

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
Energiatekniikan koulutusohjelma
BH10A0200 Energiatekniikan kandidaatintyö ja seminaari

BIOMASSAN KAASUTUSTEKNOLOGIAT

BIOMASS GASIFICATION TECHNOLOGIES

Lappeenranta, 17.04.2008

0278381 Jenni Päällysaho

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	3
2	BIOMASSAN KAASUTUS.....	4
2.1	Kaasutusprosessin vaiheet	4
2.2	Kaasun koostumus ja lämpöarvo	5
2.3	Kaasutusreaktiot.....	7
3	BIOMASSAN KAASUTUSTEKNOLOGIAT	8
3.1	Biomassan ominaisuudet kiinteäkerroskaasutuksessa	8
3.2	Kaasutustekniikat	9
3.2.1	Vastavirtakaasutus	10
3.2.2	Myötävirtakaasutus	11
3.2.3	Esimerkki: Novel-kaasutin.....	12
4	JÄTTEIDEN KAASUTUS.....	13
4.1	Kaasutusvaihtoehdot	14
4.2	Kaasun koostumus ja hajoamisprosessin vaiheet	16
4.3	Biokaasun muodostuminen	17
4.4	Kaasun käsittely	18
4.5	Esimerkki: YTV biokaasun tuottajana.....	19
4.6	Esimerkki: Stormossen	21
5	YHTEENVETO	21

SYMBOLILUETTELO

C	hiili
H	vety
N	typpi
O	happi
S	rikki

1 JOHDANTO

Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen toimesta Suomessa on harjoitettu kaasutustutkimusta jo ainakin 1960-luvulta alkaen. Ulkomailla kaasutusta on kehitetty ja käytetty lähinnä hiilen kaasutukseen jo 1800-luvulla. Hiilen kaasutukseen tarkoitetut laitteet ovat sittemmin toimineet biopolttoaineiden kaasutukseen tarkoitettujen kaasutusreaktoreiden suunnittelun pohjana. Kotimaisten polttoaineiden kaasutusta kiinteäkerrosmenetelmällä tutkittiin ainakin 1980-luvun alussa, jolloin pääpaino oli polttokaasun valmistuksessa.

Kaasutustekniikan kehittämisen tarkoituksena on ollut kiinteiden polttoaineiden muuttaminen kaasumaiseen muotoon, jolloin polttoaineen polttoprosessista on saatu tehokkaampi ja puhtaampi. Kaasutuksella on pystytty laajentamaan kiinteiden biopolttoaineiden käyttömahdollisuuksia ja siten myös kilpailukykyä muihin fossiilisiin polttoaineisiin nähden. Kandidaatin työssä on selvitetty biopolttoaineiden kaasutukseen liittyvää tekniikkaa ja varsinkin kiinteäkerroskaasutuksen toimintaperiaatteet.

Kandidaatin työn aiheena on myös biokaasu, jota muodostuu orgaanisen aineksen hajotessa hapettomissa oloissa mm. kaatopaikoilla tai biokaasureaktoreissa. Se koostuu pääasiassa metaanista ja hiilidioksidista, jotka molemmat ovat merkittäviä kasvihuonekaasuja. Biokaasun hyödyntämisellä voidaan vähentää fossiilisten polttoaineiden tarvetta energiantuotannossa, teollisuudessa ja liikenteessä. Kandidaatin työn tarkoituksena oli käsitellä biokaasun muodostumista ja keräämistä kaatopaikoilla sekä jonkin verran kaatopaikkojen ja biokaasureaktoreiden eroja.

Suomessa biokaasun hyödyntämisen osuus uusiutuvan energian käytöstä ei ole erityisen suuri, mutta sen keräämisellä voidaan huomattavasti laskea kaatopaikkojen kasvihuonekaasupäästöjä. Valtioneuvoston päätöksen mukaan kaatopaikan omistajan on pyrittävä mahdollisuuksien mukaan keräämään ja hyödyntämään kaatopaikoilla syntyvä kaasu. Metaania voidaan kerätä kaatopaikoilta jopa 30 vuotta sen sulkemisen jälkeen ja keskimääräinen arvio metaanin tuotosta kaatopaikoilla on noin 50 nm³ metaania yhdestä tonnista yhdyskuntajätettä. Yleensä biokaasu hyödynnetään sähkön ja lämmön

tuotannossa, mutta sitä voidaan käyttää myös liikenteen polttoaineena.

Kandidaatintyössä keskitytään pääasiassa kahteen erilaiseen biokaasun tuotantomenetelmään, joita ovat biomassan kaasutus kiinteäkerrosmenetelmällä ja biokaasun muodostuminen kaatopaikoilla tai biokaasureaktoreissa. Työssä käsitellään kiinteäkerrosmenetelmän kaasutustekniikkaa, kaasutusprosessin vaiheita ja tuotekaasun muodostumista. Lisäksi työssä kerrotaan kaatopaikkakaasun muodostumiseen vaikuttavista tekijöistä, prosessivaiheista ja kaasun käsittelytavoista. Työn tarkoituksena on kertoa biokaasun kahdesta erilaisesta tuotantomenetelmästä ja koostumukseltaan erilaisten kaasujen käyttömahdollisuuksista ja eduista energiantuotannossa tai liikenteessä.

2 BIOMASSAN KAASUTUS

2.1 Kaasutusprosessin vaiheet

Kaasutusprosessi koostuu polttoaineen kuivumisesta, pyrolyysistä, sekä jäännöshiilen kaasutus- ja palamisreaktioista. Kiinteä polttoaine, esimerkiksi metsähake tai muut biomassasta valmistetut pelletit tai brikitit, muunnetaan kaasutustekniikalla kaasumaiseen muotoon. Tämä tapahtuu korkeassa lämpötilassa ja ali-ilmalla. Kaasutusreaktiot ovat endotermisiä, joten tarvittava lämpö saadaan joko jäännöshiilen palamisesta tai ulkoisen lämmönsiirtoaineen muodossa. Palamisessa tarvittavaa ilmamäärää voidaan pienentää syötettävän ilman esilämmityksellä tai höyryn tulistuksella. Kaasutuksella tuotettu kaasu koostuu pääasiassa hiilimonoksidista ja vedystä. Käyttötarkoituksen mukaan tuotekaasu voidaan joutua puhdistamaan sen sisältämistä epäpuhtauksista. (Raiko (toim.) et al. 1995, 489, Energialehti 2004, Jantunen&Asplund, 1981, 13)

Reaktorin alaosassa tapahtuvissa jäännöshiilen palamisreaktioissa muodostuva lämpö kulkeutuu johtumalla reaktorin yläosaan, jossa polttoaine kuivuu. Johtuminen tapahtuu seinämiä pitkin sekä polttoainekerroksen läpi. Reaktorissa osa kuivumisesta vapautuneesta vesihöyrystä reagoi muiden aineiden kanssa ja osa kulkeutuu tuotekaasun mukana pois reaktorista. Polttoaineen ei tulisi olla liian kosteaa, sillä muutoin se heikentää tuotekaasun

laatua ja reaktorin toimintaa. (Filén, Jantunen&Salo, 1984, 8)

Pyrolyysivyöhykkeen lämpöä kuluttavissa reaktioissa polttoaineesta vapautuu tervaa ja hiilivetyjä. Näitä tuotteita voi vapautua korkeassa lämpötilassa myös hapettomassa tilassa. Tarvittava lämpöenergia saadaan reaktorin palamisvyöhykkeestä johtumalla. Esimerkiksi puun massasta pyrolyysissä vapautuu noin 80 % käytettäessä hidasta lämpenemisnopeutta (800–900 °C astetta). Pyrolyysistä jäljelle jää jäännöshiili, joka joutuu seuraavaksi, kaasutustekniikasta riippuen, palamis- tai kaasutusvyöhykkeeseen. Kaasutusaika on sitä lyhyempi, mitä suurempi osuus polttoaineesta pyrolysoituu. Kaasutusaineina voidaan käyttää ilmaa, happea, vesihöyryä tai näiden sekoituksia. (Raiko (toim.) et al. 1995, 145-146, 489-490)

