoisuudet vaihtelivat merkittävästi kuormituksesta riippuen, siten että korkeimmat pitoisuudet esiintyivät alhaisemmalla kuormituksella. Pitoisuudet nousivat merkittävästi kun kuormitusta lisättiin, mutta palautuivat alhaisemmiksi noin neljän tunnin kuluessa. Pitoisuudet vaihtelivat noin 0,1 – 20 ppm. (Kymäläinen ym. 2008 s. 4 – 7) Kuten edellä esitetystä voidaan päätellä, epäpuhtauksien pitoisuudet biokaasussa on mahdollista ilmaista tarkasti vain tiettyinä ajanhetkenä, tai jonkinlaisena vaihteluvälinä.

Taulukossa 1 on esitetty kootusti biokaasun pääkomponentit ja niiden pitoisuuksien vaihteluvälit, sekä biokaasussa esiintyviä epäpuhtauksia ja esimerkkejä niiden mahdollisista pitoisuuksista.

Taulukko 1. Biokaasun koostumus ja epäpuhtauksien mahdollisia pitoisuuksia (Tchobanoglous ym. 1993 s. 382; Kymäläinen ym. 2008 s. 4 – 7; Herpiö 2009 s. 3; Kuittinen ym. 2008 s. 12, 44)

Aine	pitoisuus %
Metaani CH ₄	30 - 75
Hiilidioksidi CO ₂	19 - 60
Epäpuhtaus	pitoisuus ppm
Hiilimonoksidi CO	0 - 3000
Typpi N ₂	10 000 - 50 000
Vety H ₂	0 - 30 000
Happi	0 - 9000
Rikkivety H ₂ S	10 - 5000
Muut rikin yhdisteet	0 – 10 000
siloksaani	0,2 - 0,7
etanoli	0,1 - 30
Muut VOC	1 - 8
Ammoniakki	0 - 10 000
N ₂ O	esiintyy

Biokaasua pidetään yleensä uusiutuvana energianlähteenä, mikä tarkoittaa sitä, etteivät kasvihuonekaasupäästöt lisäänty sitä poltettaessa. Puhdistetulla biokaasulla, josta on

poistettu hiilidioksidi, voidaan korvata maakaasua missä tahansa sovelluksessa. Tällaista käsiteltyä biokaasua kutsutaan biometaaniksi. Biometaania poltettaessa hiilidioksidia vapautuu ilmakehään, kaasun laadusta riippuen suunnilleen sama määrä kuin poltettaessa maakaasua, ovathan molemmat pääosin metaania. Ero näiden kahden välillä on näiden kaasujen synnyssä: kun poltetaan maakaasua, niin ilmakehään vapautuu hiilidioksidia, joka on ollut varastoituneena miljoonia vuosia, joten tätä kautta ilmakehän hiilidioksidipitoisuus lisääntyy. Biokaasun poltto ei lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta, sillä sen poltosta vapautuva hiilidioksidi on sitoutunut lyhyen ajanjakson sisällä ilmakehästä siihen biomassaansa, josta biometaani on tuotettu. Kaatopaikkakaasua poltettaessa myös estetään metaanin, joka on hiilidioksidia voimakkaampi kasvihuonekaasu, pääsy ilmakehään. (KTM 2005 s. 13)

2.1 Biokaasun tuotanto ja käyttö Suomessa

Suomen biokaasun tuotanto oli 138,82 milj. m³ vuonna 2007. Tästä määrästä hyödynnettiin 69 %. Biokaasusta tuotettiin energiaa 421,1 GWh (1,52 PJ), josta lämpöenergiaa oli 365,8 GWh ja sähköenergiaa 53,2 GWh. Biokaasulla tuotettu energiamäärä oli 0,7 % Suomen uusiutuvan energian tuotannosta. (Kuittinen ym. 2008 s. 8) Suomen uusiutuvan energian käyttö oli 25 % Suomen vuoden 2007 kokonaisenergiankulutuksesta (1470 PJ), eli 367,5 PJ, eli biokaasusta tuotettu energia oli 0,41 % kaikesta Suomessa käytetystä uusiutuvasta energiasta ja 0,1 % kaikesta Suomessa käytetystä energiasta. Biokaasun käyttö ja biokaasusta tuotetun energian määrä on kasvanut melko tasaisesti vuodesta 1994 (josta Suomen biokaasulaitosrekisterin tilastointi alkaa) vuoteen 2007. Vuonna 1994 biokaasun tuotanto on ollut alle 30 milj. m³ ja siitä tuotetun energian määrä hieman yli 100 GWh. (Kuittinen ym. 2008 s. 8) Biokaasun tuotanto ja energiantuotanto biokaasusta on siis noin nelinkertaistunut 13 vuodessa.

Valtaosa Suomen biokaasusta saatiin kaatopaikkojen biokaasupumppaamoista, 107,8 milj. m³ eli 78 % kaikesta kaasusta. Loput 31 milj. m³ tuotettiin biokaasua tuottavilla reaktorilaitoksilla. Kaatopaikoilla sijaitsevia biokaasupumppaamoita oli Suomessa vuonna 2007 33 kappaletta, reaktorilaitoksia eli mädättäjä oli yhteensä 31, joista 16 sijaitsi yhdyskuntien jätevedenpuhdistamoilla ja tuotti biokaasua jätevesilietteestä ja kolme teollisuuden jätevedenpuhdistamoilla tuottaen kaasua teollisuuden jätevesiliet-

teistä. Maatiloilla laitoksia oli kahdeksan ja ne tuottivat biokaasua lannasta ja kasvipe-
räisestä maatalousjätteestä. Lisäksi neljä laitosta oli nk. yhteismädätyslaitoksia, joilla
mädätettiin useita erilaisia materiaaleja. Yhteismädätyslaitoksia on lisäksi suunnitteilla
ainakin seitsemän. (Kuittinen ym. 2008 s. 8 – 9)

Suomessa biokaasua on alettu tuottaa ja hyödyntää vuonna 1962 jätevedenpuhdistamoi-
den yhteyteen rakennetuilla mädätyslaitoksilla Mikkelissä ja Tampereella (Kuittinen ym.
2008 s. 12). Suomen ensimmäinen kaatopaikkakaasun pumppaamo taas on rakennettu
vuonna 1990 Helsinkiin Vuosaaren kaatopaikalle (Kuittinen ym. 2008 s. 47).

Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä on uusiutuvan energian edistämishjelmassa
vuosille 2003 – 2006 esittänyt tavoitteita erilaisten uusiutuvien energialähteiden käytöl-
le. Biokaasun käytölle asetetun tavoitteen mukaan biokaasun käyttö voisi vuonna 2010
olla 4,2 PJ (1,17 TWh) ja vuonna 2025 peräti 8 PJ (2,22 TWh). (KTM 5/2003 s. 37)
Biokaasun käytön tulisi siis vuodesta 2007 noin kolminkertaistua vuoteen 2010 men-
nessä ja kuusinkertaistua vuoteen 2025 mennessä.

Kaksi vuotta uusiutuvan energian edistämishjelman valmistumisen jälkeen, vuonna
2005 Kauppa- ja teollisuusministeriö julkaisi raportin, jossa oli tutkittu uusiutuvan
energian tuotantomahdollisuuksia vuonna 2015. Biokaasun osalta raportissa on esitetty
sen teoreettiset maksimituotantomahdollisuudet, teknis-taloudelliset tuotantomahdoli-
suudet sekä arvioidut tuotantomahdollisuudet vuoteen 2015 mennessä. Tarkasteluissa
esitetään sekä syntyvän biokaasun määrä, että siitä saatavissa olevan energian määrä.
(KTM 2005, s. 19 – 21)

Teoreettista biokaasun tuotantopotentiaalia arvioitaessa on huomioitu lähes kaikki mate-
riaali josta biokaasua voitaisiin tuottaa. Potentiaaliksi on laskettu mm. kaikki syntyvä
yhdyskuntien biojäte ja teollisuuden biokaasuntuotantoon soveltuva prosessijäte sekä
yhdyskuntien jätevesiliete. Maataloudesta saatavan biokaasun potentiaalista määrää
arvioitaessa taas on huomioitu kaikki lanta ja oljet, sekä oletettu, että kaikella olemassa
olevalla kesantomaalla kasvatettaisiin energiakasveja biokaasun tuotantoon, arviot on
tehty olettaen energiakasvin olevan nurmiheinä. Syntyvän kaatopaikkakaasun potentiaa-
lia arvioitaessa on oletettu, että kaatopaikkakaasun tuotanto kasvaa 10 % vuodessa vuo-
teen 2010 asti. Teoreettisen potentiaalin arvioissa on suuret vaihteluvälit, koska jätteistä

tuotettavissa oleva biokaasumäärä vaihtelee suuresti jätteen laadun mukaan. (KTM 2005, s. 19 – 20)

Teoreettiseksi biokaasusta tuotettavissa olevaksi energiamääräksi KTM esittää 40 – 150 TWh (140 – 530 PJ). Tästä suurin osa, 30 – 140 TWh (110 – 490 PJ) saataisiin maatalouden lannoista ja oljista ja toiseksi suurin osa, 6,8 TWh (25 PJ) kesantopeltojen pelto-biomassoista. Ylivoimaisesti suurin biokaasupotentiaali siis löytyy maataloudesta. (KTM 2005, s. 19 – 20) Lampinen (2004 s. 7) esittää taas teoreettiseksi biokaasun vuosittaiseksi tuotantomaksimiksi edellistä huomattavasti pienemmän 14 TWh. Laskelmissa ei ole huomioitu energiakasveja.

Vuonna 2007 koko Suomen kokonaisenergiankulutus oli 1470 PJ (sisältää kaiken polttoainekäytön, myös ajoneuvojen polttoaineen) (Tilastokeskus 2008) Sähkön kulutus vuonna 2008 oli 86,9 TWh. (Energiateollisuus Ry 2009) Ajoneuvojen osuus Suomen energian kulutuksesta on noin 16 %, eli vuonna 2007 se on ollut reilut 200 PJ. Biokaasun osuus Suomessa tuotetusta energiasta voisi siis teoriassa olla erittäin merkittävä (9,5 – 36 % koko energian kulutuksesta) tai mikäli kaikki biokaasu tuotettaisiin keskitetysti ajoneuvojen polttoaineeksi, voitaisiin teoriassa kaikki ajoneuvot muuttaa biokaasukäyttöisiksi. Näin huikeisiin biokaasun tuotantomääriin tuskin koskaan päästään, mutta arviot osoittavat biokaasuun liittyvän potentiaalın suuruuden.

Teknis-taloudellista potentiaalia arvioitaessa oletettiin huomioon esimerkiksi se, ettei kaikkea yhdyskuntien biohajoavaa jätettä todellisuudessa kerätä erilleen, vaan oletettiin kerättävissä olevaksi määräksi vuoteen 2015 60 % biohajoavan jätteen määrästä. Teollisuuden biojätteestä oletettiin 50 % voitavan käyttää biokaasun tuotantoon, sekä jätevesilietteen anaerobisen käsittelyn lisääntyvän 25 %. Teknis- taloudelliseksi potentiaaliksi saatiin 6,7 – 18 TWh (24 – 64 PJ). (KTM 2005, s. 20) Lampisen (2004 s. 7) arvio 14 TWh asettuu tälle välille.

Arvio realistisesta tuotantopotentiaalista vuodelle 2015 on teknis- taloudellista potentiaalia pienempi, muun muassa kilpailevien biojätteenkäsittelymenetelmien vuoksi. Viljelykasveista saatavan energian määräksi on arvioitu puolet teknis-taloudellisesta potentiaalista. Realistiseksi tuotantopotentiaaliksi vuodelle 2015 esitetään 2,3 – 3 TWh (7,9 – 10 PJ). (KTM 2005, s. 20 - 21)

2.1.1 Kaatopaikkakaasu

Vuonna 2002 Suomessa tuli pakolliseksi kerätä talteen ja hyödyntää tai polttaa soihdussa suurimmilla kaatopaikoilla syntyvä kaasu. (861/1997). Biokaasua kerättiin vuonna 2007 Suomessa yhteensä 33 kaatopaikalla. Keräiltävän kaasun määrä oli yhteensä 107,8 Mm³ (107 800 000 m³). Sähköä ja lämpöä tuotettiin 68,5 Mm³:sta kaasua, josta saatiin energiaa 276,6 GWh (0,3 TWh). (Kuittinen ym. 2008 s. 4) Tästä voidaan päätellä, että yhdestä kaasukuutiosta saatiin energiaa keskimäärin 4,04 kWh Kaatopaikkalaitosten koot vaihtelivat Espoon Ämmäsuolla sijaitsevasta, 59,901 Mm³ kaasua tuottavasta laitoksesta pienimpään Järvenpään Puolmatkan 0,1 Mm³/a tuottavaan laitokseen (Kuittinen ym. 2008 s. 11). Kaikkien laitosten kaasuntuotannosta laskettu keskiarvo kaasuntuotto oli 3,268 Mm³/a. Keskiarvoa nostaa Espoon Ämmäsuon kaatopaikkalaitoksen valtava tuotanto, joka on lähes 8 kertaa niin suuri kuin seuraavaksi eniten kaasua tuottavalla laitoksella, Oulun Ruskon 7,510 Mm³ kaasua vuodessa tuottavalla laitoksella. Jos jätetään laskuista Espoon Ämmäsuon kaatopaikka, saadaan muiden 32 kaatopaikkalaitoksen kaasuntuotantojen keskiarvoksi 1,498 Mm³. Vuonna 2007 Lappeenrannan Toikansuolla kerättiin kaasua 0,338 Mm³, joten Toikansuon laitoksen vuotuinen kaasuntuotanto on keskiarvotuotantoon nähden melko pieni, kuudenneksi pienin kaikista. (Kuittinen ym. 2008 s. 10, 43)

Kaatopaikkalaitoksista 13 laitoksella kaasua ei ylijäämäpoltettu eli soihtutettu lainkaan, vaan kaikki syntyvä kaasu joko hyödynnettiin lämmöksi, tai sähköksi ja lämmöksi, tai sitten näillä laitoksilla ei ole lainkaan soihtuja. (Kuittinen ym. 2008 s. 11) Vastaavasti sellaisia laitoksia, joissa yhtään kaasua ei hyödynnetty, vaan kaikki poltettiin soihdussa, oli 12. Eli kahdeksalla laitoksella kaasusta osa poltettiin soihdussa ja osa käytettiin hyödyksi. Kaasua hyödynnettiin siis vuonna 2007 21 laitoksella. Ylijäämäpolton osuus laitoksilla tuotetusta energiasta vaihteli Jyväskylän Mustankorkean häviävän pienestä 0,1 %:sta Imatran Kurkisuon 95 %:in. (Kuittinen ym. 2008 s. 11) Keskimäärin ylijäämäpolton osuus tuotetusta energiasta oli 38 %. Vuonna 2007 ylijäämäpoltossa hukattiin energiaa yhteensä 161,9 GWh.

2.1.2 Mädättämökaasu

Vuonna 2007 maatalouslietteistä kaasua tuottavia laitoksia oli 8 kpl, jätevedenpuhdistamoilla sijaitsevia, biokaasua puhdistamolietteestä tuottavia laitoksia oli 15, ja teollisuuden orgaanista jätettä hyödyntäviä laitoksia 3. Lisäksi Suomessa toimi 4 yhteismädätyslaitosta, eli sellaista laitosta, jotka tuottivat biokaasua mädättämällä biojätteitä yhdessä joko maatalouslietteiden tai puhdistamolietteiden kanssa. (Kuittinen ym. 2008 s. 4)

Jätevedenpuhdistamoilla sijaitsevat jätevesilietettä mädättävät reaktorit ovat ”perinteisin” tapa tuottaa biokaasua. Suomen kaksi ensimmäistä mädättämöä on perustettu vuonna 1962. Suomen 16 puhdistamosta 11 on perustettu 80-luvulla, kaksi 90-luvulla ja vain yksi 2000-luvulla, vuonna 2005. Laitosten reaktorikapasiteetti vaihtelee pienimmästä Riihimäen kaupungin vesilaitoksen 800 m³ reaktorista Helsingin Veden neljään 10 000 m³:n reaktoriin. Jäteveden puhdistamoilla sijaitsevia mädättämöjä on 13 kaupungissa. Kolmessa kaupungissa, Tampereella, Lahdessa ja Riihimäellä, on kaksi laitosta. Laitoksista kahdeksalla on kaksi reaktoria. (Kuittinen ym. 2008 s. 12)

Jätevesilietteen mädättäminen vähentää laitosten hajuhaittoja ja lisäksi siitä saadaan energiaa laitosten omaan käyttöön tai myytäväksi. Jätevedenpuhdistamoiden mädätysreaktorit ovat Suomessa pystymallisia ja jatkuvasekoitteisia teräsbetoni- tai teräsreaktoreita. Suurin osa niistä sijaitsee maan päällä, mutta myös muutamia kallion sisään louhittuja reaktoreita on käytössä. Mädätettävien lietteiden kuiva-ainepitoisuudet (TS eli Total Solids) ovat yleensä vaihdelleet 3 – 6 %:iin. Forssan vesihuoltolaitoksella kuitenkin on reaktori, jossa lietteen kuiva-ainepitoisuus on 12,5 %. (Kuittinen ym. 2008 s. 13)

2.2 Biokaasun tuotannon biotekniset perusteet

Biokaasun tuotantoa voidaan käsitellä kaksi, kolme tai nelivaiheisena prosessina. Jako tapahtuu bakteerityyppien mukaan. (INSKO/Ranne 1986, s. 1 – 3) Käsiteltäessä biokaasun tuotantoa kaksivaiheisena, oletetaan, että biokaasun muodostuminen taikka tuotanto tapahtuu kahdessa erilaisessa vaiheessa, ja siihen osallistuu kaksi erityyppistä bakteerikantaa. Nämä bakteerit ovat heterotrofisista eli toisenvaraisia bakteereja, jotka tarvitsevat solujensa synteesiä varten joitain orgaanisia yhdisteitä, joista ne ottavat tarvitsemansa hiilen ja energian (ravinteet). Biokaasun tuotannon tapauksessa orgaaninen yhdiste on

jotain bioperäistä jätettä tai biomassaa. Kun bakteerit käyttävät ravinteita hyväkseen, ne samalla hajottavat jättemateriaalia. Biokaasun muodostumisesta puhuttaessa bakteerit ovat anaerobisia, eli ilman happea toimeen tulevia, eli ne ottavat ravinteet orgaanisesta aineksesta hapettomissa olosuhteissa käymisen avulla. Tällaista hajoamistapahtumaa kutsutaan jätteiden anaerobiseksi hajoamiseksi. Ensimmäisessä vaiheessa happoa tuottavat bakteerit hajottavat jätteen monimutkaiset orgaaniset yhdisteet yksinkertaisemmiksi orgaanisiksi yhdisteiksi, pääasiassa lyhytketjuisiksi hapoiksi. Tätä vaihetta kutsutaan happokäymiseksi. Happokäymisen tuloksena syntyy myös mm. vettä ja hiilidioksidia. Happoa tuottavat bakteerit ovat tyypiltään vaatimattomia fakultatiiveja. Fakultatiivi eli niin sanottu valinnainen bakteeri voi kasvaa vaihtoehtoisesti sekä hapellisissa, että hapettomissa olosuhteissa. (Mennola 2006 s. 69, 71, 174)

Toisessa vaiheessa metaania muodostavat bakteerit käyttävät ravinnokseen happokäymisessä syntyneitä lyhytketjuisia happoja. Tämä vaihe on nimeltään metaanikäyminen. Metaania tuottavat metaanibakteerit ovat tyypiltään vaativia oblikaatteja, eli ehdottomia anaerobeja. Tämä tarkoittaa sitä, että happi on vahingollista niiden kasvuille. Pienikin hapen määrä siis estää bakteerien kasvun ja sitä kautta metaanin muodostumisen, jo 0,01 mg/l happea estää metaanin muodostuksen. Metaanibakteerit myös kasvavat hitaasti ja niiden vaatimukset pH:n ja lämpötilan suhteen ovat tarkat. Metaanikäymisen tuloksena syntyy metaania ja hiilidioksidia, sekä yleensä myös pieniä määriä vetyä, ammoniakkia ja rikkivetyä. Nämä muodostavat biokaasun. Mädätysprosessissa muodostuvasta energiasta noin 90 – 95 % on biokaasua (eli biokaasun sisältämää kemiallista energiaa), bakteerisolujen kasvuun kuluu loput 5 – 10 % energiasta. Koska bakteerisolujen osuus on pieni, eli toisin sanottuna prosessin bakteerisolujen muodostus vähäistä, on myös syntyvän lietteen muodostus vähäistä, sillä lietteessä on vain vähän prosessin aikana lisääntyneiden bakteerien soluja. (Mennola 2006 s. 71, 174; KTM 1987 s. 2; KTM 1984 s. 8)

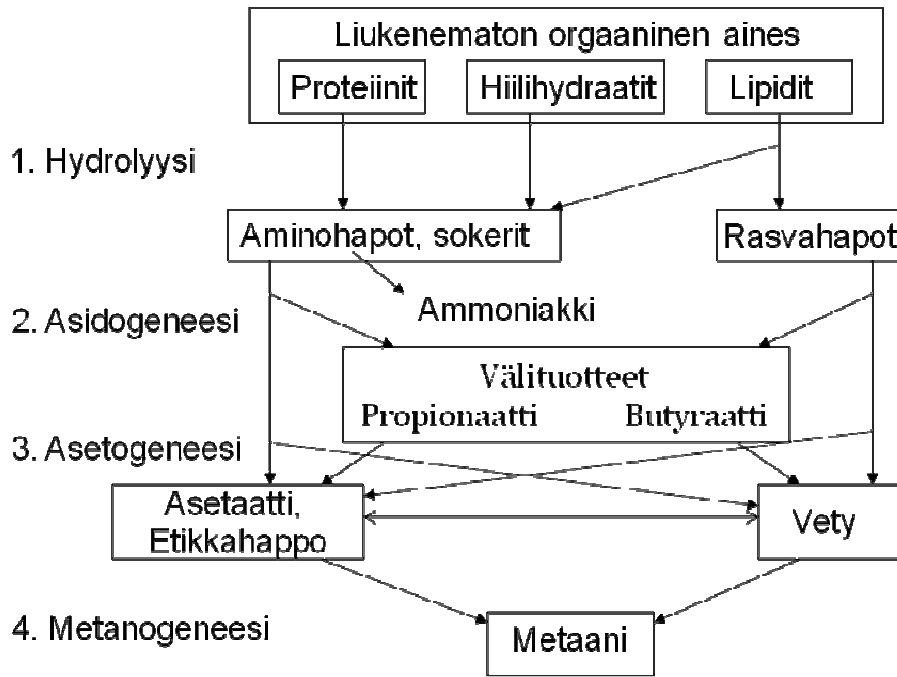
Kolmivaiheisesta mädätyksestä puhuttaessa vaiheet ovat hydrolyysi, haponmuodostus ja metaanintuotto, nelivaiheisesta prosessista puhuttaessa haponmuodostusvaihe jaetaan kahteen erilliseen vaiheeseen, josta ensimmäisessä toimivat happoa muodostavat bakteerit ja toisessa vetyä muodostavat bakteerit. Vaiheiden nimet ovat tällöin:

1. hydrolyysi
2. happokäyminen eli fermentaatio, asidogeneesi

3. etikkahapon muodostus, asetogeneesi

4. metaanin muodostus, metanogeneesi (Rintala 2008 s. 2; Isoaho & Valve 1986 s. 237 - 238)

Nämä vaiheet on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Mädätyksen vaiheet (Mukaillen: Rintala 2008 s. 2; Isoaho & Valve 1986 s. 237)

Metanogeneesi voidaan edelleen jakaa kahteen eri vaiheeseen: metaanin muodostumiseen asetaatista, eli asetoklastiseen metanogeneesiin, ja metaanin muodostumiseen vedystä, eli hydrogenotrofiseksi metanogeesiksi. (Rintala 2008 s. 2)

Luonnossa anaerobisia olosuhteita, joissa fakultatiivit ja oblikaatit anaerobibakteerit elävät, löytyy muun muassa ihmisten ruoansulatuskanavasta, märehitijöiden pötsistä, soilta ja järvien pohjista. Näissä paikoissa biokaasun muodostus tapahtuu luonnollisesti. (Mennola 2006 s. 72) Anaerobisia olosuhteita muodostuu myös kaatopaikoilla kun penkkaan sijoitettua jätemassaa tiivistetään tarpeeksi niin, että jätetäytössä oleva happi tulee käytetyksi loppuun, eikä uutta pääse tiiviuden vuoksi ilmakehästä tilalle. (KTM 1984 s. 5) Anaerobisia olosuhteita myös järjestetään jätteiden, esimerkiksi jätevesiliettelien käsittelyä varten. Anaerobisen käsittelyn hyvä puoli on, että siitä saatavan kaasun energiasisältö on suuri, sillä metaanipitoisuus on yleensä korkea, noin 65 – 70 %. Puhdasta metaanin energiasisältö on lähteestä riippuen 35,88 - 37,3 MJ/m³. Käsittelyn ongelmat taas johtuvat metaanibakteerien vaativuudesta kasvuympäristönsä suhteen. Pro-

sessin hoito on melko vaativaa. (Koska metaanibakteerit ovat hidaskasvuisia, kestää projektin käynnistäminen noin 1 – 3 kk.) Prosessi kestää korkeaa kuormitusta, mutta kuormituksen on oltava tasaista, sillä esimerkiksi nopea kuormituksen nousu voi vaikuttaa siten, että happopitoisuus nousee happokäymisvaiheen aikana ja johtaa pH-arvon laskemiseen sellaiselle alueelle, jossa metaanibakteerit eivät toimi optimaalisesti. (Menola 2006 s. 173 – 174; KTM 1987, s. 2; Maakaasuyhdistys 2008 s. 27)

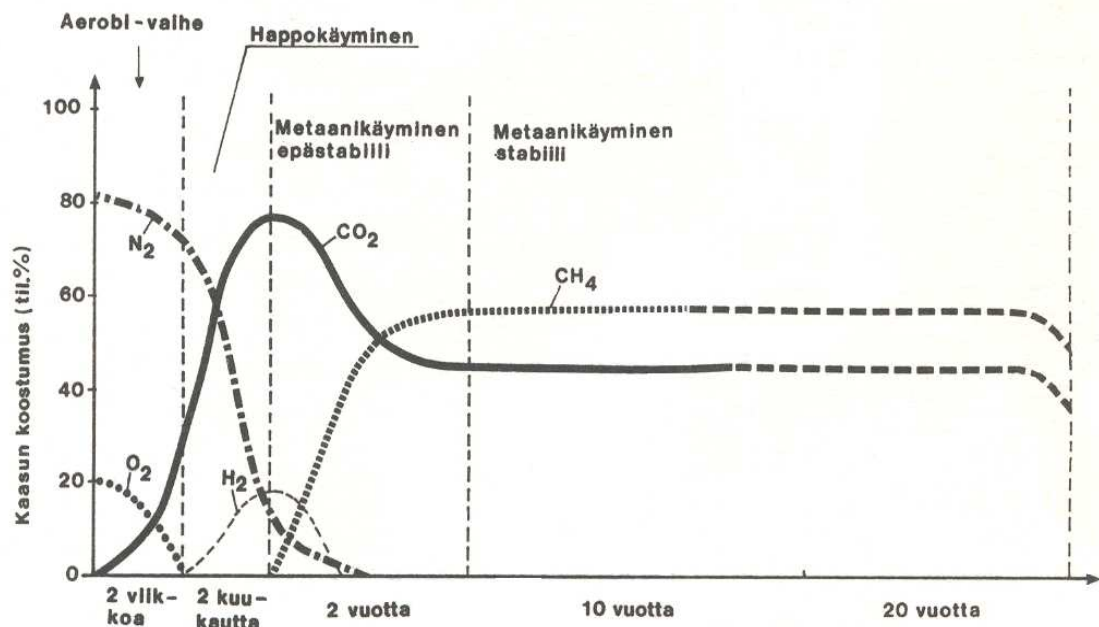
2.3 Biokaasun muodostumiseen ja koostumukseen vaikuttavat tekijät

Kaatopaikkakaasun ja mädättämökaasun muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat ravinteet, pH, lämpötila, mikrobikanta, aktivaattorit ja inhibiittorit sekä alkaliniteetti ja viipymäaika. Ainoastaan kaatopaikkakaasun muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat lisäksi jätteen koostumus, kaatopaikka-alueen koko ja geometria, jätetäytön tiiviys ja kosteus. *Jätteen koostumuksella* on vaikutusta muodostuvaan kaasumäärään, sekä kaasun muodostumisnopeuteen. Jotkut aineet hajoavat toisia nopeammin. Nopeasti hajoavia (alle viidessä vuodessa hajoavia) jätteitä ovat ruokajätteet, sanomalehtipaperi, toimistopaperi, puutarhajätteet ja kartonki. Hitaasti (yli 50 vuodessa) hajoavia jätteitä taas ovat tekstiilit, kumi, nahka, puu ja sekalaiset orgaaniset jätteet. (Tchobanoglous ym. 1993 s. 388 – 389; Pipatti ym. 1996 s. 20 – 21) *Kaatopaikka-alueen geometriassa* kaasunmuodostuksen kannalta tärkeintä on pinta-alan ja tilavuuden suhde. Mikäli pinta-ala on suuri suhteessa tilavuuteen, eli jätetäyttö ei ole kovin syvä niin jätteeseen muodostuu helpommin aerobisia alueita, joilla kaasun tuotanto on estynyt. Hyvin matalassa jätetäytössä myös jätetäytön lämpötila on riippuvaisempi ulkoilman lämpötilasta. Tutkimusten mukaan yli kahden metrin syvyydessä jätetäytön lämpötila ei riipu ulkoilman lämpötilasta. Mikäli jäte on hienojakoista ja hyvin *tiivistettyä*, jakautuu kosteus jätetäytössä tasaisemmin, mikä tehostaa mikrobiologista toimintaa ja nopeuttaa jätteen hajoamista. Hyvin suuri tiivistysaste kuitenkin hidastaa jätteen hajoamista. *Kosteus* on hyvin merkittävä tekijä kaatopaikoilla ja määrää jätteen hajoamisasteen ja nopeuden. Alle 20 % kosteudessa kaatopaikkakaasua ei muodostu lainkaan, kosteuspitoisuuden kasvaessa kaasun tuotanto kasvaa lineaarisesti 60 % kosteuspitoisuuteen saakka. Tämän vuoksi kaatopaikkakaasun tuotantoa voidaan lisätä esimerkiksi kierrättämällä kaatopaikan suotovesiä jätetäytön läpi. Kaasuntuotantoa voidaan kaatopaikoilla lisätä myös si-

joittamalla jätetäyttöön esimerkiksi runsaasti mikrobeja sisältävää lietettä. (Pipatti ym. 1996 s. 20 - 21)

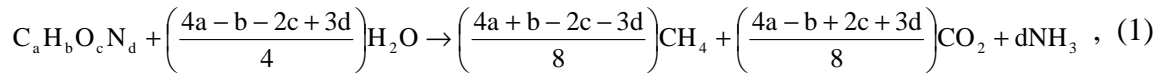
Yhdyskuntajätteen kuiva-aine sisältää biokemiallisesti hajoavaa hiiltä (Degrable Organic Carbon eli DOC) noin 20 p- %. Tästä hiilimäärästä noin 50 % muodostaa kaatopaikkakaasua, loppu 50 % varastoituu kaatopaikalle. Lisäksi pieni osa huuhtoutuu pois kaatopaikalta suotoveden mukana. (Tuhkanen 2002 s. 20)

Kaatopaikoille sijoitettu aines on yleensä melko hitaasti biohajoavaa, sen biohajoaminen vie yleensä noin 20 – 40 vuotta, jonka ajan kaatopaikkakaasua kerätään. (Deublein & Steinhäuser 2008, s. 66) Kuten kuvasta 2 nähdään, niin kaatopaikkakaasun koostumus vakiintuu noin kahdessa vuodessa, jonka jälkeen se jatkuu tasaisena noin 20 vuotta ja alkaa sen jälkeen vähentyä. Kuvasta nähdään myös kaatopaikkakaasun yleisimpien komponenttien pitoisuuksien muutos ajan suhteen. Mikäli kaatopaikan kosteus on optimaalinen, niin kaasun tuotanto on suurempaa ja loppuu aikaisemmin, kun taas kosteuden ollessa alhainen kaasua muodostuu vähemmän, mutta pitemmän aikaa. (KTM 1987 s. 9; Tchobanoglous ym. 1993 s. 393)



Kuva 2. Kaatopaikkakaasun muodostumisaika ja vaiheet, sekä kaasukomponenttien pitoisuudet ajan suhteen (KTM 1987 s. 9)

Mikäli tunnetaan mädätettävän aineen koostumus, eli sen hiili, vety, happi ja typpipitoisuus sekä mädätettävän aineen biohajoava osuus, voidaan syntyvän biokaasun koostumusta ja määrää arvioida yhtälöllä 1.



jossa C on hiili, H on vety, O on happi, N on typi, a [mol] on tarkasteltavan materiaalin biohajoavan osuuden hiilen määrä, b [mol %] vedyn, c [mol] hapen ja d [mol] typen määrä, H₂O on hajoamisprosessissa tarvittavan veden määrä, CH₄ hajoamisessa syntyvän metaanin määrä, CO₂ prosessissa syntyvän hiilidioksidin määrä ja NH₃ prosessissa syntyvän ammoniakkin määrä. Yhtälössä oletetaan kaiken biohajoavan aineksen muuttuvan metaaniksi ja hiilidioksidiksi. (Tchobanoglous ym. 1993 s. 388) Todellisuudessa kaikki biohajoava aines ei hajoa, ja kaasun tuotto riippuukin hajoamisasteesta, johon vaikuttavat prosessiolosuhteet, kuten lämpötila ja viipymäaika, sekä mädätettävän materiaalin laatu (Suunnittelukeskus Oy 1986 s. 11)

Kaatopaikkakaasumäärän arvioimiseksi voidaan käyttää taulukoituja arvioita eri jätelajien C, H, O ja N pitoisuuksista. (esim. lähteestä Tchobanoglous ym. 1993 s. 80 - 81) Mädätyksen tapauksessa arviointi on helpompaa, sillä esimerkiksi mädätettäessä puhdistamolietettä, voidaan lietteen ominaisuuksia tutkia kokeellisesti melko tarkasti, kun taas kaatopaikkaa tarkasteltaessa joudutaan tekemään enemmän arvioita, jotka voivat perustua tilastotietoon ko. kaatopaikalle sijoitetusta jätteestä, tai vaikkapa tietoon keskimääräisestä jätteen koostumuksesta kaatopaikalla. Kaatopaikkakaasun keräilyä suunniteltaessa kaasun tuotantoa ja koostumusta tutkitaan yleensä kokeellisesti (Lammi & Herpiö 20.1.2008). Myös mädättämöä perustettaessa tarvitaan kokeellista toimintaa, jotta saadaan selville mädätettävien jätteiden biohajoavuus ja niiden biokaasuntuottokyky. Lisäksi mädätettäessä useita erilaisia jätteitä ja raaka-aineita samassa reaktorissa, ovat kokeet tarpeen oikean seossuhteen selvittämiseksi. (Tekes/Kymäläinen 2005 s. 130)

Kaikkein eniten biokaasua syntyy sellaisesta aineesta, jossa on suuri rasvasisältö. Puhasta rasvasta syntyy kaasua 1,2 m³/kg, hiilihydraatista 0,8 m³/kg ja proteiinista 0,7 m³/kg. Kaasun energiasisältö riippuu sen metaanipitoisuudesta. Rasvasta tuotetun biokaasun metaanipitoisuus on 67 %, hiilihydraatista tuotetun 50 % ja proteiineista tuote-

tun 70 %. Metaanintuotannoksi muutettuna rasvasta siis syntyy metaania noin $0,8 \text{ m}^3/\text{kg}$, hiilihydraatista $0,4 \text{ m}^3/\text{kg}$ ja proteiinista $0,49 \text{ m}^3/\text{kg}$. Suurin energiasisältö raaka-ainemäärää kohti saadaan siis tuotettua rasvasta, kun taas kuutiota kohti tarkastellessa suurin energiasisältö saadaan proteiineista. Biokaasureaktorista saatavan kaasun metaanimäärä voi nousta myös korkeammaksi kuin edellä esitetyt prosentit, sillä osa kaasun hiilidioksidista voi liueta reaktorissa olevaan veteen (mikä tietysti myös pienentää syntyvän kaasun määrää). (KTM 1987 s. 4)

