

Kemiantehtaan jätehuoltosuunnitelman päivittäminen ja orgaanisen
karboksimeetyyliselluloosajätteen biologinen käsittely

Jyväskylän yliopisto
Bio- ja ympäristötieteiden laitos
Uusiutuvan energian koulutusohjelma
Ympäristötieteiden
pro gradu -tutkielma
Kari Kirjavainen
Helmikuu 2006

”Kaikki, mitä työpaikkamme jätesäiliö sisältää, on rahalla ostettua.”

Tarkastaja Markku Illikainen, Hämeen Läninhallitus
Seminaarissa Voiko työpaikka säästää ympäristöä, Hämeenlinnassa 21.4.1992.”
(Lettenmeier 1994).

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO, Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Ympäristötieteet

KIRJAVAINEN, KARI MATTI

SAKARI:

Kemiantehtaan jätehuoltosuunnitelman päivittäminen ja orgaanisen karboksimeetyyliselluloosajätteen biologinen käsittely

Pro gradu-tutkielma:

150 s., 7 liitettä (16 s.)

Työn ohjaajat:

Vs. Prof. Kari Hänninen, EHS-päällikkö Timo Liimatainen, FM Hanna Pöyhönen

Tarkastajat:

Vs. Prof. Kari Hänninen, FM Hanna Pöyhönen

Helmikuu 2006

Hakusanat: anaerobinen käsittely, jätehuoltosuunnitelma, karboksimeetyyliselluloosa, kemianteollisuus, kiinteät jätteet, kompostointi, jätteenpoltto

TIIVISTELMÄ

Lainsäädäntö edellyttää vähentämään jätteen määrää ja kaatopaikkasijoittamista. Kemianteollisuudesta jätettä syntyy eniten sivuainevirroista, vaikka prosesseissa käytetään useita kemikaaleja. Karboksimeetyyliselluloosaa (CMC) valmistavan Äänekosken CP Kelco Oy tehtaan jätehuoltosuunnitelma haluttiin päivittää ja tarkastella sen kehitysmahdollisuuksia. Tutkimuksen tarkoituksena oli määrittää jätejakeiden nykyinen keräysjärjestelmä, sekä kyselytutkimuksella ja haastatteluilla selvittää tehtaan jätehuollon nykytila. Biohajoavan CMC-jätteen osalta käsittelymuotoina kokeiltiin kompostointia ja anaerobista käsittelyä eri koejärjestelyillä, sekä pohdittiin CMC:n polttamista. Kyselyn perusteella työntekijät olivat halukkaita jätehuollon kehittämiseen ja koulutukseen, ja parannusehdotuksissa haluttiin jätekeräyspisteiden ja opastuksen lisäämistä sekä selkeämpää merkintää. Tehtaan nykyinen jätehuolto on toimiva, mutta suursäkkien kierrätys ja pahvi-, teollisuuskuitu- sekä metallinkeräys vaativat tehostamista. Ongelmajätteen luovuttamiseen pitää sopia vastaavat henkilöt. Tekninen ja puhdas CMC-laatu soveltuivat anaerobiseen käsittelyyn. Puhdas laatu tuotti ilman entsyymejä 235 ml CH₄/VS, mutta muiden jätemateriaalien tuotto oli vähäistä. Entsyymien kanssa jokainen jätejake tuotti metaania, joista eniten puhdas CMC ja jätevesiseos 543 ml CH₄/VS sekä tekninen CMC ja jätevesiseos 444 ml CH₄/VS. Puhtaan CMC:n tulos (77 ml CH₄/VS) oli teknistä laatua heikompi (248 ml CH₄/VS), mikä johtui mahdollisesti mittausvirheestä. Myös mustalipeä hajosi entsyymien kanssa metaania tuottaen (63 ml CH₄/VS), joten entsyymit lisäsivät ja nopeuttivat hitaasti hajoavan CMC:n pilkkomista. Kompostointikokeissa 10 % CMC-pitoisuus soveltui hyvin erilliskerätyn biojätteen kanssa kompostoitavaksi. 20 % CMC-pitoisuudella massa tiivistyi ja paakkuuntui, kun CMC sitoi kosteutta. Kuivuus osaltaan häiritsevi kompostoitumista, ja turve muodosti CMC:n kanssa amorfisen massan, jolloin ilman virtaaminen vaikeutui. Puhdas CMC soveltui hiukan teknistä laatua paremmin kompostoitavaksi, ja tuorepainoreduktio oli hakemassoilla suurin (tekninen CMC ja hake 49,5 % ja puhdas CMC ja hake 42,4 %). Tilavuusreduktio 58,2 % kuvasi turvemassan tiivistymistä. Hehkutushäviö kasvoi puhtaan CMC:n seoksilla noin 14 % ja lämpötilatkin olivat korkeita, joten kompostoituminen onnistui. Tunnelikompostoinnissa CMC-jäte ei soveltunut turpeen korvaajaksi tukiaineena jätevesilietettä kompostoitessa. Tunnelikompostikokeessa kompostoitumista tapahtui, mutta tiivistyneen ja paakkumaisen massan lämpötila jäi alhaiseksi (43 °C). Kolmen viikon kokeen aikana orgaanisen aineen häviö oli vain 12 m-%, mutta käytetty CMC-pitoisuus oli liian korkea. Ongelmana jätteenpoltossa on CMC:n sisältämä NaCl.

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ, Faculty of Mathematics and Science
 Department of Biological and Environmental Science
 Environmental Sciences
 KIRJAVAINEN, KARI MATTI

SAKARI:

Updating the waste management plan of chemical
 factory and the biological treatment of organic
 carboxymethylcellulose waste

Master of Science Thesis

150 p., 7 appendices (16 p.)