Kaasutus tapahtuu ali-ilmalla, joka ilmakaasutuksessa on noin 20–30 % stökiometrisen palamisen ilmamäärästä. Biopolttoaineet sisältävät paljon haihtuvia aineita, jonka vuoksi ne voidaan kaasuttaa melko alhaisessa lämpötilassa (800–1000 °C asteessa). Biopolttoaineiden kaasutus tapahtuu pääasiassa ilmalla, jolloin saadaan pienlämpöarvoista kaasua. Ilmakaasutuksen haittapuolena on sen sisältämä typpi, joka aiheuttaa kaasun kalorimetrisen lämpöarvon laskun. Suuri typen osuus kasvattaa tuotekaasun määrää, jolloin myös puhdistuslaitteiston koon on oltava suurempi. Ilmakaasutus soveltuu pieneen ja keskisuureen voimalaitoskokuoluokkaan eli alle 200 MW_e. Happikaasutuksella saadaan keskilämpöarvoista tuotekaasua, mutta se ei välttämättä sovellu biopolttoaineille. Pelkän hapen käyttö kaasutuksessa on kallista, siksi yleensä käytetäänkin ilmakaasutusta. Biopolttoaineiden kaasutus toteutetaan yleensä ilmanpaineisena, koska paineistettu kaasutus ei olisi taloudellisesti kilpailukykyistä. (Raiko (toim.) et al. 1995, 489-490)

2.2 Kaasun koostumus ja lämpöarvo

Kiinteäkerroskaasuttimen ilmakaasutuksella tuotetun kaasun koostumus voi olla taulukon 1 mukainen. Typen osuus kaasussa on merkittävä, mikä laskee kaasun lämpöarvoa. Lisäksi kaasu sisältää vetyä, hiilimonoksidia ja hiilidioksidia.

Taulukko1. Kaasun koostumus

Aine	%
Typpeä N ₂	40–50
Vetyä H ₂	15–20
Hiilimonoksidia CO	10–15
Hiilidioksidia CO ₂	10–15
Metaania CH ₄	3-5

Tuotekaasun ominaisuuksiin vaikuttavat polttoaine, kaasutusaine ja kaasutusprosessi. Tuotekaasu voidaan jakaa lämpöarvojen perusteella kolmeen eri ryhmään, joita ovat pien- (4–6 MJ/ m³n), keski- (12–18 MJ/m³n) ja korkealämpöarvoinen (35–40 MJ/m³n) kaasua. Hiilivetyjen suuri pitoisuus nostaa kaasun lämpöarvoa. Matalalämpöarvoista kaasua saadaan, kun polttoaine kaasutetaan ilmalla tai ilman ja vesihöyryn seoksella. Keskilämpöarvoista saadaan happikaasutuksella ja korkea-arvoista saadaan keskilämpöarvoisesta kaasusta kemiallisesti jalostamalla. Matalalämpöarvoista kaasua voidaan käyttää suoraan polttamalla lämmön ja sähkön tuotantoon tai polttoaineena. Keski- ja korkealämpöarvoista kaasua käytetään esimerkiksi kemianteollisuudessa. (McKendry 2001, 56, 58, Jantunen&Asplund, 1981, 7, 13)

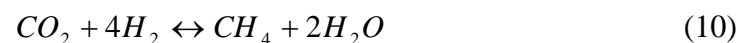
Biomassan kaasutuksesta saadun tuotekaasun energiapitoisuus on noin 75–80 % käytetyn biomassan energiasisällöstä. Häviöt aiheutuvat tuotekaasun lämpöhäviöistä, säteilöhäviöistä ja tuhkan lämpöhäviöistä. Kaasutinreaktorin hukkalämpöä voidaan käyttää polttoaineen esikuivatukseen. (McKendry 2001, 56)

Kiinteän polttoaineen kaasutuksella voidaan parantaa polton hyötysuhdetta. Kun kiinteän polttoaineen sijasta poltetaan kaasutuksesta saatua kaasua, saadaan polton hyötysuhde korkeammaksi. Tällä tavalla myös kotimaiset polttoaineet voidaan polttaa puhtaammin ja ympäristöystävällisemmin. Kaasutustekniikalla voidaan lisätä kiinteiden polttoaineiden käyttömahdollisuuksia. Tuotekaasua voidaan polttaa suoraan moottoripolttoaineena tai käyttää sähkön ja lämmön tuotantoon. Jäähdytettyä ja puhdistettua kaasua voidaan jakaa putkistossa kuluttajille ja sitä voidaan polttaa maakaasun polttotekniikalla. Tervapitoista

kaasua voidaan polttaa esimerkiksi öljykattilassa. Kaasutustekniikka tulee kuitenkin valita kaasun käyttötarkoituksen mukaan. (Filén, Jantunen&Salo, 1984, 14,20, Kotimaisten polttoaineiden kaasutus ja kaasun käyttö 1983, 41, 46)

2.3 Kaasutusreaktiot

Seuraavassa on kuvattu kaasutuksessa tapahtuvia reaktioita. Kyseiset reaktiot voivat tapahtua molempiin suuntiin riippuen lämpötilasta, paineesta ja reaktioaineiden osuudesta.



Yhtälöt 1, 2, 3 ja 4 ovat palamisvyöhykkeen reaktioita, joista saadaan kaasutuksessa tarvittava lämpöenergia. Yhtälöt 5 ja 6 ovat kaasutusreaktioita, jotka tarvitsevat 800 – 1000 °C lämpötilan. Vesikaasureaktiota kuvaa yhtälö 7: Korkeissa lämpötiloissa hiilimonoksidi ei reagoi merkittävästi vesihöyryn kanssa. Lämpötilan olisi oltava alle 400 °C, jotta reaktio tapahtuisi hiilidioksidin ja vedyn suuntaan. Yhtälöt 8, 9 ja 10 ovat esimerkkejä metaania

tuottavista reaktioista. Metaanin muodostuminen kaasutusprosessissa lisääntyy paineen kasvaessa. Normaalipaineisissa kaasutusprosesseissa metaanin muodostuminen on kuitenkin melko vähäistä. (Filén, Jantunen&Salo, 1984, 13-14)

Kaasutusvyöhykkeen lämpötilan ollessa liian korkea vedyn ja hiilimonoksidin osuudet laskevat. Koska tuotekaasun hiilimonoksidin ja vedyn pitoisuudet tulisi olla suuret, sopiva lämpötilan biomassan kaasutukseen on noin 800 – 1000 °C astetta. Kaasutuksesta saatava kaasu on sekoitus hiilimonoksidia, hiilidioksidia, metaania, vetyä ja vesihöyryä. (Filén, Jantunen&Salo, 1984, 14)

3 BIOMASSAN KAASUTUSTEKNOLOGIAT

3.1 Biomassan ominaisuudet kiinteäkerroskaasutuksessa

Kaasutuksessa käytettävän biopolttoaineen tärkeimpiä ominaisuuksia ovat kosteus, palakoko ja tuhkan sulamispiste. Muita tärkeitä ominaisuuksia ovat polttoaineen palamislämpö, tervan muodostuminen, juoksevuusominaisuudet, tehollinen lämpöarvo, tilavuuspaino sekä reaktiivisuus. Kaasutettavan biomassan kosteuspitoisuuden ei tulisi ylittää 30 %. Polttoaineen yli 30 % kosteus laskee tuotekaasun lämpöarvoa ja tekee kaasutusprosessin vaikeammaksi. Kaasutuksen alkaessa kosteuden pitäisi olla alle 10-15 %. Korkea kosteuspitoisuus laskee reaktorissa saavutettavaa lämpötilaa, joka aiheuttaa epätäydellisen hiilivetyjen vapautumisen pyrolyysissä. Korkea kosteuspitoisuus ja hiilimonoksidi tuottavat vetyä ja hiilidioksidia. Lisääntynyt vedyn osuus puolestaan kasvattaa metaanin osuutta tuotekaasussa. Kasvaneet metaanin ja vedyn määrät saavat aikaan hiilimonoksidin osuuden vähenemisen tuotekaasussa, joka puolestaan vaikuttaa tuotekaasun lämpöarvon laskemiseen. (Kotimaisten polttoaineiden kaasutus ja kaasun käyttö 1983, 12, Jantunen&Asplund, 1981, 9-11, 33, McKendry 2001, 56)

Biomassan palakokojakauma valitaan sopivaksi kaasutusreaktorin koon perusteella. Liian pienet palat voivat estää tai aiheuttaa epätasaisen kaasutusaineen kulun reaktorin alaosista, josta voi seurata paineen putoaminen ja reaktorin toiminnan keskeytyminen. Liian suuret palakoot puolestaan voivat vaikeuttaa polttoaineen kulkeutumista reaktorissa alaspäin.