2.3.1 Olosuhteet

Metaanibakteereille optimaalinen pH on neutraali tai lievästi emäksinen, 7 – 7,2. Haponmuodostusvaiheen optimi pH taas on tätä alhaisempi, 4 – 6. Mikäli sekä haponmuodostus- että metaanikäyminen tapahtuvat samassa tilassa, pidetään prosessin optimina metaaninmuodostuksen optimia. Prosessin pH:n tulisi olla välillä 6,5 – 7,5, se ei saisi laskea alle 6,2, koska silloin metaanibakteerien toiminta estyy, samoin jos pH kohoaa yli 8. Metaanibakteereita on erilaisia ja näillä on erilaiset lämpötilavaatimukset. Kryofiilisten (=psykrofiilisten) bakteerien sietämä lämpötila-alue on 10 – 30 °C ja optimilämpötila 12 – 18 °C, mesofiilisten bakteereille lämpötila-alue on 20 – 50 °C ja optimi 25 – 40 °C, termofiilisten bakteerien lämpötila-alue taas on 35 – 75 °C ja optimi 55 – 65 °C. Metaaninmuodostus on nopeinta mesofiilisellä ja termofiilisellä alueella, 35 ja 55 °C, lämpötiloissa. Määdätyksessä pyritään pitämään lämpötila mahdollisimman tasaisena, suositeltavaa on, että lämpötila saisi vaihdella alle 0,5 °C. Optimaalinen hiilen ja typen suhde (C/H suhde) on 20 – 30:1. Biokaasun tuotantoa inhiboivia eli estäviä tekijöitä ovat muun muassa klooratut hiilivedyt, kuten kloroformi ja hiilitetrakloridi, antibiootit, pentakloorifenoli ja raskasmetallit, jotka vaikuttavat inhiboivasti vain liuenneena. Alhaiset pitoisuudet (75 – 400 mg/l) natriumia, kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia voivat lisätä biokaasun tuottoa, mutta suuremmissa konsentraatioissa ne alkavat olla inhiboivia. Magnesium on inhiboiva jo 3000 mg/l pitoisuudessa, kun taas natrium, kalium ja kalsium ovat vahvasti inhiboivia 8000 – 12000 mg/l pitoisuuksissa. Thobanoglous:in mukaan normaalisti toimivan mädätysprosessin alkaalisuus vaihtelee 1000 – 5000 mg/l. Koska raskasmetallit ovat inhiboivia vain liuenneina, voidaan niiden haitallinen vaikutus reaktorissa estää nostamalla pH:ta, koska niiden saostuminen on riippuvainen pH:sta. Haihtuvien rasvahappojen pitoisuuden tulisi olla alle 250 mg/l. Redox-potentiaalin, eli hapetus- ja pelkistyskyvyn (oksidatio ja reduktio) tulisi olla alhainen, jotta metaanin-

tuotto olisi tehokkainta, optimi on noin -510 – (-530) mV. Mikäli redox-potentiaali nousee yli -350 mV, metaanintuotanto inhiboituu. (Thobanoglous ym. 2003, s. 559; KTM 1984 s. 8; Tchobanoglous 1993 ym. s. 681; INSKO/Ranne 1983 s. 13 - 14)

2.4 Biokaasun tuottopotentialiaali eri raaka-aineista ja jätteistä

Biokaasun tuottamiseen soveltuvia materiaaleja ovat yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesiliete, maatalouden lietteet ja lannat, kasvijätteet ja energiakasvit, puutarhajätteet, turve ja järvikaislat, sekä yhdyskuntien ja teollisuuden biojätteet. Kirjallisuudesta löytyy hyvin erilaisia arvioita eri materiaalien kaasuntuottokyvyksi. Lisäksi arvoja on esitetty hyvin erilaisissa yksiköissä. Joistain löytyy taulukoituna materiaalin (biomassa, SS, Suspended solids) biokaasuntuotanto tilavuusyksikkönä painoyksikköä kohti (esim. m³ kaasua/kg SS), joissain on tarkasteltu taas vastaavasti metaanintuotantoa tilavuusyksikkönä painoyksikköä kohti (esim. m³CH₄/kg). Lietelantoja tarkasteltaessa voidaan ilmoittaa kaasuntuotanto vuorokautta kohti (kaasua/d, perustuen eläimen vuorokaudessa tuottaman lannan määrään), joissain taas tarkastellaan kaasuntuotantoa orgaanista kiintoainekiloa (VS, Volatile Solids m³ kaasua/kg_{VS}), tai kuiva-ainekiloa (TS, Total Solids, m³ kaasua/kg_{TS}) kohti. Samoissa yksiköissä tarkastellaan myös metaanintuotantoa. Lieten kuiva-aine koostuu orgaanisesta ja epäorgaanisesta osuudesta. Kuiva-ainepitoisuuden määrittämiseksi lietenäytteestä haihdutetaan vesi ja punnitaan jäännös, kuiva-ainepitoisuutta kutsutaan myös haihdutusjäännökseksi. Orgaanisen aineen määrä selvitetään hehkuttamalla kuiva-ainenäyte. Jäljelle jää hehkutusjäännös ja orgaanisen aineen osuus kaasuuntuu. Orgaanista osuutta kutsutaan myös hehkutushäviöksi. Muita mahdollisia kaasuntuotannon ilmoittamistapoja ovat kaasuntuotanto reaktorin tilavuutta kohti (m³ kaasua/m³ reaktori×d) ja m³ kaasua/kg COD (Chemical Oxygen Demand eli biologinen hapenkulutus). (mm. Valve & Isoaho 1986 s. 245; Suunnittelukeskus Oy 1986 s. 11)

Jätteiden metaanintuottopotentialiaalia ei voi ilmoittaa yksiselitteisesti ja tarkasti, koska niissä on suuri vaihteluväli. Seuraavassa on esitetty joitain esimerkkejä erilaisten jätteiden metaanituotoiksi painoyksikköä kohti. Yksittäisistä jätetyypeistä suurin metaanin tuotto painoyksikköä kohti (tuorepaino), 150 Nm³ CH₄/t, on teurastamojätteillä niiden korkean rasva- ja proteiinipitoisuuden vuoksi. Seuraavaksi eniten metaanikaasua saa-

daan biojätteestä, $123 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t}$. Huomattavasti vähemmän kaasua saadaan tuotettua vihreästä biomassasta, keskimäärin $52 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t}$, esikuivatusta jätevesilietteestä $33 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t}$ ja sian lietelannasta $16 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{t}$. Biokaasun tuotantoon sopivia materiaaleja voidaan jaotella paitsi niiden kaasun tai metaanintuotantokyvyn mukaan, myös sen mukaan, ovatko ne biokaasua tuottavalle laitokselle jätettä vai raaka-ainetta. Näiden ero on siinä, että jätteen tuojan on maksettava ns. porttimaksu että biokaasulaitos, joka on tässä tapauksessa jätteenkäsittelylaitos, ottaa jätteen käsiteltäväksi. Raaka-ainetta taas ovat biokaasun tuotantoa varten kasvatetut energiakasvit, joista biokaasulaitoksen on maksettava. (Gustafsson 2008 s. 5)

2.4.1 Jätevesiliete

Jäteveden puhdistamolietteestä saatavaa kaasumäärää voidaan arvioida sen perusteella, kuinka monen henkilön jätevedet puhdistamolle ohjataan. Kaasun tuotanto jätevesilietteestä voidaan määrittellä yhtälön 2 avulla:

$$28 \text{ m}^3/1000 \text{ as.} \times d, \quad (2)$$

Jossa as. tarkoittaa asukasmäärää tai asukasvastelukua, AVL.

Orgaanisen kiintoaineen määrää (VS) kohti metaania syntyy puhdistamolietteestä $0,75 - 1,12 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{VS}}$. (Tchobanoglous ym. 2003 s. 1523) Mattilan (1985 s. 3) eri lähteistä koostamien tietojen mukaan puhdistamolietteestä saatava biokaasumäärä on $0,2 - 0,6 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{VS}}$. Suunnittelukeskus Oy (1986 s. 11) on käyttänyt puhdistamolietteen kaasuntuoton arviointiin kaasuntuottoa $0,9 - 1,2 \text{ m}^3 \text{ kaasua}/\text{kg}_{\text{VS}_{\text{haj.}}}$, eli hajoavaa orgaanista ainemäärää kohti, orgaanisen aineen hajoamisasteeksi on arvioitu 50 %, jolloin lietteestä saatava maksimikaasumäärä/ kg_{VS} on sama kuin Mattilan mainitsema $0,6 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{VS}}$ ja minimi $0,45 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{VS}}$. Selvityksessä jossa on tutkittu Kerimäen kunnan biokaasun tuotantopotentiaalia, on käytetty puhdistamolietteen kaasuntuotona $1000 \text{ l}/\text{kg}_{\text{VS}} = 1 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{VS}}$ (Neste Oy 1985 s.10, 14) Jukka Rintalan (2008 s. 3) mukaan jätevesilietteestä saatava metaanimäärä on $200 - 400 \text{ l}/\text{kg}_{\text{VS}} = 0,2 - 0,4 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg}_{\text{VS}}$ ja märkápainoa kohti $5 - 12 \text{ kg CH}_4/\text{t}$ lietettä. Hämeenlinnan ammattikorkeakoulussa vuonna 2004 tehdyssä Kanta-Hämeen biokaasupotentiaalia arvioivassa opinnäytetyössä puhdistamolietteen biokaasuntuotantopotentiaali oli laskettu käyttäen Hämeenlinnan jätevedenpuhdis-

tamon toteutunutta biokaasun tuotantoa joka oli 12 m^3 biokaasua/ m^3 lietettä. Puhdistamolietteen kaasuntuoton vaihteluväli on siis kirjallisuuslähteistä tehdyn yhteenvedon mukaan:

Biokaasua $0,2 - 1,0 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{VS}}$

Metaania $0,2 - 1,12 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kg}_{\text{VS}}$.

Tiedoissa on selvä ristiriita, sillä metaania syntyisi vähimmillään yhtä paljon ja enimmillään enemmän kuin biokaasua, mikä ei tietenkään voi pitää paikkaansa. Laskennassa tullaankin käyttämään Mattilan ja Rintalan arvioita, eli:

Biokaasua $0,45 - 0,6 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{VS}}$

Metaania $0,2 - 0,4 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kg}_{\text{VS}}$.

Taulukossa 2 on esitetty tilastotiedon perusteella (Kuittinen 2008 s. 14 – 27) laskettuja arvoja kaasun tuotannosta/1000 ihmistä \times d.

Taulukko 2. Kaasun tuotanto tuhatta asukasta kohti vuorokaudessa Suomalaisten kaupunkien jätevedenpuhdistamoilla sijaitsevilla jätevesilietteen mädättämöissä (Kuittinen 2008 s. 14 – 27)

		Kaasumäärä/a	Kaasua/as./a	Kaasua/10 ³ as.*d
Paikkakunta	Asukkaita	milj. m ³	m ³	m ³
Helsinki	800000	10,930	13,7	37
Hämeenlinna	60000	0,407	6,8	19
Kuopio	80000	1,081	13,5	37
Lahti	100000	2,072	20,7	57
Maarianhamina	18000	0,307	17,1	47
Mikkeli	44000	0,427	9,7	27
Riihimäki	27000	0,670	24,8	68
Tampere,Rahola	40000	0,929	23,2	64
Tampere,Viinikanlahti	200000	1,940	9,7	27
Keskiarvo				42

Taulukosta 2 nähdään, että Suomessa vain Tampereen Viinikanlahdessa, Hämeenlinnassa ja Mikkelissä kaasuntuotto/1000 ihmistä \times d on lähellä kirjallisuudessa mainittua arvoa $28 \text{ m}^3/1000 \text{ ihmistä}\times\text{d}$, muilla paikkakunnilla huomattavasti suurempi, keskimääräisen arvon ollessa $42 \text{ m}^3/1000 \text{ ihmistä}$. Tämä voisi aiheutua esimerkiksi siitä, että puhdistamoilla todennäköisesti käsitellään myös teollisuuden jätevesiä.

Taulukossa 3 on esitetty biokaasun tuotantoja lietekuutiota kohti suomalaisten kaupunkien jätevedenpuhdistamoilla. Taulukossa on lisäksi esitetty syntyneen kaasun keskimääräinen metaanipitoisuus ja lietteen kiintoainepitoisuus, TS niillä puhdistamoilla, joista se on tiedossa.

Taulukko 3. Kaasun tuotanto m^3/m^3 lietettä, lietteen TS ja metaanin tuotanto m^3/m^3 lietettä Suomalaisten kaupunkien jätevedenpuhdistamoilla sijaitsevissa jätevesilietteen mädättämöissä (Kuittinen 2008 s. 14 – 27)

Paikkakunta	Liete- määrä/a m^3	Lietteen TS %	Kaasu- määrä/a milj. m^3	Kaasun tuotanto m^3/m^3 lietettä	TS m^3/a	CH_4 - pitoi- suus %	CH_4 m^3/m^3 lietettä
Espoo	300000	3,4	3,050	10,17	10200	63	6,41
Forssa	12000	12,5	0,400	33,33	1500	71	23,67
Joensuu	46000	-	0,783	17,02	-	64	10,89
Lahti	193000	-	2,072	10,74	-	62	6,66
Maarian- hamina	20000	3	0,307	15,35	600	43	6,60
Mikkeli	40000	-	0,427	10,68	-	65	6,94
Riihimäki	25000	-	0,670	26,80	-	54	14,47
Tampere, Rahola	60000	4,3	0,929	15,48	2580	65	10,06
Tampere, Viinikanlahti	202000	4,9	1,940	9,60	9898	65	6,24
Keskiarvo				16,57		61	10,22

Taulukosta 3 nähdään, että kaasuntuotanto lietekuutiota kohti vaihtelee 9,60 – 33,33 m^3/m^3 lietettä, ollen keskimäärin 16,57. Forssan puhdistamolla kaasun tuotanto lietekuutiota kohti on niin suuri, koska liete mädätetään niin suuressa kiintoainepitoisuudessa, 12,5 %. Muissa kaupungeissa kiintoainepitoisuus vaihtelee 3 – 4,9 % välillä. Kaupungeissa, joiden lietteen TS - pitoisuus on tiedossa (ja vaihtelee 3 – 4,9 välillä), on kaasuntuotanto lietekuutiota kohti ollut 9,60 – 15,48 m^3/m^3 ja CH_4 tuotanto 6,24 – 10,06 m^3/m^3 .

2.4.2 Yhteismädättämöt

Mädätettäessä jätevesilietettä yhdessä biojätteen kanssa, on saatu kaasua, jossa on ollut metaania 50 – 60 % ja kaasuntuotanto on ollut 0,62 – 1,0 $\text{m}^3/\text{kg}_{\text{VS}}$. (Tchobanoglous ym. 1993 s. 682) Waasa-prosessissa, joka on suunniteltu erityisesti jätevesilietteen ja biojät-

teen yhteismädätykseen, saavutettu kaasuntuotto on ollut 100 – 150 m³/t biojätettä. (Lohiniva ym. 2001 s. 44)

Suomessa vuonna 2007 olleesta neljästä yhteismädättämöstä kahdesta oli saatavissa tilastotietoa. Niissä vuodessa käsitellyn jätteen määrä, tuotetun biokaasun määrä ja tuotetun metaanin määrä on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Kaasun ja metaanin tuotanto kahdella Suomalaisella yhteismädätyslaitoksella (Kuittinen ym. 2008 s. 42)

Laitos	Jättemäärä	Kaasumäärä	Kaasua	CH ₄ -pit.	CH ₄
	t/a	milj. m ³	m ³ /t	%	m ³ /t
Laihia	1500	0,156	104,0	59	61,4
Stormossen	23600	1,996	84,6	65	55,0

Laihian laitoksella kaasua syntyi noin 104 m³/t jätettä ja Stormossenilla 84,6 m³/t. Lukuja tarkasteltaessa täytyy muistaa, että jättemäärät on ilmoitettu vain 100 000 kg tarkkuudella, minkä vuoksi luvut eivät ole kovin tarkkoja.

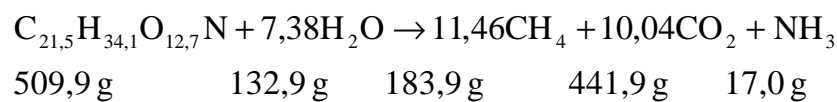
2.4.3 Biojäte

Mädätettäessä kiinteää yhdyskuntajätettä reaktorissa on yleensä kyse biojätteestä, joka tavallisesti sisältää lähinnä ruokajätteitä ja pehmopaperia, sekä lisäksi esimerkiksi eläinten kuivikkeita yms. Valtaosa jätteestä on kuitenkin ruokajätettä, joten jonkinlainen arvio kaasun tuotannosta voidaan saada laskemalla teoreettinen kaasuntuotanto, joka voitaisiin saada mädättämällä sekalaisia ruokajätteitä. Yhdyskuntien sekalaisen ruokajätteen keskimääräinen koostumus (kuiva-painosta) on seuraava: C 48 %, H 6,4 %, O 37,6 %, N 2,6 % ja S 0,4 %, tuhkapitoisuus on 5 % ja kosteus 70 %. Jätteen biohajoava osuus on 21,4 %. (Tchobanoglous ym. 1993 s. 72, 80) 100 kg:ssa ruokajätettä on orgaanista ainetta 21,4 kg ja 30 kg kuiva-ainetta. Taulukossa 5 on esitetty 100 kg kuivan sekalaisen ruokajätteen moolikoostumus typen mooliosuuden ollessa 1.

Taulukko 5. Ruokajätteen koostumus (Tchobanoglous ym. 1993 s. 80) ja sen avulla lasketut ruokajätteen mooliosuudet

Komponentti	Moolimassa g/mol	osuus %	moolia	mooliosuus kun N=1
C	12,01	48	3997	21,5
H	1,01	6,4	6337	34,1
O	16	37,6	2350	12,7
N	14,01	2,6	186	1,0

Sekalaisen ruokajätteen moolikoostumus (ilman rikkiä) on siis $C_{21,5}H_{34,1}O_{12,7}N$. Kaasuntuottoa voidaan arvioida yhtälöllä 1 (laskentamalli lähteestä Tchobanoglous ym. 1993 s. 682 – 683)



Metaania syntyy 100 ruokajättekiloa kohti $\frac{183,9}{642,8} 21,4 \text{ kg} = 6,12 \text{ kg}$, hiilidioksidia vastaavasti 14,71 kg ja ammoniakkia 0,57 kg.

Koska metaanin tiheys on $0,72 \text{ kg/m}^3$, on metaanin määrä kuutioina $8,5 \text{ m}^3$
 Hiilidioksidin tiheys on $1,98 \text{ kg/m}^3$, joten sen määrä kuutioina on $7,43 \text{ m}^3$
 Ammoniakin tiheys on $0,77 \text{ kg/m}^3$, joten sen määrä kuutioina on $0,74 \text{ m}^3$
 (tiheydet NTP-oloissa)

Sekalaisia ruokajätteitä mädätettäessä saataisiin siis teoreettisesti kaasua, jonka CH_4 -pitoisuus on 51,0 %, CO_2 -pitoisuus 44,6 % ja NH_3 -pitoisuus 4,4 %.

Ruokajätteen määrän ja kaasun koostumuksen perusteella laskettu ruokajätteestä syntyvän kaasun määrä orgaanisen aineen määrää (VS) kohti olisi seuraava: metaania $0,4 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{VS}}$ eli $400 \text{ m}^3/\text{t}_{\text{VS}}$ ja biokaasua $0,94 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{VS}}$ eli $940 \text{ m}^3 \text{ kaasua}/\text{t}_{\text{VS}}$. Kaasun saanto ruokajätteen painoyksikköä kohti olisi $0,20 \text{ m}^3/\text{kg}$ ruokajätettä eli $200 \text{ m}^3/\text{t}$ ruokajätettä, metaanin saanto $0,1 \text{ m}^3/\text{kg}$ eli $100 \text{ kg } CH_4/\text{t}$ ruokajätettä. Rintala (2008 s. 3) esittää biojätteestä saatavan metaanin määräksi $0,5 - 0,6 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{VS}}$ tai $100 - 150 \text{ m}^3 \text{ } CH_4/\text{t}$ biojätettä (märkäpaino). Yhtälöllä saadut tulokset ja Rintalan ilmoittamat ovat siis hyvin samansuuntaisia.

2.4.4 Maatalouden lannat

Aivan pienille tiloille ei kannata rakentaa biokaasulaitosta. Mikäli tilalla halutaan tuottaa sähköä ja lämpöä, ovat riittäviä tilakokoja noin 100 lypsylehmää, 1000 lihasikaa tai 60 000 broileria. (Hagström ym. 2005 s. 27) Aivan pieneltä tilalta ei myöskään liene kannattavaa kuljettaa lietelantaa mädätettäväksi. Joskus useat pienemmät tilat perustavat yhteisiä biokaasulaitoksia, jolloin toiminta saadaan kannattavaksi.

Eri eläimien vuorokaudessa ja vuodessa tuottamia lantamääriä ja arvioita lannoista saatavan biokaasun määristä on kerätty taulukkoon 6.

Taulukko 6. Eri maatilain eläimien lantojen määrät vuorokaudessa ja vuodessa, lantojen kuivaainepitoisuudet, sekä yhden eläimen lannasta vuorokaudessa tuotettavissa olevan biokaasun määrä. (Deublein & Steinhauser 2008, s. 63)

Eläin	Lietelannan määrä m ³ /eläin		TS %	Biokaasua m ³ /d/eläin
	d	a		
Nautakarja				
Lihakarja, lehmä	0,05	18	7 - 17	0,56 - 1,5
Lypsylehmä, pihvihärkä ja vaeltava härkä	0,055	19,8	7 - 17	0,56 - 1,8
Lihakarja, härkä	0,023	8,3	7 - 17	0,392 - 1,05
Nuori karja (1-2 vuotta)	0,025	9	7 - 17	0,336 - 0,9
Vasikka jalostukseen (1 vuoteen asti)	0,008	2,9	7 - 17	0,112 - 0,3
Lihakarja, vasikka	0,004	1,4	7 - 17	0,168 - 0,45
Siat				
Lihasika	0,0045	1,62	2,5 - 13	0,072 - 0,15
Emakko	0,0045	1,62	2,5 - 13	0,204 - 0,425
Nuori porsas alle 12 kg	0,0005	0,18	2,5 - 13	0,006 - 0,0125
Nuori porsas 12 - 20 kg	0,001	0,36	2,5 - 13	0,012 - 0,025
Nuori porsas yli 20 kg	0,003	1,08	2,5 - 13	0,036 - 0,075
Siipikarja				
Nuori (1200 g asti)	0,0001	0,006	20 - 34	0,00805 - 0,0092
Nuori (800 g asti)	0,0001	0,006	20 - 34	0,0056 - 0,0064
Muniva kana	0,0002	0,006	20 - 34	0,0105 - 0,012
Lammas				
Alle 1 vuotta	0,003	1,08	-	-
Yli 1 vuotta	0,006	2,16	-	-
Hevonen				
Pienet hevoset (alle 3 vuotta)	0,023	8,3	-	-
Yli 3 vuotiaat hevoset	0,033	11,9	-	-

Alkuperäisessä taulukossa biokaasun tuotanto oli ilmoitettu yksikössä m³/GVE/d. GVE on ns. karjayksikkö, jonka arvo 1 on annettu lihakarjalehmälle, johon muita eläimiä on

verrattu. Taulukon 6 arvot on saatu kertomalla kullekin eläinryhmälle määritelty kaasuntuotanto ko. eläimen GVE-arvolla. Lampaan ja hevosen lannasta saatava kaasumäärä ei taulukossa ollut. Lähteen (Mattila 1985 s. 53) mukaan naudän lannasta saatava kaasumäärä on $1,75 \text{ m}^3/\text{d}$, eli samaa luokkaa kun lypsylehmälle ja pihvihärälle taulukossa 6 määritelty kaasuntuotto, sian lannasta saatavaksi kaasuntuotoksi lähteessä on määritelty $0,17 \text{ m}^3/\text{d}$ ja emakon $0,55 \text{ m}^3/\text{d}$, sekä kanan $0,0085 \text{ m}^3/\text{d}$. Nämä ovat jonkin verran korkeampia arvioita kuin taulukossa 6 esitetyt. Myös lähde Neste Oy (1985 s. 11) esittää taulukkoon 6 verrattuna melko korkeita arvoja, naudalle $1,6 \text{ m}^3/\text{d}$, (liha)sialle $0,25 \text{ m}^3/\text{d}$ ja emakolle $0,55 \text{ m}^3/\text{d}$. Hevosen lannasta saatava biokaasumäärä on noin $1,9 \text{ m}^3/\text{d}$. (Hatsala 2004 s. 47) Lannan kaasuntuottoon liittyvissä laskelmissa tullaan käyttämään taulukon 6 kaasuntuottomääriä.

2.4.5 Kasviraaka-aineet ja kasvijätteet

Kasvibiomassasta saatavissa oleva metaanimäärä on $30 - 150 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{t}$ (märkäpaino). (Lehtomäki ym. s. 19) Mädätettävä kasviraaka-aine voi olla kasvintuotannosta syntyneitä sivutuotteita, kuten oljet tai sokerijuurikkaan naatit, tai varta vasten biokaasuntuotantoa varten viljeltyä raaka-ainetta. Taulukossa 7 esitetään joistain kasveista saatavat metaanimäärät sekä energiamäärät hehtaaria kohti.

Taulukko 7. Eräistä kasveista hehtaaria kohti saatavissa olevat metaanin ja energian määrät (Lehtomäki ym. 2007 s. 20)

Kasviraaka-aine	$(\text{m}^3/\text{CH}_4)/\text{ha}$	Energiaa MWh/ha
Timoteinurmi	2900 - 4000	28 - 38
Ruokohelpi	3800 - 4200	37 - 41
Maa-artisokka	3100 - 5400	30 - 53
Sokerijuurikas (juurikas+naatit)	5200 - 6800	50 - 66
Sokerijuurikas (pelkät naatit)	900 - 1500	8 - 14
Kauran olki	600	6

Hehtaaria kohti saatavissa oleva energiamäärä on suurin sokerijuurikkaalla, mutta sen viljely vie paljon energiaa. (Kannattaa myös harkita onko järkevää tuottaa biokaasua sellaisesta kasvista joka kelpaa myös ravinnoksi.) Heinäkasvien viljely vie energiaa huomattavasti vähemmän. Ne sopivat myös hyvin viljeltäväksi pohjoisissa olosuhteissa. (Lehtomäki ym. 2007 s. 20)

2.4.6 Kaatopaikat

Kaatopaikkakaasua syntyy noin 12 – 300 m³/t yhdyskuntajätettä. (Deublein & Steinhauer 2008 s. 66) On kehitetty yhtälöitä, joiden avulla voidaan arvioida syntyvän kaasun kokonaismäärä, sekä kaasun syntyä jonain tiettyinä ajanhetkenä. Teoreettisesti laskettu maksimikaasumäärä, joka saadaan koostumukseltaan C₆₀H_{94,3}O_{37,8}N olevan kiinteän jätteen mädätyksestä, on 0,93 m³/kg_{VS} ja jätteen kokonaismäärästä laskettuna 0,52 m³ kaasua/kg jätettä. Nämä arviot on laskettu kiinteän jätteen keskimääräisellä koostumuksella, joka sisältää mm. ruokajätettä, nahkajätettä, puuta, kartonkia ja paperia. (Tchobanoglous ym. 1993 s. 681)

2.5 Kaatopaikkakaasun keräily

Kaatopaikkakaasun keräily on järjestettävä siten, ettei jätetäyttöön pääse ilmaa. Kaasun keräystä varten kaatopaikan jätepenkkaan asennetaan kaivo, putki, tai jokin tila, johon jätetäytössä muodostuva kaasu virtaa. Yleensä käytetään joko vaaka- tai pystysuuntaan sijoitettuja putkia. Putket ovat rei'itettyjä, siivilämäisiä. Teräksestä valmistettu kaivo voidaan lyödä jätetäyttöön. Jos taas käytetään muovisia putkia, on niiden asennusta varten ensin tehtävä reikä poraamalla tai teräsputken avulla. Pystysuorat kaivot on helpompi asentaa, mutta niiden keräysalue on melko pieni, minkä vuoksi niitä on asennettava kaatopaikalle tiheästi. Vaakasuorilla putkilla saavutettava kaasunkeräyksen tehokkuus on noin 20 % pystysuorassa olevien putkien keräystehokkuutta parempi, mutta niiden asennus on kalliimpaa. Vaakasuorien putkien toiminta voi myös helposti häiriytyä kaatopaikoilla tapahtuvan maanpainumisen vuoksi. Myös molempien menetelmien yhdistelmiä voidaan käyttää. Yleisimmin käytetään pystysuoria putkia. Mikäli kaatopaikkakaasun keräys aloitetaan kun kaatopaikka on jo suljettu, on keräystapana käytettävä pystysuoria putkia. Vaakasuorat putket asennetaan jätetäytön aikana, ja niitä voidaan asentaa useaan kerrokseen päällekkäin. Myös pystysuorat putket voidaan asentaa kaatopaikan täyttövaiheessa, jolloin niitä varten ei tarvitse erikseen porata reikiä. (KTM 2005 s. 48 – 49; Tuhkanen 2002 s. 12; KTM 1984 s. 12 - 14)

Keräyskaivot ja/tai salaojaputket on yhdistetty toisiinsa kokoojaputkiston avulla. Kaasu kerätään kaasukaivoista alipaineen avulla. Alipaine saadaan aikaiseksi kompressorilla

tai puhaltimella, joka on sijoitettu pumppaamorakennukseen. Kompressoreista tai puhaltimista tuleviin putkiin asennetaan liekinestimet. Yleensä jokaista kaasukaivoa varten on oma venttiili, jolla voidaan säätää painetta imuputkessa. Kaasun keräilyjärjestelmään kuuluu myös veden erotus, sekä jatkuvatoiminen kaasuanalyysilaitteisto, jolla mitataan kaasun happi- metaani- ja hiilidioksidipitoisuutta. Happipitoisuus on merkittävä, sillä kaatopaikkakaasu on räjähdysherkkää, mikäli sen happipitoisuus on noin 5 – 14 %. Metaanipitoisuus on tärkeä kaasun energiakäytön kannalta. Lisäksi mitataan kaasun virtaamaa, sekä kaasun ja ulkoilman painetta ja lämpötilaa. (KTM 2005 s. 48 – 49; Tuhkanen 2002 s. 12; KTM 1984 s. 12 - 14)

2.6 Biokaasun tuottaminen mädättämällä

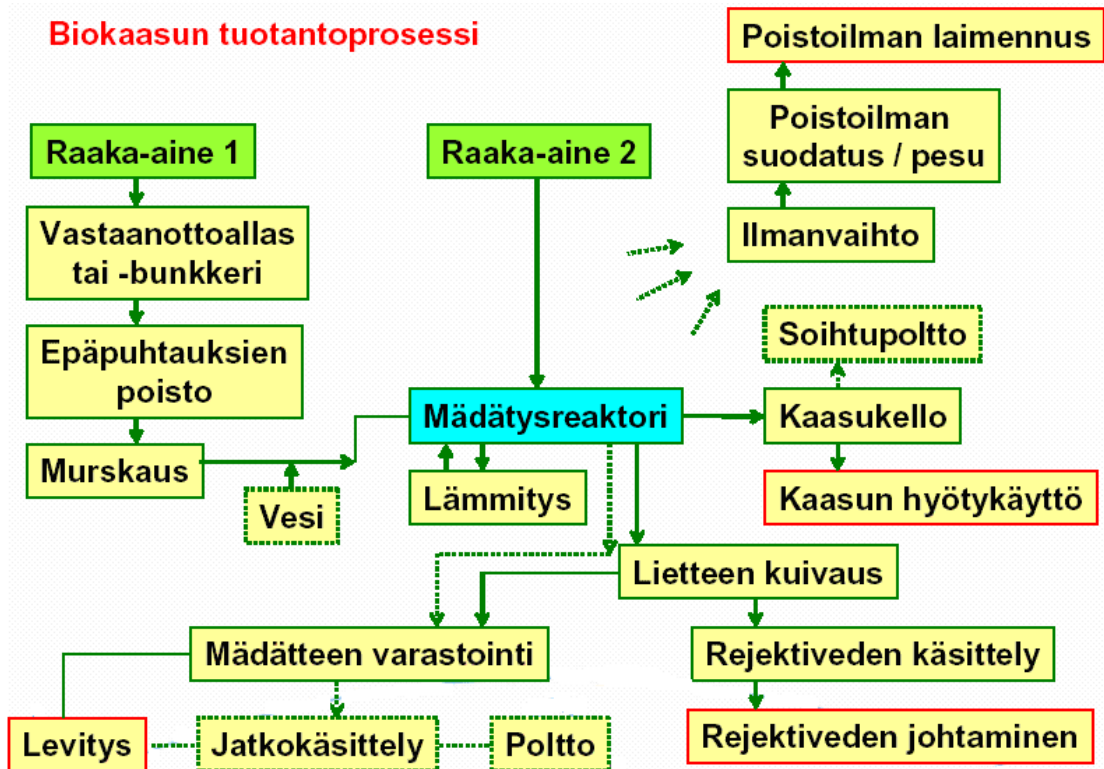
Mädätystä käytetään kaikkein eniten yhdyskuntien jätevesilietteen käsittelymenetelmänä. Mädätys on lietteen (ja muidenkin mädättämällä käsiteltävien jätteiden) stabilointimenetelmä; stabilointi tarkoittaa lietteen biologisen toiminnan keskeyttämistä. Muita vaihtoehtoisia stabilointitapoja ovat esimerkiksi kompostointi, kalkkistabilointi ja lämpökäsittely. (Lohiniva ym. 2001 s. 39) Mädättämisellä on monia etuja verrattuna kompostointiin, joka yleensä on ”kilpaileva” – ja yleisin - menetelmä bioperäisten jätteiden käsittelyssä.

Mädätyskäsittelyssä energiaa syntyy enemmän kuin kompostoinnissa, lisäksi saatava energia on helpommin hyödynnettävässä muodossa, biokaasuna, jolla voidaan korvata fossiilisia polttoaineita, tai jota voidaan käyttää ajoneuvojen polttoaineena. Kompostoinnissa energia taas saadaan lämpönä. Esimerkiksi glukoosin anaerobikäsittelyssä energia muuntuu 89 % biokaasuksi, 3 % siitä jää biomassaan ja 8 % muuttuu lämmöksi. Aerobikäsittelyssä taas vastaavasti 59 % energiasta jää biomassaan ja 41 % muuttuu lämmöksi. (Valve & Isoaho 1986 s. 236)

Mädätettäessä saatava materiaali voidaan usein hyödyntää lannoitteena, esimerkiksi termofiilisesti käsitelty karjanlanta soveltuu käytettäväksi lannoitteeksi sellaisenaan. Mädätyskäsittelyssä ravinteet, kuten typpi, säilyvät paremmin kuin kompostoinnissa ja ne myös pilkkoutuvat sellaiseen muotoon, että kasvien on helpompi käyttää niitä hyödykseen. Päästöt vähenevät sekä korvattaessa fossiilisia polttoaineita, että kaupallisia

lannoitevalmisteita. Mädätyksen kustannukset ovat korkeammat kuin kompostoinnissa, mutta alhaisemmat kuin jätteiden poltossa (Pipatti 1996 s. 31 - 39).

Mädätettäessä syntyvä lopputuote on tasalaatuisempaa kuin mädättämöön syötetty aines. Hajuhaitat ovat vähäisempiä kuin kompostoinnissa (Latvala 2005 s. 7) Kuvassa 2 on esitetty biokaasun tuotantoprosessin vaiheet.



Kuva 2. Biokaasun tuotantoprosessin vaiheet (Saarinen 2008 s. 8)

Kuvan prosessissa käsitellään kahta erilaista raaka-ainetta, joista raaka-aine 1 voi olla esimerkiksi biojätettä, joka ennen mädätystä tuodaan vastaanottoaltaaseen tai bunkkeriin. Seuraavaksi biojätteestä poistetaan epäpuhtaudet, se murskataan, ja siihen lisätään vettä, sillä biojätteen kosteuspitoisuus ei ole riittävä mädätykseen, käytettiinpä sitten korkean- tai matalan kiintoainepitoisuuden mädätystä. Reaktori täytyy lämmittää sopivaan reaktiolämpötilaan, joka riippuu siitä onko kyseessä mesofiilinen vai termofiilinen prosessi.