Supervisors:

Professor Kari Hänninen, EHS Manager Timo
 Liimatainen, MSc Hanna Pöyhönen

Inspectors:

Professor Kari Hänninen, MSc Hanna Pöyhönen

February 2006

Keywords: anaerobic treatment, carboxymethylcellulose, chemical industry, composting,
 waste management plan, solid waste, waste incineration

ABSTRACT

Legislation demands to diminish the amount of waste and its landfill site placing. In chemical industry waste is mainly consisted of side material streams, although different kinds of chemicals are used in the processes. Waste management plan of Äänekoski CP Kelco Oy carboxymethylcellulose (CMC) chemical factory was updated and examined for development possibilities. Purpose of the research was to define the present collecting system of waste by survey and by interviews to find out the present situation of waste management. Different kinds of composting and anaerobic treatment trials were tried as a treatment for biodegradable CMC waste. Burning of CMC was also examined. According to the survey, employees were willing to develop waste management and to obtain further education. Increasing guidance and waste collecting points and also clearer marking were suggested as improvements. The present waste management of the factory is functioning but big sack recycling and cardboard, wrappings and metal collecting needs to be rendered more effective. Responsible persons should be appointed for the handing over of the hazardous waste. Technical and pure CMC grades were suitable for anaerobic treatment. Without enzymes pure grade produced 235 ml CH₄/VS, but methane yield of other wastes was minimal. With enzymes every waste produced biogas, the biggest yields resulting from pure CMC and wastewater 543 ml CH₄/VS, and technical CMC and wastewater mixture 444 ml CH₄/VS. The yield of pure CMC (77 ml CH₄/VS) was less than yield of technical grade (248 ml CH₄/VS), which was probably due to an error in measurement. Even the black liquor degraded by releasing methane (63 ml CH₄/VS) so the enzymes increased and quickened the decomposing of slowly degradable CMC. In composting trials 10 % CMC concentration was suitable for composting with separately collected bio waste. With 20 % concentration the compost mass became tighter and lumpy because CMC binds moisture. Dryness in some part hindered composting and peat with CMC formed the amorphous mass, in which the air circulation became difficult. Pure CMC suited slightly better for composting than the technical grade and the fresh weight reduction was bigger with wood chips masses (technical CMC mixture 49,5 % and pure CMC mixture 42,4 %). 58,2 % volume reduction indicated the condensation of peat mixture. VS increased in pure CMC mixtures about 14 % and temperatures were high, showing that the composting was successful. CMC waste is not suitable for tunnel composting with wastewater sludge to replace peat. There was some composting in tunnel but the temperature of condensed and lumpy mass was low (43 °C). During three week the reduction of organic material was only 12 m %, but the used CMC concentration was too high. NaCl in CMC is a problem in waste incineration.

Lyhenteet ja määritelmät

aerobinen tila	kuvaa kompostin toimintaa runsashappisissa olosuhteissa
anaerobinen tila	kuvaa mädätysprosessin toimintaa anoksisissa olosuhteissa
BOD	biologinen hapenkulutus, <i>biological oxygen demand</i>
CMC	karboksimeetyyliselluloosa, <i>carboxymethylcellulose</i>
C/N	hiili/typpi-suhde, <i>carbon/nitrogen-ratio</i>
COD	kemiallinen hapenkulutus, <i>chemical oxygen demand</i>
C/P	hiili/fosfori-suhde, <i>carbon/phosphorus-ratio</i>
DP	polymeroitumisaste, <i>degree of polymerization</i>
DS	substituutioaste, <i>degree of substitution</i>
EHS	ympäristö-, terveys- ja suojelu, <i>environment, health and safety</i>
F	syttyvä, <i>flammable</i>
FA	fulvo hapot, <i>fulvic acids</i>
FID	liekki-ionisaatiodetektor, <i>flame ionization detector</i>
fytotoksisuus	kasveille toksisuutta aiheuttavat yhdisteet
HA	humus hapot, <i>humic acids</i>
hypoksinen tila	kuvaa kompostin toimintaa vähähappisissa olosuhteissa
ka	kuiva-aine
kuitusavi	massa- ja paperiteollisuuden sivutuotteena syntyvä kuitu- ja täytepitoinen liete
LCFA	pitkäketjuiset rasvahapot, <i>long chain fatty acids</i>
L&T	Lassila & Tikanoja Oy
M	molaarisuus, <i>molarity</i>
MCA	monokloorietikkahappo, <i>monochloro acetic acid</i>
meesa	valkolipeän valmistuksessa syntyvää kiinteää kalsiumkarbonaattia
ml	mustalipeä
patogeeni	tautia aiheuttava
PCC	saostettu kalsiumkarbonaatti, <i>precipitated calcium carbonate</i>
PE	polyeteeni, <i>polyethylene</i>
PKT-yritys	pieni ja keskisuuri teollisuus-yritys
PP	polypropeeni, <i>polypropylene</i>
PVC	polyvinyylidikloridi, <i>polyvinyl chloride</i>
Ref-jäte	kierrätyspolttoaine, <i>recovered fuel</i>
R-lauseke	vaaraa osoittava standardilauseke, <i>risk statement</i>
S-lauseke	turvallisuustoimenpiteitä osoittava standardilauseke, <i>safety statement</i>
SE-romu	sähkö- ja elektroniikkaromu
T	myrkyllinen, <i>toxic</i>
T&K	tutkimus ja kehitys
TS	kuiva-ainepitoisuus, <i>total solids</i>
UN-hyväksytty	YK, Yhdistyneet Kansakunnat, <i>UN Certified, United Nations</i>
VFA	haihtuvat rasvahapot, <i>volatile fatty acids</i>
VS	haihtuvat kiinteät aineet, hehkutushäviö, <i>volatile solids</i>