Tyypillinen palakoko on 20 – 80 mm. (McKendry 2001, 56)

Polttoaineen suuri tuhkapitoisuus voi tehdä kaasutuksen mahdottomaksi. Kuonaantumista esiintyy, jos lämpötila kaasutinreaktorissa ylittää biomassan tuhkan sulamispisteen. Pehmennyt tuhka takertuu kaasuttimen pinnoille ja voi aiheuttaa tukkeumia. Kuonaantuminen aiheuttaa ongelmia etenkin, jos tuhkapitoisuus on yli 5 %. Mineraalipitoinen ja hapan tuhka aiheuttaa eroosiota ja korroosiota. Biomassan esikäsittelyn tarve riippuu käytettävästä kaasutustekniikasta. (Jantunen&Asplund, 1981,11, McKendry 2001, 56)

3.2 Kaasutustekniikat

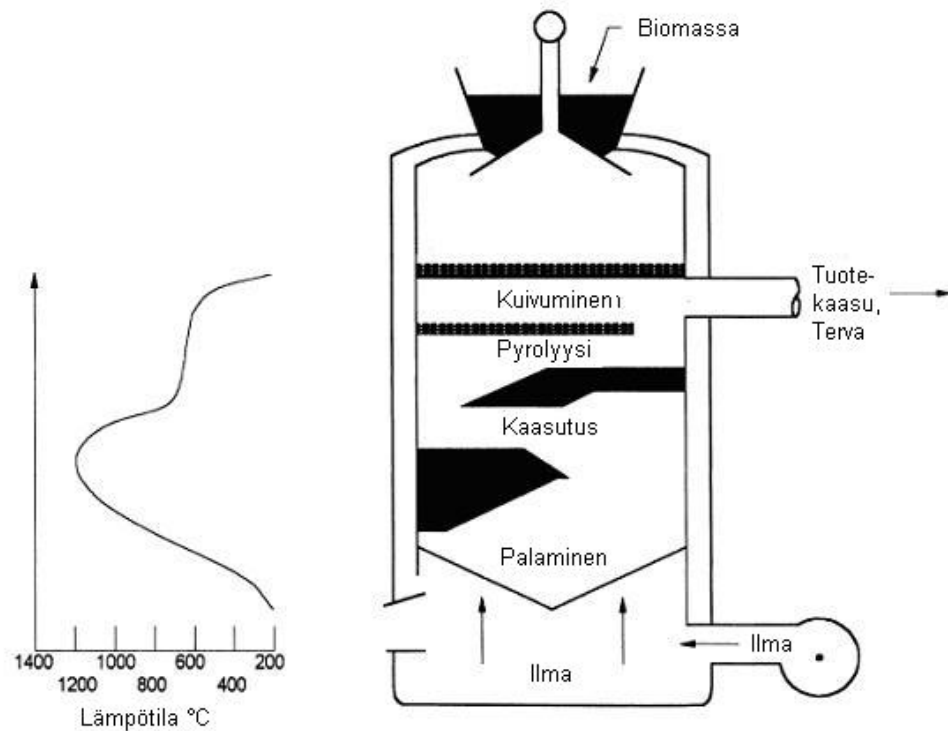
Biomassan kaasutustekniikat voidaan jakaa periaatteessa kahteen eri tapaan, joita ovat kiinteäkerroskaasutus ja leijukerroskaasutus. Leijukerroskaasutusta on vuosia käytetty lähinnä hiilen kaasutukseen, mutta se soveltuu myös biomassan kaasutukseen. Kiertävää leijukerroskaasutusta on käytetty ainakin metsäteollisuudessa puun kuoren ja puujätteiden kaasutukseen. Kiinteäkerroskaasutus on kuitenkin vanhin ja parhaiten tunnettu kaasutusmenetelmä ja se voidaan edelleen jakaa kolmeen eri kaasutustekniikkaan, joita ovat myötävirta-, vastavirta- ja ristivirtakaasutus. (McKendry 2001, 57, 59.)

Kiinteäkerroskaasutuksessa polttoaine tuodaan kaasutinreaktorin yläosasta ja se laskeutuu alas painovoiman vaikutuksesta. Kiinteäkerroskaasuttimien hiilikonversio on yleensä suuri, sillä polttoaineen viipymäaika kaasutinreaktorissa on pitkä (15-30 min) ja kaasun nopeus on hidas. Tyypillisesti näitä kaasuttimia on käytetty pienen kokoluokan energian tuotannossa (alle 10 MW_{th}). Kiinteäkerroskaasutus sopii materiaalille, jonka tiheys on tarpeeksi suuri takaamaan tasaisen polttoainevirran. Tällaisia polttoaineita ovat esimerkiksi palaturve, puuhake tai pelletit. Turpeesta ja puusta tuotetut kaasut ovat hyvin samanlaisia, sillä suurimmat erot niiden lämpöarvoon aiheuttaa materiaalin kosteus. Kiinteäkerroskaasutus on käytännöllisin tapa pienlämpöarvoisen kaasun tuottamiseen biomassaa kaasuttamalla. (Kotimaisten polttoaineiden kaasutus ja kaasun käyttö 1983, 13, OPET Report 4, 2002, 4, Stiegel 2005, 15)

3.2.1 Vastavirtakaasutus

Vastavirtakaasuttimessa polttoaine tuodaan reaktorin yläosaan, jossa se kuivuu tuotekaasun vaikutuksesta ja polttoaineesta haihtunut kosteus siirtyy tuotekaasuun. Polttoaine kuivuu noin 200–300 °C lämpötilassa, jonka jälkeen se kulkee pyrolyysi- ja kaasutusvyöhykkeiden läpi. Polttoaine pyrolysoituu nopeammin kuin myötävirtakaasuttimessa, koska lämpöä kulkeutuu jatkuvasti reaktorin alaosaan kaasuvirran mukana. Pyrolyysivyöhykkeessä vapautuu haihtuvia aineita ja merkittävästi tervaa, jotka kulkeutuvat tuotekaasun mukana. Osa tervasta kondensoituu tulevaan biomassaan. Kaasutuksen jälkeen on palamisvaihe, jossa jäännöshiili palaa noin 1000 °C lämpötilassa. Tuhka ei sisällä suuria määriä palamatonta hiiltä ja se poistetaan pohjan kautta. Kaasutusilma tuodaan reaktorin alaosaan kautta. Kuumat kaasut kulkevat ylöspäin luovuttaen lämpöä kaasutusprosessiin. Biomassan kaasutuksesta saadun tuotekaasun lämpötila on matala noin 80–300 °C astetta, jonka vuoksi kaasutusprosessin kokonaishyötysuhde on hyvä. (McKendry 2001, 57-58, Jantunen&Asplund, 1981, 17-18)

Kaasutusvyöhykkeen lämpötilaa säädellään lisäämällä vesihöyryä kaasutusilmaan tai lisäämällä kaasutusilman kosteutta. Vastavirtakaasutuksessa pyrolyysikaasut eivät kulje kuumien vaiheiden läpi, jonka vuoksi tuotekaasu voi sisältää melko paljon metaania ja jopa 10–20 paino-% tervaa. Tuotekaasu joudutaan usein puhdistamaan tervasta ja muista epäpuhtauksista, mutta se ei yleensä sisällä paljonkaan tuhkaa, mikä johtuu kaasun hitaasta nopeudesta sekä kuivumis- ja pyrolyysivyöhykkeiden vaikutuksesta. Vastavirtakaasuttimen etuna on se, että siinä voidaan kaasuttaa biomassa, jonka kosteuspitoisuus on melko suuri tai joka voi sisältää myös epäorgaanista ainesta. Vastavirtakaasuttimet soveltuvat kokoluokkaan 1-10 MW ja niiden etuja ovat yksinkertainen rakenne ja myötävirtakaasutusta parempi hiilikonversio. Ongelmana siinä on kaasun poistuminen alhaisessa lämpötilassa, jolloin epäpuhtaudet helposti kondensoituvat, mistä voi olla seurauksena kaasukanavien tukkeutuminen ja korrosio. (OPET Report 4, 2002, 4-5, McKendry 2001, 57-58, Filén, Jantunen&Salo, 1984, 15, 18, Energialehti 2004, Ciferno&Marano 2002, 7)