2.6.1 Eri toimijat biokaasuprojektissa

Biokaasun tuottaminen ja hyödyntäminen vaatii yhteistyötä monien eri tahojen välillä, joilla kaikilla on omat tehtävänsä. *Biomassan toimittaja* toimittaa mädätettäväksi tule-

van materiaalin. Mikäli tämä materiaali on jätettä, niin biomassan toimittaja maksaa jätemaksun tuodessaan jätteen mädätettäväksi. Mikäli materiaali taas on vaikkapa energiakasveja, niin kyseessä on raaka-aine, josta laitoksen omistajan täytyy maksaa. *Biokaasun tuottaja* on taho joka tuottaa, myy, jalostaa ja toimittaa biokaasua. Biokaasun tuottaja omistaa biokaasulaitoksen. Biokaasun tuottajan tulee hallita biologinen prosessi johon biokaasun tuotanto perustuu, sillä tuottaja vastaa kaasun laadusta ja saatavuudesta. *Laitostoimittaja* on taho, joka suunnittelee biokaasulaitoksen ja vastaa prosessin toimivuudesta, sekä toimittaa laitoksen. Biokaasun hyödyntämistä riippuen muita toimijoita voivat olla *sähkön ja lämmön tuottaja, polttoaineen jakelija ja automyyjät*. (Gustafsson 2008 s. 27)

Kaupungin tai kunnan rooli voi olla vain toiminnan tukeminen (esimerkiksi kaasuautojen hankkiminen, mikäli biokaasua on saatavilla ajoneuvokäyttöön, sekä biokaasuautojen suosiminen vaikkapa ilmaisilla parkkimaksuilla). (Gustafsson 2008 s. 27) Kaupunki voi myös olla biomassan toimittaja, tai yksi toimittajista (mm. yhdyskuntien biojäte voidaan määrätä toimitettavaksi mädätyskäsittelyyn). Kaupunki voi rakennuttaa laitoksen ja pitää sen omassa omistuksessaan, jolloin kaupunki on biokaasun tuottaja. Kaupunki voi myös olla sähkön ja lämmön tuottaja tai polttoaineen jakelija (edellyttää omaa jakeluasemaa), tai molemmat yhtä aikaa. Biokaasulaitoksen voi perustaa kaupunki tai kunta, yksittäinen yritys tai maatalo, tai useiden maatalojen yhteenliittymä.

2.6.2 Mädätettävän materiaalin esikäsittely

Lietettä voidaan esikäsitellä kaasuntuotannon lisäämiseksi jauhamalla se tasalaatuisiksi massaksi mekaanisesti tai ultraäänen avulla. Kaasun tuotanto on sitä suurempaa, mitä hienommaksi liete jauhetaan. Jauhaminen kuitenkin kuluttaa paljon energiaa ja on kallista, minkä vuoksi sitä ei juurikaan ole käytetty Suomessa. (Latvala 2005 s. 6)

Mädätettäessä sellaista materiaalia, joka ei ole lietemäistä, kuten yhdyskuntien biojäte tai kasvijätteet, on materiaalin sekaan lisättävä vettä. Käytettäessä kuivamädätystä vettä lisätään siten, että saavutetaan 22 % kuiva-ainepitoisuus. Matalan kiintoainepitoisuuden mädätyksessä taas käytetään 4 – 8 % tai pienempää kuiva-ainepitoisuutta. (Tchobanoglous 1993 s. 697, 701) Lehtomäki ym. (2007 s. 32) ilmoittaa kuiva-ainepitoisuudeksi märkäprosessissa enintään 10 – 13 % ja kuivaprosessissa 20 – 40 %.

Ennen mädätystä mädätettävä materiaali on tarvittaessa hygienisoitava ja steriloitava. Hygienisointi on välttämätön, mikäli käsitellään sivutuoteasetuksen mukaisia luokan 3 eläinperäisiä jätteitä. Vaadittava hygienisointimenetelmä riippuu käsiteltävistä materiaaleista. Mikäli käsitellään pelkästään jätevesilietettä, ruokajätettä tai lantaa, tai niiden seosta, niin termofiilinen prosessi täyttää nämä vaatimukset. Sivutuoteasetuksen luokan 3 mukaiselle materiaalille vaadittava käsittely on hygienisointi vähintään tunnin ajan lämpötilassa 70 °C. Käsittely voidaan suorittaa myös mädätysprosessin jälkeen. Luokan 2 eläinperäinen aine (paitsi ei lanta) pitää steriloida vähintään 20 min ajan 133 °C ja 3 barin paineessa. (Latvala 2009 s. 23, 38) Yhdyskuntien jätevesiliete tiivistetään ennen käsittelyä siten, että sen kuiva-ainepitoisuudeksi saadaan noin 3 - 10 %, tiivistyskäsittelyssä poistetaan välivesi. (Suunnittelukeskus Oy 1986 s. 12)

2.6.3 Erilaisia mädätystapoja

Mädätysprosesseja voidaan jaotella monella eri tavalla, jotka voivat myös olla päällekkäisiä, kuten prosessin lämpötilan mukaan, mädätettävän materiaalin ja mädättämön sijainnin mukaan, prosessin vesipitoisuuden mukaan, reaktorin tyyppin mukaan ja lietteen syötön jatkuvuuden mukaan. Lämpötilan mukaan prosessit jaetaan mesofiilisiin ja termofiilisiin prosesseihin.

Mädätettävän materiaalin ja mädättämön sijainnin mukaan mädättämöjä voidaan jakaa seuraavasti: jätevesilietteen mädättämössä mädätetään vain jätevedenpuhdistamon jätevesilietettä, ja se sijaitsee yleensä jäteveden puhdistamolla tai sen välittömässä läheisyydessä. Maatilakokoluokan tai maatalouden mädättämöt ovat suhteellisen pieniä, yhden tai useamman maatilan omistamia, maatalouden kasvijätteitä ja eläinten lietelantoja mädättäviä laitoksia. Yhteismädätyslaitokset taas voivat olla kunnan tai yksityisen yrityksen omistamia, monia erilaisia raaka-aineita ja jätteitä, kuten yhdyskuntien ja yritysten biojätettä, jätevesilietettä, maatalouden jätteitä ja energiakasveja mädättäviä laitoksia.

Mädätys tapahtuu yleensä termofiilisellä (50 – 60 °C) tai mesofiilisellä (30 – 38 °C) lämpötila-alueella, mutta myös psykoofiilinen mädätys (< 20 °C) on mahdollinen. Lietteen läpimenoaika, eli lietteen viipymäaika reaktorissa on termofiilistä mädätystä käytettäessä lyhyempi kuin mesofiilisessä mädätyksessä, noin 14 d, mutta prosessi myös

kuluttaa enemmän energiaa. Mesofiilisellä alueella läpimenoaika on noin 21 d. Suomessa käytetään yleisemmin mesofiilistä mädätystä. Termofiilistä mädätystä käytetään Suomessa ainakin Vaasan Stormossenin laitoksella. Korkeamman käsittelylämpötilan etuna on, että se vähentää tehokkaammin lietteen taudinaiheuttajia. Lietteiden määrä puoltaa jonkin verran mädätyskäsittelyssä. Lietteiden määrän vähenemä riippuu mädätettävän materiaalin orgaanisen aineksen määrästä, joka vähenee mädätyskäsittelyssä 30 – 80 %. Jos mädätettävässä materiaalissa on esimerkiksi 30 % orgaanista ainetta, vähenee kuiva-aineen määrä 9 – 24 %. Termofiilisessä prosessissa kaasutuotanto voi olla suurempi kuin mesofiilisessä, mutta termofiilinen prosessi on termofiilisten bakteerien herkkyyden vuoksi herkempi esimerkiksi lämpötilan ja pH:n vaihteluille sekä inhiboiville aineille. (Latvala 2005 s. 7; Lehtomäki ym. 2007 s. 31, 44)

Mädätys voi tapahtua yhdessä tai useammassa reaktorissa. Reaktorit voivat olla jaoteltuna siten, että ensimmäisessä reaktorissa esimerkiksi järjestetään optimaaliset olosuhteet hydrolyysille ja happokäymiselle ja toisessa reaktorissa metaanikäymiselle; tällaista prosessia kutsutaan kaksifaasireaktorisysteemiksi. Vaihtoehtoisesti kahden reaktorin avulla varmistetaan mahdollisimman suuri kaasutuotanto. Reaktoreita voi myös olla kaksi eri materiaalien mädätystä varten, esimerkiksi yksi jätevesilietettä ja yksi biojätettä varten. Tällainen prosessiratkaisu on mm. Stormossenin laitoksella. Reaktorilla tarkoitetaan säiliötä tai tankkia, jossa anaerobiprozessi tapahtuu. Reaktori on tavallisimmin teräsbetoninen säiliö. Reaktorisäiliöön kuuluu lietteiden syöttö, sekoitus, kierrätys ja poistojärjestelmä. Yleisin prosessityyppi on nk. märkäprosessi, jossa kuiva-ainepitoisuus on noin 10 – 13 %. Nestemäistä raaka-ainetta on helppo pumpata ja sekoittaa. Märkäprosessit ovat yleisimmin jatkuvasekoitteisia. Sekoittaminen voi tapahtua mekaanisesti tai lietteiden kierrätyksen avulla, tai kaasukuplien avulla, eli kaasusekoituksena. Sekoitus varmistaa mm. sen, että mikrobit jakautuvat tasaisesti käsiteltävään materiaaliin, ja että lietteessä syntyvät kaasukuplat vapautuvat, ja lämpötila pysyy tasaisena. (Lehtomäki ym. 2007 s. 32; Lohiniva ym. 2001 s. 43)

Kuivaprosesseissa kuiva-ainepitoisuus on noin 20 – 40 %. Kuivaprosessien etu on, että niissä tarvitaan pienempi reaktiutilavuus, ja kaasutuotto reaktiutilavuutta kohti on yleensä suurempi kuin märkäprosessissa. Kuivaprosessit voivat olla monentyypisiä: sekoituksella varustettuja tai sekoittamattomia ja panostoimisia tai jatkuvatoimisia ja yksi- tai useampivaiheisia. Panostoimisuus tarkoittaa sitä, että kaikki mädätettävä mate-

riaali lisätään reaktoriin ja myös poistetaan sieltä kerralla, esim. neljän – kuuden viikon välein, jatkuvatoimisessa prosessissa mädätettävää materiaalia lisätään ja poistetaan kokoajan siten, että sen määrä reaktorissa pysyy vakiona. Jatkuvatoimiset reaktorit toimivat usein tulppavirtausperiaatteella, kun taas panostoimisissa reaktoreissa käytetään nk. suotopetiprosesseja. Tulppavirtausreaktori on sellainen, jossa reaktoriin tuleva tuore biomassa ei sekoitu jo osittain mädäntyneen biomassan kanssa. (Lehtomäki ym. 2007 s.33 - 34) Jotta tuoreen ja osittain mädäntyneen biomassan sekoittuminen voitaisiin estää, on tulppavirtausreaktori usein rakenteeltaan putkimainen; toisesta päästä syötetään mädätettävä materiaali ja mädäte poistetaan toisesta. Mädätettävän materiaalin siirto putken sisällä voi tapahtua esimerkiksi ruuvitekniikalla. (Latvala 2009 s. 31 – 32)

2.6.4 Reaktorin mitoitus

Mitotettaessa yhdyskuntien jätevesilietteen mädätykseen tarkoitettua mädättämöä reaktorin tilavuuden tulee olla noin 30 – 100 l/as. Reaktorin mitoitukseen vaikuttaa lietteen suunniteltu viipymisaika reaktorissa. Puhutaan kahdenlaisesta viipymäajasta: kiintoaineen viipymäajasta, jota voidaan kutsua myös biologiseksi viipymäajaksi (SRT, Solid Retention Time), joka tarkoittaa keskimääräistä aikaa jonka liete viipyy mädätysprosessissa ja hydraulisesta eli nesteen viipymäajasta (τ , Hydraulic Retention Time), eli ajasta jonka neste keskimäärin viipyy mädätysprosessissa. Kiintoaineen viipymäaika laskeetaan jakamalla kiintoaineen määrä reaktorissa (kg) reaktorista poistettavan biomassan määrällä (kg/d). Hydraulinen viipymäaika (τ) lasketaan jakamalla reaktorin tilavuus (m^3) reaktoriin tulevalla nestemäärällä (m^3/d). Sellaisessa reaktorissa, jossa ei ole lietteenkierrätystä $\tau = SRT$. Hydrolyysille, happokäymiselle ja metaanikäymiselle on olemassa minimi SRT. Mikäli SRT on alle minimin, eivät bakteerit voi lisääntyä tarpeeksi tehokkaasti ja mädätysprosessi voi keskeytyä. (Tchobanoglous ym. 2003 s. 1506) Tarpeeksi pitkä viipymäaika myös vähentää hajuhaittoja. Joissain laitoksissa on lietteen välivarastoja eli jälkikaasuuntumissäiliöitä, joissa mädätysprosessi voi edetä loppuun asti ja joiden avulla lietteen energiasisältö saadaan paremmin hyödynnettyä. Reaktorin koon karkea arvioiminen tapahtuu siten, että käsiteltävän jätteen määrä (m^3) jaetaan vuoden vuorokausien lukumäärän (365) ja viipymäajan (d) suhteella. (Näin saadaan kerralla käsiteltävän jätteen määrä) Tulokseen tulee lisätä vielä noin 20 - 30 % kaasua, mahdollisesti tapahtuvaa vaahtoamista ja mahdollista jätemäärän lisäystä varten. (Latvala 2005 s. 6; Latvala 2009 s. 30)

2.6.5 Lietteen jälkikäsitteily ja hyötykäyttö

Biokaasun tuotannosta tehdyn BAT-selvityksen (BAT = Best Available Techniques, paras käyttökelpoinen tekniikka) mukaan mahdollisimman suuri osa käsittelyjäännöksestä tulisi pystyä tuotteistamaan. Mahdollista on myös polttaa käsittelyjäännös ja vasta viimeisenä vaihtoehtona sijoittaa se kaatopaikalle. (Latvala 2009 s. 74)

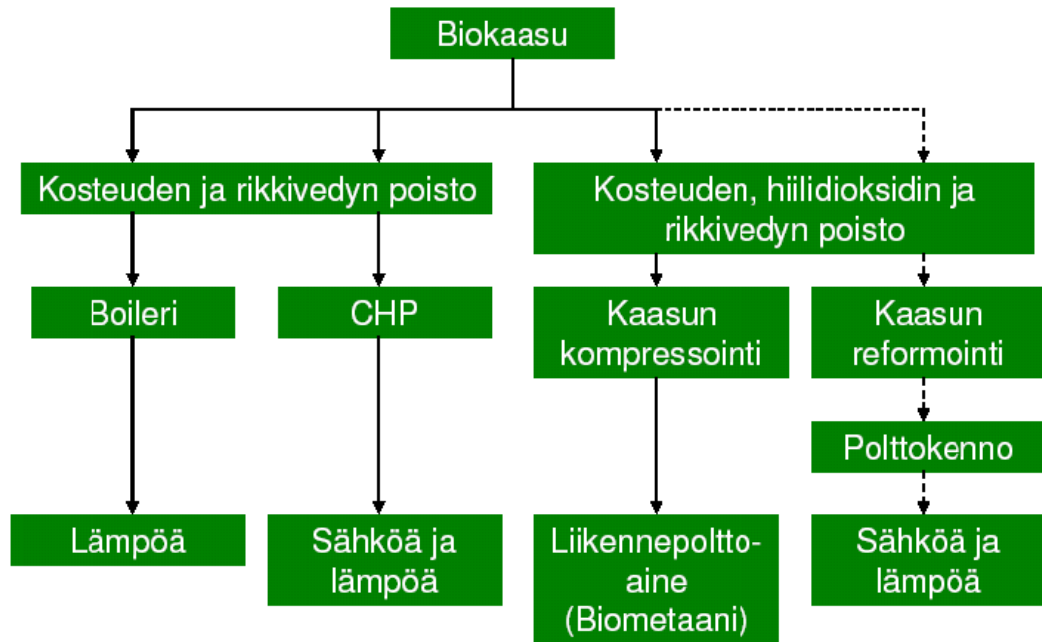
Käsittelyjäännöksen hyötykäyttökohteena voi olla lannoitevalmistekäyttö, joka tarkoittaa sekä jäännöksen käyttöä lannoitteena, että sen käyttöä viherrakentamiseen. (Latvala 2009 s. 49) Lietteen lannoitekäyttöön liittyviä lakeja ja asetuksia ovat Lannoitevalmistelaki (539/2006), MMM:n asetukset 12/07 ja 13/07, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1774/2002 (ns. sivutuoteasetus) sekä Lannoiteasetus (EY) N:o 2003/2003.

Mahdollisia uusia käyttökohteita voisivat olla käyttö biojalostamon raaka-aineeksi ja metsäteollisuuden biologisten puhdistamoiden ravinneliseksi. Käsittelyjäännöksestä erotettua tyyppiä voitaisiin käyttää savukaasujen käsittelyyn. (Latvala 2009 s. 49)

Jälkikäsitteilytekniikoita voivat olla mekaaninen ja terminen kuivaus ja kompostointi. Jälkikäsitteilytarve riippuu laitoksen tyypistä. Maatilalaitos joka käsittelee vain lantoja ja maatalousjätettä, voi levittää käsittelyjäännöksensä suoraan pellolle. Yleensä se kuitenkin kuivataan mekaanisesti ennen tätä. Mekaaniseen kuivaukseen voidaan käyttää linkoa, suotonauhapuristinta, tai ruuvipuristinta. Jätevedenpuhdistamoiden mädättömissä sekä yhteiskäsitteilylaitoksissa tarvitaan enemmän käsittelyä, esim. terminen kuivaus, jota edeltää esikuivaus mekaanisesti, kemiallinen hydrolyysi, kalkistabilointi ja joissain tapauksissa myös termofiilinen prosessi. Termiseen kuivaukseen voidaan käyttää kontaktikuivausta, joka perustuu lämmön johtumiseen, taikka konvektiokuivausta. Liette voidaan myös rakeistaa erilaisin menetelmin lannoitekäytön helpottamiseksi. Lietteen kuivaukseen kuluu sähköenergiaa 4 – 5 kWh/m³, mikäli liete on esikuivattu mekaanisesti. Lämpöenergian kulutus on 500 – 3500 kJ/haihdutettu kg H₂O. Terminen kuivaus noin 90 % kuiva-ainepitoisuuteen stabiloii lietteen, eli lopettaa biologisen toiminnan. On myös mahdollista kuivata liete 50 % kuiva-ainepitoisuuteen ja kompostoida se sitten ilman seosaineita. (Latvala 2009 s. 49 - 53) Lietteen jälkikäsitteilyn yhteydessä syntyy jätevesiä, jotka on johdettava puhdistamolle.

3 BIOKAASUN HYÖDYNTÄMINEN

Kuvassa 3 on esitetty biokaasun erilaisia hyödyntämistapoja, sekä hyödyntämistapaa varten tarvittava käsittely.



Kuva 3. Biokaasun hyödyntämistapoja (Lehtomäki ym. 2007 s. 46)

Kuvasta 3 nähdään, että pelkkää lämmöntuotantoa tai yhdistettyä lämmön- ja sähkön- tuotantoa varten tarvittava käsittely on kosteuden ja rikkivedyn poisto, kun taas liikennepolttoainekäyttöä tai polttokennoa varten kaasusta on niiden lisäksi myös poistettava hiilidioksidi. Lämmön tuotantovälineeksi on kuvassa nimetty boileri, tässä työssä lämmöntuotantoon tarkoitettua kattilaa nimitetään kaasukattilaksi. CHP eli yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto voi tapahtua kaasumoottorilla, sekä kaasu- ja mikroturbiinissa.

3.1 Biokaasun puhdistus ja jalostus

Biokaasun puhdistuksen tarkoitus on poistaa biokaasusta sellaisia aineita, jotka olisivat muutoin haitallisia ympäristölle ja polttolaitteille. Tällaisia ovat esimerkiksi rikkivedyt ja siloksaanit, jotka polttolaitteeseen joutuessaan kovettuvat lasinkaltaiseksi aineeksi, piidioksidiksi, joka vaurioittaa polttolaitetta. Biokaasussa on myös aina kosteutta, joka poistetaan vedenerottimilla. (Latvala 2009 s. 41 - 42) Biokaasun jalostuksella eli konzentroinnilla tarkoitetaan hiilidioksidin poistamista biokaasusta. (Latvala 2009 s. 47)

3.1.1 Biokaasun puhdistusmenetelmät

Mikäli biokaasua ei aiota syöttää maakaasuverkostoon tai käyttää ajoneuvojen polttoaineena, siitä on poistettava ainoastaan rikkivety. Rikkivety, H_2S on myrkyllinen ja voimakkaasti korrodoiva yhdiste, joka lyhentää biokaasun tuotantolaitteistojen elinikää niihin joutuessaan. Mikäli rikkivetyä sisältävää kaasua poltetaan, se muuttuu rikin oksideiksi ja mm. aiheuttaa korroosiota polttolaitteissa ja happamoittaa moottoriöljyn. Sen vuoksi rikkivety täytyy joko poistaa biokaasusta kokonaan, tai ainakin vähentää sen määrää. Yleensä esimerkiksi CHP- laitokselle menevän biokaasun H_2S pitoisuus saisi olla korkeintaan noin 100 – 500 mg/Nm³. Mahdollisimman alhainen H_2S -pitoisuus lisää biokaasuvoimaloiden elinikää. Rikkivedyn poistamiseksi on olemassa useita erilaisia kemiallisia, fysikaalisia ja biologisia menetelmiä. (Deuplein & Stenhauser 2008 s. 335)

Biologinen rikinpoisto on yleisin rikkivedyn vähentämistapa. Siinä rikkivety absorboidaan ensin veteen ja sen jälkeen se hajotetaan mikrobien avulla. Nämä bakteerit ovat sellaisia, joita on kaikkialla läsnä, joten niitä ei tarvitse erikseen kasvattaa. Prosessista saatava biokaasu on vain ”karkeasti” puhdistettua, mutta sopii silti prosessin jälkeen käytettäväksi esimerkiksi poltettavaksi kaasumoottoreissa. Laitoksissa, joissa mädätetään biojätteitä, saadaan poistettua tällä menetelmällä vain noin 50 % rikkivedystä. (Deuplein & Stenhauser 2008 s. 335)

Yksinkertaisin tapa rikkivedyn poistamiseksi on pienen (alle 4 %) ilmamäärän lisääminen reaktorin kaasutilaan. Tällöin reaktorimassassa elävät bakteerit muuntavat rikkidioksidin alkuainerikiksi. Liika ilmamäärä voi kuitenkin heikentää prosessia ja jopa pysäyttää sen. (Latvala 2009 s. 42)

Rikkivetyä voidaan poistaa myös lisäämällä prosessiin rautaa. Rautaa tulee lisätä noin 0,1 kg/1000 kg syötettä. Lisätty rauta poistuu käsittelyjäännöksen mukana. Raudan- ja ilmanlisäystä voidaan käyttää myös yhdessä prosessin tehostamiseksi. Muita rikkivedyn poistamistapoja ovat rautaoksidipeti tai rikinpoistoon tarkoitetut kolonnit, jotka voivat olla täytetty esimerkiksi rautaoksidilla käsitellyillä puulastuilla, alumiiniteollisuudesta sivutuotteena saatavalla metalleja sisältävällä savella tai jodipitoisella aktiivihiehellä. Jätevedenpuhdistamoilla sijaitsevissa biokaasulaitoksissa rikkivety ei yleensä ole on-

gelma, sillä se reagoi puhdistamolietteessä olevan, fosforin poistoon käytetyn rautasulfaatin kanssa. Suurin ongelma rikkivety on maatilalaitoksilla. (Latvala 2009 s. 43)

Siloksaanien poistamiseen voidaan käyttää adsorptiota. Ne voidaan adsorboida aktiivihiileen tai aktivoituun alumiinimoksiidiin. Yksinkertaisempi siloksaanien poistotapa on jäähdytys, mutta se ei ole niin tehokas menetelmä kuin adsorptio. Siloksaanien poisto kannattaa tehdä viimeiseksi, eli rikkidioksidin (ja hiilidioksidin poiston, mikäli käytössä) jälkeen. (Deuplein & Stenhauser 2008 s. 355)

3.1.2 Biokaasun konsentroidintimenetelmät

Yleisin kaasun konsentroidintimenetelmä on vesipesu. Vesipesun päätarkoitus on poistaa kaasusta hiilidioksidia, mutta sen avulla saadaan poistettua myös muita kaasussa olevia epäpuhtauksia, kuten rikkivetyä ja siloksaaneja. (Latvala 2009 s. 42, 47) Epäpuhtauksista ainoastaan happea ja typpeä ei voida poistaa vesipesun avulla. Vesipesu on kuitenkin menetelmänä huomattavasti kalliimpi kuin muut biokaasun puhdistusmenetelmät, minkä vuoksi sitä kannattaa käyttää vain silloin kun hiilidioksidi on välttämätöntä poistaa, eli lähinnä vain jalostettaessa biokaasusta ajoneuvojen polttoainetta. Vesipesumenetelmä perustuu siihen, että hiilidioksidi on muita kaasun komponentteja helpommin liukenevaa. Vesipesun tehokkuus riippuu prosessin paineesta ja käytettävän veden lämpötilasta siten, että lämpötilan laskiessa 25 °C:sta 5 °C:een prosessin tehokkuus kaksinkertaistuu. Vesipesu toimii käytännössä siten, että 7 – 9 bar paineeseen paineistettu pesuvesi johdetaan jalostuskoloniin sen yläpuolelta, ja biokaasu syötetään koloniin sen alapuoliselta sivulta, josta se virtaa ylöspäin vesivirtaa vastaan. Vesi ja sen sitoma hiilidioksidi poistetaan kolonnin alaosasta, ja puhdistettu biokaasu kolonnin toiselta sivulta. Kolonnissa voidaan käyttää veden sijasta myös erilaisia kemikaaliliuoksia, jotka sitovat hiilidioksidia vettä tehokkaammin. Sekä vesi että kemikaaliliuokset on yleensä mahdollista käyttää uudelleen regeneroinnin jälkeen. (Deuplein & Stenhauser 2008 s. 345; Latvala 2009 s. 47)

3.2 Sähkön ja lämmön tuotanto biokaasusta

Biokaasun energiasisältö riippuu suurimmalta osin sen sisältämästä metaanista. Puhtaan metaanin energiasisältö on $35,88 \text{ MJ/m}^3$ eli $9,97 \text{ kWh/m}^3$. (Maakaasuyhdistys 2008 s. 27) Arviolaskelmissa metaanin energiasisältö voidaan pyöristää 10 kWh/Nm^3 . (Lehtomäki ym. 2007 s. 45) Siten biokaasun energiasisältö voi vaihdella $3 - 7,5 \text{ kWh/Nm}^3$ ($10,8 - 27 \text{ MJ}$) biokaasua, biokaasun metaanipitoisuuden ollessa $30 - 75 \%$.

Kaikkein yleisin kaatopaikkakaasun hyödyntämistapa Suomessa vuonna 2007 oli lämmön tuottaminen, lämpöä tuotettiin Kuittisen ym. (2008 s. 44) mukaan 18 laitoksessa. Kun tutkii laitosten tarkempia kuvauksia, niin selviää, että lämpöä tuottavia laitoksia oli todellisuudessa 15, joista yksi on merkitty vain lämmöntuottajaksi, vaikka se tuottaa lämpöä ja vastapainesähköä, joten pelkästään lämpöä tuotettiin vuonna 2007 14 laitoksella.

Kaasua hyödynnettiin sähkön- ja lämmön yhteistuotantoon Kuittisen ym. (2008 s. 44) mukaan neljällä laitoksella ja kahdella laitoksella tuotettiin pelkästään sähköä. Tosiasiasa sähköä ja lämpöä tuotettiin kuudella laitoksella ja pelkästään sähköä yhdellä laitoksella. Lämpöä tuottavista laitoksista yhdeksältä kaatopaikkalaitokselta kaasu toimitettiin paikalliselle energiayhtiölle, joista kahdeksalla kaasu käytettiin kaukolämmön tuotantoon, ja yhdellä höyryn ja lämmön tuotantoon. Kahdella laitoksella kaasu toimitettiin lämpökeskukseen, yhdessä oli lämpökattila, yhdestä laitoksesta (Lappeenranta) kaikki kaasu meni prosessipolttoaineeksi, yhdellä laitoksella lämpöä käytettiin kaatopaikavesien puhdistamisessa. Sähköä ja lämpöä tuottavista laitoksista kolmella oli mikroturbiinilaitos, yhdellä kaasumoottori ja yhdessä laitoksessa tuotettiin lämpöä ja vastapainesähköä. Pelkästään sähköä tuottavassa laitoksessa oli mikroturbiini. Ilmeisesti syntyttä lämpöä ei siis hyödynnetty mitenkään. (Kuittinen ym. 2008 s.43 - 74)

Vuonna 2007 kaikki kaasunsa soihdussa polttaneista 12 laitoksesta yhdellä itse asiassa käytettiin jo vuonna 2007 kaasua omaan käyttöön aivan pieniä määriä ja nyt laitoksella suunnitellaan hyötykäyttöä. Vielä 2007 kaikki kaasunsa soihdussa polttaneelta Vaasan Suvilahden kaatopaikalta menee nykyisin kaasun kuljetusputki Vaasan vuoden 2008 asuntomessualueella sijaitsevalle mikroturbiinilaitokselle, jossa siitä tuotetaan sähköä ja

lämpöä. Lisäksi kahdella laitoksella oli hyötykäyttösuunnitelmia: toisessa aiottiin tuottaa tulevaisuudessa lämpöä läheisen teollisuuskylyn lämmitykseen, ja toiseen oli tulossa mikroturbiinilaitos. Imatran laitoksella soihdutettiin 95 % kaasusta 2007, mutta vuosina 2009 – 2010 siellä on tarkoitus hyödyntää kaasu 100 %:sti. Kaasunsa kokonaan soihduttavia laitoksia on siis enää todennäköisesti kahdeksan. (Kuittinen ym. 2008 s. 43 – 74)

Vuonna 2007 suuntaus kaatopaikkojen pumppaamoilla oli selvästi pyrkiä tutkimaan hyötykäyttövaihtoehtoja soihdutuspolton sijaan. Uusimmat ja suunnitteilla olevat laitokset olivat mikroturbiinilaitoksia. Voitaisiin päätellä, että lämmöntuotanto on kaatopaikkojen biokaasupumppaamoilla ”perinteinen” hyödyntämiskäytäntö ja mikroturbiini ”uudenkainen ratkaisu”. Koska vain yhdellä kaatopaikan biokaasupumppaamolla oli kaasumoottori, se on siis verrattain harvinainen ratkaisu kaatopaikkakäytössä.

Jätevedenpuhdistamoilla kaikkein yleisimmät biokaasun hyödyntämiskäytännöt olivat vuonna 2007 kaasumoottori sekä kaasumoottorin ja lämpökattilan yhdistelmä, siten että 14 laitoksesta neljällä on kaasumoottori, viidellä kaasumoottorin ja lämpökattilan yhdistelmä, yhdellä kaasugeneraattori ja neljällä pelkästään lämpökattila. Joillain laitoksilla kaasumoottoreita tai lämpökattiloita on useampia. (Kuittinen 2008 s. 14 – 27)

Maatalouden seitsemästä laitoksesta vuonna 2007 sähköä ja lämpöä tuotettiin neljällä, näistä yhdellä laitoksella oli mikroturbiini ja kolmella kaasumoottori. (Kuittinen 2008 s. 32 – 37)

3.2.1 Kaasukattila

Kaasukattilan (lämpökattila, boileri) avulla biokaasusta voidaan tuottaa lämpöä. Biokaasusta erotetaan vesi, jonka jälkeen se ohjataan matalassa paineessa kaasukattilaan poltettavaksi. Lämpöä voidaan käyttää esimerkiksi rakennusten lämmittämiseen. Kaasukattilan etuja ovat sen hyvä hyötysuhde, jopa 95 %, alhaiset investointi- ja käyttökustannukset, sillä kaasukattila ei tarvitse paljoa huoltoa, sekä laaja kokovalikoima. (Latvala 2009 s. 45)

Myös erillisellä lämmitysjärjestelmällä varustettuja pientaloja voitaisiin lämmittää biokaasulla maakaasulämmitteisissä taloissa. Tämä edellyttäisi biokaasun jakelua maakaasun

suverkoston kautta, tai kaasun kuljettamista käyttökohteeseen. Myös pientalon öljykattila voitaisiin muuttaa kaasukäyttöiseksi tekemällä siihen säätömuutoksia.