SISÄLLYSLUETTELO

1. Johdanto.....	9
2. Jätehuoltosuunnitelma	12
2.1 Jätehuoltosuunnitelman yleistä taustaa.....	12
2.2 Ongelmajätehuolto	15
2.2.1 Ongelmajätteiden säilytys, pakkaaminen, merkintä ja luovutus	15
2.2.2 Öljyjätehuolto	17
2.3 Keräyspaperi ja teollisuuskuitu sekä pakkausjätteen lainsäädäntö.....	17
2.4 Jätteiden kaatopaikkasijoitus	20
3. Tehtaan nykyinen jätehuolto	23
3.1 Yleistä.....	23
3.2 Kyselytutkimus.....	26
3.2.1 Johdanto.....	26
3.2.2 Menetelmät	26
3.2.3 Tulokset	26
3.2.4 Tulosten tarkastelu.....	33
3.2.5 Johtopäätökset	36
4. Tehtaalla syntyvien jätejakeiden tarkastelua	37
4.1 Sekajäte.....	37
4.2 Puujäte	39
4.3 Metalli.....	40
4.4 Lasijäte	43
4.5 Jätepaperi.....	43
4.6 Jätepahvi ja teollisuuskuitu.....	45
4.7 Ongelmajätteet.....	47
4.8 Muovijäte.....	49
4.8.1 Nykytilanne ja ongelmat tehtaalla	49
4.8.2 Suursäkkien ja muovikonttien kierrätys tehtaalla.....	51
4.8.3 Muovijätteen hyötykäytön tehostaminen	53
4.9 Biojäte ja CMC-jäte.....	58
4.10 Jätteenpoltto.....	60
5. Selluloosa ja CMC.....	61
5.1 Selluloosan ja ligniinin biologinen hajoaminen	61
5.2 CMC:n valmistus ja ominaisuudet	64
6. Anaerobinen hajoaminen ja metaanintuotto	66
6.1 Yleistä.....	66
6.2 Anaerobisen hajoamisen vaiheet	68
6.3 Energiametabolia ja kinetiikka	72
6.4 Entsyymit.....	73

6.5 Olosuhdetekijät ja inhibointi	76
6.6 Äänekoskelle suunniteltu biokaasulaitos.....	79
7. Mädätyskokeet.....	79
7.1 Johdanto.....	79
7.2 Materiaalit ja menetelmät	80
7.2.1 Jättemateriaalit teollisuuslaitoksilta.....	80
7.2.2 Näytteenotto ja menetelmät	81
7.3 Tulokset ja niiden tarkastelu.....	83
7.3.1 Kaasuntuotantopotentiaali	83
7.3.2 Kuiva-aine (TS %), orgaaninen aines (VS %) ja pH.....	88
7.4 Johtopäätökset	90
8. Aerobinen käsittely.....	92
8.1 Yleistä kompostoitumisesta.....	92
8.2 Materiaalit.....	94
8.3 Biologinen hajoaminen.....	95
8.4 Mikrobit ja patogeenit	96
8.5 Metabolia ja prosessivaiheet.....	99
8.6 Ravinteet ja partikkelikoko.....	100
8.7 Typen kierto ja hiili/typpi -suhde	101
8.8 Kosteus ja pH	102
8.9 Ilmastus.....	103
8.10 Lämpötila.....	105
8.11 Kypsyys	106
9. Kompostointikokeet	108
9.1 Johdanto.....	108
9.2 Materiaalit ja menetelmät	109
9.2.1 Materiaalit.....	109
9.2.2 Menetelmät	110
9.2.2.1 Pienkompostorikokeet	110
9.2.2.2 Aumakompostointi	112
9.2.2.3 Tunnelikompostointi.....	114
9.3 Tulokset ja niiden tarkastelu.....	116
9.3.1 Pienkompostorikokeet	116
9.3.1.1 Kompostoitumisprosessi ja lämpötila.....	116
9.3.1.2 Massan ja tilavuuden reduktio kompostoitumisessa	120
9.3.1.3 Kuiva-aine (TS %), orgaaninen aines (VS %), johtokyky ja pH.....	122
9.3.2 Aumakompostointi	124
9.3.3 Tunnelikompostointi.....	125
9.4 Johtopäätökset	128
10. Yhteenveto.....	131
11. Kiitokset	133

Kirjallisuusluettelo	134
----------------------------	-----

Liite 1. Jätejakeiden keräyspistekartta

Liite 2. Jätehuoltokyselykaavake

Liite 3. Syntyvien jätejakeiden keräyspistesuunnitelma, hyötykäyttö ja loppusijoitus