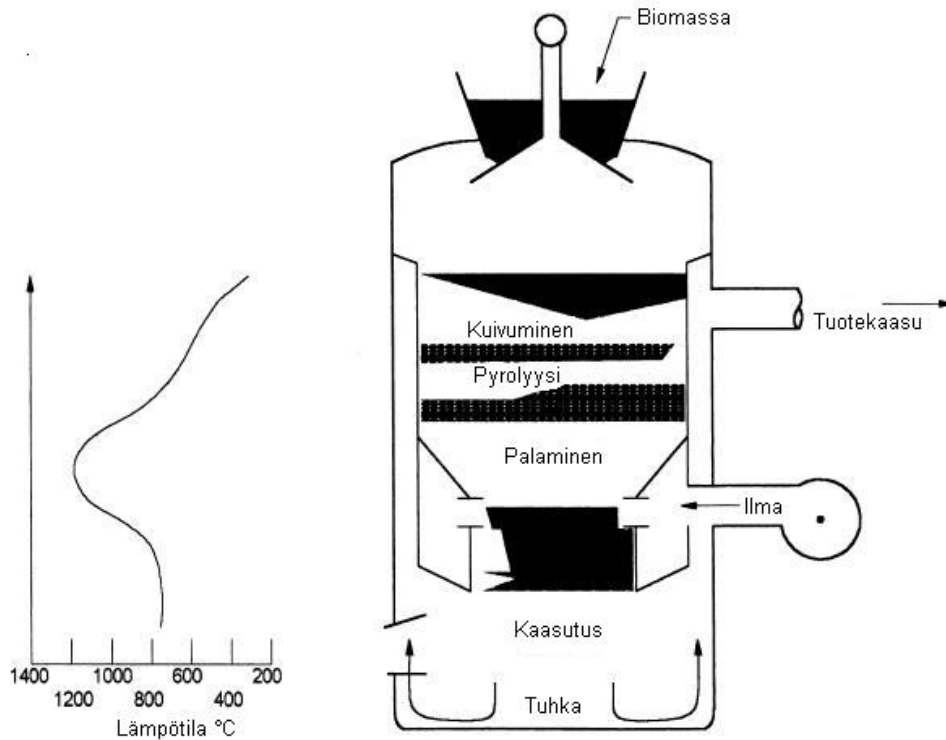


Kuva 1. Vastavirtakaasutin

3.2.2 Myötävirtakaasutus

Myötävirtakaasuttimessa polttoaine kuivuu reaktorin yläosassa, jonka jälkeen se kulkeutuu pyrolyysi- ja palamisvyöhykkeiden läpi kaasutusvyöhykkeeseen. Palamisvyöhykkeen ilmansyöttöä säädellään niin, että vain osa palavista aineista palaa loppuun, sillä tuotekaasun muodostuminen tapahtuu palamisvyöhykkeen jälkeen reaktorin alaosassa. Pyrolyysituotteet kulkeutuvat kuumaan palamisvyöhykkeeseen ($>1000\text{ °C}$), jossa suurin osa tervasta hajoaa. Tämän vuoksi myötävirtakaasuttimen tuotekaasun tervapitoisuus on pieni, vaikka se sisältääkin muita epäpuhtauksia. Myötävirtakaasuttimien tuotekaasun puhdistus on kuitenkin melko yksinkertaista. Myötävirtakaasuttimen kokonaishyötysuhde on matala, koska kaasut poistuvat kaasuttimesta noin $900\text{--}1000\text{ °C}$ asteen lämpötilassa. Myötävirtakaasuttimen lämpötilaan voidaan vaikuttaa polttoaineen kosteudella tai ilmavirran säätämällä. Polttoaineen kosteuspuitoisuuden tulisi olla alle 20 %. Liian kostea polttoaine laskee tuotekaasun laatua ja ilmavirran säätäminen vaikuttaa kapasiteettiin. Perinteiset myötävirtakaasuttimet sopivat kaikkein pienimpään, alle megawatin

kokoluokkaan. Niiden polttoaineena voi olla esimerkiksi hyvälaatuinen puupilke tai hake. (Energialehti 2004, McKendry 2001, 58, Kotimaisten polttoaineiden kaasutus ja kaasun käyttö 1983, 8, Filén, Jantunen&Salo, 1984, 11)

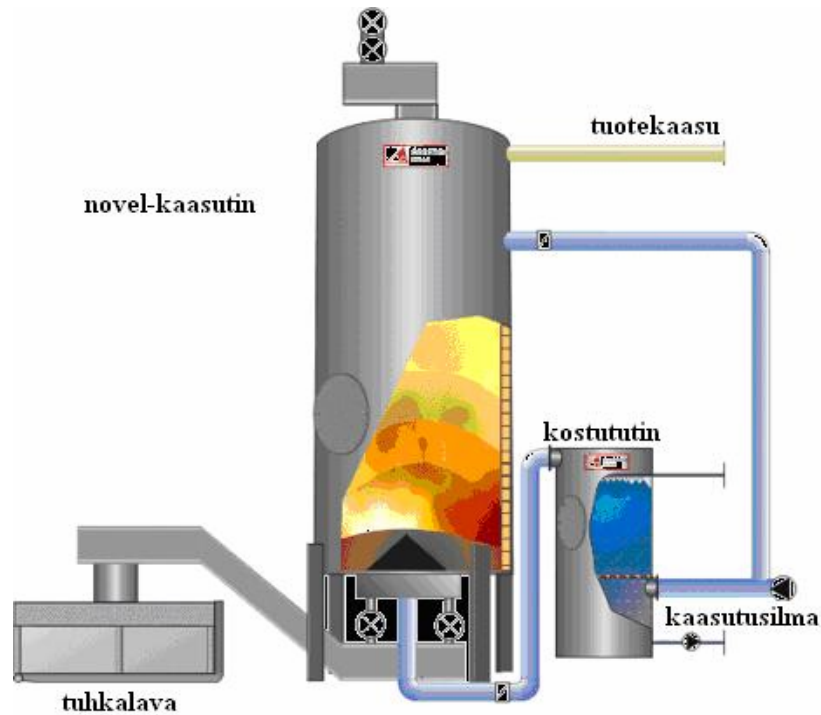


Kuva 2. Myötävirtakaasutin

3.2.3 Esimerkki: Novel-kaasutin

Novel-kaasutin on VTT:n ja Condens Oy:n yhdessä kehittämä kiinteäkerroskaasutin, joka yhdistää myötä- ja vastavirtakaasuttimien ominaisuuksia. Kaasuttimen etuihin kuuluu korkea kaasun lämpötila, jolla voidaan välttää tuotekaasuputken tukkeutuminen. Myötävirtakaasuttimille tyypillinen tuotekaasun pieni tervapitoisuus saadaan aikaiseksi, kun polttoaineen kaasutuksen aikana muodostunut terva kaasutetaan erillisellä ilman syötöllä polttoainepatjan päällä. Tavanomaisista kiinteäkerroskaasuttimista poiketen Novel-kaasuttimen polttoaineen laskeutuminen kaasutinreaktorissa ei perustu pelkästään painovoiman vaikutukseen. Yllä mainittujen ominaisuuksien lisäksi kaasuttimen hiilikonversio on lähes täydellinen. (OPET Report 4, 2002, 7, Energialehti 2004)

Novel-kaasutin soveltuu erityisesti hankalille ja huonolaatuisille biopolttoaineille. Sen polttoaineeksi sopivat hake, sahanpuru, metsätähde, palaturve, palamaiset jättemateriaalit ja näiden erilaiset seokset. Polttoaineen kosteus voi olla 0-60 % polttoaineen painosta ja palakoko 0-50 mm. Novel-kaasuttimessa on pyörivä arina ja tuhkanpoisto tapahtuu reaktorin pohjalta sulkusyöttimiin. Sen tehoalue on 1-10 MW ja se sopii erilaisiin suorapolttosovelluksiin. (Energialehti 2004, Condens Oy)



Kuva 3. Novel-kaasutin

Kokemäellä sijaitsee Novel-kaasutukseen perustuva voimalaitos, joka käyttää polttoaineena metsäteollisuuden puuhaketta ja metsätähteitä. Se tuottaa 1,8 MW sähköä ja 4,3 MW kaukolämpöä. (Condens Oy)