3.2.2 Kaasumoottori

Kaasumoottorilla biokaasusta voidaan tuottaa sähköä ja lämpöä. Kaasumoottorit ovat yleisimpiä keskikokoisilla ja suurilla biokaasulaitoksilla. Kaasumoottorin lisäksi sähkön- ja lämmöntuotantoon soveltuvaan mikroturbiiniin verrattuna kaasumoottorin investointikustannukset ovat sitä edullisemmat, mutta käyttö- ja huoltokulut taas korkeammat. Sekä kaasumoottorin- että mikroturbiinin sähköntuotannon hyötysuhteet ovat noin 25 – 40 % ja lämmöntuotannon hyötysuhde noin 35 %. Olisi teknisesti mahdollista nostaa lämmön tuotannon hyötysuhdetta jopa 60 %:iin, mutta kustannukset kasvaisivat liian suuriksi varsinkin pienillä laitoksilla. Suurimmilla laitoksilla voidaan kaasumoottorilla tai mikroturbiinilla saavuttaa 70 – 90 % kokonaishyötysuhde. (Latvala 2009 s. 45 - 46)

Esimerkkejä Suomessa myytävistä kaasumoottoreista: Sarlin myy MWM:n kaasumoottoreita, niitä on kolmea kokoa, 12, 16 ja 20 sylinterisiä. Moottoreiden pituus vaihtelee 5,5 m:stä 7,3 m:iin, leveys on kaikissa malleissa 1,8 m ja korkeus vaihtelee 2,5 – 2,6 m:iin. Moottorit painavat 10 400 – 17 300 kg. Moottoreiden tehot vaihtelevat hiukan riippuen siitä käytetäänkö polttoaineena maakaasua vai biokaasua, ollen biokaasukäytössä hiukan pienempiä. Käytettäessä biokaasua moottoreiden mekaaninen teho on 1,05 – 1,75 MW ja sähköteho 1,021 – 1,703 MW. Sähkön tuotannon hyötysuhde on kaikissa malleissa 41 % ja lämmön tuotannon hyötysuhde 42,7 – 43 %, ollen pienin V 20 moottorissa. Kokonaishyötysuhde on siis 83,7 – 84 %. Moottoreiden typenoksidipäästöt ovat alle 500 mg/m_n^3 . Moottoria tulee huoltaa 1500 tunnin välein, jolloin tarkistetaan venttiilien säädöt ja vaihdetaan sytytystulpat. 12 000 käyttötunnin jälkeen huolletaan sylinterien kannet ja 24 000 käyttötunnin jälkeen puhdistetaan välijäähdytin. (Mustermann 2008 s. 4 – 6, 11 – 13)

3.2.3 Kaasu- ja mikroturbiini

Pienimmät kaasuturbiinit ovat kooltaan 20 kW ja suurimmat voimalaitoskäyttöön tehdyt 250 – 300 MW. (Larjola 2003; Larjola 2005 s. 3 - 24) Kaasuturbiinin pääosat ovat kompressori, polttokammio ja turbiini. Kaasuturbiinissa on kiertoaineena ilma, joka puristetaan korkeaan paineeseen kompressorissa, jota pyörittää kaasuturbiini. Polttoaine syötetään polttokammioon, jossa se palaa kompressorin tuottaman ilman kanssa. Kuuma korkeapaineinen savukaasu virtaa turbiiniin, jossa sen lämpöenergia muuntuu virtausenergiaksi ja turbiinin siivistön kautta mekaaniseksi energiaksi, jolla pyöritetään sähköä tuottavaa generaattoria sekä kompressoria. Tyypillisesti noin 2/3 tehosta kuluu kompressorin pyörittämiseen ja vain noin 1/3:lla tehosta voidaan tuottaa sähköä. Kaasuturbiinin tehoa voidaan kasvattaa mm. välijäähdytyksellä ja välipoltolla tai rekuperaattorin avulla. Rekuperaattori on laite, jolla kaasuturbiinin pakokaasujen lämpöä käytetään polttokammioon menevän ilman lämmitykseen. Kaasuturbiinijärjestelmä, jolla tuotetaan vain sähköä, on nimeltään avoin kaasuturbiiniprosessi. Mikäli pakokaasuissa oleva lämpö otetaan talteen ja käytetään esimerkiksi kaukolämmön tai prosessihöyryn tuottamiseen, on kyseessä CHP-prosessi (kombivoimalaitos). Mikroturbiini on pienitehoinen kaasuturbiini. (alle 1 MW) Suomessa mikroturbiineja käytetään tyypillisesti kaatopaikkojen biokaasupumppaamoissa. Suurempia kaasuturbiineja käytetään varavoimalaitoksilla tai kombivoimalaitoksilla (esim. Mertaniemi Lappeenrannassa). Niissä polttoaineena on usein maakaasu, jonka lisänä tai sijasta niillä voitaisiin käyttää myös biokaasua. (Larjola 2005 s. 3-4, 3-7, 7) Mikroturbiineja voidaan sijoittaa sarjaan useita tarvittavan tehon saamiseksi. Mikroturbiinin investointikustannus on suurempi kuin kaasumootorilla, mutta huoltokustannukset taas ovat pienemmät. (Latvala 2009 s. 45 – 46) Mikroturbiini on pienikokoinen laite, jossa kaikki sen osat on sijoitettu samalle akselille, ulkomuodoltaan laite on suorakaiteen muotoinen pienehkö ”laatikko”. (Valovirta 2008 s. 2)

Esimerkkejä Suomessa myytävistä mikroturbiineista: Sarlin myy Capstonen mikroturbiineja, niitä on viisi eri mallia ja kolmea eri teholuokkaa, 30 kW, 65 kW ja 200 kW. Laitteiden nimet perustuvat niiden tehoihin, kuten C30, C65 ja C200. Mikroturbiineja on olemassa pelkästään sähköntuotantoon tarkoitettuja sekä sisäänrakennetulla lämmön talteenotolla varustettuja malleja. Mikroturbiineissa on sisäänrakennettu rekuperaattori. Mikroturbiinit ovat ilmajäähdytteisiä, eikä niissä tarvita voiteluöljyä. Laitteiden meluta-

so on 65 dBA 10 m. Suomessa on käytössä eniten mallia CR65, esim. Lahdessa, Porissa, Vaasassa, Oulussa ja Salossa. Mikkelissä taas on käytössä C30. Kaikilla mainituilla paikkakunnilla laitteet ovat kaatopaikkojen biokaasupumppaamoilla ja niitä on useampi yksikkö, 2 – 5 kpl. (Valovirta 2008 s. 20 – 28)

65 kW tehoisista laitteista mallissa CR65 ei ole lämmön talteenottoa ja mallissa CR65-ICHP se on. Laitteiden sähköntuotannon hyötysuhde on 29 %. CR65 on ulkomitoiltaan 762 x 1956 x 2108 mm ja se painaa 758 kg. CR65-ICHP on muutoin samankokoinen, mutta sen korkeus on lämmön talteenottojärjestelmän vuoksi 2388 mm ja paino 1000 kg. Laitteiden lämmöntuotannon hyötysuhde on 62 %. 200 kW tehoisen laitteen CR200 sähköntuotannon hyötysuhde on 33 %. Se on mitoiltaan 2896 x 2286 x 2235 mm ja painaa 2500 kg. (Valovirta 2008 s. 4 - 5, 7; Capstone 2008)

3.3 Biokaasun ajoneuvokäyttö

Suomessa biokaasua hyödynnetään ajoneuvokäytössä vielä hyvin vähän. Vuonna 2007 Suomessa jalostettiin biokaasua hyödynnettäväksi ajoneuvokäyttöön ainoastaan yhdellä tilalla. Tämä tila on Laukaalla sijaitseva Kalmarin tila. Tilan biokaasua käytti yhteensä seitsemän ajoneuvoa. Kuittisen ym. (2007 s. 7) mukaan biokaasun hyödyntäminen ajoneuvokäytössä olisi kuitenkin usealla laitoksella teknisesti toteutettavissa ja taloudellisesti kannattavaa. Viimeaikoina kiinnostus biokaasun käyttöön ajoneuvopolttoaineena on lisääntynyt: Salossa suunnitellaan biokaasun tankkausasemaa kaatopaikan yhteyteen ja Gasum Oy aikoo hankkia biokaasua (hallinnoimaansa) maakaasuverkoston niin paljon, että kaikki ajoneuvojen polttoaineeksi tarkoitettu maakaasu saadaan korvattua biokaasulla. Käytännössä biokaasu syötetään maakaasuverkoston, jossa se sekoittuu maakaasuun ja sitä päätyy eri kohteisiin. Tankkausasemilta saatava kaasu ei siis kokonaisuudessaan olisi biokaasua, mutta sitä olisi verkostossa laskennallisesti se määrä, mikä kaasupolttoainetta tankataan ajoneuvoihin. Ensimmäisenä paikkana Suomessa biokaasua aiotaan syöttää maakaasuverkoston Nastolassa. (Gasum Oy, 2009) Biokaasua ei tätä ennen ole missään syötetty maakaasun siirtoverkkoon, vaan ainoastaan maakaasun jakeluverkkoon. Näin siksi, koska maakaasun jakeluverkon putket on tehty muovista, kun taas siirtoverkon putket ovat terästä, mikä on paljon herkempi materiaali biokaasussa mahdollisesti oleville epäpuhtauksille. Biokaasun syöttäminen maakaasuverkoston

vaatii biokaasun puhdistusta ja jalostusta. Metaanipitoisuus on nostettava tasolle 95 - 99 %. Näin syntyvä biokaasu voi vastata jo yksinään maakaasulle asetettaviin vaatimuksiin, tai ainakin sekoittumisen tuloksena syntyvä seoskaasu vastaa näitä vaatimuksia. (Pulsa 2008, s. 17 – 18) Biokaasun syöttämistä maakaasuverkostoon käsitellään tarkemmin kappaleessa 5.4. Biokaasua voidaan käyttää tieliikenteen lisäksi myös raidevesi- lento- ja jopa avaruusliikenteessä.

3.3.1 Biokaasu otto- ja dieselmoottorin polttoaineena

Puhdistettu biokaasu soveltuu sellaisenaan käytettäväksi maakaasua polttoaineenaan käytävissä autoissa. Kaasulla toimivissa autoissa on oltava kipinäsytytteinen moottori eli ottomoottori metaanin suuren puristuskestävyyden vuoksi. Metaani syttyy vasta 537 asteen lämpötilassa, jota ei voida saavuttaa puristuksen avulla. Dieselmoottori ei siis sellaisenaan sovellu biokaasulle, vaan se on muunnettava kipinäsytytteiseksi. Tavallisen bensiinikäyttöisen auton moottori saadaan biokaasulle soveltuvaksi verrattain yksinkertaisin muutoksin. Kaasukäyttöiseen autoon tarvitaan kuitenkin korkeaa painetta, noin 200 bar, kestävä kaasusäiliö. Jos tavallisella ottomoottorilla varustettu auto muunnetaan kaasukäyttöiseksi, se vaikuttaa tehoon huonontavasti noin 10 %. Kaasukäyttöön suunnitelluissa moottoreissa tämä voidaan estää suurentamalla moottorin puristussuhdetta, (tämän mahdollistaa maakaasun puristussuhde, joka on 120, kun bensiinin puristussuhde on 95 – 99) tai ahtamalla moottori. Tällaisia ratkaisuja on kaupallisesti saatavilla. Kaasukäyttöisissä autoissa voi myös olla ns. bi-fuel järjestelmä, eli autoa on mahdollista käyttää joko bensiinillä tai kaasulla. Polttoaineen valinta tapahtuu joko automaattisesti tai kytkintä painamalla. Nämä autot on yleensä suunniteltu siten, että paras hyötysuhde saavutetaan niissä ajettaessa kaasulla. (Nylund ja Aakko-Saksa 2007, s. 68 – 73)

Suomessa on saatavilla useita tehdasvalmisteisia automalleja, jotka käyttävät polttoaineenaan maakaasua. Ammattimaisia jälkiasennuksia bensiini tai dieselikäyttöisen auton muuttamiseksi kaasukäyttöiseksi ei loppuvuodesta 2008 ollut vielä Suomesta saatavilla, mutta ilmeisesti ainakin lähitulevaisuudessa ne ovat Suomessakin mahdollisia. (Niiranen 2008 s. 17) Euroopassa on saatavilla yli 300 biokaasukäyttöön soveltuvaa henkilöautomallia, yli 50 bussimallia ja yli 20 rekkamallia. (Lampinen 2008 s. 17)

Dieselmoottori voidaan muuttaa biokaasukäyttöiseksi kolmella tavalla: moottori muutetaan ottomoottoriksi, jolloin se käy kokonaan kaasulla, moottoria käytetään osittain kaasulla ja osittain dieselillä siten että polttoaineesta 35 % on kaasua ja se syötetään imuilman joukkoon (mixed-diesel konversio), kolmannessa vaihtoehdossa kaasu on pääpolttoaine, 70 – 80 % polttoaineesta, ja kaasun sytytys tapahtuu dieselöljyllä. (Kytö ja Nylund 1985 s. 3)

Yksi kuutio maa- tai biokaasua vastaa lämpöarvoltaan noin yhtä litraa bensiiniä tai dieselöljyä, minkä vuoksi kaasua tarvitaan enemmän kuin bensaa tai dieseliä. Tämän vuoksi kaasuautoissa on oltava suuret polttoainesäiliöt, mutta silti niiden toimintasäde ei ole niin pitkä kuin nestemäisiä polttoaineita käyttävissä autoissa. Esimerkiksi maakaasubussissa toimintasäde voi olla maksimissa noin 400 – 450 km. (Nylund ja Aakko-Saksa 2007 s. 68 – 73)

Metaania käytettäessä hiilidioksidipäästöt ovat 56 g/MJ, kun bensan ja dieselin ominaishiilidioksidipäästö on noin 70 g/MJ. (Nylund ja Aakko-Saksa 2007 s. 69) Päästöt vähenevät kuitenkin todellisuudessa enemmän kuin ominaishiilidioksidipäästöjen erotus, 14 g/MJ, biokaasua käytettäessä, sillä se on uusiutuva polttoaine, ja sen vuoksi hiilidioksidineutraali. Kun huomioidaan koko polttoaineen tuotantoketju, voidaan joissain tapauksissa päästä jopa negatiivisiin päästöihin (lietelantapohjaisella biokaasulla). Käyttämällä biokaasua polttoaineena henkilöautossa voidaan bensiiniin verrattuna vähentää kasvihuonekaasupäästöjä 96 % ja dieselöljyyn verrattuna 95 %. Dieselbussin kasvihuonekaasupäästöjä voidaan vähentää 96 %. Myös liikenteen muut päästöt vähenevät merkittävästi, esimerkiksi SO₂ 98 – 99 %:a. (Lampinen 2008 s. 12 – 13) Biokaasun käytön vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin tarkastellaan tarkemmin kappaleessa 6.

Euroopassa ainut päästöjä kasvattava ala on viime vuosina ollut tieliikenne. Vuosina 1990 – 2006 tieliikenteen päästöt kasvoivat Euroopassa 26 % ja Suomessa 12 %. Muutoin EU-alueen kasvihuonekaasupäästöt vähenivät tuona aikana 3 %. Saksassa on ainoana EU-maana saatu vähennettyä tieliikenteen kasvihuonekaasupäästöjä panostamalla biopolttoaineiden käyttöön. Biokaasu voisi olla osaratkaisu siirryttäessä tieliikenteessä fossiilisista polttoaineista uusiutuviin. (Lampinen 2008 s. 9)

3.3.2 Kaasun tankkaus

Biokaasun tankkaus voidaan toteuttaa siten, että biokaasun tuottaja rakennuttaa oman tankkausaseman, tai kaasu voidaan syöttää maakaasuverkkoon ja jakaa olemassa olevien jakeluasemien kautta.

Mikäli kaasulla toimivan auton omistaja asuu pientalossa, jota lämmitetään maakaasulla, voi hän hankkia kaasun kotitankkauslaitteen. Tällöin hän voi tankata kotonaan maakaasun ja biokaasun seosta. Suomessa näitä laitteita myy Gasum Oy. (Lampinen 2008 s. 109)

Maa- ja biokaasun käyttö lisääntyy suomessa ja maailmalla tällä hetkellä voimakkaasti: Vuonna 2008 Suomessa oli maakaasun jakeluasemia 10, joista 9 omistaa Gasum Oy ja yhden St1. Neljä uutta asemaa oli rakenteilla. Biokaasua voi tällä hetkellä tankata Jyväskylässä ja tulevaisuudessa Salossa. Kaasukäyttöisiä autoja on vuonna 2008 ollut suomessa noin 350. Ruotsissa kaasua käyttäviä autoja on ollut vuonna 2008 14 500 ja jakeluasemia 86. Maailmanlaajuisesti jakeluasemia on ollut vajaat 10 000 (9872 kpl) ja kaasukäyttöisiä ajoneuvoja yli seitsemän miljoonaa (7 510 850 kpl). Euroopassa kaasun jakeluasemia ja kaasujoneuvoja on eniten Italiassa, 575 jakeluasemaa ja 430 000 kaasukäyttöistä autoa. (Niiranen 2008 s. 11, 17)

Vuoden 2009 lokakuun tilanne maakaasun käytössä suomessa ja maailmalla on seuraava: Suomessa maakaasun jakeluasemia on tällä hetkellä 12 ja neljä uutta asemaa on rakenteilla. Biokaasun tankkausmahdollisuudet eivät ole lisääntyneet. Kaasukäyttöisiä autoja on vuonna 2009 ollut noin 650, eli niiden määrä on noin vuodessa lisääntynyt 300, eli melkein kaksinkertaistunut. (Ruotsissa kaasua käyttäviä autoja on ollut jo 14 500 ja jakeluasemia 86.) Maailmalla kaasukäyttöisiä autoja on ollut noin 10 miljoonaa, eli niiden määrä on lisääntynyt noin kolmella miljoonalla, Euroopassa kaasukäyttöisiä autoja on ollut noin miljoona. (Vainikka 2009 s. 6)

Tankkausasemista yksi sijaitsee Lappeenrannassa, seuraavaksi lähimmät asemat ovat Kouvolassa, Haminassa ja Kotkan Karhulassa. Lisäksi asemia on Porvoossa, Riihimäellä, Tampereella ja Espoossa ja kolme Helsingissä. Biokaasua voi tällä hetkellä tankata Suomessa Jyväskylässä ja tulevaisuudessa myös Salossa, johon on rakenteilla tank-

kausasema. Aseman toimittaa Sarlin Oy. Suunnitteilla olevat asemat tulevat Imatralle, Lahteen, Hyvinkäälle ja Lohjalle. Kaasun tankkauspisteiden lukumäärä on tarkoitus lähivuosina kasvattaa 30. (Niiranen 2008 s. 11, 17; Vainikka 2009 s. 7)

Biokaasun tankkaus voi tapahtua ns. hidastankkauksena, jolloin tankkaus kestää yön yli tai paineistettuna ”nopeana” tankkauksena. Hidastankkauksessa paineistus tapahtuu tankatessa, paineistetussa tankkauksessa kaasu on varastoituna korkeaan paineeseen. Koteihin myytävät tankkauslaitteet toimivat hidastankkausperiaatteella, hidastankkauslaitteita voidaan käyttää myös esim. bussien tai kaupungin ajoneuvojen tarpeisiin tehdyillä tankkauspisteillä. Yksityisten kuluttajien käyttöön tarkoitetuilla asemilla tankkaus on suunnilleen yhtä nopeaa kuin bensiinin ja dieselin tankkaus. (Lampinen 2008 s. 110) Hidastankkausasema on investointikustannuksiltaan edullisempi kuin ”nopeatankkausasema”.

3.3.3 Biokaasu polttokennojen polttoaineena

Polttokenno on laite, jolla polttoaineen kemiallinen energia voidaan muuntaa suoraan sähkövirraksi. Polttokennon osat ovat anodi ja katodi, sekä näiden välissä oleva elektrolyytti, joka on kalvo joka läpäisee vain tietynlaisia ioneita. Polttoaine eli biokaasu johdetaan kalvon toiselle puolelle anodille, jossa se hajoaa elektrolyytin katalysoinnin vaikutuksesta peruskomponenteiksi ja ionisoituu. Happi taas johdetaan kalvon toiselta puolelta katodille, jossa sille tapahtuu sama kuin biokaasulle anodilla. Ionisaation vapauttamat elektronit johdetaan anodilta katodille johdinta pitkin, jolloin ne tuottavat sähkövirtaa. (Kara ym. 2004 s. 275)

Polttokennoja on erityyppisiä, ainakin seitsemää eri tyyppiä, näistä kahteen, MCFC (molten carbonate fuel cell) eli sulakarbonaattipolttokennoon ja SOFC (solid oxide fuel cell) eli kiinteäoksidipolttokennoon voidaan käyttää polttoaineeksi suoraan biokaasua. Nämä polttokennot ovat tyypiltään korkealämpötilapolttokennoja, niiden käyntilämpötilat ovat MCFC:ssä 650 °C ja SOFC:ssä 650 – 1000 °C. MCFC ja SOFC polttokennoja käytetään lämmön ja sähkön tuotantoon voimalaitoksissa. MCFC:llä sähkön tuotannon hyötysuhde on 46 % ja SOFC:lla 50 %. Niissä voidaan käyttää polttoaineina myös vetyä ja hiilimonoksidia. Muut polttokennotyypit käyttävät polttoaineeksi vain puhdasta vetyä, kuten esimerkiksi ajoneuvokäyttöön tai kannettavien laitteiden virranlähteeksi soveltuva

PEM eli polymeerimembraanipolttokenno. (Kara ym. 2004 s. 276, 278) Suurin osa polttokennoihin tarvittavasta vedystä, 95 % valmistetaan nykyisin metaanista, joten polttokennoihin tarvittavaa vetyä voitaisiin hyvin valmistaa myös biokaasusta. (Nylund ja Aakko-Saksa 2007 s. 76) Polttokennojen käyttöä on rajoittanut niiden muihin energiantuotantomenetelmiin verrattuna kallis hinta (€/kWh) ja huono kestävyys. (Kara ym. 2004 s. 278)

3.4 Lainsäädännön vaikutus biokaasun hyödyntämiseen

Kaatopaikkakaasun keräilystä on määrätty kaatopaikoista annetussa valtioneuvoston päätöksessä (861/1997). Siinä määrätään, että kaatopaikoilla muodostuva kaasu on ”kerättävä yhteen” ja hyödynnettävä, mikäli se on mahdollista. Jos hyödyntäminen ei ole mahdollista niin kaasu pitää hävittää polttamalla. Lupaviranomainen voi päätöksellään myös lieventää tätä velvollisuutta. (861/1997, liite 1., 4. ja 5. kohta) Kaatopaikkakaasun keräilyvelvoite tuli voimaan 1.1.2002 (861/1997 10§). Kaatopaikkakaasun keräilyvelvollisuutta voidaan lieventää esimerkiksi pienillä kaatopaikoilla, joilla kaatopaikkakaasun muodostus on vähäistä tai metaanipitoisuudet niin pieniä, että kaasu voidaan käsitellä myös passiivisesti, kaatopaikan pintaan rakennettavan hapetuskerroksen avulla. (Tuhkanen 2002 s. 13) Valtioneuvoston päätöksessä määrätään myös, että kaatopaikkakaasun määrä, paine ja koostumus eli hiilidioksidi, happi ja metaanipitoisuus, on mitattava kaatopaikan käyttövaiheessa kuukausittain ja jälkihoitovaiheessa, eli kun kaatopaikan käyttö on lopetettu, puolivuositain. (861/1997, liite 3, 3. kohta)

Bioenergian tuotantoa varten voi saada tietyissä tapauksissa taloudellista avustusta. Näistä määrätään valtionavustuslaissa (688/2001) sekä valtioneuvoston asetuksessa bioenergian tuotannon avustamisesta (607/2008) sekä EY komission asetuksessa N:o 800/2008 tiettyjen tukimuotojen toteamisesta yhteismarkkinoille soveltuviksi perustamissopimuksen 87 ja 88 artiklan mukaisesti (yleinen ryhmäpoikkeusasetus)

Mikäli biokaasua tuotetaan eläimistä saatavista sivutuotteista (kuten lanta tai teurasjätteet), koskee sitä ns. sivutuoteasetus, eli Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1774/2002 muiden kuin ihmisravinnoksi tarkoitettujen eläimistä saatavien sivutuot-

teiden terveyssäännöistä. Tuotettaessa biokaasua mädättämällä saatu lopputuote voi olla lannoitteeksi kelpaavaa. Tällöin sovelletaan lannoitevalmistelakia (539/2006)

Jätteiden käsittely biokaasulaitoksissa on jätteiden ammattimaista tai laitosmaista käsittelyä ja sitä varten tarvitaan ympäristölupa. (YSL 28 § 2 mom. kohta 4, YSA 1 § 3 mom.) Mikäli jätettä käsitellään yli 5000 t vuodessa, niin ympäristöluvan ratkaisee alueellinen ympäristökeskus. (YSA 6 § 1 mom. kohta 12d). Ympäristölupapäätöstä tehtäessä sovelletaan yleensä ympäristönsuojelulakia ja -asetusta, jätelakia ja -asetusta sekä naapuruuussuhdelakia. (Rainio 2008 s. 3) Sellaisia lakeja, joissa biokaasu erikseen mainitaan, ovat: 29.6.2006/539 Lannoitevalmistelaki, 30.6.2000/64 Maa- ja metsätalousministeriön asetus ympäristötuen perus- ja lisätoimenpiteistä sekä maatalouden ympäristötuen koulutukseen liittyvästä tuesta, 31.5.2000/508 Maakaasumarkkinalaki sekä 30.12.1996/1260 Laki sähkön ja eräiden polttoaineiden valmisteverosta (Finlex 2010)

3.4.1 Biokaasun syöttötariffi

Syöttötariffi tarkoittaa biokaasun tuottajan saamaa rahallista korvausta, jolla korvataan biokaasulla sähköä tuottavalle taholle joko biokaasun tuotannosta aiheutuneen tuotantohinnan erotus (hintapreemioon perustuva tariffi), tai vaihtoehtoisesti maksetaan kiinteä korvaus, joka on yleensä tuotantokustannusten suuruinen. (Aalto ym. 2007 s. 6) Biokaasun syöttötariffista on valmisteltu lakiesitys, jossa esitetään biokaasulla tuotetulle sähkölle hintapreemioon perustuvaa syöttötariffia, jossa sähkön tuottajalle maksettaisiin sähkön tavoitehinnan ja sähkön markkinahinnan välinen erotus. Tavoitehinnaksi on ehdotettu 83,50 €/MWh. Sähkön tuottajan tulisi osallistua sähkömarkkinoille, jolloin tuottaja saisi tuottamastaan sähköstä sähkön markkinahinnan. Tariffi on tarkoitus rahoittaa suoraan valtion budjetista. Laki koskisi sellaisia uusia biokaasuvoimaloita, jotka sijaitsevat Suomessa tai Suomen aluevesillä, ja joissa tuotetaan sähköä Suomen sähköverkkoon, ja joiden sähköteho on vähintään 200 kilovolttiampeeria (eli 200 MW). Voimala ei saa olla saanut investointitukea. Mikäli biokaasulaitoksessa tuotettaisiin myös lämpöä hyötykäyttöön, se saisi myös lämpöpreemion, 50 €/MWh. Toteutuessaan laki tulisi voimaan 1.10.2010 (He luonnos 11.3.2010)

3.4.2 Ajoneuvovero

Suomen nykyinen ajoneuvoverolaki (1281/2003) tuli voimaan 2004. Sitä edeltävä ajoneuvojen verotus vaikeutti suuresti biopolttoaineiden käyttöä, sillä sen nojalla uusiutuvia energialähteitä käyttäviä ajoneuvoja verotettiin vuodessa noin 10 000 €:n suuruisella verolla. Nykyinen lainsäädäntö on parempi tähän verrattuna. Nykyinen ajoneuvovero koostuu kahdesta osasta, perusverosta ja käyttövoimaverosta. Perusverosta on vapautettu puulla tai turpeella kulkevat autot (eli häkäpönttöautot). Metaanikäyttöiset autot on vapautettu käyttövoimaverosta. Perusvero on vuoden 2010 alusta perustunut hiilidioksidipäästöihin 1.1.2002 jälkeen käyttöönotetuilla autoilla, ennen tätä käyttöön otetuilla autoilla se perustuu painoon. Elinkaaren aikaisia kokonaisCO₂-päästöjä ei huomioida, vaan biokaasu on käytännössä verrannollinen maakaasuun. Bi-fuel autoissa verotus saattaa kaasun sijasta perustua kakkospolttoaineeseen (yleensä bensa tai diesel). Painon mukainen verotus voi aiheuttaa ennen 1.1.2002 käyttöönotetuille bi-fuel autoille korkeamman veron kuin vastaavalle bensiini- tai dieselmallille, koska ne kaksoispolttoainejärjestelmän vuoksi ovat niitä painavampia. (Lampinen 2008 s. 125 - 128)

3.4.3 Päästökauppa

Päästökauppalakia (683/2004) sovelletaan biokaasuvoimalaitoksessa, mikäli laitoksen nimellinen lämpöteho on vähintään 20 MW, sekä siinä tapauksessa, että biokaasulla tuotetaan lämpöä sellaiseen kaukolämpöverkkoon, jonka kokonaisteho on vähintään 20 MW. Päästökauppalaan piiriin kuuluvat tällä hetkellä vain CO₂-päästöt, mutta vuodesta 2013 siihen tulee mahdollisesti kuulumaan myös muita päästöjä. Biokaasun tuottajalle päästökauppa tarkoittaa rahallista hyötyä, mikäli laitos kuuluu päästökaupan piiriin, sillä biokaasun käyttö ei lisää netto CO₂-päästöjä. (Lampinen 2008 s. 149) CO₂-tonnin hinta päästökaupassa oli 11.3.2010 13,15 €. (Nord pool 2010)

4 LAPPEENRANNAN ALUEELTA KERÄTTÄVISSÄ OLEVAN BIOKAASUNTUOTANTOON SOVELTUVAN MATERIAALIN MASSA- JA ENERGIATASE

Biokaasun tuotantoon soveltuvat materiaalit voidaan jaotella jätteisiin ja raaka-aineisiin. Jätteet voidaan edelleen jaotella kunnalliseen jätteeseen, teollisuuden jätteisiin ja maatalousjätteisiin. Raaka-ainetta ovat erilaiset viljelyskasvit, joita kasvatetaan biokaasun tuotantoa varten. Biokaasun tuotantoon sopivia kunnallisia jätteitä, eli sellaisia jätteitä, joiden käsittelystä kunta voi päättää, ovat erilliskerätty biojäte ja Toikansuon jätevedenpuhdistamon jätevesiliete, sekä Toikansuon puutarhajätteen vastaanottopisteeseen toimitettava puutarhajäte. Teollisuudessa syntyvän biojätteen käsittelystä päättävät yritykset itse. Mikäli Lappeenrannassa olisi biokaasulaitos, voisivat nämä yritykset päättää vievätkö jätteensä käsiteltäväksi Kukkuroinmäelle kompostoitavaksi vai mädätyslaitokseen. Mädätyslaitokseen vieminen tulisi varmasti kysymykseen ainakin, mikäli jätteen vastaanottomaksu voitaisiin pitää alhaisempana kuin kompostointilaitoksen vastaanottomaksu, tai mikäli kuljetusmatka biokaasulaitokseen olisi lyhyempi. Maataloudessa syntyviä jätteitä ovat kotieläinten lietelannat ja muu maatalousjäte, joka koostuu kasvipärisestä jätteestä, kuten viljojen oljet ja viljelyskasvien naatit yms. Raaka-ainetta olisivat mädätystä varten kasvatetut kasvit, joiden energiasisältö on mahdollisimman korkea ja kasvatuksen aikainen energiankulutus mahdollisimman pieni. Energiakasveja voitaisiin periaatteessa kasvattaa ”missä tahansa”, mutta tässä työssä on tarkasteltu energiakasvien kasvatusta kaupungin alueella sijaitsevilla kesantopelloilla, jotta ei kilpailta ruuantuotannon kanssa. Kasvatettavan kasvilajin ei myöskään pitäisi olla mikään ravinnoksi kelpaava kasvi.

Arvioitaessa kuinka paljon biokaasua ja energiaa kustakin materiaalista saataisiin, on käytetty kappaleessa 2.4 esitettyjä laskentatapoja ja tuotantopotentiaaleja. Tulosten luotettavuuden varmistamiseksi biokaasu- ja energiapotentiaaleja on arvioitu usealla eri tavalla, jos se on ollut mahdollista. Koska lisäksi kirjallisuudesta saaduilla biokaasun- ja energiansaannoilla on suuret vaihteluvälit, on kustakin materiaalista saatavalle kaasumäärälle ja sen energiasisällölle laskettu minimi- ja maksimimäärät. Todellinen kaasusaanto asettunee tälle vaihteluvälille, mutta mädätettäessä useita materiaaleja ne myös vaikuttavat toisiinsa, mikä voi muuttaa sekä kaasumäärää, että syntyvän kaasun metaanipitoisuutta.

4.1 Biojäte

Biojätteellä tarkoitetaan Lappeenrannassa erilliskerättyä biohajoavaa jätettä, joka tällä hetkellä toimitetaan Kukkuroinmäen aluejätekeskukseen kompostoitavaksi. Taulukossa 8 ”erilliskerätty” tarkoittaa erilliskerättyä yhdyskuntien biojätettä, joka sisältää myös koulujen, päiväkotien ym. julkisten laitosten biojätteet sekä pienten kauppojen, baarien ja työmaaruokaloiden jätteitä. ”Pientuojat” sisältää yksittäisten asiakkaitten Kukkuroinmäkeen itse toimittaman biojätteen ja ”teollisuus” on teollisuudesta kompostoitavaksi tulevaa jätettä (näitä teollisuusjätteitä toimittavat kompostoitavaksi teollisuuslaitokset, jotka ovat Vapon asiakkaita) Taulukon jättemäärät ovat vuoden 2008 jätetilastoista. (Villanen 2009) Taulukossa on huomioitu myös vuonna 2010 Lappeenrantaan liittyneestä Ylämaan kunnasta tuleva jätepotentiaali. Taulukossa on tarkasteltu biokaasun määrää kahdessa eri tilanteessa, syntyvän kaasun metaanipitoisuuksina on tarkasteltu 51 ja 66 %, joista 51 % on ruokajätteen mädätyksestä saatavalle kaasulle kohdassa 2.4.3 saatu teoreettinen CH₄-pitoisuus ja 66 % Biovakan biokaasulaitokselta saatavan kaasun keskimääräinen CH₄-pitoisuus vuonna 2007 (korkein Suomessa yhteismädätyslaitokselta saadun kaasun CH₄ pitoisuus vuonna 2007). Todellista metaanipitoisuutta on vaikea luotettavasti arvioida muutoin kuin mädätyskokein. Taulukossa 8 on esitetty biojätteestä saatavasta biokaasumäärästä saatavan energian arvioitu minimi- ja maksimimäärä. Jos biokaasun metaanipitoisuus on 51 %, siitä saadaan energiaa 5,1 kWh/m³ ja vastaavasti CH₄-pitoisuuden ollessa 66 %, 6,6 kWh/m³.

Taulukko 8. Biojättemäärä ja biojätteestä vuodessa saatavan biokaasun määrä, kun biokaasun saanto on 100 tai 150 m³/1000 kg biojätettä ja metaanipitoisuus 51 tai 66 %, sekä biojätteestä tuotetusta biokaasusta saatavan energian minimi- ja maksimimäärät

	Biojättemäärä t/a	Biokaasua 1000 m ³ /a		Energiasisältö MWh	
		51 % CH ₄ 100 m ³ CH ₄ /t	66 % CH ₄ 150 m ³ CH ₄ /t	min (5,1 kWh/m ³)	max (6,6 kWh/m ³)
Lappeenranta					
Erilliskerätty	4633	908	1053	4633	6949
Pientuojat	2	0,4	0,5	2	3
Teollisuus	1059	208	241	1059	1588
Yhteensä	5694	1116	1294	5694	8541
Joutseno					
Erilliskerätty	447	88	101	447	670
Pientuojat	1	0,2	0,2	1	1
Teollisuus	827	162	188	827	1241
Yhteensä	1275	250	290	1275	1912
Ylämaa					
Erilliskerätty	16	3	4	19	25
KAIKKI YHTEENSÄ	6985	1370	1588	6988	10478
Kunnallinen yhteensä	5099	1000	1159	5101	7648

Kuten taulukosta 8 nähdään, niin suurin biokaasupotentiaali Lappeenrannan alueelta kerättävästä biojätteestä sisältyy erilliskerättyyn biojätteeseen. Joutsenon kaupungin-osasta kerätyn jätteen määrästä merkittävimmän potentiaalin muodostaa teollisuuden biojäte. Ylämaalta kerättävän jätteen biokaasupotentiaali on melko pieni, vain 3000 - 4000 m³/a. Lappeenrannan alueelta kerätystä biojätteestä voitaisiin saada kaasua eri tapauksissa 1,4 – 1,6 milj. m³. Mikäli teollisuudesta nykyisin tulevia jätteitä ei saataisi mukaan biokaasun tuotantoon, olisi pelkästään yhdyskuntien biojätteestä saatavan jätteen potentiaalinen kaasuntuotanto noin 1 – 1,2 milj. m³. Biojätteestä saatavissa olevan kaasun energiasisältö on noin 7 – 10 GWh ja pelkästään kunnallisesta biojätteestä saatavissa olevan kaasun 5 – 8 GWh.

4.2 Puhdistamoliete

Vuonna 2008 Lappeenrannassa syntyi kuivattua, kiintoainepitoisuudeltaan 23,3 % jätevesilietettä 8490 t. Lietteen kuiva-ainemäärä TS (total solids) oli siis 1978 t. (Lietteen tuhkaprosentti oli 6,4 %.) (Moisio 2009) Jätevesilietteen VS on 60 – 80 % TS:stä, tyy-

pillisen arvon ollessa 65 % TS:stä. (Tchobanoglous ym. 2003 s. 1454) Mikäli arvioidaan, että lietteen VS on $0,65 \times \text{TS}$, saadaan lietteen VS määräksi noin 1286 t. Mikäli metaania saataisiin $0,2 - 0,4 \text{ m}^3/\text{kg}_{\text{VS}}$, olisi sen määrä $257\,000 - 514\,000 \text{ m}^3$ ja siitä saatava energia $2570 - 5140 \text{ MWh/a}$. Mikäli tarkastellaan vaihtoehtoja, joissa VS on 60 % TS:stä ja metaaninsaanto $0,2 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg}_{\text{VS}}$ sekä vaihtoehtoa jossa VS on 80 % TS:stä ja metaaninsaanto $0,4 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{kg}_{\text{VS}}$, saadaan metaaninsaannon ja energiantuotannon vaihteluväleiksi $237\,000 - 633\,000 \text{ m}^3 \text{ CH}_4/\text{a}$ ja energiaa $2370 - 6330 \text{ MWh/a}$.

Liete kuivataan lingolla. Lietteiden kuiva-ainepitoisuus ennen linkoa on vaihdellut 3 – 5 % (eli keskimäärin 4 %). Kuivattua lietettä syntyi $12\,487 \text{ m}^3$, joka sisältää myös sakoja ja umpikaivolietteet. (Moisio 2009) Mikäli lietteiden kiintoainepitoisuudeksi oletetaan 4 % ennen linkoa, niin lietemäärä ennen linkoa on ollut $72\,737 \text{ m}^3$ tai $49\,452 \text{ t}$.

Taulukossa 9 on laskettu arviot, jotka perustuvat taulukossa 3 esitettyihin suomalaisilta jätevedenpuhdistamoilta laskettuihin toteutuneisiin biokaasun ja metaanin tuotantoihin lietekuutiota kohti. Metaanipitoisuuksina on tarkasteltu 43 ja 71 %, jotka ovat vuonna 2007 Suomen puhdistamoilta saadun biokaasun keskimääräisten metaanipitoisuuksien minimi- ja maksimi-arvot. Lietteiden oletetaan menevän mädätettäväksi 4 % kuiva-ainepitoisuudessa. Taulukossa 9 laskentatavassa 1 on siis käytetty Lappeenrannan jätevesilietteiden määrän arviointiin Suomen puhdistamoiden mädättämöiden pienintä ja suurinta lietekuutiota kohti tuotettua biokaasukuutiomäärää, joiden avulla on arvioitu metaanipitoisuuden minimi- ja maksimi-arvot. Metaanipitoisuuksien avulla on arvioitu lietteiden energiasisältöä olettaen energiaa saatavan 10 kWh/m^3 metaania.

Laskentatavassa 2 on laskettu vastaavanlaiset arviot käyttäen Suomen puhdistamoilla vuonna 2007 lietekuutiota kohti tuotettua metaanimäärää. Nyt energiasisältö on laskettu suoraan arvioidusta metaanimäärästä ja kaasun määrä taas on arvioitu olettamalla, että metaanipitoisuus kaasussa on 43 tai 71 %.