Liite 4. Ensimmäisen mädätyskokeen metaanipitoisuuskuvaaja

Liite 5. Ensimmäisen mädätyskokeen biokaasun tilavuuskuvaaja

Liite 6. Entsyymimädätyskokeen metaanipitoisuuskuvaaja

Liite 7. Entsyymimädätyskokeen biokaasun tilavuuskuvaaja

1. Johdanto

Kokonaistuotannolla ja viennin arvolla mitattuna kemianteollisuus on Suomen kolmanneksi suurin teollisuudenala metsäteollisuuden ja metalli-, konepaja- ja elektroniikkateollisuuden jälkeen (Garcia ym. 2004; Kemianteollisuus 2005). Yleisesti kemianteollisuus liitetään saasteisiin, luonnonvarojen tuhoamiseen, onnettomuuksiin ja myrkyllisiin päästöihin (Clarck 2003). Nämä väärät mielikuvat johtuvat osaltaan kemianteollisuuden laaja-alaisuudesta, sillä Suomessakin ydinalueita on 11, joista muovituotteet ja puolivalmisteet, petrokemian tuotteet, ympäristötuotteet, metsäteollisuuskemikaalit ja muut kemialliset tuotteet ovat tärkeimmät alat (Kemianteollisuus 2005). Karboksimeetyyliselluloosa (CMC) luokitellaan muoviaiaineita valmistavaan teollisuuteen (Kastinen 2005, suull. tiedonanto), vaikka raaka-aine ja tuote perustuvatkin vahvasti metsäteollisuuteen. Biohajoavana materiaalina CMC:n valmistuksen ympäristövaikutukset ovat pienet, koska valmistusprosessit ovat suljettuja ja tehokkaita. Kemianteollisuuden tuotannossa syntyvien jätteiden määrä on pieni, joten jätemäärän vähennyksiä voidaan tehdä vain sivuainevirroissa (Ilomäki 1999). Materiaalikierrätys ei kuitenkaan toteudu pelkällä syntypistelajittelulla, vaan tehtailla pitää olla tekniset ja taloudelliset edellytykset ja sopivat käyttökohteet sen toteuttamiseksi (Anhava ym. 2001).

Jätehuoltosuunnitelma on pohjana onnistuneelle jätteiden keräämiselle, lajittelulle ja loppusijoittamiselle. Suunnitelman avulla tiedostetaan paremmin toiminnassa syntyvät jätteet ja niiden määrät, sekä ollaan valmiina uudistuksiin mahdollisten tuotanto- ja lakimuutosten mukaisesti. Jätehuollon keskeiset perusteet määrittävät jätelaki (1072/1993) ja jäteasetus (1390/1993). Näiden lisäksi on vielä ympäristöministeriön asetuksia, valtioneuvoston päätöksiä sekä EU:n direktiivejä jätteiden hyödyntämisestä ja sijoittamisesta kaatopaikoille. Kansallinen biojätestrategia ja valtakunnallinen jätesuunnitelma ovat myös toimintaa ohjaavia asiakirjoja. Tärkeimpänä tavoitteena on kuitenkin jätteiden synnyn ehkäiseminen (Anonyymi 1975b; Anonyymi 2001a; Anonyymi 2001b), mitä edistävät alan tekniikka ja kehitys. Jätteen synnyn vähentäminen on kilpailuetuna myös tulevaisuudessa (Anhava ym. 2001). Teollisuuden elinkaarianalyysien määrää lisäämällä ja tuotannon laitetekniikan kehittämällä jätteiden määrä pienenee. Myös ympäristölupiin tulisi lisätä ehtoja jätteiden synnyn ehkäisystä ja haitallisuudesta, sekä jätteiden ja sivutuotteiden määrittelyä tulisi selkeyttää ja tilastointia kehittää (Yli-Kauppila & Niemi 2003). Euroopan yhteisön komissio on ehdottanut kuudennessa ympäristötoimintaohjelmassaan Euroopan yhteisölle 2001–2010 jätteen vähentämisen yhtenä avaintoiminta-alueista (Anonyymi 2001b), lisäksi Euroopan unionin

direktiivit sekä kansalliset lait ja asetukset yhä enenevässä määrin asettavat uusia jätteenvähennystavoitteita. Koska jätehuolto koostuu niin tekniikan, logistiikan, talouden, lakien, kuin ympäristö- ja sosiaaliasioidenkin seuraamuksista (Pongrácz 2002), on jätehuollon kokonaisuuden hallitseminen vaikeaa.

Erityisesti biohajoavan jätteen loppusijoittamisessa kaatopaikoille huolta aiheuttaa muodostuva voimakas kasvihuonekaasu metaani, jonka määrää on pyrittävä vähentämään (Anonyymi 2004b; Anonyymi 1999a). Biohajoava jäte pitää esikäsitellä ennen loppusijoittamista siten, ettei se tämän jälkeen enää hajoa kaasua vapauttaen. Biohajoavana materiaalina CMC:aa koskevat nämä samat säädökset. Kansallinen strategia biohajoavan jätteen kaatopaikkakäsittelyn vähentämisestä (Anonyymi 2004b) edistäisi erityisesti jätteiden biologista käsittelyä, kuten kompostointia ja anaerobikäsittelyä, mutta energiahyödyntäminen polttamalla on myös yksi vaihtoehto.

CP Kelco Oy toimii Äänekosken metsäteollisuusintegraatissa yhdessä M-Real Oyj:n paperi- ja kartonkitehtaan, Oy Metsä-Botnia Ab:n sellutehtaan, Äänevoima Oy:n energiayksikön ja Specialty Minerals Oy:n PCC-tehtaan kanssa. Tehtaat ovat erillisiä yksiköitä, mutta niillä on teknisiä yhteyksiä ja asiakas-toimittaja suhteita keskenään. Tehdasalueella on myös sisäinen kaatopaikka. CP Kelco Oy on maailman suurin karboksimeetyliselluloosan tuottaja ja yhtiön omistaa Yhdysvaltalainen J.M. Huber. Liikeideana on muuttaa selluloosa vesiliukoiseen muotoon kemikaalikäsittelyllä, jolloin sille syntyy uusia käyttösovelluksia. Äänekoskella valmistettua CMC:aa käytetään muun muassa paperi-, maali-, kaivos-, pesuaine- ja öljynporausteollisuudessa lisä- ja apuaineina. Tuotannosta 90 % päätyy vientiin (Anonyymi 2004a). Ruotsin ja Hollannin tehtailla valmistettava CMC soveltuu elintarvikkeiden sakeuttamis- ja stabilointiaineeksi (E466), ja lisäksi osa tuotannosta käytetään lääkeaineteollisuudessa.