4 JÄTTEIDEN KAASUTUS

Kaatopaikalla muodostuu biokaasua, joka sisältää pääasiassa metaania ja hiilidioksidia. Nämä ovat merkittäviä kasvihuonekaasuja, jotka ympäristöön päästessään vaikuttavat mm. maapallon lämpötilan nousuun sekä ilmaston muutoksiin. Ympäristöön vapautuva

biokaasu aiheuttaa hajuhaittoja sekä palo- ja räjähdysvaaran kaatopaikoilla. Kaatopaikkapalot saattavat kestää kuukausia ja niissä vapautuu myrkyllisiä kaasuja. Kaatopaikkoja koskevan valtioneuvoston päätöksen mukaan kaatopaikan omistaja on velvollinen rakentamaan kaasun keräys- ja hapettamisjärjestelmän sekä ylläpitämään järjestelmää. Lisäksi omistajan on tarkkailtava kaasun ominaisuuksia ja pyrittävä hyödyntämään kaasu. Jos kaasun hyödyntäminen ei ole mahdollista, se on poltettava. (Väisänen&Salmenoja, 17)

Vuonna 2006 Suomen kaatopaikoilla tuotettiin yhteensä 130,40 milj. m³ biokaasua, josta hyödynnettiin 62 %. Tästä määrästä lämpöä tuotettiin 324,3 GWh ja sähköä 48,5 GWh, jotka vastaavat noin 0,5 % Suomessa tuotetun uusiutuvan energian tuotannosta. (Kuittinen&Huttunen&Leinonen, 2006, 8)

4.1 Kaasutusvaihtoehdot

Biokaasua muodostuu kaatopaikoilla tai biokaasun tuotantoa varten suunnitelluissa biokaasureaktoreissa, joissa mikrobit hajottavat orgaanista ainesta hapettomassa tilassa. Orgaanisen jätteen mädätys biokaasureaktoreissa on nopeampaa kuin kaatopaikoilla, joissa jätteen hajoamisprosessi voi kestää kuukausia ja vuosia. Biokaasureaktoreissa mädätettävän aineksen tulisi olla hyvin kosteaa (>50 %) ja niiden aineksi sopivatkin erilaiset lietteet kuten yhdyskuntien jätevesilietteet tai maatalousjätteet. Biokaasun tuotantoon sopivat erilaiset orgaaniset kiinteät tai lietemäiset jätteet, joita ovat mm. jätevesilietteet, yhdyskuntajätteet, maatalousjätteet ja teollisuuden orgaaniset jätteet. Biokaasun koostumus riippuu jätteen laadusta, sillä orgaanisen jätteen hajoamisprosessi kaatopaikoilla ja biokaasureaktoreissa on periaatteessa samanlainen. Kaatopaikkoihin verrattuna biokaasureaktoreiden toimintaa voidaan kontrolloida paremmin ja niihin menevä jäte voidaan joutua esikäsittämään. Biokaasureaktorin lämpötilaksi voidaan valita mesofiilinen (35 °C) tai termofiilinen (55 °C) lämpötila. Kaatopaikoilla lämpötilat voivat jäädä melko mataliksi pitkäksi aikaan johtuen kylmistä vuodenaajoista ja jätteen huonosta lämmönjohtavuudesta. Liian kylmät olosuhteet vaikuttavat metaanin tuottoon hidastavasti. (Wabio 4-6, Zhao et al. 2008, 9-11)

Kaatopaikoilla tapahtuu sekä aerobista että anaerobista orgaanisen jätteen hajoamista. Hajoamistapaan vaikuttaa kaatopaikan koko, sen syvyys ja se, kuinka tiiviisti jätteet ovat kasaantuneet. Orgaanisen aineksen aerobista hajoamista tapahtuu pääasiassa jätetäytön pintakerroksissa, jopa kahden metrin syvyyteen asti. Parhaiten anaerobista hajoamista tapahtuu melko suurilla kaatopaikoilla, jotka ovat hyvin tiivistettyjä ja peitettyjä. Kun jätetäytöt ovat hyvin tiivistettyjä, happea ei ole tarpeeksi ja hajoaminen tapahtuu hapettomissa oloissa. (Väisänen&Salmenoja, 2)

Kaatopaikkakaasu voidaan hyödyntää energiantuotannossa tai ajoneuvojen polttoaineena. Kaasu joudutaan kuivaamaan, puhdistamaan, paineistamaan ja siitä joudutaan poistamaan hiilidioksidi ennen kuin sitä voidaan käyttää liikennepolttoaineena. Tämä ei ole kannattavaa pienessä mittakaavassa. Kaasumoottorilla kaasun energiasisällöstä saadaan muutettua sähköksi 30–40 % ja kaasuturbiinilla tyypillisesti 25–30 % kaasun energiasisällöstä. Mikäli kaasuturbiinilaitokseen on asennettu lämmön talteenotto, voidaan kaasun energiasisällöstä saada 30 % sähköä ja 60 % lämpöä hyötykäyttöön. Kaasuturbiini sietää hyvin epäpuhtauksia. Yhdistetyssä sähkön- ja lämmöntuotannossa kaasun energiasisällöstä saadaan talteen 70–90 %, josta sähköä 30–40 % ja lämpöä 50–60 %. (PrizzTech Oy, 2003, 16–20)

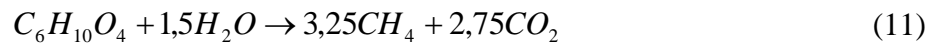
Suomen kaatopaikoilla on kaasun keräys- ja käsittelyjärjestelmät. Yleensä kaasu hyödynnetään sähkön ja lämmön tuotannossa tai poltetaan soihdussa. Kun kaatopaikan täyttö lopetetaan, se peitetään. Tällä tavalla pyritään rajoittamaan sadeveden pääsyä kasaan ja siten suojelemaan pohjavettä sekä takaamaan hajoamisreaktioiden jatkuminen. Biohajoaminen kuivalla kaatopaikalla on hidasta. Riippuen kaatopaikan täytöstä ja tekniikasta, kaasua voidaan kerätä jopa 30 vuotta sen sulkemisen jälkeen. (Väisänen&Salmenoja, 25, Themelis&Ulloa, 2007, 1247, Zhao et al. 2008, 1-2)

Yhdysvalloissa on kokeiltu menetelmää johon on otettu mallia bioreaktoreista. Tässä menetelmässä kaatopaikan kosteuspitoisuutta lisättiin. Tarkoituksena oli luoda olosuhteet, joissa hajoamisprosessit ja kaasun muodostuminen on tehokasta. Nopeamman hajoamisen myötä myös kaatopaikan jätteesijoituskapasiteetti kasvaa. Hajoamisreaktioita voidaan nopeuttaa ja kaasun tuottoa kasvattaa kosteutta lisäämällä vain jos lämpötila kaatopaikalla

on riittävä. Kosteutta lisäämällä halutaan varmistaa hajoamisprosessien jatkuvuus myös kaatopaikan sulkemisen jälkeen. (Themelis&Ulloa, 2007, 1247, Zhao et al. 2008, 9-10)

4.2 Kaasun koostumus ja hajoamisprosessin vaiheet

Orgaaninen kaatopaikkajäte sisältää vaihtelevia määriä hiiltä, typpeä ja happea sekä vain pieniä määriä rikkiä. Orgaanisen yhdyskuntajätteen koostumus voidaan yksinkertaistaa seuraavan kaavan mukaiseksi: $C_6H_{10}O_4$. Kaatopaikkakaasun muodostuminen voidaan esittää seuraavalla reaktioyhtälöllä (11).



Tämän yksinkertaisen reaktioyhtälön mukaan vain vähän lämpöä vapautuisi ja tuotekaasusta metaanin osuus olisi 54 % ja hiilidioksidin osuus 46 %. Tyypillisesti kaatopaikoilta tuotettu kaasu sisältää 40-60% metaania ja sen lämpöarvo on 19-22 MJ/m³. (Themelis&Ulloa, 2007, 1247-1248, EECA 2005, 2)

Biokaasu on metaanin ja hiilidioksidin seos sisältäen myös satunnaisesti pieniä määriä typpeä ja happea. Kaatopaikoilla muodostuvan kaasun hajun aiheuttavat rikki-, kloori- ja fluoriyhdisteet. Taulukko 2 kuvaa kaatopaikkakaasun merkittävimpien ainesosien tyypillisiä pitoisuuksia.