Taulukko 9. Lappeenrannan jätevesilietteestä saatavan biokaasun määrä arvioituna Suomen puhdistamoilta saatujen tilastotietojen avulla, laskentatavassa 1 laskennan lähtöarvon yksikkö on [m³ biokaasua/m³ lietettä] ja laskentatavassa 2 [m³ CH₄/m³ lietettä]

Lietemäärä 72 737 m ³	Laskentatapa 1		Laskentatapa 2	
	min	max	min	max
Laskennan lähtöarvot	9,6	15,48	6,24	10,06
Metaania %	43	71	43	71
Biokaasua 1000 m ³ /a	698	1126	713	944
Metaania 1000 m ³ /a	300	799	454	732
Energiaa MWh/a	3003	7994	4539	7317

Suomen puhdistamojen mädättämöiden toimintaan perustuvan tilastotiedon avulla lasketut arviot kaasun- ja energian saannista ovat hiukan suurempia kuin kirjallisuudesta saadun tiedon avulla lasketut. Tilastotiedon avulla lasketuista arvioista luotettavampi on lietekuutiota kohti syntyvästä metaanintuotannosta laskettu arvio (laskentatapa 2), sillä siinä ei metaanipitoisuutta tarvinnut enää erikseen arvioida (muutoin kuin kaasumäärän arviointia varten).

Lappeenrannan puhdistamon asukasvasteluku on 100 000. (Moisio 2009) Asukasvasteluvun avulla tarkasteltuna puhdistamolietteestä saatavaksi kaasumääräksi saadaan yhtälöllä 2:

$$28 \text{ m}^3 \times 100 \text{ as.} \times 365 \text{ d} = 1022000 \text{ m}^3 / \text{a}$$

Tästä kaasumäärästä voitaisiin saada energiaa 4395 – 7256 MWh/a. (Metaanipitoisuuden ollessa 43 – 71 %).

Lappeenrannassa puhdistamolle johdetaan noin 55 000 asukkaan jätevedet. (Moisio 2009) Taulukossa 3 Suomen kaupunkien keskimääräiseksi kaasuntuotannoksi asukasta kohti saatiin 43 m³/as.×d. Näiden tietojen avulla saadaan laskettua puhdistamolietteestä saatava kaasumäärä yhtälöllä 2:

$$43 \text{ m}^3 \times 55 \text{ as.} \times 365 \text{ d} = 863 225 \text{ m}^3 / \text{a}$$

Tämän kaasumäärän energiasisältö on 3712 – 6129 MWh/a.

Eri laskentatavoilla laskettujen tulosten pienimmän ja suurimman arvon välillä on melko suuri ero, 2 – 8 GWh. Kun tarkastellaan eri arvioiden luotettavuutta ja sitä mitä suu-

ruusluokkaa suurin osa arviosta edustaa, voidaan päätellä, että Lappeenrannan puhdistamolietteestä todennäköisesti saatavissa oleva kaasumäärä on noin 4 – 7 GWh/a.

4.3 Maatalous

Maataloudesta saatavan biokaasun potentiaali muodostuu Lappeenrannassa naudat, sian, kanan ja hevosen lannoista, sekä maatalouden kasviperäisistä jätteistä ja siitä potentiaalisesta määrästä energiakasveja, joita voitaisiin kasvattaa kesannolla olevilla peltoaloilla.

4.3.1 Lanta

Taulukossa 10 on esitetty Lappeenrannan alueen nautakarjan määrä ja jaoteltu eri karjatyypit siten, että niiden biokaasun tuotanto voidaan laskea. Joillekin karjatyypeille ei suoraan löytynyt sopivaa kategoriaa, esimerkiksi kaikki vasikat, joita ei ole tarkoitettu lihantuotantoon on jaoteltu otsikon ”Vasikka jalostukseen” otsikon alle, ja ryhmään ”Lypsylehmä, pihvihärkä ja vaeltava härkä” otsikon alle on laskettu myös emolehmät ja jalostukseen tarkoitettut lehmät. Tiedot ovat vuodelta 2008, joten todellisuudessa karjan kokoonpano on todennäköisesti muuttunut, mutta kyse on joka tapauksessa arvioidusta kaasuntuotannosta. Taulukosta 10 on jätetty pois sellaisilla tiloilla olevat lehmät, joilla on alle 10 lehmää tai lehmää ja hevosta yhteensä. Taulukoiden eläinmäärät on laskettu sellaisista tilastoista, joista toisessa oli esitetty eläinten lukumäärät ja toisessa eläinlajit ja eläinten määrät tiloittain. (Nopanen 2009)

Taulukko 10. Lappeenrannan alueen nautakarja vuonna 2008

NAUTAKARJA	kpl
Lihakarja, lehmä	
Hiehot 24 kk- (ei poikineet), lihantuotantoon	8
Lypsylehmä, pihvihärkä ja vaeltava härkä	
Lypsylehmä 24 kk-	1753
Alle 24 kk poikinut lypsylehmähieho	1
Emolehmä 24 kk-	590
Alle 24 kk poikinut emolehmähieho	6
Sonni väh. 24 kk, jalostukseen	12
Hiehot 24 kk- (ei poikineet), emolehmät	53
Hiehot 24 kk- (ei poikineet), maidontuotantoon	215
Muu nauta yli 24 kk	20
	2650
Lihakarja, härkä	
Sonni väh. 24 kk, lihantuotantoon	95
Nuori karja (1 - 2 vuotta)	
Sonni väh. 12 kk, alle 16 kk, lihantuotantoon	352
Sonni väh. 12 kk, alle 16 kk, jalostukseen	1
Sonni väh. 16 kk, alle 21 kk, lihantuotantoon	221
Sonni väh. 16 kk, alle 21 kk, jalostukseen	1
Sonni väh. 21 kk, alle 24 kk, lihantuotantoon	54
Lehmävasikat ja hiehot 12 kk - 24 kk, lihant./emol.	69
Hiehot 12 kk - 24 kk (ei poikineet), emolehmäksi	133
Lehmävasikat ja hiehot 12 kk - 24 kk, lypsylehmiksi	671
	1502
Vasikka jalostukseen (1 vuoteen asti)	
Lehmävasikat alle 6 kk, emolehmäksi	106
Lehmävasikat ja hiehot alle 6 kk, lypsylehmiksi	361
Lehmävasikat 6 kk - 12 kk, emolehmäksi	53
Lehmävasikat ja hiehot 6 kk - 12 kk, lypsylehmiksi	325
Muu vasikka alle 6 kk	4
	849
Lihakarja, vasikka	
Sonni alle 6 kk, lihantuotantoon	826
Sonni väh. 6 kk, alle 8 kk, lihantuotantoon	115
Sonni väh. 8 kk, alle 12 kk, lihantuotantoon	292
Lehmävasikat ja hiehot alle 6 kk, lihantuot./emol.	104
Lehmävasikat ja hiehot 6 kk - 12 kk, lihantuot./emol.	84
	1421

Taulukossa 11. on esitetty Lappeenrannan alueen sikaloiden sikojen lukumäärät.

Taulukko 11. Lappeenrannan alueen siat vuonna 2008

SIAT	kpl
Lihasila	
Lihasiat, elopaino 50 - 80 kg	2940
Lihasiat, elopaino 80 - 110 kg	1475
Siitoskarjut, elopaino 50 kg-	14
	4429
Emakko	
Tiineet, kerran porsineet emakot	719
Nuori porsas 12 - 20 kg	
Porsaat, elopaino alle 20 kg	3784
Nuori porsas yli 20 kg	
Emakoiksi tarkoitetut siat, alle 8 kk	233
Siat, elopaino 20 - 50 kg	1626
	1859

Taulukossa 12 on laskettu Lappeenrannan alueen nautakarjan, sikojen, siipikarjan sekä hevosten lannasta saatavissa oleva biokaasumäärä ja sen energiasisältö. Sellaisilla tiloilla olevat hevoset on huomioitu, joissa on vähintään kymmenen hevosta tai hevosta ja lehmää yhteensä. Nautojen ja hevosten lannasta on oletettu menetettävän noin neljännes niiden lautumella oloajan vuoksi. Vuotuista biokaasumäärää laskettaessa on oletettu, että kaasua saadaan 274 vuorokautena vuodessa. Todellisuudessa osa karjasta voi laiduntaa kauemmin kuin noin kolme kuukautta, osa vähemmän aikaa. Eläinsuojelulain mukaan eläinten on saatava laiduntaa vähintään noin kaksi kuukautta.

Taulukko 12. Lappeenrannan biokaasuntuotantoon soveltuvien mautilojen eläinten lannasta saatavan biokaasun arvioidut minimi ja maksimimäärät

	kpl	Biokaasua m ³ /d/eläin		Biokaasua m ³ /a/eläin		Biokaasua 1000 m ³ /a	
		min	max	min	max	min	max
NAUTAKARJA							
Lihakarja, lehmä	8	0,56	1,5	154	413	1	3
Lypsylehmä, pihvihärkä ja vaeltava härkä	2650	0,56	1,8	154	495	408	1312
Lihakarja, härkä	95	0,392	1,05	108	289	10	27
Nuori karja (1 - 2 vuotta)	1502	0,336	0,9	92	248	139	372
Vasikka jalostukseen (1 vuoteen asti)	849	0,112	0,3	31	83	26	70
Lihakarja, vasikka	1421	0,168	0,45	46	124	66	176
Naudat yhteensä						650	1960
SIAT							
Lihasika	4429	0,072	0,15	26	55	116	242
Emakko	719	0,204	0,425	74	155	54	112
Nuori porsas 12 - 20 kg	3784	0,012	0,025	4	9	17	35
Nuori porsas yli 20 kg	1859	0,036	0,075	13	27	24	51
Siat yhteensä						211	439
Kanat ja kukot	50565	0,0105	0,012	4	4	194	221
Hevoset	249	1,9		523		130	130
KAIKKI YHTEENSÄ						1185	2751

Lappeenrannan mautilojen lietalannoista tuotettavan biokaasun merkittävin lähde on karjatilat ja seuraavaksi merkittävin sikatilat, hevostilojen ja kanaloiden biokaasupotentiaali on näihin verrattuna vaatimaton.

Taulukossa 13 on esitetty eläinten lannasta saatavan biokaasun energiasisältö kun biokaasun metaanipitoisuus on 58 tai 67 %. Metaanipitoisuudet ovat suomessa vuonna 2007 mautilalaitoksilta saadun biokaasun suurin ja pienin metaanipitoisuus.

Taulukko 13. Lannoista saatavan biokaasun energiasisältö metaanipitoisuuden ollessa 58 tai 67 %

	Biokaasua		Energiaa MWh/a	
	1000 m ³ /a		CH ₄ 58 %	CH ₄ 67 %
NAUTAKARJA	min	max	(5,8 kWh)	(6,7 kWh)
Lihakarja, lehmä	1	3	7	22
Lypsylehmä, pihvihärkä ja vaeltava härkä	408	1312	2367	8789
Lihakarja, härkä	10	27	59	184
Nuori karja (1 - 2 vuotta)	139	372	805	2491
Vasikka jalostukseen (1 vuoteen asti)	26	70	152	469
Lihakarja, vasikka	66	176	381	1178
Naudat yhteensä	650	1960	3771	13133
SIAT				
Lihasika	116	242	675	1625
Emakko	54	112	311	747
Nuori porsas 12 - 20 kg	17	35	96	231
Nuori porsas yli 20 kg	24	51	142	341
Siat yhteensä	211	439	1223	2944
Kanat ja kukot	194	221	1124	1484
Hevoset	130	130	755	871
KAIKKI YHTEENSÄ	1185	2751	6873	18432

Merkittävin biokaasun lähde Lappeenrannan alueella syntyvistä lannoista on naudan lanta. Arvioitujen energiasisällön minimi- ja maksimimäärien välinen ero on todella suuri, arvioitu maksimimäärä on yli kolme kertaa suurempi kuin minimimäärä. Yhteensä lannoista voitaisiin saada energiaa noin 7 – 18 GWh.

Myös lannan paino taikka tilavuus on oleellinen tekijä biokaasulaitoksen mitoitusta varten. Taulukossa 14 on laskettu taulukon 6 tietojen avulla vuodessa (274 d kun laidunusaika vähennetään) syntyvän lannan määrä kuutiona ja tonneina. Lantojen tiheydet on saatu lähteestä (Hagström ym. 2009 s.10).

Taulukko 14. Lappeenrannassa biokaasuntuotantoon soveltuvilla maataloilla vuodessa syntyvä lietelantamäärä yksiköissä[m³] ja [t]

Eläin	Lietelantaa m ³ /eläin		Eläimiä kpl	Lantaa m ³ /a	Tiheys t/m ³	Lantaa t/a
	d	a (274 d)				
Nautakarja						
Lihakarja, lehmä	0,05	13,7	8	110		
Lypsylehmä ja pihvihärkä	0,055	15,07	2650	39936		
Lihakarja, härkä	0,023	6,302	95	599		
Nuori karja (1-2 vuotta)	0,025	6,85	1502	10289		
Vasikka jalostukseen (alle 1 v)	0,008	2,192	849	1861		
Lihakarja, vasikka	0,004	1,096	1421	1557		
Nautakarja yhteensä				54351	1	54351
Siat						
Lihasika	0,0045	1,233	4429	5461		
Emakko	0,0045	1,233	719	887		
Nuori porsas 12 - 20 kg	0,001	0,274	3784	1037		
Nuori porsas yli 20 kg	0,003	0,822	1859	1528		
Siat yhteensä				8912	1	8912
Siipikarja						
kanat ja kukot	0,0002	0,0548	50565	2771	1,2	3325
Hevonen						
Yli 3 vuotiaat hevoset	0,033	9,042	249	2251	0,6	1351

4.3.2 Kasviperäinen maatalousjäte

Lappeenrannan vilja- ja rypsieltojen pinta-ala (2009) on noin 14 000 ha. Olkea syntyy noin 3000 kg/ha. Tällä hetkellä pieni osa oljesta poltetaan ja noin 1/5 käytetään eläinten kuivikkeeksi. Loppuosa, noin ¾ oljesta silputaan peltoon humukseksi. Tästä olkimäärästä noin 60 % pystyttäisiin paalaamaan talteen. Biokaasun tuotantoon voitaisiin kerätä olkea siis noin 10 000 ha alalta noin 1800 kg/ha, eli 18 000 t. Viljoista suurin osa, noin 48 % on ohraa, 33 % kauraa, 18 % kevätvehnää ja 1 % syysviljoja. Viljelyskasvien naattien osuus on vähäinen, niiden tarkka määrä ei ole tiedossa. (Heinola 2010)

Kauran oljesta voidaan saada biokaasua 6 MWh/ha (taulukko 6). Oljesta (yleisesti) voidaan saada metaania 200 – 260 m³/t (märkäpaino) (Lehtomäki 2007 s. 21).

18 000 m³:sta olkea voitaisiin siis saada metaania 3,6 – 4,68 milj. m³ ja energiaa 36 - 46,8 GWh. Jos oletettaisiin, että kaikkien viljojen oljesta saataisiin energiaa saman verran kuin kauran oljesta, olisi 10 000 ha alalla energiasisällöltään 60 GWh edestä olkea. Jos tästä olkimäärästä saataisiin kerättyä 60 %, olisi niiden energiasisältö 36 GWh, eli sama kuin oljen metaanintuotantopotentiaalın avulla saatu energian tuotannon alaraja. Mikäli biokaasun metaanipitoisuuksiksi oletetaan samat minimi- ja maksimipitoisuudet

kuin edellisessä kappaleessa, 58 - 67 %, saadaan oljista saatavissa olevaksi arvioiduksi biokaasumääräksi 5,11 – 6,22 milj. m³

4.3.3 Energiakasvit

Lappeenrannassa on kesantopeltoa 850 ha ja hoidettua viljelemätöntä peltoa 2000 ha, eli yhteensä 2850 ha sellaista peltoalaa, jossa voitaisiin viljellä jotain energiakasvia biokaasun tuotantoa varten (Heinola 2010). Mikäli oletetaan, että näillä aloilla viljellään ruokohelpeä, josta saadaan vuodessa metaania 3800 – 4200 m³/ha ja energiaa 37 – 41 MWh/ha, voitaisiin energiakasveista saada metaania 10,8 – 12 milj. m³/a ja energiaa 105 – 117 GWh/a. Mikäli kaasun metaanipitoisuus olisi 58 – 67 %, saataisiin biokaasua 15,3 – 16 milj. m³.

Lehtomäen (2007, s. 10) mukaan ruokohelvestä saatavan metaanin määrä on 100 – 170 m³/t, joten voidaan laskea, että ruokohelpeä oletetaan saatavan hehtaaria kohti 24 – 38 t, jolloin Lappeenrannassa kesantopelloilla kasvatettavan ruokohelven massa olisi 68 400 – 108 300 t.

4.4 Toikansuon kaatopaikka

Biokaasun tuotanto Toikansuon kaatopaikalla on laskenut viimeiset kuusi vuotta. Taulukossa 15 on esitetty Lappeenrannassa käytetty kaatopaikkakaasumäärä ja siitä saadun energian määrä vuosina 2003 – 2008.

Taulukko 15. Vuosina 2003 – 2008 Lappeenrannassa käytetty kaatopaikkakaasumäärä ja siitä saadun energian määrä (Toikansuo 2009)

Vuosi	Kaasua Nm ³	Energiaa MWh
2003	735660	3762
2004	707981	3690
2005	709978	3604
2006	434384	2154
2007	337904	1512
2008	300024	1587

Taulukosta 15 nähdään, että käytetyn kaasun määrä on tasaisesti laskenut viimeisten kuuden vuoden aikana. Kaasusta saatava energiamäärä on kuitenkin kasvanut vuonna 2008 verrattuna edelliseen vuoteen, sillä kaasun metaanipitoisuus on ollut silloin korkeampi. Vuonna 2007 kaasun metaanipitoisuus on vaihdellut noin 42,5 – 45,5 %, kun taas vuonna 2008 se on ollut 49,5 – 54,5 %. (Toikansuo 2009) Täytyy huomioda, että taulukossa 13 on esitetty vain se kaasumäärä, jonka Paroc on käyttänyt. Tosiasiassa kaasua syntyy enemmän. Arvion mukaan kaasua syntyy vuosittain todellisuudessa noin 500 000 m³. (Verho 2009) Tästä määrästä saataisiin energiaa noin 2 GWh/a. Kaatopaikkakaasun saanto tulee kuitenkin tasaisesti laskemaan, kunnes se loppuu kokonaan. Kaasua on nyt kerätty 12 vuoden ajan. Koska kaatopaikkakaasua keräillään yleensä 20 – 40 vuotta, kaasu loppuu arviolta 8 – 28 vuoden päästä.

4.5 Puutarhajätteet

Kasvimateriaalista voidaan saada metaania 30 – 150 m³/t. (kpl 2.4.5) Lappeenrannassa kerättiin puutarhajätettä vuonna 2007 arviolta 960 000 kg ja vuonna 2008 noin 916 000 kg. Puutarhajätteen määrä on arvioitu kuorma-autokuormien lukumäärän perusteella, sillä puutarhajätettä ei punnita. (Pohjonen 2009) Oletetaan puutarhajätteen määräksi vuosien 2007 ja 2008 keskiarvo, 938 000 kg. Tästä määrästä arviolta noin 30 % on mädätettäväksi sopivaa materiaalia, loppu on puuta ja risuja. Mädätettäväksi sopivaa puutarhajätettä syntyy siis vuodessa noin 281 400 kg. Tästä saataisiin metaania 8 442 – 42 210 m³, jonka energiasisältö olisi 84 – 422 MWh/a. Mikäli CH₄-pitoisuudeksi oletetaan 60 %, on syntyvä biokaasumäärä 11 819 – 59 094 m³.

4.6 Massa- ja energiatase

Taulukkoon 16 on koottu kaikki Lappeenrannan alueella olevat biokaasun lähteet sekä niistä saatavan biokaasun ja energian arvioidut minimi- ja maksimimäärät.

Taulukko 16. Lappeenrannan biokaasuntuotannon massa- ja energiatase

Jäte/raaka-aine	Massa t	Tilavuus m ³	Biokaasua 1000 m ³		Energiasisältö GWh/a	
			min	max	min	max
<i>Biojäte</i>						
Kunnallinen biojäte	5099		962	1159	6	8
Kaikki biojäte	6985		1318	1588	8	10
Puhdistamoliete (4 % ka.)	49452	72737	613	1126	4	7
<i>Lannat</i>						
Naudan lanta	54351	54351	650	1960	4	13
Sian lanta	8912	8912	211	439	1	3
Siipikarja	3325	2771	194	221	1	2
Hevosien lanta	1351	2251	130	130	0,8	0,9
Lannat yhteensä	67939	68285	1185	2750	7	18
Viljojen oljet	18000		5110	6220	36	47
Energiakasvit	68400	108300	15300	16000	105	117
Toikansuo	-	-	500	500	2	2
Puutarhajäte	281		12	59	0,08	0,4
Yhteensä	211057		24038	28243	162	202
Yhteensä ilman energiakasveja	142657		8738	12243	57	85

Taulukosta 16 nähdään, että suurin energiasisältö Lappeenrannassa on saatavissa maataloudesta. Suurin yksittäinen energiapotentiaali sisältyy energiakasvien kasvatukseen, mutta täytyy huomioida, että energiakasvien kasvatukseen kuuluu myös energiaa. Muut tarkasteltavat biokaasun lähteet taas ovat jätteitä, jotka on kuitenkin käsiteltävä jollain tavalla, ja joiden energia yleensä (esim. kompostoitessa) jää kokonaan (tai lähes kokonaan) hyödyntämättä. Toiseksi suurin yksittäinen energiapotentiaali sisältyy viljojen olkiin. Puutarhajätteen energiasisältö on kokonaisuuden kannalta häviävän pieni. Kunnallisten biokaasunlähteiden energiasisältö on 12 - 17 GWh/a. Nämä ovat sellaisia lähteitä, jotka ovat varmasti käytettävissä biokaasun tuotantoon. Muut lähteet ovat sellaisia, että niistä voidaan saada biokaasun tuotantoon kenties vain osa, eikä välttämättä mitään.

5 BIOKAASUN TUOTANTO JA HYÖDYNTÄMINEN LAPPEENRANNASSA

Biokaasua voitaisiin tuottaa joko kaikista kappaleessa neljä käsitellyistä materiaaleista, tai vain osasta niistä. Biokaasua voitaisiin tuottaa pelkästään jäteveden puhdistamon puhdistamolietteestä, tai sitten yhteismädätyslaitoksessa, joka käsitelisi puhdistamolietteen lisäksi muita jätteitä ja mahdollisesti myös energiakasveja.

Biokaasun hyödyntämisvaihtoehtoina tarkastellaan sähkö- ja lämpöenergian tuottamista, kaasun käyttöä ajoneuvojen polttoaineena sekä kaasun syöttämistä maakaasuverkostoon. Hyötykäyttövaihtoehtona voi tulla kysymykseen myös edellä mainittujen yhdistelmä, esimerkiksi osasta kaasua voitaisiin tuottaa ajoneuvojen polttoainetta ja mahdollisesti ylijäävästä kaasusta sähköä.

Biokaasulaitoksen kannattavuus muodostuu jätteen käsittelystä saatavista porttimaksuista, sekä energiantuotannon tuista. Ilman näitä biokaasun tuotanto ei ole taloudellisesti kannattavaa. Tällä hetkellä lainsäädäntö biokaasuun liittyvistä energiantuotannon tuista on muuttumassa. Porttimaksuja voidaan periä, jos vaihtoehtoinen jätteidenkäsittelymenetelmä on kalliimpi kuin mädätyskäsittely. Tämä vaihtoehtoinen käsittely on käytännössä kompostointikäsittely. (Ympäristöministeriö 2010 s. 15) Kompostointikäsittelyn hinta on se hinta, johon vertaamalla voidaan tehdä päätelmiä mädätyslaitoksen kannattavuudesta. Kun huomioidaan biokaasun tuotannosta saatavissa olevat säästöt ja tulot, voidaan tehdä laskelma siitä kuinka paljon biokaasulaitos voi maksaa, etteivät vuotuiset investointikustannukset ylitä saatavissa olevia säästöjä ja tuloja. Kappaleissa 5.1.2 ja 5.1.3 on pyritty kartoittamaan ne säästöt, joita Lappeenrannassa on saatavilla mädättämisellä. Biokaasusta voidaan saada tuloja, mikäli siitä tuotetaan energiaa tai polttoainetta, tai jos se jalostetaan ja syötetään maakaasuverkostoon. Tässä kappaleessa on pyritty selvittämään myös saatavissa olevat tulot kussakin tapauksessa.

Kaikissa tapauksissa ensin tulee investoida mädättämöön, jonka investointikustannus riippuu sen koosta ja koko mädätettävän materiaalin määrästä. Muissa tapauksissa investointikustannukset poikkeavat toisistaan. Sähkön- ja lämmöntuotannossa tulee hankkia mikro turbiinilaitos tai kaasumoottori ja pelkkää lämmön hyödyntämistä varten lämpökattila, joka lienee näistä kaikista edullisin. Syötettäessä kaasua maakaasuverkostoon

tai jalostettaessa siitä ajoneuvojen polttoaineeksi, tarvitaan kaasun jalostuslaitos. Jalostuslaitoksen investointikustannus on korkeampi kuin CHP-laitoksen. Biokaasun hyödyntäminen ajoneuvojen polttoaineena edellyttää oman tankkausaseman rakentamista.

5.1 Biokaasuntuottamisvaihtoehtoja

Mädättämällä puhdistamolietettä puhdistamon yhteydessä sijaitsevalla mädättämöllä voitaisiin tuottaa vuodessa kaasua 0,613 – 1,126 Mm³. Kun tätä vertaa Suomen puhdistamoilla olevien mädätyslaitosten kokoon, olisi Lappeenrannan puhdistamon mädättämö keskikokoa, suunnilleen saman kokoluokan mädättömöjä ovat Kuopion veden jätevedenpuhdistamon mädättämö, kaasuntuotanto 1,081 Mm³/a, Tampereen Raholan jätevedenpuhdistamon laitos, kaasuntuotanto 0,929 Mm³/a sekä Riihimäen jätevedenpuhdistamon laitos, kaasuntuotanto 0,607 Mm³/a. (Kuittinen 2008 s.10)

Yhteismädättämössä voitaisiin saada kaasua kunnallisista lähteistä 2,087 – 2,844 Mm³/a. Tällainen laitos olisi suunnilleen samankokoinen kuin Suomessa toimivat Stormossenin (1,996 Mm³/a) ja Biovakan Vehmaan (2,078 Mm³/a) yhteismädätyslaitokset. (Kuittinen 2008 s.10)

Lappeenrannan alueelta kerättävissä olevista jäteperäisistä lähteistä voitaisiin saada kaasua 8,738 – 12,243 Mm³/a. Tällainen yhteismädättämö olisi jo suuri Suomen mittakaavassa, sillä tällä hetkellä suurin laitos on edellä mainittu Biovakka. Suomesta löytyy vain yksi näin suuren kokoluokan mädättämö, Helsingin Viikinmäen jätevedenpuhdistamo, joka tuottaa kaasua 10,930 Mm³/a (Kuittinen 2008 s. 10).

Jäteperäisistä lähteistä ja energiakasveista (eli kaikista saatavissa olevista biokaasun tuotantoon soveltuvista materiaaleista) voitaisiin tuottaa kaasua 24,038 – 28,243 Mm³/a. Mikäli kaikki potentiaalinen materiaali saataisiin mädätettäväksi, tämä mädättämö olisi Suomen suurin. Suomessa on vain yksi suurempi yksittäinen biokaasua tuottava yksikkö, Espoon Ämmässuon kaatopaikkakaasupumppaamo jolta saadaan vuodessa kaasua 59,901 Mm³/a (Kuittinen 2008 s. 11).

Yhteismädätyslaitosta tarkasteltaessa käytetään jatkossa kolmea erilaista vaihtoehtoa siellä mädätettäville materiaaleille:

”**Kunnallinen**” tarkoittaa tapausta, jossa mädätetään kunnallinen biojäte, jätevesiliete ja puutarhajätteet, lisäksi Toikansuon kaasu on laskettu mukaan, koska oletetaan, että se käsitellään samassa laitoksessa.

”**Jäte**” tarkoittaa vaihtoehtoa, jossa edellisten lisäksi laitoksessa mädätetään myös maatalouden lannat ja maatalouden kasvijäte sekä muu kuin kunnallinen biojäte (Toikansuon kaasu on mukana myös tässä).

”**Kaikki**” tarkoittaa tapausta, jossa edellisten lisäksi mädätetään myös energiakasveja.

Taulukossa 17 on lueteltu tässä työssä tarkasteltavat biokaasuntuottamisvaihtoehdot.

Taulukko 17. Työssä tarkasteltavien biokaasuntuottamisvaihtoehtojen kuvaus

Biokaasuntuottamisvaihtoehdot Lappeenrannassa			
Vaihtoehdon nimi	Mistä tuottaa biokaasua	Tuotettava kaasumäärä 1000 m³/a	Missä sijaitsee
Toikansuo (Kaatopaikkakaasupumppaamo)	Kaasu muodostuu kaatopaikalla	500	Toikansuolla
Puhdistamo (puhdistamon mädättämö)	jätevesiliete	613 - 1126	Puhdistamon yhteydessä
Kunnallinen (yhteismädättämö)	jätevesiliete, kunnallinen biojäte, puutarhajäte (+ kaatopaikkakaasu)	2087 – 2844	Puhdistamon yhteydessä tai Toikansuolla
Jäte (yhteismädättämö)	jätevesiliete, kaikki biojäte, puutarhajäte, lanta, oljet (+ kaatopaikkakaasu)	8738 – 12243	Puhdistamon yhteydessä tai Toikansuolla
Kaikki (yhteismädättämö)	jätevesiliete, kaikki biojäte, puutarhajäte, lanta, oljet, energiakasvit (+ kaatopaikkakaasu)	24038 - 28243	Puhdistamon yhteydessä tai Toikansuolla

Yhteismädättämölle vastaanotettavasta biojätteestä voidaan periä porttimaksua sen ottamisesta laitokseen käsiteltäväksi. Lanta voidaan olettaa otettavaksi käsittelyyn ilmaiseksi, samoin puutarhajäte. Vuosina 2008 – 2009 projektissa: ”Biokaasusta energiaa

Keski-Suomeen” on arvioitu seitsemän eri biokaasulaitoksen kannattavuutta. Kahdessa laitoksessa on suunniteltu vastaanotettavaksi biojätteitä, porttimaksujen suuruudet biojätteille ovat arvioissa olleet 75 €/t ja 30 – 50 € (Mykkänen 2009 s. 4, 8) Arvioidaan Lappeenrannan biokaasulaitoksessa perittävien porttimaksujen suuruudeksi 50 €/t. Tällöin tapauksessa ”Kunnallinen”, jossa biojätettä vastaanotetaan 5099 t/a, porttimaksut ovat vuodessa noin 255 000 €. Tapauksissa ”Jäte” ja ”Kaikki” otetaan vastaan myös teollisuuden biojätteitä, yhteensä biojätettä otetaan vastaan 6985 t/a, joten porttimaksuista saatavat tulot ovat kummassakin tapauksessa 350 000 €/a.

5.1.1 Toikansuon biokaasupumppaamo

Lappeenrannan entinen Toikansuon kaatopaikka on ollut toiminnassa Lappeenrannassa vuosina 1985 – 2001. Tänä aikana kaatopaikan penkkaan on lajitettu jätettä yhteensä 683 082 tonnia. Lisäksi penkkaan on lajitettu hyötyjättemaata yhteensä 373 078 t. Penkassa on jättemateriaalia siis yhteensä 1 056 160 t. (Toikansuo, toimisto 2009) Penkkaan lajitetun jätteen tarkempi koostumus on esitetty taulukossa 18.

Taulukko 18. Penkkaan lajitetun jätteen koostumus Toikansuon kaatopaikalla (Toikansuo, toimisto 2009)

Jätelaji	määrä/ 1000 kg
Yhdyskuntajäte	392 275
Rakennusjäte	202 156
Eriyisjäte	59 281
Öljyjäte	3 335
Öljyinen maa	1 975
Muut ongelmajätteet	1 116
Viemärijäte	17 915
Metallijäte	4 609
Sairaalahäjäte	420
Yhteensä	683 082
Hyötyjättemaa	373 078
Kaikki yhteensä	1 056 160

Penkassa olevan jätteen koostumus vaikuttaa kaatopaikkakaasun muodostumiseen. Toikansuon biokaasupumppaamo on perustettu vuonna 1998, eli kaatopaikan vielä ollessa toiminnassa. Pumppaamolla on 15 kaasunkeräyskaivoa, joihin jokaiseen on yhdistetty vedenerotusjärjestelmät, joiden kautta erotettu vesi kerätään vedenerotuskaivoon. (Toikansuo, käyttö- ja huolto-ohje) Toikansuon kaatopaikan biokaasupumppaamon valvo-

mossa 20.1.2009 metaanipitoisuus vaihteli muutaman minuutin aikana 61 ja 62 % välillä hiilidioksidipitoisuuden ollessa 33 % ja happipitoisuuden 0 %. (Toikansuon valvomo 20.1.09) Nämä hetkelliset metaanipitoisuudet olivat siis paljon suurempia kuin biokaasulaitosrekisterissä esitetty korkein metaanipitoisuus, mutta siinä esitetyt metaanipitoisuudet ovat kunkin laitoksen vuoden aikaisia metaanintuotannon keskiarvoja. Lappeenrannan Toikansuon biokaasupumppaamalla pumpatun kaasun keskimääräinen metaanipitoisuus vuonna 2007 on ollut 44 %. (Kuittinen ym. 2008 s. 4) Vuonna 2008 metaanipitoisuus on vaihdellut Toikansuolla 40 ja 60 % välillä, ollen keskimäärin 52 %, hiilidioksidipitoisuus on vaihdellut 33 ja 36 % välillä ja ollut keskimäärin 34 %. Happipitoisuus on ollut keskimäärin 0,3 %, minimiarvon ollessa 0,0 ja maksimiarvon 0,9 %. (Herpiö 2009 s. 3) Toikansuolla hiilidioksidi- metaani- ja happipitoisuutta mitataan jatkuvatoimisesti. Ilmeisesti kaatopaikkakaasusta loput 5 – 6 % koostui tyypestä sekä epäpuhtauksista.

Toikansuolta saatavasta kaasusta on mitattu kaasuntuotannon tutkimusvaiheessa myös epäpuhtauksien pitoisuuksia, mutta näistä pitoisuuksista voidaan saada vain hetkellisiä arvoja, sillä ne vaihtelevat jatkuvasti. Pitoisuudet kaatopaikkakaasussa riippuvat mm. siitä, minkälaista jätettä kaasunmuodostusalueella on jätetäyttöön sijoitettu. (Tuotesittely 20.1.2009)

Kaasu käytetään tällä hetkellä Paroc Oy:n tuotannossa. Kaasu korvaa siellä maakaasua ja se poltetaan siellä sellaisenaan, ilman puhdistuskäsittelyä. Ohjaamalla kaasu Parocille ehkäistään metaanipäästöjä, mutta toiminta ei ole taloudellisesti kannattavaa. Parocin tuotannossa on myös toisinaan seisokkeja, jolloin se ei käytä kaasua. Tällöin kompressorit pysäytetään. Mikäli kaasua käytettäisiin jossain toisessa kohteessa, joka käyttäisi kaiken pumpattavan kaasun, voitaisiin metaanipäästöjä vähentää enemmän. Laitoksella voitaisiin tuottaa lämpökattilalla kaukolämpöä kaukolämpöverkkoon tai sekä kaukolämpöä - että sähköä sähköverkkoon joko mikroturbiinilla tai kaasumoottorilla. Vaihtoehtoisesti kaasu voitaisiin puhdistaa ja käyttää esim. kaupungin omien ajoneuvojen polttoaineeksi oman tankkausaseman avulla tai johtaa maakaasuverkostoon. Toikansuolla syntyvän kaasun vähäisen määrän vuoksi edellä mainitut vaihtoehdot olisivat helpommin taloudellisesti toteutettavissa, mikäli Toikansuolla muodostuva kaasu saataisiin yhdistettyä reaktoribiokaasuun. Tämä olisi helpoimmin toteutettavissa siten, että mädättämö sijaitsisi Toikansuon biokaasupumppaamon läheisyydessä. Suomen muihin kaato-

paikkakaasupumppaamoihin verrattuna Toikansuon biokaasupumppaamo on pieni, Suomen 33 kaatopaikkalaitoksesta neljä on pienempiä kuin Toikansuon laitos (Kuittinen 2008 s. 9).