Äänekosken tehtaalla on kolme tuotantolinjaa, joista kaksi valmistaa puhdasta ja yksi teknistä CMC- laatua. Lisäksi tehtaaseen kuuluu linjoille yhteinen viimeistelyosasto ja kaksi liuottimen regenerointiyksikköä (tislamoona). Erikois-CMC laaduille on lisäksi pinnoituslinja. Tuotantokapasiteetti on 68 000 t/v, josta 50 000 t/v on puhdasta ja loput teknistä CMC:aa (Anonyymi 2004a). Konekorjaamon rakennuksessa on kunnossapidon laitteistoa, varasto sekä työhuoneita. Varsinainen konttorirakennus sijaitsee kiinteästi tehtaan yhteydessä. Tuotevarastoista tuotteet lähtevät markkinoille joko rekka- tai rautatiekuljetuksina. Tutkimus-

ja kehitysosasto, laboratoriot ja Pilot-laitos vastaavat tuotteiden laadusta ja tutkimuksesta. Työntekijöitä on noin 250, joiden lisäksi on ulkopuolisia urakoitsijoita.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella CMC:aa tuottavalla kemiantehtaalla syntyviä jätejakeita, niiden keräystä ja kierrätystä, sekä soveltaa saatuja tietoja uuden jätehuoltosuunnitelman laadintaan. Kyselyn ja haastattelujen tuoman tiedon lisäksi tarkasteluissa pohjaututtiin ajankohtaiseen jätelainsäädäntöön, jonka johdosta tutkimus on myös tiedottava ja ohjeistava. Lisäksi koejärjestelyin tutkittiin CMC-jätteen soveltuvuutta aerobiseen ja anaerobiseen käsittelyyn sekä jätteenpoltoon. Tutkimus aloitettiin jätejakeiden tarkastelulla ja kyselyllä huhtikuussa 2005. Kokeellinen osio painottui toukokuun ja syyskuun väliseen aikaan.

2. Jätehuoltosuunnitelma

2.1 Jätehuoltosuunnitelman yleistä taustaa

Jätehuoltosuunnitelman tehtävänä on hahmottaa jätevirrat ja jätteenkäsittelyvaihtoehdot. Se määrittää taloudelliset ja investointivaatimukset sekä nykyisen suunnitelman riittävyyden tulevaisuuden määräysten mukaiseksi. Tarkistettu Suomen jättesuunnitelma vuoteen 2005 (Anonyymi 2001a) perustuu EU:n jätedirektiiviin (75/442/ETY) (Anonyymi 1975b) ja sisältää muun muassa Euroopan yhteisön jätehierarkian (Anonyymi 2001b). Siinä ensimmäisenä periaatteena on jätteen synnyn estäminen, sitten jätteen kierrätys (erityisesti materiaalkierrätys) ja viimeisenä jätteen hävittäminen (kaatopaikka ja poltto ilman energian tuottoa) (Kautto & Melanen 2004). Näiden lisäksi pitää huomioida varovaisuusperiaate, saastuttaja maksaa -periaate ja tuottajavastuu sekä se, että ympäristö, energia, terveys ja työkyky ovat kaikki osana jätehuoltoa (Anonyymi 2000a; Anonyymi 2003a). Toimivassa jätehuollossa ympäristö on puhtaampi ja ihmiset terveempiä, joka heijastuu suoraan työkykyyn sekä työmotivaatioon. Roskaamiskielto velvoittaa jo pitämään ympäristön siistinä (Anonyymi 1993a). Suuri vaikutus on myös hallituksen jätepoliittisilla välineillä, joita ovat säädökset/säännöt (luvut, kiellot), taloudelliset välineet (maksut, tuet, verot) ja tiedottavat välineet (tiedotuskampanjat, ekomerkit) (Kautto & Melanen 2004).

Tilannekatsaukset kertovat nykyisen suunnitelman tilasta ja sen saavutuksista verrattuna aikaisempiin. Jättemääräarviot antavat tietoa eri jätelaatujen koostumuksesta ja ovat päättäjille taustatietoina suunniteltaessa strategioita jätealalla. Jotta kaikki syntyvät jätteet saataisiin tiedostettua, tulisi selvitys tehdä prosessikohtaisesti kaikkien materiaalivirtojen osalta (Iivonen 1990). Keräyssysteemi, eri käsittelytavat ja niiden käyttöaika sekä investoinnit ja toimintakulut vaikuttavat kustannuksiin. Parannetulla jätehuoltosuunnitelmalla pyritään tulevaisuuden tavoitteisiin, joita ovat ympäristön, terveyden ja turvallisuuden nykytilan parantaminen; muutokset liittyen kapasiteettiin ja jätehuollon fyysiseen tilaan sekä systeemin tehokkuuden parantaminen. Mahdolliset jättemäärien vaihtelut vuoden aikana on syytä selvittää. Tulevaisuuden näkymät, eli muutokset tuotannossa, uudet jätehuoltomenetelmät, uudet poliittiset säädökset ja taloustilanne, ovat huomioon otettavia seikkoja. Jotta suunnitelmasta tulisi toimiva ja tehokas, on tärkeää, että kansalaiset (työntekijät) ymmärtävät ja kannattavat sitä (Anonyymi 2003a).