Taulukko2. Kaatopaikkakaasun tyypilliset pitoisuudet

Metaani, CH ₄	50-65 %
Hiilidioksidi, CO ₂	35-45 %
Happi, O ₂	0-2 %

Yhdyskuntajätteen hajoamisprosessin ensimmäinen vaihe on orgaanisen aineksen hajoaminen aerobisesti. Tämä vaihe tuottaa pääasiassa hiilidioksidia. Anaerobisten reaktioiden ensimmäisessä vaiheessa, hydrolyysissä, fermentatiiviset bakteerit hajottavat orgaanisen materiaalin muodostaen yhdisteitä, joita ovat yksinkertaiset sokerit, amino- ja

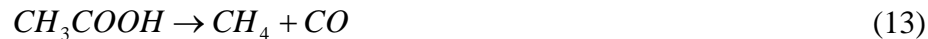
rasvahapot. Hydrolyysituotteet hajoavat happokäymisessä haihtuviksi rasvahapoiksi. Kolmannessa vaiheessa eli asetogeneesissä vetyä tuottavat bakteerit hajottavat rasvahapot asetaatiksi, hiilidioksidiksi ja vedyksi. Prosessin viimeisessä vaiheessa metanogeneettiset bakteerit tuottavat metaania asetaateista tai vedystä ja hiilidioksidista. Kaasun metaanipitoisuuden kasvaessa haihtuvien rasvahappojen, hiilidioksidin ja vedyn pitoisuudet laskevat. Metaanin muodostus vähenee orgaanisen jätteen osuuden laskiessa. Aerobinen hajoaminen kestää joitakin päiviä, mutta muut vaiheet voivat kestää kuukausia ja vuosia. Hajoamisprosessiin vaikuttavat jätteen laatu ja ikä. (Väisänen&Salmenoja, 12-13, 22, Themelis&Ulloa, 2007, 1247)

Seuraavassa (12) on esitetty glukoosin anaerobinen hajoamisreaktio ja esimerkkejä metaanin muodostumisesta, (13) ja (14).

asetogeneesi



metaanin muodostuminen



Yhdyskuntajätteen orgaaninen aines voidaan jakaa nopeasti ja hitaasti hajoaviin. Ruokajäte ja erilaiset paperit ja pahvit ovat nopeasti hajoavia. Tekstiilit, nahka ja puu ovat hitaasti hajoavia. Puutarhajätteestä osa noin 60% on nopeasti hajoavaa ja loput hitaasti hajoavaa. (Väisänen&Salmenoja, 4, Themelis&Ulloa, 2007, 1247)

4.3 Biokaasun muodostuminen

Yhdyskuntajätteen täydellinen anaerobinen hajoaminen tuottaa noin 200 nm³ metaania kuivaa biomassatonna kohti. Keskimääräinen arvio metaanin tuotosta kaatopaikoilla on noin 50 nm³ metaania yhdestä tonnista yhdyskuntajätettä. Kosteus vaikuttaa jätteen anaerobiseen hajoamisprosessiin ja kaatopaikkakaasun tuotantoon merkittävästi.

Kosteuden lisääntyminen lisää kaatopaikkakaasun tuotantoa eksponentiaalisesti vesipitoisuuksien 25–60 % välillä. Hitaasti hajoavilla jätteillä veden tarve on suurempi kuin nopeasti hajoavilla. (Väisänen&Salmenoja, 5, Themelis&Ulloa, 2007, 1243)

Lämpötila vaikuttaa hajoamisnopeuteen merkittävästi. Orgaanisen aineen hajoaminen ja metaanin tuotto voidaan toteuttaa mesofiilissä (35 °C) tai termofiilissä (55 °C) lämpötiloissa. Termofiiliprosessissa bakteereilla on suurempi hajotusnopeus ja patogeeniset bakteerit tuhoutuvat tehokkaammin kuin mesofiilisessä prosessissa. Metaanin tuotto on estynyt lämpötilavälillä 40–50 °C. Metaanin muodostuminen on herkkä pH:n vaihteluille. Metaanibakteerien toiminnalle optimi pH on 6-8. (Väisänen&Salmenoja, 5, Wabio, 4)

Tuotetun kaasun määrä riippuu orgaanisen jätteen määrästä kaatopaikalla. Useimpia kaatopaikkoja ei ole suunniteltu biokaasun maksimaalista tuotantoa varten. Vain osa kaatopaikkakaasusta pystytään ottamaan talteen. Parhaiten metaania tuottavat 5-10 vuotta vanhat täyttöalueet ja vähiten tuottavat yli 20 vuotta vanhat alueet. Kaasua voidaan tuottaa kaatopaikoilla jopa 10-50 vuotta sulkemisen jälkeen. Biokaasun tuotanto kaatopaikoilla tapahtuu hitaasti, koska olosuhteet sen tuotannolle eivät ole parhaat. Metaanin tuotantoprosessia hidastavat mm. hapen esiintyminen, korkea sulfaattipitoisuus, korkea hiilidioksidipitoisuus, ravinteiden puute, suolaionit, raskasmetallit sekä orgaaniset yhdisteet. (Väisänen&Salmenoja, 2, 10.)

4.4 Kaasun käsittely

Jos kaatopaikka tuottaa metaania runsaasti, se on pumpattavat talteen ja hyödynnettävä. Tällöin kyseessä on aktiivinen kaasun käsittely, joka sisältää imujärjestelmän, putkistot, biokaasupumppaamon ja hyötykäytön. Passiivinen kaasun käsittelymenetelmä soveltuu parhaiten pienille kaatopaikoille tai jos metaanin tuotto jää alle 10 m³/ha,h. Tässä menetelmässä luodaan otolliset olosuhteet metaania ja haisevia rikkiyhdisteitä hapettaville mikro-organismeille kaatopaikan pintakerrokseen tai erillisiin biosuotimiin. Menetelmän tärkeimmät tekijät ovat happi, kosteus ja lämpötila. (Väisänen&Salmenoja, 19-21.)

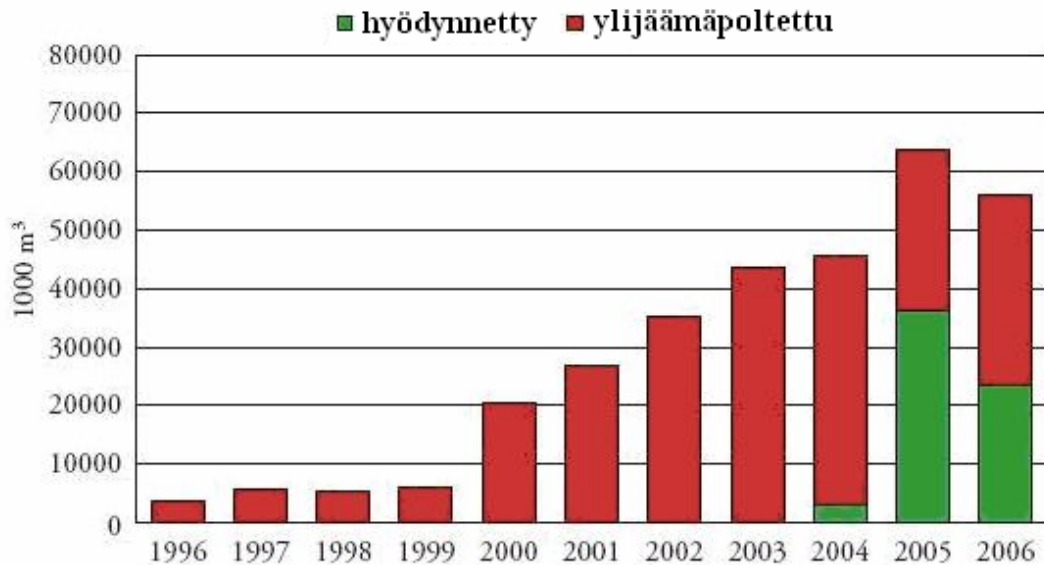
Kaatopaikkakaasun aktiivisessa käsittelyssä kaasu pumpataan imukaivojen tai salaojien avulla. Imukaivot soveltuvat vanhoille, korkeille kaatopaikoille ja salaojat uusille, matalille kaatopaikoille. Kaasu ohjataan putkistojä pitkin biokaasupumppaamolle. Pumppaamo ylläpitää putkiston alipainetta ja nostaa biokaasun paineen tarkoitusta vastaavalle tasolle. Mikäli kaasua ei kerätä hyötykäyttöön, se poltetaan soih tupolttimessa 1200 °C lämpötilassa. (Väisänen&Salmenoja, 19-21.)