5.1.2 Puhdistamolietteen mädättämö

Puhdistamolietteen mädättämö sijaitsisi Lappeenrannan Toikansuon jätevedenpuhdistamon välittömässä läheisyydessä. Siellä mädätettäisiin puhdistamoliete ja siitä saatava energia hyödynnettäisiin puhdistamolla sen omaan sähkö- ja lämpöenergian tarpeeseen. Mädättämön ansiosta puhdistamolla saataisiin säästöä jätemaksuissa ja kuljetusmaksuissa, sillä tällä hetkellä puhdistamoliete kuljetetaan kompostoitavaksi Joutsenossa sijaitsevalle Kukkuroinmäen aluejätekeskukselle, kun mädättämövaihtoehdossa sinne tarvitsisi kuljettaa vain mädätysjäännös. Mädätysjäännökselle riittäisi käsittelyvaihtoehdoksi myös aumakompostointi laitospompostoinnin sijasta. Myös energiansäästöä syntyisi, sillä tällä hetkellä liete kuivataan lingolla ennen kuljetusta, kun taas mädätettäessä tarvitsisi lingota vain mädätysjäännös. Vuonna 2008 syntynyt kuivaamattoman (ka. pit. 3 – 5 %) lietteen määrä oli 72 727 m³. Liette voitaisiin mädättää tässä kuiva-ainepitoisuudessa. Lingolla kuivatun lietteen määrä on 12 487 m³, 8490 t. Edellä on todettu, että lietteen orgaanisesta aineksesta 30 – 80 % muuntuu mädätettäessä kaasuksi. Mikäli oletetaan, että 50 % lietteen orgaanisen aineksen määrästä, 1879 t, muuttuu kaasuksi, niin lietteen kokonaismäärä vähenee noin 940 t, 11 % siitä määrästä, mitä sitä muuten syntyisi. Käsiteltävää mädätysjäännöstä jää vielä noin 7550 t.

Lietteen kuljetuskustannukset ovat tällä hetkellä alle 5 €/t ja kustannukset lietteen viennistä Kukkuroinmäelle 72,49 €/t. Kummissakin kustamuksissa voitaisiin siis saada säästöä noin 11 %, mikäli mädätysjäännös vietäisiin kompostoitavaksi.

Kompostointikäsittelyyn vietävä lietemäärä vähenisi siis 940 t, jolloin saavutettava säästö olisi noin 940 t x 72,49 €/t = 68 141 € ≈ 68 000 €/a. Mikäli mädätysjäännös jalostettaisiin lannoitteeksi, voitaisiin siitä saada jopa tuloja, tällöin säästettäisiin jätemaksu kokonaisuudessaan, eli noin 615 000 €/a.

11 % säästö kuljetuskustannuksissa merkitsisi noin 4700 €/a säästöä. Jos säästettäisiin kuljetuskustannukset kokonaisuudessaan, se tarkoittaisi noin 42 000 € säästöä vuodessa. Mädätyksen ansiosta lietteenkäsittelykustannuksissa voitaisiin säästää yhteensä siis 72 700 – 657 000 €/a.

5.1.3 Yhteismädätyslaitos

Yhteismädätyslaitos mädättäisi Lappeenrannan kaupungin alueella syntyvän biojätteen sekä puhdistamolietteen, jonka mädätystä yksin käsiteltiin edellisessä kappaleessa. Lisäksi laitoksessa voitaisiin mädättää mahdollisuuksien mukaan maatalouden lantoja sekä maatalouden kasvijätettä, sekä mädätystarkoitusta varten kasvatettuja energiakasveja, joiden biokaasuntuottopotentiaali on suuri, mutta joista raaka-aineena joudutaan maksamaan. Kyseessä olisi jätehuoltoratkaisu, jonka avulla jätteestä saataisiin energiaa ja lannoitetta. Lisäksi tällainen laitos voisi olla mahdollista saada myös taloudellisesti kannattavaksi. Pieksamäellä on tehty kannattavuusselvitystä puhdistamolietteitä, biojätettä ja muita jätejakeita käsittelevästä yhteismädätyslaitoksesta, ja tultu siihen tulokseen, että toiminta olisi taloudellisesti kannattavaa jos käsiteltävä jätemäärä on 19 000 – 30 000 t/a. Energiaa on laskettu voitavan ko. määrästä tuottaa 6,5 – 10 GWh/a. Sijoituspaijaksi on todettu parhaimmin soveltuvan Pieksamäen jätevedenpuhdistamon alue. (Jääskeläinen 2010) Pelkkiä jätemääriä ei voida suoraan verrata keskenään, sillä se riippuu paljon esimerkiksi siitä missä kiintoainepitoisuudessa jätevesiliete aiotaan mädättää. Enemmän voidaan päätellä saatavasta energiamäärästä. Lappeenrannassa sellaisista jätelähteistä, joiden käsittelystä kunta voi määrätä, eli kunnallisesta biojätteestä ja jätevesilietteestä sekä puutarhajätteestä saatavissa oleva energia on 10 – 17 GWh/a, mikä on reilusti enemmän kuin mitä Pieksamäellä on arvioitu taloudellisen kannattavuuden takaavan määrän rajaksi.

Koska biojäte kuljetetaan tällä hetkellä Kompostoitavaksi Joutsenon alueelle, saataisiin kuljetuskustannuksissa säästöä, koska mädättämö sijaitsisi Lappeenrannan alueella. Biojätteeseen joudutaan mädätettäessä yleensä lisäämään vettä, mutta puhdistamolietteen ollessa hyvin vesipitoista, veden lisäämistarve on vähäisempi, minkä vuoksi lietettä ei kannata kuivattaa. On kuitenkin huomioitava, että märän lietteen määrä on suuri ja sen kuljettaminen pitkiä matkoja ei ole välttämättä kannattavaa. Tällä tavalla tarkasteltuna yksi parhaista sijoituspaikoista voisi olla jäteveden puhdistamon vieressä tai suh-

teellisen lähellä sijaitsevalla Toikansuon entisen kaatopaikan biokaasupumppaamon läheisyydessä, jolloin molemmista lähteistä saatavan kaasun puhdistus voitaisiin suorittaa samoin puhdistuslaittein, jolloin energiayksikköä kohti aiheutuvia puhdistuskustannuksia saataisiin alennettua.

5.2 Energian tuottaminen biokaasusta

Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan biokaasusta saatavaa energiaa puhdistamolietteen mädättämössä, sekä yhteismädätyslaitoksessa, kun biokaasusta tuotetaan joko sähköä ja lämpöä tai pelkästään lämpöä. Biokaasusta voitaisiin tuottaa myös pelkästään sähköä tai mekaanista energiaa, mutta niitä vaihtoehtoja ei tarkastella. Sähkön- ja lämmön tuotantovaihtoehtoina tarkastellaan kaasumootoria ja mikroturbiinia ja lämmöntuotantolaitteena lämpökattilaa.

Taulukossa 19 on esitetty mädätettävien materiaalien energiasisällöt kussakin tarkasteltavassa mädättämövaihtoehdossa.

Taulukko 19. Työssä tarkasteltavat mädättämövaihtoehdot ja niissä mädätettävien materiaalien energiasisällöt (GWh/a)

Kaasulähde	Energiasisältö GWh/a	
	min	max
<i>Toikansuo (kaatopaikkakaasu)</i>	2	2
<i>Puhdistamo (puhdistamoliete)</i>	4	7
Yhteismädättämö + kaatopaikkakaasu		
<i>Kunnallinen (puhdistamoliete+kunnallinen bio- ja puutarhajäte)</i>	12	17
<i>Jäte (edelliset+teollisuuden biojäte ja maatalousjäte)</i>	57	84
<i>Kaikki (edelliset + energiakasvit)</i>	162	202

Biokaasulaitoksen omaan toimintaan, sekä mädätykseen liittyviin prosesseihin kuluu energiaa. Biokaasulaitoksen toiminnassa käytettävä energia kuluu mädättämön lämmitykseen, mädättämön sähkönkulutukseen, mädätettävän materiaalin käsittelyyn ja kuljetukseen sekä mädätteen kuljetukseen ja levitykseen. Näiden osuus biokaasun tuotannosta riippuu mädätettävästä materiaalista. Kaikki kuljetukset sekä mädätteen levitys vievät kaikissa tapauksessa vain pienen osan laitoksen omasta energiantarpeesta ja kaikissa tapauksissa merkittäviä energiankuluttajia ovat laitoksen sähkön- ja lämmön kulutus. Mädätettävän materiaalin käsittelyyn kuluva energia on suuri esimerkiksi kasviraaka-

aineella ja biojätteellä ja pieni taikka olematon lietelannoilla. Näihin prosesseihin kuluu tuotetusta energiasta 40 – 80 %, tyypillisesti hyödyksi (käytettäväksi muihin kohteisiin) saadaan 20 – 40 % tuotetusta energiasta, keskimäärin 30 %. Sen alueen laajuus, jolta mädätettävä materiaali keräillään, vaikuttaa hyödyksi saatavaan energiaan. Lappeenrannan alueella sijaitsevalle biokaasulaitokselle, jolle kuljetetaan materiaalia mädätettäväksi vain kaupungin alueelta, kuljetusetäisyys on maksimissaan alle 30 km, jolloin biokaasulaitoksen energian kulutus on 25 – 43 %, keskimäärin noin 34 %, jolloin hyödyksi saadaan 64 % tuotetusta energiasta. Puhdistamolietteen mädättämössä voidaan kuljetusmatkaksi olettaa 0 km, jolloin biokaasulaitoksen toimintaan kuluu 30 % tuotetusta energiasta ja hyödyksi saadaan 70 %. (Börjesson ja Berglund 2006 s. 1, 7)

Edellä mainituista prosesseista biokaasulaitoksella tapahtuu varsinaisesti vain mädättämön lämmitys ja sähkönkulutus, sekä joissain tapauksissa osittain mädätettävän materiaalin käsittely. Muut ovat mädätykseen liittyviä prosesseja. Mikäli oletetaan, että mädättämöltä käyttöön saatavan energian määrään vaikuttavat vain biokaasulaitoksen käyttöön kuluva sähkö ja lämpö, ovat laitoksen oman käytön osuudet eri materiaaleja mädätettäessä seuraavat: biojäte 15 %, sian lietelanta 25 %, olki 26 %, lehmän lietelanta 28 % ja energiakasvit 18 %. (Börjesson ja Berglund 2006, s. 7) Käytännössä ainakin biojäte ja energiakasvit tulee murskata ennen mädätystä, jolloin niiden mädätyksestä aiheutuu enemmän energiankulutusta kuin mainitut 15 ja 18 %, joten käytetään kaikissa tapauksissa biokaasulaitoksen oman energiankäytön osuutena 26 %.

5.2.1 Sähkön ja lämmön yhteistuotanto

Sähkön ja lämmön yhteistuotantoa tarkastellaan kahdessa tapauksessa: kaasumoottorilla ja mikroturbiinilla tuotettuna. Kaasumoottorin hyötysuhteiksi oletetaan työssä aiemmin esitetyt: Kokonaishyötysuhde 84 %, sähkön tuotannon hyötysuhde 41 % ja lämmöntuotannon hyötysuhde 43 %. Taulukossa 20 on esitetty kaasumoottorilla kussakin tapauksessa tuotettavissa olevan energian minimi- ja maksimimäärät, sekä kuinka suuri osuus siitä saadaan sähköinä ja kuinka suuri lämpönä.

Taulukko 20. Kaasumoottorilla tuotettavissa oleva energia kussakin tapauksessa, sekä sähkö- ja lämpöenergian osuudet tuotetusta energiasta

Kaasulähde	Kaasumoottori					
	Energia GWh/a		Sähkö GWh/a		Lämpö GWh/a	
	min	max	min	max	min	max
<i>Toikansuo</i>	1,7	1,7	0,8	0,8	0,9	0,9
<i>Puhdistamo</i>	3,4	5,9	1,6	2,9	1,7	3,0
Yhteismädättämö						
<i>Kunnallinen</i>	10,1	14,3	4,9	7,0	5,2	7,3
<i>Jäte</i>	47,9	70,6	23,4	34,4	24,5	36,1
<i>Kaikki</i>	136,1	169,7	66,4	82,8	69,7	86,9

Mikroturbiinin hyötysuhteiksi oletetaan työssä aiemmin esitetyt kokonaishyötysuhde 91 %, sähkön tuotannon hyötysuhde 29 % ja lämmöntuotannon hyötysuhde 62 %. Taulukossa 20 on esitetty mikroturbiinilla kussakin tapauksessa tuotettavissa olevan energian minimi- ja maksimimäärät, sekä kuinka suuri osuus siitä saadaan sähköinä ja kuinka suuri lämpönä.

Taulukko 21. Mikroturbiinilla tuotettavissa oleva energia kussakin tapauksessa, sekä sähkö- ja lämpöenergian osuudet tuotetusta energiasta

Kaasulähde	Mikroturbiini					
	Energia GWh/a		Sähkö GWh/a		Lämpö GWh/a	
	min	max	min	max	min	max
<i>Toikansuo</i>	1,8	1,8	0,6	0,6	1,2	1,2
<i>Puhdistamo</i>	3,6	6,4	1,2	2,0	2,5	4,3
Yhteismädättämö						
<i>Kunnallinen</i>	10,9	15,5	3,5	4,9	7,4	10,5
<i>Jäte</i>	51,9	76,4	16,5	24,4	35,3	52,1
<i>Kaikki</i>	147,4	183,8	47,0	58,6	100,4	125,2

Mikroturbiinilla saadaan tuotettua enemmän energiaa, koska sen kokonaishyötysuhde on parempi kuin kaasumoottorin. Tuotettaessa energiaa kaasumoottorilla suurempi osa siitä saadaan sähköinä, koska kaasumoottorin sähköntuotannon hyötysuhde on suurempi kuin mikroturbiinilla. Koska kyseessä ovat valmistajan ilmoittamat hyötysuhteet, ne vastannevat laitteiden parasta mahdollista hyötysuhdetta. Käytännössä hyötysuhteet eivät välttämättä ole ainakaan jatkuvasti näin hyvät.

Jotta yhdistetyssä sähkön- ja lämmön tuotannossa voitaisiin hyödyntää biokaasulle ehdotettua syöttötariffia, pitäisi laitoksen nimellissähkötehon olla 200 MW. Mikäli laitosta oletettaisiin käytettävän koko vuoden 8750 h/a, pitäisi laitoksen tehon olla vähintään

1,75 GWh ja esimerkiksi 8000 h/a käyttöajalla 1,6 GWh. Pelkästään Toikansuon kaasusta CHP:tä tuottava laitos ei ole riittävän suuri, jotta se kuuluisi syöttötariffin piiriin. Puhdistamon mädättämö olisi tarpeeksi suuri, jos sähköä tuotettaisiin kaasumoottorilla ja tarpeeksi suuri maksimitapauksen toteutuessa, mikäli kaasua tuotettaisiin mikroturbiinilla. Muissa vaihtoehtoisissa (eli yhteismädättämöllä) nimellissähköteho on suurempi, joten ne voivat hyödyntää syöttötariffia. Mikäli lämpö käytetään hyödyksi, voidaan näillä laitoksilla saada myös lämpöpremio.

5.2.2 Lämmön tuotanto

Lämpöä oletetaan tuotettavan lämpökattilalla, jonka hyötysuhde on 95 %. Taulukossa 22 on esitetty lämpökattilalla tuotettavissa oleva lämpöenergia kussakin tapauksessa.

Taulukko 22. Mädatettävän materiaalin energiasisällöt ja lämpökattilalla tuotettavissa oleva lämpöenergia kussakin tapauksessa

Kaasulähde	Energiasisältö		Lämpökattila	
	GWh/a		Lämpöenergia	
	min	max	min	max
<i>Toikansuo</i>	2	2	1,9	1,9
<i>Puhdistamo</i>	4	7	3,8	6,7
Yhteismädättämö				
<i>Kunnallinen</i>	12	17	11,4	16,2
<i>Jäte</i>	57	84	54,2	79,8
<i>Kaikki</i>	162	202	153,9	191,9

Lämpökattilan hyvän hyötysuhteen vuoksi lämpökattilalla saadaan tuotettua enemmän energiaa kuin mikroturbiinilla tai kaasumoottorilla.

5.3 Sähkön ja lämmön hyödyntäminen

Kaikissa vaihtoehtoisissa tarkastellaan tilannetta, jossa sähköllä katetaan ensin laitoksen oma sähköntarve ja mahdollinen ylijäävä sähkö myydään sähköverkkoon. Vastaavasti lämpöä käytetään ensin laitoksen omaan lämmöntarpeeseen ja mahdollisesti ylijäävä lämpö ohjataan kaukolämpöverkkoon, mikäli lämmölle on kysyntää.

Taulukossa 23 on esitetty ne energiamäärät, jotka jäävät käytettäväksi kussakin tapauksessa tuotettaessa energiaa kaasumootorilla, mikroturbiinilla tai lämpökattilalla, kun biokaasulaitoksen oma käyttö, 26 % tuotetusta energiasta, on huomioitu. Taulukossa on oletettu, että biokaasulaitoksen omakäyttö jakautuu siten, että siitä puolet on sähköä ja puolet lämpöä. Toikansuolta saatavan kaatopaikkakaasun energiamäärästä ei ole vähennetty mädätyslaitoksen oman käytön osuutta, koska se syntyy kaatopaikalla, ei mädättämössä.

Taulukko 23: Omaan käyttöön ja myyntiin jäävän sähköenergian ja lämpöenergian määrä, kun tuotetun energian määrästä on vähennetty biokaasulaitoksen toimintaan tarvittava energia, 26 % kokonaisenergiansaannosta

Kaasulähde	Energiantuotantotapa									
	Kaasumoottori				Mikroturbiini				Lämpökattila	
	Käyttöön jäävä sähköenergia GWh/a		Käyttöön jäävä lämpöenergia GWh/a		Käyttöön jäävä sähköenergia GWh/a		Käyttöön jäävä lämpöenergia GWh/a		Käyttöön jäävä lämpöenergia GWh/a	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
<i>Puhdistamo</i>	1,0	1,8	1,5	2,6	0,8	1,4	1,9	3,3	2,8	4,9
<i>Yhteismädättämö</i>										
<i>Kunnallinen</i>	3,2	4,5	4,7	6,5	2,5	3,5	6,1	8,5	8,9	12,4
<i>Jäte</i>	14,7	21,6	21,2	31,1	11,3	16,5	27,6	40,5	40,6	59,5
<i>Kaikki</i>	41,5	51,7	59,7	74,3	31,8	39,6	77,8	96,9	114,4	142,5

5.3.1 Jätevedenpuhdistamon ja biokaasupumppaamon omakäyttö

Jätevedenpuhdistamon nykyinen energiankäyttö on vuodessa 3000 MWh, josta sähkön osuus on 2500 MWh ja lämmön 500 MWh. Biokaasusta saatavasta energiasta osa kuluisi mädättämön pyörittämiseen ja loput saatavasta energiasta voitaisiin käyttää laitoksen oman sähkö- ja lämpöenergian tarpeeseen.

Mikäli jätevedenpuhdistamolla tuotettaisiin energiaa kaasumootorilla, saataisiin sähköä omaan käyttöön 1000 – 1800 MWh/a, joten puhdistamon sähköntuotannosta voitaisiin kattaa biokaasulla 33 – 60 %. Lämpöenergiaa saataisiin 1700 – 3000 MWh/a, joten kaikki puhdistamon tarvitsema lämpöenergia voitaisiin kattaa biokaasulla, ja lämpöenergiaa jäisi vielä 1200 – 2500 MWh/a, esimerkiksi myytäväksi kaukolämpöverkkoon.

Mikäli energiaa tuotettaisiin mikroturbiinilla, saataisiin sähköenergiaa 800 – 1400 MWh/a ja lämpöenergiaa 1900 – 3300 MWh/a. Sähköenergian tarpeesta saataisiin siis

katettua 32 – 56 % ja koko lämmöntarve. Lämpöä jäisi muuhun käyttöön 1400 – 2800 MWh/a. Mikäli tuotettaisiin vain lämpöenergiaa lämpökattilalla, saataisiin lämpöä 2800 – 4900 MWh/a, jolloin lämpöä saataisiin koko puhdistamon tarvitsema määrä ja sitä jäisi myytäväksi 2300 – 4400 MWh/a.

Puhdistamon lämpöenergiantarve voitaisiin siis kattaa kaikissa tapauksissa biokaasulla. Sähköenergiaa saadaan tuotettua hiukan enemmän kaasumootorilla kuin mikroturbiinilla, mutta joka tapauksessa sähköä jouduttaisiin vielä ostamaan ja lämpöä tuotettaisiin yli oman tarpeen.

Energiateollisuuden tilastojen mukaan Lappeenrannan energian myymän kaukolämmön hinta on 1.1.2010 alkaen 63,39 €/MWh (esimerkkiasikas, joka käyttää lämpöä 450 MWh/a) (Energiamarkkinavirasto 2010). Koska puhdistamon vuotuinen lämmönkulutus on 500 MWh, olisi lämmöntuotannosta biokaasulla koituva rahallinen säästö tällä hinnalla laskettuna noin 31 700 €/a.

Sähköenergian hinta on Suomessa ollut vuoden 2009 toisella puoliskolla 0,0683 €/kWh (asiakkaalle, jonka vuosikulutus on 500 – 2000 MWh/a) (Eurostat 2010). Tuotettaessa energiaa kaasumootorilla ostosähkön tarve vähenee 800 – 1400 MWh, jolloin säästetään noin 54 000 – 95 000 €/a. Tuotettaessa energiaa mikroturbiinilla ostosähkön tarve vähenee 1000 – 1800 MWh/a, jolloin säästetään noin 68 000 – 122 000 €/a.

Mikäli yhteismädättämö sijaitsisi puhdistamon yhteydessä, voitaisiin biokaasulla tuotettavaa sähköä ja lämpöä käyttää siinäkin tapauksessa ensin puhdistamon omaan tarpeeseen ja myydä ylijäävä energia. Tapauksessa ”kunnallinen” tuotettaessa energiaa kaasumootorilla käyttöön jäävä sähköenergia olisi 3100 – 4300 MWh/a, jolloin puhdistamon koko energiankulutus, sekä sähkö että lämpö voitaisiin kattaa biokaasusta saatavalla energialla ja sähköä jäisi myyntiin vielä 1100 – 2300 MWh/a. Mikroturbiinilla saataisiin tuotettua sähköä 2300 – 3300 MWh/a, joten myös mikroturbiinilla voitaisiin kattaa puhdistamon sähköenergian tarve, ja sähköä jäisi myös myyntiin 300 – 1300 MWh. Yleisesti ottaen sähköenergiaa on helpompi myydä kuin lämpöä, sillä sähköä voidaan syöttää verkkoon läpi vuoden, mutta lämmön tarve (kaukolämpö) on kesällä vähäisempi. Yhdistetty sähkön- ja lämmöntuotanto on siis perusteltua, ellei laitoksen läheisyydessä ole kohteita, joilla on ympäri vuoden suuri lämmöntarve.

Jos puhdistamo ei tarvitsisi lainkaan ostosähköä, niin säästö sähkön kulutuksen ollessa 2000 MWh/a olisi noin 136 000 €/a.

Taulukossa 24 on esitetty yhteenveto biokaasulaitoksen aikaansaamista säästöistä tapauksessa ”puhdistamo”, tuottaessa energiaa joko kaasumootorilla tai mikroturbiinilla. Taulukossa on oletettu, että mädätysjäännöstä ei viedä kompostoitavaksi vaan se hyödynnetään lannoitekäyttöön.

Taulukko 24: Saatavissa oleva rahallinen säästö mädätettäessä puhdistamolietettä puhdistamon yhteydessä sijaitsevalla biokaasulaitoksella, tuottaessa sähköä ja lämpöä kaasumootorilla tai mikroturbiinilla, tai lämpöä lämpökattilalla

Säästöt tapauksessa "puhdistamo" [1000 €]					
	Kaasumoottori		Mikroturbiini		Lämpökattila
	min	max	min	max	
Ostoenergian korvaaminen					
Sähköenergia	54	95	68	122	-
Lämpöenergia	32		32		32
Lietteenkäsittely					
Kuljetus	42		42		42
Kompostointi	615		615		615
Yhteensä	743	784	757	811	689

Taulukosta 24 nähdään, että tapauksessa ”puhdistamo” kaikkein merkittävin säästö saadaan, mikäli mädätysjäännös jalostetaan lannoitteeksi, jolloin sitä ei tarvitse kompostoida. Mikäli mädätysjäännös kompostoidaan, menetetään merkittävä säästöpotentiaali, joten mädätysjäännös tulisi pyrkiä saamaan hyötykäyttöön. Toiseksi merkittävin säästö saadaan jos tuotetaan sähköä, jolla voidaan korvata ostosähköä. Tältä kannalta tarkasteltuna eniten säästöä saadaan tuottaessa sähköä mikroturbiinilla, koska sen sähköntuotannon hyötysuhde on kaasumoottoria suurempi.

Toikansuon biokaasupumppaamon sähkönkulutus on noin 24 MWh/a ja lämmönkulutus 4 MWh/a. (Verho 4/2010) Pumppaamon oma energiankulutus on niin pieni, että kun tarkastelut tehdään yksikössä GWh, niin pyöristetty tulos on sama kuin energian saanto ennen oman käytön vähentämistä.

Mikäli yhteismädättäjä sijaitsisi puhdistamon yhteydessä, olisivat lietteenkäsittelystä saatavissa olevat säästöt samat kuin tapauksessa ”puhdistamo”, samoin säästö joka saa-

taisiin tuotettaessa biokaasulla puhdistamon tarvitsema lämpö. Lisäsäästöä saataisiin, koska kaikissa yhteismädättämötapauksissa puhdistamon koko sähköntarve saataisiin katettua biokaasulla. Taulukossa 25 on esitetty saatavissa olevat säästöt yhteismädättämöllä.

Taulukko 25. Saatavissa oleva rahallinen säästö puhdistamon yhteydessä tai läheisyydessä sijaitsevalla yhteismädättämöllä, tuotettaessa sähköä ja lämpöä kaasumoottorilla tai mikroturbiinilla, tai lämpöä lämpökattilalla

Säästöt tapauksessa "Yhteismädättäjä" [1000 €]		
	Kaasumoottori ja mikroturbiini	Lämpökattila
Ostoenergian korvaaminen		
<i>Sähköenergia</i>	136	-
<i>Lämpöenergia</i>	32	32
Lietteen käsittely		
<i>Kuljetus</i>	42	42
<i>kompostointi</i>	615	615
Yhteensä	825	689

Yhteismädättämöllä (kaikissa tapauksissa) saataisiin tuotettaessa CHP:tä säästöä 14 000 - 82 000 € enemmän kuin mädättämällä vain puhdistamoliete, koska puhdistamon sähkönkulutus saataisiin katettua biokaasulla. (Käytännössä biokaasulaitos on kytketty sähköverkkoon ja se ottaa kaiken tarvitsemansa sähkön sähköverkosta ja syöttää verkkoon kaiken tuottamansa kaasun.)

5.3.2 Omakäytöstä ylijäävän sähkön ja lämmön hyödyntäminen

Omasta käytöstä ylijäävä sähköenergia voidaan myydä sähköverkkoon. Sähköstä saatava hinta vaihtelee jatkuvasti, esimerkiksi aikavälillä 2.5. – 8.5.2010 sähköstä saatava hinta vaihteli 25 – 55,47 €/MWh. Päivittäiset keskiarvohinnat vaihtelivat samalla aikavälillä 39,35 – 50,96 €/MWh. Valitaan laskentaa varten likimain näiden keskiarvohintojen keskiarvo, 45 €/MWh. (Nord pool 2010b) Taulukossa 26 on esitetty kussakin tapauksessa ylijäävän sähköenergian määrä ja siitä saatavat myyntitulot, kun sähköä tuotetaan kaasumoottorilla. Toikansuolla kaikki sähkö oletetaan myytävän. Taulukossa ei ole puhdistamoita, koska siellä ei jää (laskennallisesti) sähköä myyntiin. Sähköstä saatavana minimihintana on käytetty 45 €/MWh ja maksimihintana syöttötariffiehdotuksen tavoitehintaa, 83,5 €/MWh.

Taulukko 26. Kaasumootorilla tuotetusta sähköstä myyntiin jäävä sähköenergia Toikansuolla sekä yhteismädättämöllä kussakin tapauksessa, kun puhdistamon sähköenergian tarve, 2 GWh/a, katetaan ensin, sekä sähkön myynnistä saatavissa olevat tulot

Kaasulähde	Kaasumoottori					
	Käyttöön jäävä sähköenergia GWh/a		Myyntiin jäävä sähköenergia GWh/a		Tulot sähkön myynnistä 1000 €/a	
	min	max	min	max	min	max
Toikansuo	1,7	1,7	1,7	1,7	77	77
Yhteismädättämö						
<i>Kunnallinen</i>	3,2	4,5	1,2	2,5	56	210
<i>Jäte</i>	14,7	21,6	12,7	19,6	572	1636
<i>Kaikki</i>	41,5	51,7	39,5	49,7	1776	4147

Taulukossa 27 on esitetty vastaavasti kussakin tapauksessa myyntiin jäävän sähköenergian määrä ja hinta tuottaessa sähköä mikroturbiinilla. Oletetaan, että kaikki Toikansuolla tuotettava sähköenergia myydään. Vaihtoehdossa puhdistamo sähköä ei jää myyntiin.

Taulukko 27. Mikroturbiinilla tuotetusta sähköstä myyntiin jäävä sähköenergia Toikansuolla sekä yhteismädättämöllä kussakin tapauksessa, kun puhdistamon tarvitsema sähköenergian tarve, 2 GWh/a, katetaan ensin, sekä sähkön myynnistä saatavissa olevat tulot

Kaasulähde	Mikroturbiini					
	Käyttöön jäävä sähköenergia GWh/a		Myyntiin jäävä sähköenergia GWh/a		Tulot sähkön myynnistä 1000 €/a	
	min	max	min	max	min	max
Toikansuo	1,8	1,8	1,8	1,8	81	81
Yhteismädättämö						
<i>Kunnallinen</i>	2,5	3,5	0,5	1,5	22	122
<i>Jäte</i>	11,3	16,5	9,3	14,5	417	1214
<i>Kaikki</i>	31,8	39,6	29,8	37,6	1340	3138

Lämmön hyödyntämismahdollisuudet riippuvat mädättämön sijoituspaikasta. Paras sijoituspaikka on sellainen, jossa on lämpöä tarvitsevia kohteita lähellä. Mädättämön sijoitusvaihtoehtoina voisivat tulla kysymykseen ainakin Toikansuon kaatopaikka ja jäteveden puhdistamo. Nämä sijaitsevat lähellä toisiaan, välimatka on vain hiukan yli 1 km. (Puhdistamo saattaa kuitenkin lähivuosina muuttaa) Mikäli kaasua halutaan käyttää sellaisenaan lämmöntuotantoon, se voidaan siirtää putkistoa pitkin suoraan lämpöä tarvitsevaan kohteeseen. Noin 1 – 3 km pituiset putket ovat kannattavia. (Latvala 2005 s. 12) Lämpöä tarvitsevia kohteita mainitulla etäisyydellä kyseisistä paikoista ovat Paroc, joka jo tällä hetkellä käyttää osan Toikansuolta saatavasta potentiaalista, mutta sen lämmön-

tarve ei ole riittävä käyttämään kaasua enempää. Tämän etäisyyden päässä sijaitsevat myös maakaasua käyttävä Ihalaisen lämpökeskus, joka ei kuitenkaan sovi biokaasun käyttökohteeksi, koska sillä tuotetaan vain varavoimaa. Lähellä on myös St1:n biodieselin jalostuslaitos, joka tällä hetkellä tuottaa tarvitsemansa energian puupelleteillä.

Toinen vaihtoehto lämmön hyödyntämiseen on tuottaa lämpöä kaukolämpöverkkoon. Suurin päästöhyöty saataisiin, mikäli UPM:n biovoimalaitoksen turpeen käyttöä voitaisiin vähentää biokaasulla tuotettua lämpömäärää vastaava määrä. Kappaleessa 6 on laskettu kuinka paljon tämä vähentäisi kasvihuonekaasupäästöjä kussakin tapauksessa.

Parocin tällä hetkellä kaatopaikkakaasusta maksama hinta on sidottu maakaasun hintaan siten, että kaasun metaanipitoisuus ratkaisee siitä satavat tulot.

Lämmöstä saatavat tulot voivat vaihdella arviolta 0 € (mikäli lämpöä ei hyödynnetä) ja Hagmanin ym. (2009 s. 21) arvioiden mukaan 25 €/MWh välillä. CHP-laitoksessa lämmöstä voitaisiin saada tuloja 50 €/MWh, mikäli hitos kuuluisi ehdotetun syöttötariffin piiriin ja mikäli lämpö saataisiin käytettyä hyödyksi. Taulukossa 28 on esitetty oman käytön jälkeen (puhdistamon lämmöntarve 0,5 GWh/a) kussakin tapauksessa myytäväksi jäävän lämmön määrä ja siitä saatavissa olevat maksimitulot kussakin tapauksessa, kun lämmön hinnaksi arvioidaan yhdistetyssä sähkön- ja lämmön tuotannossa minimi-tapauksessa 25 €/MWh ja maksimitapauksessa 50 €/MWh Lämpökattilalla tuotetun lämmön hinnaksi arvioidaan 25 €/MWh.

Taulukko 28. Lämmöstä saatavissa olevat maksimitulot oman käytön jälkeen

Kaasulähde	Kaasumoottori				Mikroturbiini				Lämpökattila			
	Käyttöön jäävä lämpöenergia GWh/a		Maksimitulot lämmöstä 1000 €/a		Käyttöön jäävä lämpöenergia GWh/a		Maksimitulot lämmöstä 1000 €/a		Käyttöön jäävä lämpöenergia GWh/a		Maksimitulot lämmöstä 1000 €/a	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
Toikansuo	1,0	1,0	25	25	1,3	1,3	32	32	1,9	1,9	48	48
Puhdistamo	1,0	2,1	25	105	1,4	2,8	35	140	2,3	4,4	58	110
Yhteismädättämö												
Kunnallinen	4,2	6,0	105	300	5,6	8,0	140	400	8,4	11,9	210	298
Jäte	20,7	30,6	518	1530	27,1	40,0	678	2000	40,1	59,0	1003	1475
Kaikki	59,2	73,8	1480	3690	77,3	96,4	1933	4820	113,9	142,0	2848	3550

Täytyy huomioida, että taulukon 27 hinnat ovat todellakin ehdottomasti maksimimääriä, sillä varsinkin kesällä kaiken lämmön hyödyntäminen voi olla vaikeaa.

5.4 Biokaasun syöttö maakaasuverkostoon

Jotta biokaasua voitaisiin syöttää maakaasuverkostoon, se on käsiteltävä kaasun jalostuslaitoksessa (konsentroidulaitoksessa), jotta se saadaan vastaamaan ominaisuuksiltaan maakaasua. Samanlainen laitos tarvitaan myös, mikäli biokaasua halutaan käyttää ajoneuvojen polttoaineena. Biokaasun jalostuslaitoksia myy Suomessa esimerkiksi Sarlin Oy. Laitoksia on eri kokoluokkia, pienin soveltuu maksimissaan kaasuntuotannolle 80 m³/h ja suurin 2000 m³/h. Taulukossa 29 on esitetty Lappeenrannassa eri tapauksissa tuotettavissa oleva kaasumäärä yksikössä m³/h.

Taulukko 29. Energiasisällön perusteella tuotettavissa oleva kaasumäärä kussakin tapauksessa yksikössä m³/h

Kaasulähde	Kaasumäärä 1000 m ³ /a		Kaasumäärä m ³ /h	
	min	max	min	max
Toikansuo	500	500	57	57
Puhdistamoliete	613	1126	70	129
Kunnallinen	2087	2844	238	325
Jäte	8738	12243	997	1398
Kaikki	24038	28243	2744	3224

Mikäli halutaan hankkia kaasun jalostuslaitos, voidaan taulukon 29 tietojen avulla arvioida tarvittava laitoksen kapasiteetti. Tuotettua kaasuyksikköä kohti alhaisimmat puhdistuskustannukset saavutetaan, mikäli käsiteltävä kaasumäärä on mahdollisimman suuri. Biokaasun syöttämiseksi maakaasuverkostoon täytyy rakentaa liityntäputki, jonka rakennuskustannukset ovat sitä alhaisemmat, mitä lähempänä biokaasulaitosta maakaasuputki kulkee. Tarkasteltavista sijoituspaikoista Toikansuon biokaasupumppaamolta etäisyys maakaasuputkeen on noin 1,25 - 1,5 km ja jätevedenpuhdistamolta vain 250 – 500 m.