Maailmanlaajuisesti kemianteollisuus on haluton muuttamaan kemikaalituotteitaan ja prosessejaan sekä käyttää mieluummin jätehuoltoa putkenpäänä, joka tarkoittaa kemiallista, biologista ja fyysistä loppuvirtojen käsittelyä. Jätehuollon lisääntyneet kustannukset (päivittäminen ja hinta) sekä potentiaali kulujen pienentämiseen motivoivat jätteiden määrän vähentämistä. Tämä ymmärretään virheellisesti kuitenkin vain kaatopaikalle päätyvien jätteiden vähentämisenä. Responsible Care -ohjelma painottaa jätteiden muodostumisen vähentämistarkeyttä ja työntekijöiden sekä kuluttajien kouluttamista. Responsible Care -ohjelman lisäksi Äänekoskella käytetään myös ISO 14001 -ympäristöjärjestelmää. Teollisuudessa jätteiden vähentämisstrategiaan mukautuminen vaatii tietoisuutta resurssien käytöstä. Näin ollen olennaista tehokkaalle toiminnalle on, että termit, kuten jätteiden muodostumisen estäminen, jätteiden vähentäminen, uudelleenkäyttö ja kierrätys, ovat hyvin ymmärrettyjä (Garcia ym. 2004).

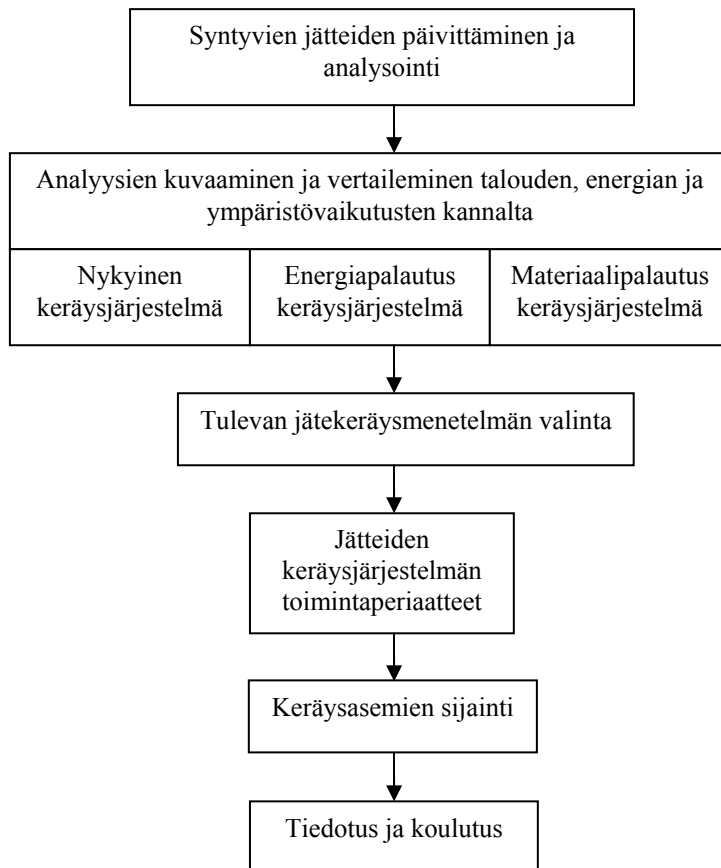
Kemian tehdas tarvitsee toimiakseen ympäristöluvan, johon sisältyy myös vaatimus jätteistä huolehtimisesta. Jätelainsäädännön päätavoitteita ovat jätteiden synnyn ehkäiseminen ja niiden haitallisuuden ehkäiseminen. Jätelaki (1072/1993) säättää, että ensisijaisesti jäte on hyödynnettävä, jos se on teknisesti mahdollista ja siitä ei aiheudu kohtuuttomia lisäkustannuksia verrattuna muuhun jätehuoltoon. Seuraavaksi on pyrittävä hyödyntämään jätteen sisältämä aine ja vasta sitten sen sisältämä energia. Jätejakeet on pyrittävä pitämään erillään kaikissa käsittelyvaiheissa ja jätteen tuottajan on huolehdittava jätteen keräyksestä ja kuljetuksesta. Tuotannon harjoittajan on oltava selvillä tuotannostaan ja tuotteestaan syntyvistä jätteistä ja näiden terveys- ja ympäristövaikutuksista, jätteen määrästä ja haitallisuuden vähentämisestä sekä jätehuollosta. Selvilläolovelvollisuuden piiriin kuuluvat tietoisuus mahdollisuudesta kehittää tuotantoa ja tuotetta, niin että jätteen määrä vähenisi. Lisäksi on pidettävä kirjaa toiminnasta syntyneen, kerätyn, varastoidun, kuljetetun, hyödynnetyn ja käsitellyn jätteen määrästä, lajista, laadusta ja alkuperästä. Toimitettaessa jäte muualle on oltava tietoinen sen toimituspaikasta ja -päivämäärästä sekä kuljetus- ja hyödyntämis- tai käsittelytavasta (Anonyymi 1993a; Anonyymi 2001a).

Suomen liittyminen EU:hun vaikutti myös jätehuollon lainsäädäntöön ja tavoitteisiin. Teollisuuden tavoitteena oli jätteiden keskimääräisen hyödyntämistason nostaminen vähintään 70 %:iin vuonna 2005. Jätteiden haitallisuutta tuli vähentää olennaisesti, ja jättemateriaalien käyttöä raaka-aineena ja energialähteenä tuli lisätä ja monipuolistaa. Kemianteollisuuden jätteen synnyn ehkäisy tavoite vuodelle 2005 oli vähintään 15 % ja

hyödyntämistavoite vähintään 50 %, kun vertailuvuotena käytettiin vuotta 1992 (Anonyymi 2001a).