4.5 Esimerkki: YTV biokaasun tuottajana

YTV eli Pääkaupunkiseudun yhteistyövaltuuskunta on Suomen pääkaupunkiseudun yhteistyöelin. Se edistää pääkaupunkiseudun kehitystä tuottamalla joukkoliikenteen, jätahuollon, ilmansuojelun ja kehityssuunnittelun palveluita. YTV:n alueen yli miljoona asukasta ja 50 000 yritystä tuottavat jätettä yli miljoona tonnia vuosittain. Tästä määrästä liki puolet päätyy jätteenkäsittelykeskukseen Espoon Ämmässuolle, joka on pääkaupunkiseudun ainoa toiminnassa oleva kaatopaikka. (Anderson 2004, 1)

Ämmässuon kaatopaikka on pohjoismaiden suurin kaatopaikka ja se on ollut toiminnassa vuodesta 1987. Kaatopaikkakaasun kerääminen aloitettiin vuonna 1996 ja vuonna 2006 Ämmässuon kaatopaikalla tuotettiin 1/3 koko Suomen biokaasusta. Vuonna 2004 kaasua alettiin hyötykäyttämään myös kaukolämmön tuotannossa. Ämmässuolta kaasu johdetaan siirtoputkia pitkin Kivenlahden lämpökeskukseen, jossa kaatopaikkakaasulla tuotetaan 8 % Espoon vuotuisesta kaukolämpötarpeesta. Vuonna 2006 kaasua kerättiin yhteensä n. 56,1 milj.m³ ja hyödynnettiin 23,5 milj.m³. (YTV:n www-sivut, Kuittinen & Huttunen & Leinonen, 2006, 44)

Ämmässuon kaatopaikan kaasunkeräysjärjestelmä koostuu vanhoista louhesalaojista ja kaasun imujohtolinjoista, 220 kaasukaivosta, neljästä kaasupumppaamosta, seitsemästä säätöasemasta ja kolmesta soih tupolttimesta sekä kaasun siirto johdoista. Lisäksi käytössä on hyödynnettävän kaasun kuivaus- ja paineenkorotusasema. (Anderson 2004, 1-2, YTV:n www-sivut)



Kuva 4. Ämmässuon biokaasun tuotanto ja hyödyntäminen vuosina 1996-2006.

Kaasulla korvataan fossiilisten polttoaineiden käyttöä energiantuotannossa. Osa kerätystä kaasusta ei voida hyötykäyttää, joten se poltetaan soihstupolttimissa 1200 °C asteen lämpötilassa. Kaatopaikkakaasun polton ansiosta kasvihuonevaikutusta saadaan jätteenkäsittelylaitoksen osalta pienennettyä jopa 95 %. Paikallisesti suurin vaikutus kaasun hyödyntämisellä on hajuhaittojen selvällä vähentymisellä. (YTV:n www-sivut.)

YTV:n alueella sijaitsee kolme suljettua kaatopaikkaa Vuosaaren, Seutulan ja Mankkaan kaatopaikat. Niillä kerättiin vuonna 2006 yhteensä 4,84 milj.m³ biokaasua, josta hyödynnettiin lähes 2,0 milj.m³. Vantaan Seutulan biokaasulaitoksen kaasusta tuotettiin vuonna 2006 sähköä 2180 MWh ja lämpöä 4766 MWh. Samana vuonna Espoon Mankkaan kaatopaikalla tuotettiin biokaasua 1,54 milj.m³, joka kaikki poltettiin soihdussa. Helsingin Vuosaaren kaatopaikalla vuonna 2006 biokaasua tuotettiin 1,61 milj.m³, josta hyödynnettiin 22 %. Helsingin Energialle myydystä kaasusta tuotettiin lämpöä 1521 MWh. Suljettujen kaatopaikkojen kaasun tuotantomäärät laskevat ajan kuluessa. (Kuittinen & Huttunen & Leinonen 2006, 43, 45, 70)

4.6 Esimerkki: Stormossen

Vaasan läheisyydessä Mustasaaren kunnassa sijaitsee Stormossen Jätehuolto Oy. Sen alueella on mekaanisen ja biologisen käsittelyn laitos, jossa mädätetään kiinteitä yhdyskuntien biojätteitä ja mekaanisesti kuivattua yhdyskuntalietettä. Laitos käsittelee vuodessa puhdistamolietettä 15 000 tonnia (kuiva-ainepitoisuus 16 %), biojätettä 7000 tonnia sekä keittiöjätteestä mekaanisesti eroteltua, helposti hajoavaa biologista jätettä 1000 tonnia. (Biokaasulaitosrekisteri 2006, 40, Stormossenin www-sivut)

Biokaasureaktoriin joutuva jäte joudutaan esikäsittelemään mekaanisesti. Jäte kulkee pussinrepijän, pyörivän rumpuseulan ja tuuliseulan kautta. Näissä jätteestä erotetaan poltettava materiaali kuten muovit ja paperit ja magneetin avulla poistetaan metallit. Biologinen käsittely tapahtuu sekoitussäiliössä, jossa biojäte lämmitetään höyryllä 55 °C. Raskas aines, kuten kivet, hiekka ja lasi poistetaan sekoitussäiliön pohjan kautta. Seuraavaksi biojäte pumpataan 1700 m³ bioreaktoriin, jossa se hajoaa hapettomassa tilassa noin kolmessa viikossa. Syntynyt biokaasu kerätään biokaasuvarastoon. Kaasusta tuotetaan sähkö- ja lämpöenergiaa Stormossenin omaan käyttöön ja lämmitetään alueen liikekiinteistöjä. Ylituotettu kaasu poltetaan soihdussa. Energiantuotannon omavaraisuusaste laitoksella on noin 30 %. Mädätysjämmästä poistetaan epäpuhtauksia ja se kuivataan, jonka jälkeen se päätyy kaatopaikkojen peiteaineeksi. (Stormossenin www-sivut, Biokaasulaitosrekisteri 2006, 40)

Vuonna 2006 Stormossenilla tuotettiin biokaasua 1,4 milj. m³, josta hyödynnettiin noin 85 %. Sähköä biokaasusta tuotettiin 2701 MWh ja lämpöä 3859 MWh. Kaasun metaanipitoisuus oli 65 %. (Kuittinen & Huttunen & Leinonen, 2006, 40.)

5 YHTEENVETO

Biopolttoaineiden ja jätteiden hyödyntämisellä biokaasun tuotannossa voidaan polttoainehuollon omavaraisuutta kasvattaa ja riippuvuutta fossiilisiin polttoaineisiin vähentää. Energian tuotannon, teollisuuden ja liikenteen käyttämiä fossiilisia polttoaineita

voidaan korvata biokaasun käytöllä ja samalla hillitä ilmastonmuutosta. Pelkästään kaasutustekniikkaa hyväksikäyttämällä voidaan polttoprosessin hyötysuhdetta parantaa ja siten vähentää tarvittavien polttoaineiden määrää. Kaasutuksen käyttötekniikoiden kehittyminen luo mahdollisuuden hyödyntää yhä erilaisempia materiaaleja ja vaikeammin poltettavia polttoaineita.

Biokaasujen erilaiset koostumukset johtuvat lähinnä jätteen tai polttoaineen laadusta, kaasutusaineesta, käytetystä tekniikasta ja prosessin olosuhteista kuten lämpötila, paine ja kosteus. Alla olevista taulukoista voidaan nähdä, että kiinteäkerroskaasuttimella tuotetun biokaasun koostumus poikkeaa huomattavasti kaatopaikoilla tai biokaasureaktorissa mädättämällä syntyneen kaasun koostumuksesta. Kaatopaikalla tai biokaasureaktorissa muodostunut kaasu sisältää pääasiassa metaania ja hiilidioksidia kun taas kiinteäkerroskaasuttimen tuotekaasu koostuu vedystä, hiilimonoksidista ja hiilidioksidista sekä ilmakaasutuksesta johtuen myös typestä. Tuotekaasu saattaa sisältää paljon epäpuhtauksia kuten tervaa ja tyyppiä, jonka vuoksi biokaasu puhtaampana polttoaineena omaa paremmat hyödyntämismahdollisuudet. Kaasujen erilaisesta koostumuksesta huolimatta niitä voidaan hyödyntää mm. energiantuotannossa.