Taulukossa 30 on esitetty jalostuslaitoksen käytön kuluttaman energian osuus saatavilla olevasta kokonaisenergiasta. Jalostuslaitoksen energiankulutusta on arvioitu Suomessa myynnissä olevien jalostuslaitosten energiankulutusten avulla. Tapauksissa ”Toikansuo”, ”Puhdistamo” ja ”Kunnallinen” on käytetty arvioinnin pohjana sellaisen jalostuslaitoksen tietoja, jonka kapasiteetti raakakaasulle on 400 m³/h. Toikansuon tapauksessa riittäisi tätä pienempi laitos, joten kulutukseksi on arvioitu neljännes tämän laitoksen energiankulutuksesta, ja tapauksessa ”Puhdistamo” puolet tämän laitoksen kulutuksesta. Tapauksessa ”Jäte” on käytetty kahden raakakaasun käsittelykapasiteetilta 800 m³/h laitoksen yhteenlaskettua energiankulutusta ja tapauksessa ”Kaikki” neljän käsittelykapasiteetilta 800 m³/h laitoksen yhteenlaskettua energiankulutusta. (Kulutustietoja on saatavissa kahdesta laitoksesta ja näiden tietojen perusteella energiankulutus näyttäisi olevan melko suoraan verrannollinen jalostuslaitoksen kokoon.) Raakakaasun käsittelykapasiteetilta 400 m³/h jalostuslaitoksen kokonaistehontarve on 86,3 kW. Laitoksen vuotuisen käyttöajan ollessa 8350 h vuosikulutus on noin 721 MWh/a. Raakakaasun käsittelykapasiteetilta 800 m³/h jalostuslaitoksen kokonaistehontarve on 176 kW. Laitoksen vuotuisen käyttöajan ollessa 8350 h vuosikulutus on noin 1470 MWh/a.

Taulukko 30. Biokaasun jalostuslaitoksen energiankulutus kussakin tapauksessa sekä jalostuslaitoksen energiankulutuksen osuus energiasisällöstä

Kaasulähde	Energiasisältö GWh/a		Jalostuslaitoksen energiankulutus GWh/a	Osuus energiasisällöstä % (min ja max tapauksissa)	
	min	max		min	max
<i>Toikansuo</i>	2	2	0,18	9,0	9,0
<i>Puhdistamo</i>	4	7	0,361	9,0	5,2
Yhteismädättämö					
<i>Kunnallinen</i>	12	17	0,721	6,0	4,2
<i>Jäte</i>	57	84	2,94	5,2	3,5
<i>Kaikki</i>	162	202	5,88	3,6	2,9

Myös mädättömö kuluttaa osan kaasusta saatavasta energiasta, 26 % kuten edellä on esitetty. Taulukossa 31 on vähennytty kaasun energiasisällöstä jalostuslaitoksen käyttämä sähköenergia ja mädättämön kuluttama sähkö- ja lämpöenergia. Energiaa on oletettu tuotettavan kaasumoottorilla, jonka kokonaishyötysuhde on 84 % ja sähköntuotannon hyötysuhde 41 %.

Taulukko 31. Maakaasuverkostoon syötettäväksi jäävän kaasun energiasisältö kun kaasusta on tuotettu ensin kaasumootorilla biokaasulaitoksen tarvitsema sähkö- ja lämpöenergia, 26 % kokonaisenergiasta, sekä biokaasun jalostuslaitoksen tarvitsema sähköenergia

Kaasulähde	Energiasisältö GWh/a		Energiankulutukset GWh/a			Energia	
			Mädättäjä 26 %		Jalostus- laitos	käyttöön GWh/a	
	min	max	min	max		min	max
<i>Toikansuo</i>	2	2	-	-	0,18	1,6	1,6
<i>Puhdistamo</i>	4	7	1,04	1,82	0,361	1,9	4,0
Yhteismädättäjä							
<i>Kunnallinen</i>	12	17	4,6	5,9	0,721	4,8	8,2
<i>Jäte</i>	57	84	16,3	23,32	2,94	30,4	49,1
<i>Kaikki</i>	162	202	43,6	54	5,88	95,8	123,4

Taulukon 31 käyttöön jäävän energian avulla voidaan laskea kuinka paljon jalostettua kaasua jää syötettäväksi maakaasuverkostoon. Metaanipitoisuus saadaan olettamalla metaanin energiasisällöksi 10 kWh/m³. Kaasun määrä saadaan puhtaan metaanin pitoisuudesta olettamalla puhdistetun kaasun metaanipitoisuudeksi 95 – 99 %. Taulukossa 32 on laskettu maakaasuverkostoon syötettäväksi jäävä kaasumäärä, sekä arvioitu kaasun rahallista arvoa maakaasun myyntihinnan avulla, joka on huhtikuussa 2010 ollut 22,76 €/MWh kaikenlaisille asiakkaille. (Energiamarkkinavirasto 2010) Oletetaan laskelmissa biokaasun rahalliseksi arvoksi 22 €/MWh

Taulukko 32. Maakaasuverkostoon syötettävissä olevan biokaasun määrä ja sen arvioitu rahallinen arvo

Kaasulähde	Energia käyttöön GWh/a		Metaania 1000 m ³ /a		Puhdistettua kaasua m ³ /a		Kaasun arvo 1000 €/a	
	min	max	min	max	min	max	min	max
<i>Toikansuo</i>	1,6	1,6	156	156	158	164	34	34
<i>Puhdistamo</i>	1,9	4,0	188	395	190	415	41	87
Yhteismädättäjä								
<i>Kunnallinen</i>	4,8	8,2	477	822	481	863	105	181
<i>Jäte</i>	30,4	49,1	3042	4907	3073	5152	669	1079
<i>Kaikki</i>	95,8	123,4	9575	12337	9671	12954	2107	2714

5.5 Biokaasun ajoneuvokäyttö

Kaupunki voisi perustaa oman, joko nopea- tai hidastankkausaseman, jolla se voisi tankkata omia ajoneuvojaan, tai myydä kaasua myös yksityisille. Hidastankkausasema soveltuisi vain kaupungin ajoneuvojen tankkaamiseen, sillä tankkaus kestää yön yli. Biokaasua pystyisivät tankkaamaan kaikki kaupungissa tällä hetkellä olevat kaasuautot. (niitä on, sillä kaupungissa on Gasumin kaasuntankkausasema). Lisäksi bensa- ja dieselautoja voitaisiin muuttaa biokaasukäyttöiseksi. (esim. kaupungin omat ajoneuvot) Biokaasun tankkausasemia myy Suomessa esimerkiksi Sarlin Oy. Myös biokaasun jalostaminen ajoneuvokäyttöön tapahtuu biokaasun jalostuslaitoksessa. Tässä kappaleessa on oletettu, että kaasu puhdistetaan edellisessä kappaleessa kuvatulla biokaasun jalostuslaitoksella, eli ajoneuvokäyttöön soveltuvaa kaasua saadaan saman verran kuin maa-kaasuverkostoon syötettäväksi soveltuvaa kaasua. Taulukossa 33 on esitetty, kuinka monta ajoneuvoa voitaisiin vuodessa tankkata puhdistetulla ja jalostetulla biokaasulla.

Taulukko 33. Henkilöautojen ja bussien lukumäärä, joiden vuotuinen polttoainekulutus voitaisiin kat-
taa puhdistetulla biokaasulla

Kaasulähde	Kaasumäärä 1000 m ³ /a		Henkilöautoja kpl/a		Busseja kpl/a	
	min	max	min	max	min	max
Toikansuo	158	164	76	79	5	5
Puhdistamoliete	190	415	91	200	6	13
Kunnallinen	481	863	231	415	15	27
Jäte	3073	5152	1478	2478	98	164
Kaikki	9671	12954	4651	6230	308	413

Henkilöautojen määrä on laskettu olettaen, että yhden auton vuotuinen kulutus on 2097,47 m³ kaasua ja yhden bussin 31 400 m³/a. Nämä lukuarvot on laskettu biokaasun tuottajan käsikirjassa esitetystä taulukosta. (Åbo Akademi 2008 s. 17) Taulukossa ei ole ilmoitettu, kuinka paljon yhdellä autolla tai bussilla on oletettu ajettavan vuodessa. Mikäli halutaan tietää, kuinka pitkän matkan ajoon saatavissa oleva kaasumäärä riittäisi, sitä voidaan arvioida markkinoilla olevien biokaasujoneuvojen kulutuksen perusteella. Kulutus vaihtelee tietysti paljon automallista riippuen. Se voi olla esimerkiksi 4,2 – 8,7 m³/100 km (Lampinen 2008 s. 11) Jos valitaan tarkastelujen kohteeksi henkilöautoista Volvon Bi-fuel auto malli S60, jonka kaasunkulutus on 8,2 m³/100 km ja Neoplan hyb-

ridibussi, jonka kulutus on $18 \text{ m}^3/100 \text{ km}$, saadaan lasketuksi arvio siitä, kuinka paljon tuotettavissa olevalla kaasumäärällä voitaisiin ajaa.

Taulukko 34. Kilometrimäärä, jonka ajamiseen puhdistettu ja jalostettu biokaasu riittäisi vuodessa ajettavissa henkilöautolla tai bussilla

Kaasulähde	Puhdistettu kaasu 1000 m ³ /a		Ajoa henkilöautolla 1000 km/a		Ajoa bussilla 1000 km/a	
	min	max	min	max	min	max
Toikansuo	158	164	1923	1999	876	911
Puhdistamoliete	190	415	2317	5062	1056	2306
Kunnallinen	481	863	5869	10523	2674	4794
Jäte	3073	5152	37474	62830	17072	28623
Kaikki	9671	12954	117941	157977	53729	71967

Mikäli biokaasulaitoksella olisi oma jakeluasema, voisivat biokaasusta saatavat tulot olla 60 €/MWh myytäessä sitä ajoneuvokäyttöön. Hinta perustuu Gasumin liikennekäyttöön myymän maakaasun hintaan. (Hagström ym. 2009 s. 21) Taulukossa 35 on esitetty ajoneuvopolttoaineeksi jalostetun kaasun myynnistä saatavissa olevat tulot. Laskelmissa polttoaineen energiasisältö on sama kuin maakaasuverkostoon syötettäväksi jäävän kaasumäärän energiasisältö (taulukko 30).

Taulukko 35. Tuotettavissa oleva ajoneuvopolttoaineen määrä ja siitä saatavissa olevat tulot, mikäli kaupungilla olisi oma jakeluasema

Kaasulähde	Ajoneuvopolttoaineen energiasisältö GWh/a		Tulot polttoaineen myynnistä 1000 €/a	
	min	max	min	max
Toikansuo	1,6	1,6	94	94
Puhdistamo	1,9	4,0	113	237
Yhteismädättämö				
Kunnallinen	4,8	8,2	286	493
Jäte	30,4	49,1	1825	2944
Kaikki	95,8	123,4	5745	7402

5.6 Mädätteen käsittely ja hyödyntäminen

Mädätyksessä syntyvä mädätysjäännös kuivataan ja kuivauksessa syntynyt jätevesi johdetaan puhdistamolle. Jäljelle jäänyt mädäte stabiloidaan jollain stabilointimenetelmällä.

Kappaleessa 2.6.5 on kuvattu mädätteen käsittely- ja hyödyntämistapoja. Edellä on myös esitetty arvioita siitä, kuinka paljon voitaisiin säästää, mikäli jätevesilietettä ei tarvitsisi kompostoida, vaan se voitaisiin mädättää. Yksi mädätteen stabilointikäsittelyvaihtoehto on kompostointi, mutta mädätteen käsittelyksi riittää laitoskompostointia edullisempi prosessi, aumakompostointi. Yksi mädätteen hyödyntämismuutoksen vaihtoehto on peltolevitys. Se kuinka paljon peltoalaa tarvitaan, jotta kaikki mädäte saadaan käytettyä hyödyksi lannoitteena, riippuu siitä kuinka paljon lietteessä on typpeä ja fosforia, sillä eri kasveille on määritelty enimmäislannoitusmäärät hehtaaria kohti typelle ja fosforille. Typen ja fosforin määrä mädätteessä riippuu lähtöaineiden typpi- ja fosforipitoisuuksista, sillä ne jäävät mädätteeseen.

Mikäli biokaasun tuotantoa varten kasvatettaisiin ruokohelpeä (tapaus ”kaikki”), olisi yksi vaihtoehto mädätteen hyödyntämiselle sen käyttäminen näiden ruokohelpipeltojen lannoittamiseen, koska lannoitteen hygieenisuusvaatimukset eivät ole niin suuria, jos lannoitetaan sellaisia kasveja, joita ei ole tarkoitettu ihmisten tai eläinten ravinnoksi. (Latvala 2005 s. 8)

Taulukossa 36 on lueteltu taulukon 37 typen ja fosforin kokonaismäärien laskemisessa käytetyt typpi- ja fosforipitoisuudet mädätettäville materiaaleille.

Taulukko 36. Mädätettävien materiaalien typpi- ja fosforipitoisuudet

Jäte/raaka-aine	Typen määrä ja yksikkö	Fosforin määrä ja yksikkö
Puhdistamoliete (4 % ka.)	46 g/kg ka.	20 g/kg ka.
Biojäte	2,6 % (ka.)	4900 ppm (ka.)
Puutarhajäte	3,4 % (ka)	3500 ppm (ka.)
Naudan lanta	1,2 kg/m ³	0,6 kg/m ³
Sian lanta	2,9 kg/m ³	1 kg/m ³
Siipikarjan lanta	5,1 kg/m ³	3,5 kg/m ³
Hevosien lanta	0,4 kg/m ³	0,6 kg/m ³
Viljojen oljet	25 g/kg	4,75 g/kg
Energiakasvit (ruokohelppi)	3,75 g/kg	1,25 g/kg

Taulukossa 36 esitetyt fosforin ja typen määrät on saatu seuraavista lähteistä: Puhdistamoliete (Moisio 2009). Tiedot perustuvat lietteestä vuonna 2008 tehtyjen mittaustulosten keskiarvoihin. Biojäte ja puutarhajäte (Tchobanoglous ym. 1993 s. 80 – 87) Ruokajätteen kuiva-ainepitoisuudeksi on oletettu 30 % ja puutarhajätteen 35 %. Eläinten lan-

nat (Hagström 2009 s. 10) Viljojen oljet ja ruokohelpi (Nummela ja Tuononen 2009 s.10, 24 - 26)

Viljojen olkien sisältämä typpipitoisuus on laskettu viljojen lannoituksen mukaan, eli on oletettu, että viljan korjuussa poistuva ravinnemäärä on sama kuin lannoitemäärä. Typpilannoituksen vuotuinen määrä on Etelä-Suomessa savi- ja hiesumaille kevätvehnälle 120 kg/ha/a ja muille viljalajeille 100 kg/ha/a, muunlaisessa maaperässä vastaavat lannoitusmäärät ovat 110 ja 90 ja 70 ja 60 kg/ha/a. Lannoitusta suunniteltaessa, mikäli maaperää ei ole tutkittu, käytetään savi- ja hiesumaiden lannoitusmääriä. Oletetaan laskennassa kaiken viljan typpilannoitusmääräksi 100 kg/ha/a (Nummela ja Tuononen 2009 s. 10, 24) (Lappeenrannassa viljellään myös kevätvehnää, mutta tällä oletuksella saadaan laskelma totuudenmukaisemmaksi, sillä suurempi osa ravinteista kertyy todennäköisesti viljan jyviin uutta kasvua varten, kuin se määrä mikä jää olkiin.) Koska vuotuiset viljasadot ovat 4000 kg/ha (Nummela ja Tuononen 2009 s. 10), on viljan sisältämän typen määrä 25 g/kg. Fosforilannoituksen enimmäismäärä ohralle, kauralle, vehnälle ja seosviljalle on 19 kg/ha/a viljavuusluokaltaan tyydyttävälle maille (arvioidaan keskimääräiseksi viljavuusluokaksi). Viljasadon ollessa 4000 kg/ha fosforin määrä on 4,75 g/kg. Energiakasvien eli ruokohelven sisältämä lannoitemäärä on määritelty samalla tavalla, ruokohelven lannoitusmääriin perustuen. Energiakäyttöön kasvatettavalle ruokohelvelle typpilannoituksen enimmäismäärä on perustamisvuonna 60 kg/ha/a ja satovuosina 90 kg/ha/a. Edellä on oletettu ruokohelpisadon suuruudeksi 24 000 – 38 000 kg/ha, jolloin ruokohelven typpipitoisuus satovuonna olisi 24 000 kg/a sadon mukaan laskettuna 3,75 g/kg ruokohelpeä. Ruokohelven fosforilannoituksen enimmäismäärä on perustamisvuonna 50 kg/ha/a ja satovuosina 30 kg/ha/a. Ruokohelven sisältämäksi fosforimääräksi saadaan 1,25 g/kg.

Taulukossa 37 on esitetty syntyvän lietteen määrä (sisältää mädätteen ja jäteveden), sekä lietteen sisältämän fosforin ja typen määrät kussakin tapauksessa. Biokaasun paino on laskettu arvioimalla biokaasun koostumukseksi 50 % metaania ja 50 % hiilidioksidia. Koska metaanin tiheys on 0,72 kg/m³ ja hiilidioksidin 1,98 kg/m³, biokaasun tiheytenä on käytetty 1,35 kg/m³.

Taulukko 37. Mädätysjännöksen määrä ja mädätteen sisältämän typen ja fosforin määrät

	Sisään	Ulos				
	Jäte/raaka- aine t/a	Biokaasu 1000 m ³ /a	Biokaasu t/a	Liete (mädäte+vesi) t/a	Typpi (N) t/a	Fosfori (P) t/a
Puhdistamo						
Puhdistamoliete (4 % ka.)	49452	870	1174	48278	91	40
Kunnallinen						
Puhdistamoliete (4 % ka.)	49452	870	1174	48278	91	40
Kunnallinen biojäte	5099	1061	1432	3667	40	7
Puutarhajäte	281	36	48	233	3	0,3
Kunnallinen yhteensä	54832	1966	2653	52179	134	47
Jäte						
Kunnallinen yhteensä	54832	1966	2653	52179	134	47
Teollisuuden biojäte	1886	393	530	1356	15	3
Naudan lanta	54351	1305	1762	52589	65	33
Sian lanta	8912	325	439	8473	26	9
Siipikarjan lanta	3325	208	280	3045	14	10
Hevosien lanta	1351	130	176	1176	1	1
Viljojen oljet	18000	5665	7648	10352	450	86
Jäte yhteensä	142657	9991	13487	129170	705	188
Kaikki						
Jäte yhteensä	142657	9991	13487	129170	705	188
Energiakasvit (ruokohelpi)	68400	15650	21128	47273	257	86
Kaikki yhteensä	211057	25641	34615	176442	961	274

Taulukossa 38 esitetään kuinka paljon peltoalaa mädätteen levittämiseksi tarvittaisiin, mikäli lannoitettaisiin viljakasveja, joiden typpilannoituksen enimmäismäärä on 100 kg/ha/a ja fosforilannoituksen 19 kg/ha/a. lisäksi kohdassa ”Kaikki” on laskettu kuinka suuri määrä ruokohelpipeltoa tarvittaisiin mädätteen levittämistä varten.

Taulukko 38. Mädätteen levitykseen tarvittava peltoala

Mädättämövaihtoehto	Typpi (N) t/a	Fosfori (P) t/a	Peltoala ha viljakasvit (N)	Peltoala ha viljakasvit (P)	Peltoala ha ruokohelpi (N)	Peltoala ha ruokohelpi (P)
Puhdistamo	91	40	910	2105		
Kunnallinen	134	47	1340	2474		
Jäte	705	188	7050	9895		
Kaikki	961	274	9610	14421	10678	9133

Vuonna 2009 Lappeenrannassa kasvatettiin viljakasveja 13 250 ha alalla. Viljakasveja ja rypsiä (hiukan suuremmat lannoitusmäärät kuin viljakasveilla) viljeltiin yhteensä 14 150 ha alalla. Kesantopeltojen ala vuonna 2010 oli 2850 ha. (Heinola 2010) Tapauksissa ”puhdistamo”, ”kunnallinen” ja ”jäte” syntyvä mädäte saataisiin levitettyä pelloille joilla kasvatetaan viljakasveja. Tapauksessa ”kaikki” voitaisiin osalla mädätettä lannoit-

taa mädätettäväksi kasvatettavaa ruokohelpeä ja osalla viljakasveja (ja rypsiä). Lisäksi Lappeenrannassa kasvatetaan viljeltyä nurmea 6200 ha alalla ja perunaa, juurikasveja ja vihanneksia 200 ha alalla. (Heinola 2010) Myös näiden lannoittaminen (mädätteen asianmukaisen käsittelyn jälkeen, kuten muissakin tapauksissa) mädätteellä olisi mahdollista.

5.7 Herkkyystarkastelu

Tässä työssä on tarkasteltu kaasun- ja energiansaannon minimi- ja maksimimääriä. Lisäksi jokaisessa taulukossa on esitetty tarkasteltavat asiat minimi- ja maksimitilanteissa. Siltä osin herkkyystarkastelu sisältyy lähes jokaiseen taulukkoon, joten suurella todennäköisyydellä, vaikka jokin lähtötieto muuttuisi, todellinen tilanne olisi kuitenkin tarkasteluvälillä. Muutoksia voisi aiheuttaa jätemäärien muuttuminen oletetusta tilanteesta, joka useimmissa tapauksissa pohjautuu vuoden 2008 jätetilastoihin. Yhteismädättämön vaihtoehdoista vaihtoehto ”Jäte” perustuu myös minimitapauksessa oletukseen, että kaikkien vähintään 10 eläintä käsittävien tilojen lanta saadaan käsittelyyn. Kyse on siis suurimmasta mahdollisesta jätemäärästä, mikä käsittelyyn oletetaan voitavan saada. Mikäli lantoja alettaisiin käsitellä mädättämällä, olisi todennäköisempää, että niistä saataisiin mädätettäväksi jokin tietty osuus. Tapaus ”Kaikki” perustuu oletukseen, että kaikki mahdollinen käsiteltävissä oleva jäte ja kaikki kesannolla olevilla pelloilla kasvatettavissa olevat energiakasvit saataisiin käsittelyyn. Kaikki kesantopellot oletetaan siis saatavan energiakasvien kasvatukseen ja sopimus kaikkien kasvattajien kanssa energiakasvien myymisestä mädätettäväksi. Todellisuudessa energiakasveja todennäköisesti saataisiin jokin osa esitetystä määrästä. Voi myös olla mahdollista, että käsittelyyn voitaisiin saada sellaisiakin jätteitä tai raaka-aineita, joita ei työssä ole otettu huomioon. Esimerkiksi tällä hetkellä Cloetta-Fazerin sokeripitoisesta jätteestä tehdään bioetanolia, mutta siitä voitaisiin tehdä myös biokaasua.

Jätteiden ja raaka-aineiden määrien muutokset vaikuttavat kaikkiin tuloksiin. Säästöihin vaikuttavat kompostointimaksun suuruus ja energian hinnat (puhdistamon oman käytön kattamisesta saataviin säästöihin). Energian hinnat vaikuttavat myös energian myynnistä saatavissa oleviin tuloihin. Kompostointimaksun muutos vaikuttaa myös jätteistä saata-

van porttimaksun suuruuteen, porttimaksu ei saisi olla (ainakaan paljon) suurempi kuin kompostointimaksu. Porttimaksut ovat laitoksen tärkein tai vähintään yksi tärkeimmistä tulonlähteistä. Myös lainsäädäntö vaikuttaa laitoksen kannattavuuteen. Jos esimerkiksi ehdotettu syöttötariffi toteutuu, sähkön tuotannosta tulee paljon houkuttelevampi vaihtoehto kuin ilman tariffia. Ajoneuvokäyttötapauksessa öljyn hinta vaikuttaa kaasun houkuttelevuuteen bensaan ja dieseliin verrattuna. Myös kaasujoneuvojen hinnat ja saatavuus, sekä jälkiasennusten saatavuus ja hinnat vaikuttavat ajoneuvokaasun kysyntään, mikäli kaasua aiotaan myydä myös ulkopuolisille. (Eikä esimerkiksi käyttää kaasua vain kaupungin ajoneuvoissa) Maakaasuverkostoon syöttö ja kaasusta siinä tapauksessa saatavat tulot ovat Gasumin kanssa sovittavia asioita ja Gasumin mukaan tässä tilanteessa ei voida määritellä kaasun hintaa, eikä myöskään mitään minimi- tai maksimimäärää verkostoon syötettävälle kaasulle. (koska biokaasuun hyödyntämiseen liittyvä lainsäädäntö on muuttumassa) Tapauksissa on oletettu biokaasusta saatavaksi sama hinta kuin maakaasusta. Biokaasusta on kuitenkin Gasumille imagoetua, joten siitä saatava hinta voisi hyvinkin olla korkeampi.

6 BIOKAASUN TUOTANNON VAIKUTUKSET KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖIHIN

VTT on selvittänyt erilaisten bio- ja sekajätteen käsittelyvaihtoehtojen vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin. Tämänhetkistä jätteenkäsittelytilannetta vastaa eniten tutkittu vaihtoehto: ”Biojätteen erilliskeräys ja kompostointi + kaatopaikkasijoitus”, jossa biojäte kompostoidaan ja muu jäte sijoitetaan kaatopaikalle. Tässä vaihtoehdossa kasvihuonekaasupäästöt ovat 474 kg CO₂-ekvivalenttia yhdyskuntajätteen kuiva-ainetonnina kohti. Edellisessä kappaleessa käsitellyistä mädätysvaihtoehdoista tapausta ”kunnallinen” voisi vastata eniten VTT:n tutkimuksessa esiintyvä vaihtoehto: ”Biojätteen erilliskeräys ja anaerobinen käsittely + kaatopaikkasijoitus”, jossa biojäte mädätetään ja mädätyksestä syntyvä biokaasu poltetaan ja käytetään hyödyksi omissa prosesseissa, sekä myymällä ulkopuolisille. Tässä vaihtoehdossa laskennallisiksi kasvihuonekaasupäästöiksi on saatu 431 kg CO₂-ekvivalenttia yhdyskuntajätteen kuiva-ainetonnina kohti. Mikäli biojäte mädätettäisiin, vähenisivät jätteenkäsittelyketjun kasvihuonekaasupäästöt VTT:n tutkimuksen mukaan 43 kg CO₂-ekvivalenttia yhdyskuntajätteen kuiva-ainetonnina kohti. Las-

kelmissä kompostoinnin ja mädätyksen kasvihuonekaasupäästöt on arvioitu samansuuruisiksi, itse mädätyksen jätteenkäsittelymenetelmänä ei siis ole oletettu vähentävän kasvihuonekaasupäästöjä kompostointiin verrattuna. Päästöjen vähenemän on oletettu tulevan siitä, että mädättämällä tuotetulla biokaasulla korvataan fossiilista polttoainetta. Tässä tapauksessa vertailu on tehty olettamalla, että biokaasulla korvataan öljyä kaukolämmön tuotannossa. (Pipatti ym. 1996 s. 41 – 42)

Mahdollinen päästöjen vähenemä syntyy siis suurimmalta osalta silloin, mikäli biokaasulla tuotetulla energialla korvataan jotain fossiilista polttoainetta. Tämä päästövähenemä on sitä suurempi, mitä suurempi on korvattavan polttoaineen CO₂-päästökerroin. Esimerkiksi maakaasun CO₂-päästökerroin on 55,8 g CO₂/MJ, öljyn 80 g CO₂/MJ ja turpeen 104,9 g CO₂/MJ. (Pipatti ym. 1996 s. 41; KTM 1999 s. 18)

Mikäli oletettaisiin, että Lappeenrannassa tuotetun biokaasun ansiosta voitaisiin UPM:n biovoimalassa käytettävän turpeen osuutta pienentää biokaasusta saatavaa energiamäärää vastaavasti, vähenisivät kasvihuonekaasupäästöt taulukossa 39 esitetyn mukaisesti.

Taulukko 39. Päästöjen vähentämismahdollisuus tuottaessa energiaa kaasumootorilla, mikroturbiinilla tai lämpökattilalla ja korvattaessa turvetta (kaikki energia oletetaan käytettävän hyödyksi)

	Päästövähenemä t_{CO2}/a korvattaessa turvetta					
	Kaasumoottori		Mikroturbiini		Lämpökattila	
Kaasulähde	min	max	min	max	min	max
<i>Toikansuo</i>	49	49	53	53	55	55
<i>Puhdistamo</i>	72	127	78	137	82	143
Yhteismädättämö						
<i>Kunnallinen</i>	230	321	249	347	260	363
<i>Jäte</i>	1045	1534	1132	1662	1182	1735
<i>Kaikki</i>	2947	3672	3192	3977	3333	4152

Päästöjen vähentämismahdollisuus kussakin tapauksessa on laskettu kertomalla kussakin tapauksessa biokaasulaitoksella laitoksen oman energiankulutuksen kattamisen jälkeen jäljelle jäävä energiamäärä turpeen (oikeaan yksikköön muutetulla) päästökertoimella.

Mikäli biokaasulla korvattaisiin maakaasua, esimerkiksi jos sitä poltettaisiin sellaisessa kohteessa, jossa muuten poltettaisiin maakaasua, vähenisivät kasvihuonekaasupäästöt taulukossa 40 esitetyllä tavalla.

Taulukko 40. Päästöjen vähentämismahdollisuus tuottaessa energiaa kaasumoottorilla, mikroturbiinilla tai lämpökattilalla ja korvattaessa maakaasua (kaikki energia oletetaan käytettävän hyödyksi)

Kaasulähde	Päästövähennelmä t_{CO_2}/a korvattaessa maakaasua					
	Kaasumoottori		Mikroturbiini		Lämpökattila	
	min	max	min	max	min	max
<i>Toikansuo</i>	26	26	28	28	29	29
<i>Puhdistamo</i>	39	67	42	73	43	76
Yhteismädättämö						
<i>Kunnallinen</i>	122	171	133	185	138	193
<i>Jäte</i>	556	816	602	884	629	923
<i>Kaikki</i>	1568	1953	1698	2116	1773	2209

Mikäli biokaasua syötettäisiin maakaasuverkostoon, voidaan päästövähennelmä laskea taulukon 32 tietojen ja maakaasun päästökertoimen avulla. (Eli oletetaan, että maakaasua tarvittaisiin jalostettua biokaasua vastaava määrä vähemmän) Tulokset on esitetty taulukossa 41.

Taulukko 41. Päästöjen vähentämismahdollisuus kun biokaasu syötetään maakaasuverkostoon ja sillä oletetaan korvattavan maakaasua

Kaasulähde	Päästövähennelmä syötettäessä biokaasua maakaasuverkostoon			
	Energia käyttöön GWh/a		Päästövähennelmä t_{CO_2}/a	
	min	max	min	max
<i>Toikansuo</i>	1,6	1,6	24	24
<i>Puhdistamo</i>	1,9	4,0	29	61
Yhteismädättämö				
<i>Kunnallinen</i>	4,8	8,2	74	127
<i>Jäte</i>	30,4	49,1	472	761
<i>Kaikki</i>	95,8	123,4	1484	1912

Käytettäessä biokaasua ajoneuvojen polttoaineena, riippuu mahdollisuus vähentää päästöjä siitä, kuinka suuret päästöt niissä autoissa on, joiden sijasta oletetaan käytettävän kaasuautoja, tai minkälaiset päästöt niissä autoissa on, joista tehdään bi-fuel autoja. Vuonna 2000 Suomessa ensirekisteröityjen bensiiniautojen keskimääräinen CO_2 -päästö oli noin 185 g/km, kun taas dieselautojen keskimääräinen päästö oli hiukan alle 180 g/km. Tästä eteenpäin dieselautojen keskimääräinen CO_2 -päästö on kasvanut voimakkaasti vuoteen 2006 asti ja bensiinikäyttöisten autojen vähentynyt tasaisesti. Vuonna 2009 tilanne on ollut se, että bensiini- ja dieselautojen CO_2 -päästöt ovat olleet yhtä suuret, hiukan alle 160 g/km. (Trafi 2010) Koska todellisuudessa ei voida tietää, kuinka suuri osa korvattavista autoista on dieselautoja ja kuinka suuri bensiiniautoja, voidaan käyttää vertailukohteena vuoden 2009 ensirekisteröityjen autojen keskimääräistä CO_2 -

päästöä, 160 g/km. Tällöin saatu arvio mahdollisuudesta vähentää CO₂-päästöjä on mallillinen, koska on todennäköistä, että osa korvattavista autoista on rekisteröity ennen vuotta 2009, jolloin niiden päästöt ovat suurempia kuin uusien autojen. Korvattaessa dieseliä biokaasulla voidaan päästöjä vähentää 95 % ja korvattaessa bensiiniä 96 %. Koska Bensiiniautojen päästöt ovat laskeneet dieselautojen tasolle, käytetään arvioissa 95 % päästövähennemää.

Taulukko 42. Päästöjen vähentämismahdollisuudet kussakin tapauksessa korvattaessa biokaasulla bensaatai dieseliä

Kaasulähde	Ajoa henkilöautolla		Päästöt bensa tai diesel t _{CO2} /a		Päästövähennemä	
	1000 km/a		diesel t _{CO2} /a		95 %, t _{CO2} /a	
	min	max	min	max	min	max
Toikansuo	1923	1999	308	320	292	304
Puhdistamoliete	2317	5062	371	810	352	769
Kunnallinen	5869	10523	939	1684	892	1599
Jäte	37474	62830	5996	10053	5696	9550
Kaikki	117941	157977	18870	25276	17927	24013

Toikansuon biokaasupumppaamalla voitaisiin hyödyntää kaasua vuodessa noin 500 000 m³, sitä hyödynnetään kuitenkin vain noin 300 000 m³. Kaasun metaanipitoisuus vaihtelee jatkuvasti, ja myös vuosikeskiarvo on kunakin vuonna ollut tähän asti erilainen. Mikäli oletetaan kaasun metaanipitoisuudeksi 50 %, olisi hyödyntämättä jääneen kaasun, 200 000 m³, metaanisisältö 100 000 m³/a. Koska metaanin tiheys on 0,72 kg/m³, on vuotuinen metaanipäästö Toikansuolta noin 72 000 kg. Metaanin CO₂-ekvivalenttipäästö on 21-kertainen hiilidioksidiin verrattuna (Kara ym. 2004 s. 139 - 141). CO₂-ekvivalenteiksi muutettuna päästö on siis (72 000 kg * 21) = 1 512 t CO₂-ekv. Tämän verran päästöjä voitaisiin vähentää vuodessa, mikäli kaikki kaatopaikkakaasu käytettäisiin hyödyksi.

Lappeenrannan kaupungin päästöjä vähennystavoitteita on käsitelty kappaleessa 1.1.2. Siinä laskelmat on tehty oletuksella, että kaupunki vähentää kasvihuonekaasupäästöjään 20 % vuoden 1990 tasosta. Kaupunki on kuitenkin ilmasto-ohjelmassaan päättänyt vähentää kasvihuonekaasupäästöjään 30 % vuoden 1990 tasosta. Vuoden 1990 päästöt olivat 401 000 t CO₂-ekv., josta 30 % on 120 300 t CO₂-ekv. Erillistavoitteeksi on asetettu, että liikenteen päästöt vähenevät 15 % vuoden 1990 tasosta. Vuonna 1990 liikenteen päästöt olivat 102 000 t CO₂-ekv. ja tästä 15 % on 15 300 t CO₂-ekv. Muiden osa-

alueiden, eli Energiantuotannon- ja kulutuksen, Maa- ja karjatalouden ja Jätehuollon vähentämistavoitteiksi jää siis 105 000 CO₂-ekv.

Taulukkoon 43 on koottu yhteenveto biokaasulla saavutettavissa olevasta päästöjenvähennyspotentiaalista energiantuotannossa ja syötettäessä kaasua maakaasuverkoston, sekä esitetty kuinka suuri osuus päästöjenvähennystavoitteesta voitaisiin kussakin tapauksessa kattaa biokaasulla. Kohtiin ”Toikansuo” sekä kaikkiin yhteismädättämön vaihtoehtoihin on lisätty kussakin tapauksessa 1 512 t CO₂-ekv päästövähennys, joka saavutettaisiin kaikissa tapauksissa, joissa kaikki Toikansuolta saatava kaasu käytettäisiin hyödyksi. Toikansuon kaasu voitaisiin todennäköisesti yhdistää myös puhdistamon mädättämöltä saatavaan biokaasuvirtaan, mutta sitä on tässä työssä tarkasteltu vain yksin tai yhdistettynä yhteismädättämöltä saatavaan kaasuvirtaan. Sekä kohdissa ”Korvattaessa turvetta” että ”Korvattaessa maakaasua” päästöjenvähennyksen minimi on kaasumootorilla saavutettavissa oleva päästöjenvähennyspotentiaalinen minimi ja päästöjenvähennyksen maksimi lämpökattilalla saavutettavissa oleva maksimi päästöjenvähennys.