Ekotehokkaasti tuotetaan enemmän vähemmällä jätemäärällä, ja sen myötä säästöjä muodostuu tulevaisuudessa, esimerkiksi vähentyneinä kaatopaikkakustannuksina. Ekotehokkuus vähentää putkenpääteknologian käyttöä ja parantaa yhtiön kuvaa täyttämällä asiakkaiden ympäristövaatimukset. ISO 14001 -standardissa ekotehokkuus sisältää jätteen määrän vähentämisen ja pienemmän raaka-aineiden käytön. Elinkaarianalyysit kehdestä hautaan antaisivat vielä tarkempaa informaatiota tehokkuuden lisäämisestä (Anonyymi 1997b).

Tutkimuksessaan teollisuuden jätehuollon järjestämisestä Hogland ja Stenis (2000) ehdottivat systeemin tarkastelua ja toimintaa kolmivaiheisena: 1. ensin täsmennetään jätehuoltosuunnitelmaa ja testiohjelmaa, 2. sitten tehdään tarvittavat kokeet jätteen käsittelystä ja 3. lopuksi järjestelmästä tiedotetaan (Kuva 1). Aluksi selvitetään nykyisten keräysastioiden tilavuudet sekä jätteen kategoria. Tuloksista riippuen voidaan säilyttää nykyinen järjestelmä, ottaa energia-optimoiva vaihtoehto tai sitten materiaalipalautusta optimoiva järjestelmä. Stora Enso Hylte Ab:n paperitehtaalla Ruotsissa päädyttiin energiaa optimoivaan vaihtoehtoon, suuresta poltettavan jätteen määrästä johtuen. Syntypistelajittelussa keräys voidaan järjestää yksittäisillä astioilla, joita sijoitetaan ympäri tehdasta, jätekeräysasemilla tai keräyskeskuksella, joka on erityisalue, jossa on keräysastiat kaikentyyppiselle jätteelle. Stora Enson tehtaalla käytettiin näistä jokaista, eli yksittäiset keräysastiat työpisteessä, keräysasemat tietyille jätteille ja lopulta vielä keräyskeskus suurille jätemäärille (Hogland & Stenis 2000).



Kuva 1. Jätehuoltosuunnitelman laatimisjärjestys (Hogland & Stenis 2000).

2.2 Ongelmajätehuolto

2.2.1 Ongelmajätteiden säilytys, pakkaaminen, merkintä ja luovutus

Ongelmajätevaraston merkinnässä tulee ilmetä varastoitavat jätteet ja niiden varoitusmerkinnät. Lisäksi jätemääristä on pidettävä varastokirjanpitoa. Tämä osoittaa haltijan toiminnasta syntyneiden ja hallinnassa olevien ongelmajätteiden laadun ja määrän. Palavat nesteet, hapot, emäkset, hapettavat aineet ja aineet, jotka esimerkiksi tulipalon sattuessa voivat aiheuttaa vaaraa, on varastoitava erillään. Esimerkiksi yli 200 litran suuruisia eriä palavia nesteitä ja myrkyllisiä aineita on säilytettävä erillään muista aineista palavan nesteen varastossa. Ongelmajätevarastossa pitää olla selkeät työskentely- ja turvaohjeet ja lisäksi pitää käyttää riittäviä suojavälineitä. Lämmittämätönkin tila kelpaa, jos lämpötilan vaihtelu ei vaurioita keräilyastioita, eikä jätteellä ole jäätymisvaaraa (Anonyymi 2004d).

Laboratorion ongelmajätteet pakataan niille varattuihin ekobokseihin, jotka on suunniteltu vaarallisten aineiden kuljetukseen ja joissa on imeytysliinat mukana. Nämä laatikot ovat Valtioneuvoston (659/1996) ja jäteasetuksen (1390/1993) mukaisia uudelleensuljettavia tiiviitä pakkauksia (Anonyymi 1993b; Anonyymi 1996). Lisäksi käytetään UN-hyväksytyjä pahvilaatikoita kiinteille jätteille. Asianmukaisen jätehuollon järjestämiseksi, ja jotta jätteistä ei aiheutuisi vaaraa tai haittaa terveydelle ja ympäristölle, tulee jätteet koota, pakata, merkitä ja antaa niistä tarvittavat tiedot. Ongelmajätepakkaukseen on merkittävä jätteen ja sen haltijan nimi sekä turvallisuuden ja jätehuollon järjestämisen kannalta tarpeelliset tiedot ja varoitukset (Anonyymi 1993b). Jos aineet pakataan ekobokseihin alkuperäisissä astioissa, niin etikettiin pitää merkitä jätteen haltijan nimi ja ”JÄTE” -merkintä (Anonyymi 2005b).

Jos jätteellä on jokin jäteasetuksen (1390/1993) liitteessä neljä luetelluista ominaisuuksista, on pakkaukseen merkittävä myös vaarallisia ominaisuuksia aiheuttavat aineet sekä varoitusmerkit ja niiden nimet (Anonyymi 1996). Myös vaaraa ja turvallisuustoimenpiteitä osoittavat standardilausekkeet (R- ja S-lausekkeet) tulee merkitä kemikaalilain (744/1989) mukaisesti (Anonyymi 1989). Jos jätteen koostumusta ei voida selvittää, tulee pakkauksessa olla merkintä ”Myrkyllistä jätettä, koostumus tuntematon” ja varoitusetiketeissä T (myrkyllinen) ja F (helposti syttyvä) sekä tarvittavat R- ja S lausekkeet. Tunnistamattoman jätteen kuljettaminen on kiellettyä, joten jätteen vaaraominaisuudet pitää selvittää ennen kuljetusta (Anonyymi 2005c).