Taulukko 3. Biokaasureaktorin biokaasun koostumus

Aine	%
Metaani	55-75
Hiilidioksidi, CO ₂	25-45
Hiilimonoksidi, CO	0-0,3
Typpi, N ₂	1-5
Vety, H ₂	0-3
Rikkivety, H ₂ S	0,1-0,5
Happi, O ₂	Jälkiä

Taulukko 4. Kaatopaikkakaasun koostumus

Metaani, CH ₄	50-65 %
Hiilidioksidi, CO ₂	35-45 %
Happi, O ₂	0-2 %

Taulukko 5. Kiinteäkerroskaasuttimen biokaasun koostumus

Aine	%
Typpeä N ₂	40–50
Vetyä H ₂	15–20
Hiilimonoksidia CO	10–15
Hiilidioksidia CO ₂	10–15
Metaania CH ₄	3–5

Biokaasun hyödyntäminen vastaa noin 0,5 % Suomessa tuotetun uusiutuvan energian tuotannosta. Kaatopaikkakaasun osalta tätä osuutta tuskin voidaan paljoakaan kasvattaa, koska kaikilla Suomen kaatopaikoilla on kaasun keräysjärjestelmät ja kaatopaikkakaasu pyritään jo nykyään hyödyntämään mahdollisuuksien mukaan. Biokaasun hyödyntäminen samalta alueelta ulottuu pitkälle aikavälille, koska kaasua voidaan kerätä kymmeniä vuosia jopa kaatopaikan sulkemisen jälkeenkin. Biokaasureaktorit tarjoavat kaatopaikkoja nopeamman ja kontrolloidumman vaihtoehdon hyödyntää biohajoavia jätteitä. Niillä voidaan tuottaa esimerkiksi liikenteen polttoainetta ja maanparannusainetta. Biokaasun tuottaminen kaasutuksella omaa käyttö- ja kehittämismahdollisuuksia ainakin energiantuotannossa varsinkin kun energiankulutusta tulisi vähentää ja päästöjä rajoittaa.

LÄHTEET

Anderson Reetta, YTV Jätehuolto. 2004. YTV biokaasun tuottajana ja käyttäjänä. Seminaari 9.12.2004, Biokaasun ja muiden vaihtoehtoisten polttoaineiden hyödyntäminen pääkaupunkiseudun liikenteessä. s.3 [pdf][Viitattu 04.04.2008]

Saatavilla: http://ilmansuojelu.ytv.kaapeli.fi/suunnittelu/aineisto/anderson_2004_b.pdf

Ciferno, Jared P., Marano, John J. U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory. Kesäkuu 2002. Benchmarking Biomass Gasification Technologies for Fuels, Chemicals and Hydrogen Production. s.58 [pdf-dokumentti] [viitattu 15.03.2008].

Saatavilla:

<http://www.netl.doe.gov/technologies/coalpower/gasification/pubs/pdf/BMassGasFinal.pdf>

Condens Oy - puhdasta energiaa. 2008. [Condens Oy:n internetsivusto] Päivitetty 30.01.2004. [Viitattu 16.03.2008]

Saatavilla: <http://www.condens.fi/fin/kaasutus.html>

Energialehti, Jaakko Nummelin. 2004. Biomassan kaasutus on lupaava energialähde. [internetsivusto][viitattu20.03.2008]

Saatavilla: http://www.energialehti.fi/juttu_07_03_04.html

Fact Sheet 9, Biogas and Landfill Gas. 2002. Energy Efficiency and Conservation Authority (EECA), Uusi-Seelanti. Kesäkuu 2002. s.4 [pdf-esite][Viitattu 19.03.2008]

Saatavilla: <http://www.eeca.govt.nz/eeca-library/renewable-energy/bioenergy/fact-sheet/biogas-and-landfill-gas-fact-sheet-05.pdf>

Filén Hannu, Jantunen Markku, Salo Kari. 1984. Kotimaisten polttoaineiden kaasutus. Osa 1. Vastavirtakaasutus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tutkimuksia 250. Espoo1984. s.58. ISBN 951-38-1948-5.

Jantunen Markku, Asplund Dan. 1981. Kotimaisten polttoaineiden kiinteäkerroskaasutus. Kirjallisuusosa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tiedotteita 46. Espoo 1981. s.39. ISBN 951-38-1321-5.

Kotimaisten polttoaineiden kaasutus ja kaasun käyttö. Sarja D:53. 1984. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Poltto- ja voiteluainelaboratorio. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Energiaosasto. Helsinki 1983. s.80. ISBN 951-46-7607-6.

Kuittinen Ville, Huttunen Markku J., Leinonen Simo. 2007. Suomen biokaasulaitosrekisteri n:o 10. Tiedot vuodelta 2006. Joensuun Yliopisto, Ekologian tutkimusinstituutti. Joensuu Yliopistopaino. s.74. ISBN 978-952-219-077-2, ISBN 978-952-219-078-9 [pdf-dokumentti]. Viitattu 07.04.2008.

Saatavilla: <http://www.biokaasuyhdistys.net/>

McKendry, Peter. 2001. Energy production from biomass (part 3): gasification technologies. Applied Environmental Research Centre Ltd, Tey Grove, Elm Lane, Feering, Colchester CO5 9ES, UK. s.9 (Bioresource Technology 83 (2002) s.55–63) [pdf-dokumentti] [Viitattu 10.03.2008]

Saatavilla: <http://www.sciencedirect.com>

OPET Report 4. 2002. Review of Finnish biomass gasification technologies. Esa Kurkela, VTT, Technical Research Centre of Finland. Espoo 2002. s.20 [pdf-dokumentti] [Viitattu 04.04.2008]

Saatavilla: www.tekes.fi/opet/pdf/OPET_Report4_2002.pdf

PrizzTech Oy/ Satakunnan Energiatoimisto. 2003. Kaatopaikkakaasun hyödyntäminen. Yhteistyössä Kuntaliiton, Motivan, Liikenne- ja viestintäministeriön sekä ympäristöministeriön kanssa. s.25 [power point- esitys][viitattu 12.04.2008]

Saatavilla: <http://www.kunnat.net>

Pääkaupunkiseudun yhteistyövaliokunta YTV. 2008. [YTV:n kotisivut] Päivitetty 22.05.2007. [Viitattu 04.04.2008]

Saatavilla: http://www.ytv.fi/FIN/jatehuolto/tietoa_ytvjatehuollosta/kasittelykeskus/toimintot/kaasu.htm

Raiko, Risto (toim.) et al. Poltto ja palaminen. 1995. International Flame Research Foundation (IFRF) Suomen kansallinen osasto. Teknillisten Tieteiden Akatemia (TTA). Jyväskylä 1995. s.629. ISBN 951-666-448-2.

Themelis, Nickolas J. & Ulloa, Priscilla A. 2006. Methane generation in landfills. Earth Engineering Center and Department of Earth and Environmental Engineering, Columbia University, New York, NY 10027, USA. s.15. [pdf-dokumentti] [Viitattu 22.03.2008]
Saatavilla: <http://www.sciencedirect.com>

Väisänen, Petri, Salmenoja, Jarkko. 2005. Biokaasun muodostuminen ja sen hallittu käsittely kaatopaikoilla. Suomen biokaasuyhdistys. s.27. [pdf-dokumentti] [Viitattu 20.03.2008]
Saatavilla: <http://www.biokaasuyhdistys.net/>

Wabio biokaasulaitos, hyviä ratkaisuja biohajoavan jätteen käsittelyyn ja biokaasun käyttöön. s.10 [pdf-esite][Viitattu 15.03.2008]
Saatavilla: www.rmg.fi/esitteet/wabio.pdf

Zhao Xianda et al. 2008. Start-up performance of a full-scale bioreactor landfill cell under cold-climate conditions. CTI and Associates, Inc., 12482 Emerson Drive, Brighton, MI 48116, USA. Institute of Community and Public Health, Birzeit University, P.O. Box 154, Ramallah, Palestine. Secor International, Inc., 2321 Club Meridian Drive, Okemos, MI 49964, USA. Department of Civil and Environmental Engineering, Michigan State University, East Lansing, MI 48824, USA. s.12 [pdf-dokumentti] [Viitattu 12.04.2008].
Saatavilla: <http://www.sciencedirect.com>