Taulukko 43. Päästöjen vähennysmahdollisuuksien minimi- ja maksimimäärät korvattaessa biokaasulla turvetta tai maakaasua, sekä päästöjen vähennysmahdollisuuksien osuudet päästöjen vähennystavoitteesta 105 000 t CO₂-ekv. (Energiantuotannon- ja kulutuksen, Maa- ja karjatalouden ja Jätehuollon päästöjenvähennystavoite)

Kaasulähde	Päästövähennys kussakin tapauksessa t _{CO2} /a											
	korvattaessa turvetta		% tavoitteesta 105 000 t CO ₂ -ekv.		korvattaessa maakaasua		% tavoitteesta 105 000 t CO ₂ -ekv.		syötettäessä biokaasua maakaasuverkostoon		% tavoitteesta 105 000 t CO ₂ -ekv.	
	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
<i>Toikansuo</i>	1561	1567	1,5	1,5	1538	1541	1,5	1,5	1536	1536	1,5	1,5
<i>Puhdistamo</i>	72	143	0,1	0,1	39	76	0,04	0,07	29	61	0,03	0,06
Yhteismädättämö												
<i>Kunnallinen</i>	1742	1875	1,7	1,8	1634	1705	1,6	1,6	1586	1639	1,5	1,6
<i>Jäte</i>	2557	3247	2,4	3,1	2068	2435	2,0	2,3	1984	2273	1,9	2,2
<i>Kaikki</i>	4459	5664	4,2	5,4	3080	3721	2,9	3,5	2996	3424	2,9	3,3

Taulukossa 44 on verrattu biokaasun käytöllä ajoneuvojen polttoaineena saavutettavissa olevia päästövähennyksiä Lappeenrannan liikenteen päästöille asetettuun päästöjenvähentämistavoitteeseen, sekä laskettu biokaasun polttoainekäytöllä saavutettavissa oleva kokonaispäästövähennys, jossa on huomioitu Toikansuolta saatavan kaatopaikkakaasun

hyödyntämisen ansiosta vältettävä metaanipäästö. Tätä päästöjen kokonaisvähentämispotentiaalia on verrattu Lappeenrannan kokonaispäästöjä vähentämistavoitteeseen.

Taulukko 44. Päästöjen vähentämismahdollisuudet, sekä niiden osuudet Lappeenrannan liikenteen päästöjen vähentämistavoitteesta tuottaessa biokaasusta ajoneuvojen polttoainetta, sekä ajoneuvojen polttoainetta tuottaessa saavutettavissa oleva päästöjen vähennysmahdollisuus (jossa on huomioitu myös Toikansuolla vältettävä metaanipäästö) yhteensä, sekä sen osuus Lappeenrannan päästöjen kokonaisvähentämistavoitteesta

Kaasulähde	Ajoneuvokäytössä		% tavoitteesta		Ajoneuvokäytössä		% kokonais-	
	(polttoaine)	t CO ₂ -ekv.	15 300 t CO ₂ -ekv.		(yhteensä)	t CO ₂ -ekv.	tavoitteesta	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Toikansuo	292	304	1,9	2,0	1804	1816	1,5	1,5
Puhdistamo	352	769	2,3	5,0	352	769	0,3	0,6
Yhteismädättämö								
Kunnallinen	892	1599	5,8	10,5	2404	3111	2,0	2,6
Jäte	5696	9550	37,2	62,4	7208	11062	6,0	9,2
Kaikki	17927	24013	117,2	156,9	19439	25525	16,2	21,2

Taulukosta 44 nähdään, että liikenteelle asetettu päästöjen vähentämistavoite, 15 300 t CO₂-ekv. voitaisiin tapauksessa ”Kaikki” kattaa biokaasulla kokonaan ja jopa ylittää tämä tavoite. Myös muissa tapauksissa osuudet ovat merkittäviä. Kappaleessa 1.1.2 oli arvioitu, että uusiutuvilla ajoneuvopolttoaineilla voitaisiin saavuttaa 1000 t CO₂-ekv päästöjen vähennys. Tämä voitaisiin saavuttaa yhteismädättämössä lähes kaikissa tapauksissa, vain tapauksessa ”Kunnallinen” jäätäisiin minimitalouksessa hiukan tämän alle. Myös tapauksessa ”Puhdistamo” voitaisiin saavuttaa tämä tavoite, mikäli puhdistamolietteestä saatava kaasu ja Toikansuon kaatopaikkakaasu yhdistettäisiin. Kappaleessa 1.1.2 oli myös esitetty aikaisemmin tehdyssä diplomityössä (Huttula 2007 a) esitetty arvio, jonka mukaan voitaisiin saavuttaa 15 000 t CO₂-ekv. suuruinen päästöjen vähennys korvaamalla maakaasua biokaasulla. Kuten kappaleen lopussa jo arvioitiin, tämä ei ole mahdollista, sillä maksimitapauksessakin, jos kaikki saatavissa oleva materiaali mädätettäisiin ja sillä korvattaisiin maakaasua, vähentyisivät päästöt kuitenkin vain 3721 t CO₂-ekv. Korvattaessa turvetta voitaisiin päästöjä vähentää jonkin verran enemmän turpeen korkeamman päästökertoimen ansiosta, mutta silloinkin maksimissaan vain 5664 CO₂-ekv. Sähkön- ja lämmön tuotannossa, korvattaessa fossiilisia polttoaineita ei siis ole saavutettavissa kovinkaan suuria päästömäärien vähennyksiä, ei myöskään syötettäessä biokaasua maakaasuverkostoon, mikäli laskennallisesti oletetaan, että biokaasulla korvataan silloin maakaasua.

Jos ajatellaan, että maakaasuverkostoon syötetty maakaasu ohjattaisiin liikennekäyttöön ja sillä korvattaisiin bensaa ja dieseliä, olisivat päästöjä vähentämismahdollisuudet paljon suuremmat, vastaavat kuin taulukossa 43. Mikäli biokaasua syötettäisiin maakaasuverkostoon, olisi todennäköisin (laskennallinen) käyttökohde ajoneuvojen polttoaine, koska verkonhaltija Gasum on näin suunnitellut. Joka tapauksessa selvästi merkittävin päästöjen vähentämispotentiaali sisältyy biokaasun käyttöön ajoneuvojen polttoaineena, maksimissaan jopa 25 525 CO₂-ekv. Tavoite 15 000 CO₂-ekv. vähemmän päästöjä on siis mahdollista saavuttaa biokaasun avulla, mutta ei sillä tavalla kuin oli alun perin ajateltu, vaan käyttämällä biokaasua ajoneuvojen polttoaineena.

Biokaasun hyödyntämisellä voitaisiin vaikuttaa myös maatalouden päästöihin, lietelannan mädättämisellä voitaisiin vähentää metaani- ja ammoniakkipäästöjä. Lisäksi päästöt vähenisivät, mikäli mädätettä hyödynnettäisiin lannoitteena, koska teollisten lannoitevalmisteiden tarve vähenisi. Näiden päästöjen määriä ei kuitenkaan tässä yhteydessä arvioida.

7 YHTEENVETO

Biokaasua voitaisiin tuottaa Lappeenrannassa jätevedenpuhdistamon jätevesilietteestä, Lappeenrannan alueella erilliskerätystä biojätteestä (teollisuuden ja kotitalouksien biojätteestä), puutarhajätteestä, kotieläinten lietelannoista, viljojen oljista ja biokaasun tuotantoa varten tuotetuista, kesantopelloilla kasvatetuista energiakasveista (tässä työssä tarkastellaan biokaasun tuotantoon kasvatettavana kasvina ruokohelpeä). Lappeenrannassa myös kerätään tällä hetkellä kaatopaikkakaasua suljetulla Toikansuon kaatopaikalla. Kaasua voitaisiin tuottaa mädättämällä em. materiaaleja siihen tarkoitukseen rakennetussa mädättämössä (eli biokaasulaitoksessa). Sellaista mädättämöä, jossa käsitellään puhdistamolietteen lisäksi muitakin materiaaleja, kutsutaan yhteismädättämöksi. Mädätyksessä syntyy biokaasua, mädätettä eli mädätysjäännöstä ja jätevesiä.

Mädättämö voisi sijaita esimerkiksi jätevedenpuhdistamon läheisyydessä tai Toikansuon biokaasupumppaamon läheisyydessä. Muutkin sijoituspaikat voisivat olla mahdollisia, mutta sijainnista jätevedenpuhdistamon läheisyydessä saataisiin monia etuja, kuten

säästöjä kuljetuskustannuksissa, koska puhdistamolietettä ei tarvitsisi kuljettaa mädätettäväksi. Myös mädätettäessä syntyvät jätevedet olisi helppo käsitellä puhdistamolla ja mädätysjäännöksen kuivaamiseen voitaisiin käyttää puhdistamolla olevaa linkoa, jolla tällä hetkellä kuivataan jätevesiliete. Mädätettävistä materiaaleista riippuen biokaasua voitaisiin tuottaa 613 000 – 28 243 000 m³. Pienin kaasumäärä saataisiin vaihtoehdossa, jossa mädätettäisiin vain puhdistamoliete, suurin mikäli mädätettäisiin kaikki edellä mainitut materiaalit ja lisäksi lisättäisiin mädättämökaasuun Toikansuon biokaasupumppaamolta saatava kaatopaikkakaasu. Toikansuon biokaasupumppaamolla vuonna 2008 hyödyksi käytettävä kaatopaikkakaasumäärä oli 300 000 m³, kaasua olisi kuitenkin saatavissa hyötykäyttöön arviolta 500 000 m³.

Biokaasua voitaisiin hyödyntää tuottamalla siitä sähköä ja lämpöä mikroturbiinilla tai kaasumoottorilla tai pelkästään lämpöä lämpökattilalla. Kaasu voitaisiin myös jalostaa maakaasua vastaavaksi ja syöttää maakaasuverkkoon tai käyttää sitä ajoneuvojen polttoaineeksi. Saatavissa olevan biokaasun energiasisältö on 6 – 202 GWh/a.

Taulukoihin 45 – 47 on koottu keskeisimpien biokaasun hyödyntämistapojen olennaisimmat tiedot.

Taulukko 45. Mädättämön oman energiankulutuksen kattamisen jälkeen hyödynnettäväksi jäävä sähkö ja lämpö sekä saatavissa olevat kulut ja tuotot yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa

Biokaasulaitos	Yhdistetty sähkön- ja lämmön tuotanto				
	Sähkö GWh/a	Lämpö GWh/a	Tulot 1000 €/a	Säästöt 1000 €/a	Tulot + säästöt 1000 €/a
Toikansuo	0,6 - 0,8	0,9 - 1,2	77 - 113	2	79 - 115
Puhdistamo	0,8 - 1,8	1,5 - 3,3	0 - 140	743 - 811	743 - 881
Kunnallinen	2,5 - 4,5	4,7 - 8,5	277 - 865	825	1102 - 1690
Jäte	11,3 - 21,6	21,2 - 40,5	767 - 3986	825	1592 - 4811
Kaikki	31,8 - 51,7	59,7 - 96,9	1690 - 9317	825	2515 - 10142

Taulukko 46. Biokaasun syöttö maakaasuverkostoon: energia, tulot ja säästöt

Biokaasulaitos	Biokaasun syöttö maakaasuverkostoon			
	Kaasun energiasisältö GWh/a	Tulot 1000 €/a	Säästöt 1000 €/a	Tulot + säästöt 1000 €/a
Toikansuo	1,6	34	-	34
Puhdistamo	1,9 - 4	41 - 87	657	698 - 744
Kunnallinen	4,8 - 8,2	360 - 436	657	1017 - 1093
Jäte	30,4 - 49,1	1019 - 1429	657	1676 - 2086
Kaikki	95,8 - 123,4	2457 - 3064	657	3114 - 3721

Taulukko 47. Biokaasun ajoneuvokäyttö: polttoaineen määrä, kuinka monen henkilöauton vuotuisen kulutukseen riittää, tulot ja säästöt

Biokaasulaitos	Biokaasun jalostus ajoneuvojen polttoaineeksi			
	Polttoainetta 1000 m ³ /a	Henkilöautoja kpl/a	Tulot 1000 €/a	Tulot + säästöt 1000 €/a
Toikansuo	158 - 164	76 - 79	94	94
Puhdistamo	190 - 415	91 - 200	113 - 237	770 - 894
Kunnallinen	481 - 863	231 - 415	541 - 748	1198 - 1405
Jäte	3073 - 5152	1478 - 2478	2175 - 3294	2832 - 3951
Kaikki	9671 - 12954	4651 - 6230	6095 - 7752	6752 - 8409

Maakaasuputkeen syötettävän ja ajoneuvojen polttoaineeksi jalostetun kaasun määrä ja energiasisältö ovat samat

Taulukko 48. Biokaasun tuotannon kasvihuonekaasupäästöjä vähentävä vaikutus korvattavasta polttoaineesta riippuen

Biokaasulaitos	Päästöjen vähentämismahdollisuudet t CO ₂ -ekv.		
	Turve	Maakaasu	Bensa tai diesel
Toikansuo	49 - 55	24 - 29	292 - 304
Puhdistamo	72 - 143	29 - 76	352 - 769
Kunnallinen	230 - 363	74 - 193	892 - 1599
Jäte	1045 - 1735	474 - 923	5696 - 9550
Kaikki	2947 - 4152	1484 - 2209	17927 - 24013
Lisäksi 1512 t CO ₂ -ekv. vältetty metaanipäästö			

8 SUOSITUKSET

Mikäli energian tuottamisen kannattavuutta tarkastellaan energian tarpeen mukaan, niin ”varmintä” on tuottaa sähköä. Suurimmat tulot ovat saatavissa jalostamalla kaasu ajoneuvojen polttoaineeksi. Mikäli syöttötariffi toteutuu sellaisena kuin on ehdotettu, niin suurimmat tulot voidaan saada yhteismädättämöllä yhdistetyssä sähkön- ja lämmön tuotannossa, mikäli myös lämpö käytetään hyödyksi. Mikäli pyritään vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä mahdollisimman paljon, on paras vaihtoehto ehdottomasti biokaasun jalostaminen ajoneuvojen polttoaineeksi, päästöjenvähennyspotentiaali on yli kymmenkertainen muihin vaihtoehtoihin verrattuna. Myös Toikansuolta saatavan kaatopaikkakaasun käyttöä pitäisi pyrkiä lisäämään, koska vältettävä metaanipäästö on merkittävä. Polttoaineen kysyntä saataisiin varmistettua muuttamalla kaupungin omia ajoneuvoja biokaasukäyttöiseksi, tai hankkimalla uusia kaasuautoja. Mahdollisesti ylijäävästä kaasusta voitaisiin tuottaa sähköä sähköverkkoon. Kannattavuuden tarkempaa tutkimista varten laitevalmistajille kannattaa tehdä tarjouspyynnöt niistä kaasunhyödyntämisvaihtoehdoista, joita halutaan miettiä tarkemmin. Mädätteen käsittelykustannuksilla on myös suuri merkitys biokaasulaitoksen kannattavuuteen, eri vaihtoehtojen kustannukset tulee selvittää. Mädäte pitäisi pyrkiä hyödyntämään lannoitteena.

LÄHTEET

Aakko-Saksa Päivi, Nylund Nils-Olof. 2007. TEC TransEnergy Consulting Oy *Liikenteen polttoainevaihtoehdot. Kehitystilanneraportti. Laaja versio*. 31.10.2007. 124 s. Tutkimuksen tilaaja: VTT saatavilla <http://www.motiva.fi/files/954/liikenteen-polttoainevaihtoehdot----kehitystilanneraportti.pdf> viitattu 17.12.2008 ja 5.3.2010

Aalto Aimo, Broadstreet Nina, Kantola Helena, Kuusisto Risto, Lemström Bettina, Mattila Ilpo, Vainio-Mattila Birgitta. 2007 *Biokaasulla tuotettavan sähkön syöttötariffi Suomessa – Perusteita järjestelmän toteuttamiselle Työryhmän mietintö* PDF tiedosto 75 s. saatavilla: http://www.tem.fi/files/18256/Biokaasutariffi_tr_raportti_191207.pdf viitattu

Böjesson Pål, Berglund Maria. 2006 Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production. Environmental and Energy Systems Studies LTH, Lund University. Elsevier Ltd. 13 s.

Capstone 2008. Preliminary product datasheet: Renewable CR65 & CR65-ICHP Microturbine Performance Specifications ja Renewable CR200 Microturbine Performance Specifications (mikroturbiinien tuote-esitteet)

Deuplein Dieter, Stenhauser Angelika (toim.) 2008. *Biogas from Waste and Renewable Resources An introduction*. Viley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim ISBN: 978-3-527-31841-4

Energiamarkkinavirasto 2010 a. Kaukolämmön hinnat tyyppitaloissa eri puolilla Suomea **Kaukolämmön hinnat 1.1.2010** (excel-taulukko, päivitetty 10.3.2010) Saatavilla: http://www.energia.fi/content/root%20content/energiatollisuus/fi/tilastot/kaukol%20A4mp%20B6tilastot/kaukolammon_hinta/kaukolammonhinnat.html?SectionUri=%2ffi%2ftilastot%2fkaukolampotilastot viitattu 26.4.2010

Energiamarkkinavirasto 2010 b. Maakaasun keskihintojen kehitys 4/2010 saakka. Saatavilla: <http://www.emvi.fi/data.asp?articleid=1878&pgid=188> viitattu 11.5.2010

Energiateollisuus ry 2009 *Energiavuosi 2008 SÄHKÖ.*
<http://www.energia.fi/fi/ajankohtaista/lehdistotiedotteet/energiavuosi%202008%20s%C3%A4hk%C3%B6.html> viitattu 2.2.2009

Eurostat 2010. Electricity - industrial consumers - half-yearly prices - New methodology from 2007 onwards päivitetty 23.04.2010. Saatavilla:
http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=nrg_pc_205&lang=en viitattu 26.4.2010

Finlex 2010. Ajantasainen lainsäädäntö. saatavilla:
[http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/haku.php?search\[type\]=pika&search\[pika\]=biokaasu*&submit=Hae](http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/haku.php?search[type]=pika&search[pika]=biokaasu*&submit=Hae). viitattu 10.3.2010

Gustafsson Magnus, Stoor Robert, Åbo Akademi 2008 *Biokaasun hyödyntämisen käsikirja-jätteestä energiaksi ja polttoaineeksi* PBI-Research Institute for Project-Based Industry, Åbo Akademin Teollisuustalouden laboratorio. Newprint, Raisio 2. painos 5/2008. ISBN 978-952-99076-5-6. 38 s.

Hagström Markku, Vartiainen Eero, Vanhanen Juha 2005. *Biokaasun maatilatuotannon kannattavuusselvitys* loppuraportti 31.8.2005. Gaia Group Oy. Helsinki. 77 s. saatavilla:
http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/5AvoD1wwP/Biokaasun_maatilatuotannon_kannattavuusselvitys_julkinen.pdf

Hagström Markku, Hiltunen Jari, Huuskonen Urpo 2009. *Uusiutuva energia ja Hyvinvään asuntomessut selvitys* loppuraportti 9.12.2009. Gaia Consulting Oy. 39 s.

Halonen Petri, Satu Helynen, Martti Flyktman, Esa Kallio, Markku Kallio, Teuvo Paapanen & Pirkko Vesterinen 2003. Toimitus Leena Ukskoski. *Bioenergian tuotanto- ja käyttöketjut sekä niiden suorat työllisyysvaikutukset*, VTT tiedotteita 2229, Otamedia Oy, Espoo 2003. ISBN 951-38-6195-3 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Heinola Jaakko 2010. Sähköpostiviestin (9.4.2010) liite:Lpr:n kaupungin peltoalat ja kasvijätteen määrät, pinta-alat v. 2009.

Hellgren Matti & Heikkinen Lauri & Suomalainen Lauri & Kala Janne. 1999. *Energia ja ympäristö*. Opetushallitus. Haakapaino Oy, Helsinki. 3. tarkistettu painos 199 s. [Ensimmäinen painos xxxx] ISBN 952-13-0546-0

Huttula Jenni 2007a. *Lappeenrannan ilmasto-ohjelma vuoteen 2020 – luonnos* Tutkimustyö Lappeenrannan teknillinen yliopisto (kannessa: Selvitys Lappeenrannan kaupungin kasvihuonekaasupäästötaseesta ja esitys päästöjen vähentämispotentiaalista vuoteen 2020) 42 s 18 kuvaa 13 taulukkoa 2 liitettä.

Huttula Jenni 2007b. *Kasvihuonekaasupäästölaskenta kunnassa*. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Ympäristötekniikan koulutusohjelma. 95 sivua, 13 kuvaa, 41 taulukkoa ja 3 liitettä

Ilmastoraportin esittely 19.2.2009. Ilmastotalkoot osa 2. Tapahtuman ohjelmalehtinen, jossa ilmastohankkeen lyhyt esittely.

Jääskeläinen Ari 2010. Lehdistötiedotteet SAVON VOIMA: Esiselvitys Pieksämäen biokaasutuslaitoksesta Perjantai 19.02.2010 14:12 Hellink Tiedote 19.2.2010. saatavilla: <http://www.kauppalehti.fi/5/i/yritykset/lehdisto/hellink/tiedote.jsp?selected=kaikki&oid=20100201/12665816206990&industry=&> viitattu: 26.3.2010

Kara Mikko, Helynen Satu, Mattila Lasse, Viinikainen Seppo, Ohlström Mikael, Lahnammi Milka (toimituskunta) 2004. (useita kirjoittajia) *Energia Suomessa Tekniikka talous ja ympäristövaikutukset*. VTT prosessit. Edita Prima Oy Helsinki. 3. täysin uudistettu painos 396 s. ISBN 951-37-4256-3

Kuittinen Ville, Huttunen Markku J., Leinonen Simo 2008. *Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 11 Tiedot vuodelta 2007*. Joensuun yliopisto, Ekologian tutkimusinstituutin raportteja N:o 4 Yliopistopaino Joensuu 2008 ISBN 978-952-219-190-8. 77 s.

KTM 1984 *Kaatopaikkojen biologisesti hajoavan aineksen energiasisällön hyödyntäminen* Kauppa- ja teollisuusministeriö Energiaosasto Sarja D:67 Ekono Oy Helsinki 1984 Valtion painatuskeskus ISBN 951-46-8455-9. 50 s.

KTM 1987 *Kaatopaikkakaasun käyttöönottokokeilu Helsingissä Vuosaaren kaatopaikalla* Kauppa- ja teollisuusministeriö Energiaosasto Sarja D:134 Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta (YTV) Ekono Oy Helsinki 1987 Valtion painatuskeskus ISBN 951-47-0824-5 107 s., 4 liites.

KTM 23/1999 Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto. Tuhkanen Sami, Pipatti Riitta. *Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelman ympäristövaikutusten arviointi*. Kauppa- ja teollisuusministeriön tutkimuksia ja raportteja. Oy Edita Ab 83 s. ISBN 951-739-520-5

KTM 2/2003 Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto. *Kansallisen ilmastostrategian toteutus*. Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisuja. Edita Publishing Oy 54 s. ISBN 951-739-712-7

KTM 5/2003 *Uusiutuvan energian edistämishjelma 2003 – 2006 Työryhmän ehdotus*. Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä- ja toimikuntaraportteja 5/2003. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Uusiutuvan energian työryhmä: puheenjohtaja Erkki Eskola, sihteeri Nina Broadstreet ja Jukka Saarinen. Edita Publishing Oy ISBN 951-739-718-6. 56 s.

KTM 2005. *Uusiutuvan energian lisäysmahdollisuudet vuoteen 2015*. saatavilla: [http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/E5063805F1B754D5C22570190028414D/\\$file/34642005.pdf](http://julkaisurekisteri.ktm.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/all/E5063805F1B754D5C22570190028414D/$file/34642005.pdf) viitattu 48 s.

Kymäläinen M., Lähde K., Kaarnakoski M., Pirttijärvi T., Kautola H. (HAMK), Arnold M. (VTT), Kurola J., Romantschuk M. (HY) *Biogasification of biowaste and sewage sludge – measurement of biogas quality*. HAMK University of Applied Sciences, VTT, Emission Control and University of Helsinki, Department of Ecological and Environmental Sciences, Lahti (HY) saatavilla: http://portal.hamk.fi/portal/page/portal/HAMK/Tutkimus_ ja_ kehitys/Osaamiskeskittymat/Bioketju/ADOPT_Biokaasun_laadun_hallinta PDF dokumentti 10 s.

Lampinen, Ari 2008. *Liikennebiokaasulainsäädäntö*. Vaasan yliopisto. Palvelututkimus 8/2008. Lévon-instituutti. 211 s. Saatavilla: <http://www.uwasa.fi/midcom-admin/ais/midcom-serveattachment-7860/biokaasua%20nettiinXz.pdf>

Lappeenrannan kaupunki 2009. *Ilmasto-ohjelma*. Lappeenrannan seudun ympäristötoimi, johtaja Ilkka Räsänen, projekti-insinööri Virpi Valkeapää. Saatavilla: <http://www.lappeenranta.fi/?deptid=16895>. 15 s.

Larjola, Jaakko 2003. Julkaisussa Luentomoniste ENTE Syyslukukausi 2003 040200000 Energiatekniikan peruskurssi, vastuuhenkilöt Kivistö Aija, Koskelainen Lasse, Kaikko Juha, Kyrki-Rajamäki Riitta, Backman Jari ja Salo, Jussi. A4860 Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Aalef. 458 s.

Larjola, Jaakko 2005. (luentomoniste) En2120300 Energianmuuntoprosessit Osa 4 Kaasuturbiinit Yhdistetyt voimalaitokset ORC, HAT, STIG, Kalina, syksy 2005. Lappeenrannan teknillinen yliopisto Energia- ja ympäristötekniikan osasto. L212 Digipaino 2005. 84 s.

Latvala Markus 2005. *Jätevesilietteen anaerobinen käsittely ja biokaasun hyötykäyttö*. Jyväskylän teknologiakeskus Oy, Kauppa- ja teollisuusministeriö, Teknologiakeskus Hermia ja vesi- ja viemärlaitosyhdistys. Tampere 2005. saatavilla: http://www.motiva.fi/files/492/jatevesilietteen_anaerobinen_kasittely_ja_biokaasun_hyotykyaytto.pdf 20 s.

Latvala Markus 2009. Paras käytettävissä oleva tekniikka (BAT) Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. Suomen ympäristö 24/2009 Suomen ympäristökeskus Edita Prima Oy, Helsinki 2009. ISBN 978-952-11-3497-5. 114 s.

Lehtomäki Annamari, Paavola Teija, Luostarinen Sari, Rintala Jukka. 2007 *Biokaasusta energiaa maatalouteen – Raaka-aineet, teknologiat ja lopputuotteet*. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 85. Jyväskylä innovation Oy. ISBN 978-951-39-3076-9 64 s. Saatavilla: <http://www.biokaasufoorumi.fi/> (kohdasta julkaisuja)

Lohiniva Elina, Mäkinen Tuula, Sipilä Kai 2001 VTT Tiedotteita 2081 *Lietteiden käsittely Uudet ja käytössä olevat tekniikat* Valtion teknillinen tutkimuskeskus Otamedia Oy Espoo ISBN 951-38-5796-4 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

saatavilla <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2001/T2081.pdf> PDF- tiedosto 160 s.

Maakaasuyhdistys r.y. 2008 *Maakaasuyhdistyksen vuosikirja 2007 – 2008*. toim. Kauppinen Hannu. Libris Oy 2008. ISSN 0786-2342. 69 s.

Mennola Riitta 2006 *Teknillisen biokemian perusteet* kurssin Ke3310300 luentomoniste Lappeenrannan teknillinen yliopisto Kemianteeniikan osasto Digipaino L358 187 s.

Moisio Riitta 2009. Sähköpostiviesti 27.3.2009. (Tietoja lietteestä diplomityötä varten, postin liitteenä: Lappeenrannan vesi Oy Toikansuon jätevedenpuhdistamo Viemäri-tilien laatu- ja ympäristötilien tarkkailu v. 2008)

Moisio Riitta 2010. Sähköpostiviesti 25.3.2010 (Tiedot puhdistamon energiankulutuksesta sekä lietteen kuljetus- ja kompostointikustannuksista)

Mustermann Max 2008. *Product presentation TCG 2020* 10.12.2008. MWM. 18 s.

Mykkänen Eeli 2009. *Kooste biokaasulaitosten kannattavuusselvityksistä Keski-Suomessa*. Selvitykset tehty Biokaasusta energiaa Keski-Suomeen-hankkeessa vuosina 2008 - 2009. Jyväskylä Innovation Oy Joulukuu 2009. 10 s. Saatavilla: [http://www.keskisuomi.fi/filebank/11444-](http://www.keskisuomi.fi/filebank/11444-Biokaasulaitosten_kannattavuusselvitykset_Jyvaskya_Innovation_Oy_12_2009.pdf)

[Biokaasulaitosten kannattavuusselvitykset Jyvaskya Innovation Oy 12 2009.pdf](http://www.keskisuomi.fi/filebank/11444-Biokaasulaitosten_kannattavuusselvitykset_Jyvaskya_Innovation_Oy_12_2009.pdf)

Niiranen, Veli-Heikki 2008. *Maakaasun uudet tuulet. Maakaasua autoihin, laivoihin, Turkuun*. Maakaasupäivät Turussa 26.11.2008. Gasum Oy Espoo. Luentokalvot 37 s. Saatavilla: <http://www.maakaasu.fi/pdf/Veli-Heikki%20Niiranen.pdf>

Nopanen Katja 2009. Lappeenrannan alueen eläintilastot: eläinten lukumäärät ja eläinmäärät tiloittain, vuosi 2008. (paperitulosteina, toimitettu postitse)

Nord pool 2010 a. *Exchange trading* (päästöoikeuksien ajantasaiset hinnat) Saatavilla: <http://www.nordpool.com/System/FinanceMarket/emissions/> viitattu: 11.3.2010

Nord pool 2010 b. *Market data Elspot for finland. Last 8 days (prices in EUR/MWh)* Saatavilla: <http://www.nordpool.com/system/flags/elspot/area/finland/> viitattu 8.5.2010

Nummela Pasi, Tuononen Marja 2009. Opas ympäristötuen ehtojen mukaiseen lannoitukseen 2007 – 2013. Maaseutuvirasto Mavi. Maaseutuviraston julkaisusarja: Hakuoppa ja ohjeita. ProAgria Satakunta Ry. Helsinki 4/2009. ISBN 978-952-453-473-1. 27 s.

Pipatti Riitta, Hänninen Kari, Vesterinen Raili, Wihersaari Margareta, Savolainen Ilkka. 1996 *Jätteiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin* Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Energia. VTT:n julkaisuja 811. VTT Offsetpaino, Espoo 1995. ISBN 951-38-4520-6. 85 s.

Piutunen, Sara 2008 *Ilmastonmuutos.* saatavilla: <http://www.lappeenranta.fi/?deptID=16895&searchword=ekis> viitattu 3.2.2009

Pohjonen Anja 2009. Sähköpostiviesti 26.3.2009 (aihe: puutarhajätteiden määrät)

Pulsa, Mikko 2005, *Biokaasun syöttö maakaasuverkostoon.* Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta, Energiatekniikan koulutusohjelma 119 s. 33 kuvaa, 25 taulukkoa, 2 liitettä

Ranne Carina 1983 artikkeli Anaerobinen käyminen (16 s) julkaisussa INSKO Insinöörijärjestöjen koulutuskeskus 15 -83 Anaerobitekniikka (16:sta artikkelin kokoelma) toimikunta Määttä Raimo, Norha Tapio, Pakarinen Kauko. Insinööritieto Oy 1983 painos 70. ISBN 951-793-866-7

Saarinen Risto 2008. Biokaasun tuotanto Suomessa. Jätealan neuvottelupäivät 27. – 28.5.2008 Suomen ympäristökeskus. Luentokalvot 9 s. saatavilla <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=86558>

Taavitsainen Toni. 2006. *Maatalouden biokaasulaitoksen perustaminen ja turvallisuustarkastel: [MaLLa2-hankkeen loppuraportti]*. Savonia ammattikorkeakoulu, Tekniikka Kuopio. Kuopion kaupungin painatuskeskus 2006. 119 s. ISBN 952-203-040-6.

Tchobanoglous George, Theisen Hilary, Vigil Samuel A. 1993 *Integrated solid waste management -engineering principles and management issues* McGraw-Hill Singapore, International editions Civil Engineering Series. ISBN 0-07-112865-4. 978 s.

Thobanoglous George, Burton Franklin L. 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* International edition Metcalf & Eddy, Inc. Fourth Edition. ISBN 0-07-112250-8. 1819 s.

Tilastokeskus 2008. *Energian kokonaiskulutus laski vuonna 2007*. viitattu 2.2.2009 saatavilla: http://www.stat.fi/til/ekul/2007/ekul_2007_2008-12-12_tie_001.html

Toikansuo 2009. Lappeenrannan kaupunki Tekninen toimi Toikansuon biokaasulaitos Biokaasumäärien tilastot 2003-. 1.s

Toikansuo, käyttö- ja huolto-ohje. Biokaasupumppaamon käyttö- ja huolto-ohjekansio. (säilytetään Toikansuon toimistolla)

Toikansuo, toimisto 2009. Tilaston tiedot ovat toimistorakennuksen seinällä.

Toikansuo, valvomo 20.1.2009. (tiedot valvomosta, valvomojärjestelmän monitoreilta ja mittareista, kävin valvomossa ja kirjasin ne ylös)

Trans-Mond Environment Oy 2009. Lappeenrannan kaupungin ilmastoraportti luonnos 19.2.2009

Tuhkanen Sami 2002. *Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto*. VTT tiedotteita 2142. Tekes Climtech-ohjelma. Espoo 2002 46 s. ISBN 951-38-5895-2

Työ- ja elinkeinoministeriö 2010. TEM: Syöttötariffijärjestelmää koskeva lakiluonnos lausuntokierrokselle. Tiedote 11.3.2010. Saatavilla: <http://www.kauppalehti.fi/5/i/yritykset/lehdisto/hellink/tiedote.jsp?selected=kaikki&oid=20100301/12683155839070&industry=&=> viitattu: 22.3.2010

Vainikka Jussi 2009. *Kaasuautoilu Suomessa ja Keski-Suomessa Gasum Oy:n (ja Biovakka Suomi Oy:n) silmin Täyttä kaasua eteenpäin, Keski-Suomi!* PowerPoint-esitys Jyväskylä 10.12.2009, tilaisuudessa Täyttä kaasua eteenpäin, Keski-Suomi! Saatavilla: <http://www.biokaasufoorumi.fi/> 20 s.

Valovirta, Lauri 2008. *Capstone MicroTurbine™ an Overview*. Sarlin Oy Ab. Powerpoint esitys Vaasa 2008, 38 s.

Ympäristöministeriö 2003. *Kioton pöytäkirja ja sen toimeenpanosäännöt* Julkaisusarja: Suomen ympäristö 607, Ympäristöministeriö Ympäristönsuojeluosasto, Edita Publishing Oy, Edita Prima Oy, Helsinki 2003, 67s. ISBN 951-37-3878-7

Ympäristöministeriö 2007 *Ympäristöneuvosto sopi EU:n päästövähennystavoitteista* Tiedote 20.2.2007 (Julkaistu) Saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=223568&lan=FI> viitattu 23.2.2009

Ympäristöministeriö 11.11.2008 *Kioton pöytäkirja* saatavilla: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=1885&lan=fi> viitattu 29.12.2008

Ympäristöministeriö 2008 EU:n ilmasto- ja energiapaketti 17.11.2008 (Päivitetty) viitattu 23.2.2009 <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=22013&lan=fi>

Ympäristöministeriö 2010. Ympäristönsuojeluosasto. BIEN Biojäte-energia työryhmä. *Biohajoavista jätteistä enemmän energiaa*. Biojäte-energiatyöryhmän raportti. Ympäristöministeriön raportteja 3/2010. ISBN978-952-11-3720-4 (PDF. Edita Prima Oy, Helsinki 2010 60 s.

13/2005 Valtion asetukset (**Suomennos**) *Ilmastonmuutosta koskevan yhdistyneiden kansakuntien puitesopimuksen Kioton pöytäkirja*. Saatavilla: http://www.finlex.fi/fi/sopimukset/sopsteksti/2005/20050013/20050013_2

861/1997 Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista, liite 1: Kaatopaikoille asetettavat yleiset vaatimukset liite 3: Kaatopaikan ja sen jälkihoitovaiheen valvonta ja tarkkailu. saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/1997/19970861>

Verho Vesa 2009. Sähköpostiviesti 16.1.2009. (aihe: Toikansuon biokaasupumppaamo)

Verho Vesa 2010. Sähköpostiviesti 26.4.2010. (aihe: Biokaasupumppaamon energiankulutus)

Villanen Arja 2009. Sähköpostiviesti 16.3.2009 (viestin liitteenä Excel-taulukoina Lappeenrannan, Joutsenon ja Ylämaan jätemäärätilastot jätelajeittain vuodelta 2008)