Ongelmajätettä luovutettaessa jätteen haltijan on tehtävä siirtoasiakirja jätelain (1072/1993) mukaisesti, josta selviää ongelmajätteen haltijan, kuljetuksen suorittajan ja vastaanottajan nimi ja yhteystiedot. Tiedot siirron ajankohdasta, pakkaus- ja kuljetustavasta, kuten myös ongelmajätteen nimi ja jätelain (1072/1993) 75 §:n 1 tarkoitetun luettelon mukainen tunnusnumero, sekä olomuoto ja koostumus tulee olla esillä. Siirtoasiakirjaan merkitään myös jätteen hyödyntämis- tai käsittelypaikka ja -menetelmä. Ongelmajätteen haltijan allekirjoitus ja päiväys annettujen tietojen oikeellisuudesta sijaitsee dokumentin lopussa. Siirtoasiakirjan tulee olla mukana siirron aikana, ja myös jätteen vastaanottaja vahvistaa siirron allekirjoituksellaan (Anonyymi 1996). Jätteen haltija vaihtuu vasta siirtoasiakirjan allekirjoituksen jälkeen, kun ongelmajäte on siirtynyt ongelmajätteisiin erikoistuneen kuljetusyrityksen, jolla on ympäristölupa, keräyskuorman (Anonyymi 2005d). Suljetulla alueella tehdyissä siirroissa siirtoasiakirjaa ei tarvitse tehdä (Frilander 2005, suull. tiedonanto), paitsi silloin, kun jätteen omistaja vaihtuu (Anonyymi 2005d).

2.2.2 Öljyjätehuolto

Öljyjätehuollosta määrää valtioneuvoston päätös (101/1997), ja sen mukaan öljyjätteen tuottajan on pidettävä kirjaa jätteen määrästä, laadusta, alkuperästä ja varastoinnista (Anonyymi 1997c). Öljyjätteen luovutus tapahtuu kuten muilla ongelmajätteillä. Varsinkin öljyjätteen osalta pitää muistaa myös ympäristönsuojelulain (86/2000) maaperän pilaamiskielto (Anonyymi 2000a), josta johtuen öljyjäteastioiden alla pitää olla varoallas. Jos öljyissä on epäpuhtauksia, niin ne pitää käsitellä ja varastoida erikseen (Anonyymi 1975a). Öljyjättedirektiivin (75/439/ETY) ja valtioneuvoston päätöksen öljyjätehuollosta (101/1997) mukaan jäteöljy tulee ensisijaisesti uudistaa perusöljyksi ja palauttaa se voiteluainekäyttöön (Anonyymi 1975a; Anonyymi 1997c). Ongelmajätteiden keskimääräisen hyödyntämistason tuli olla vähintään 30 % vuonna 2005 (Anonyymi 2001a).

Selkeät merkinnät öljyjäteastioissa pitävät eri jätelaadut erillään, sillä yli 10 %:n vesipitoisuus öljyjätteessä aiheuttaa lisäkustannuksia sitä hyödynnettäessä. Varastopaikkaan ja varastosäiliöihin on hyvä merkitä vähintään jätteen ja jätteen haltijan nimi (Anonyymi 2004f). Öljysäilytystä varten tehtaan EHS-päällikkö määrittää varoaltaat, mutta väliaikaiseksi varastoksi ennen jätteenoutoa soveltuvat metallikontti ja tynnyri, jotka pitää säilyttää varoaltaallisessa tilassa (Aro 2005, suull.tiedonanto; Laimio 2005, suull.tiedonanto; Liimatainen 2005, suull.tiedonanto; Rinkinen 2005, suull.tiedonanto). Öljyjätteen kierrätys on ilmaista, sillä öljyjättemaksu sisältyy ostetun öljyn hintaan (Aro 2005, suull.tiedonanto; Laimio 2005, suull.tiedonanto). Öljyjättemaksun varat käytetään öljyjätehuollon ja ongelmajätehuollon kustannusten kattamiseen (Anonyymi 1997d).

2.3 Keräyspaperi ja teollisuuskuitu sekä pakkausjätteen lainsäädäntö

Valtioneuvoston päätöksen (883/1998) mukaan keräyspaperin talteenotto ja hyödyntämistavoite vuodelle 2000 oli vähintään 70 % ja vuodelle 2005 vähintään 75 % Suomessa myytävien ja kulutettavien paperituotteiden määrästä. Keräyspaperi hyödynnetään pääasiassa aineena (Anonyymi 1998a). Suomessa kierrätys on tehokasta, joten yleensä tavoitteet saavutetaan helposti. Kuitupakkausten kierrätysaste on Suomessa 80 %, joka on reilusti korkeampi kuin nykyisen lain edellyttämä 53 % (Kleemola 2005, suull.tiedonanto).

Uuden lain mukaan vuoteen 2008 mennessä kierrätystavoite pitää nostaa 60 %:iin (Anonyymi 2004b). Kuitupakkaukset muodostavat suurimman osan pakkausmateriaalista Suomessa. Aaltopahvi on suurin jae, jota seuraa teollisuuskuitu (Kleemola 2005, suull.tiedonanto).

Jätelaki (1072/1993) määrittää tuottajavastuun tavoitteet, johon CMC-tehtaalla kuuluu pakkausjäte. Tuottajalla on velvollisuus huolehtia tuotteiden ja niistä syntyvän jätteen uudelleenkäytön, hyödyntämisen ja muunlaisen jätehuollon järjestämisen. Lisäksi pitää huolehtia näistä aiheutuvista kustannuksista ja taata, että tuotteen viimeisellä haltijalla on mahdollisuus luovuttaa tuote käytöstä poistamisen jälkeen hyötykäyttöön. Tavoitteena on myös vähentää kaatopaikalle sijoitettavan jätteen määrää sekä ihmiselle ja ympäristölle aiheutuvaa vaaraa ja haitallisuutta. Pakkausjätteen osalta tuottajavastuu on osittainen, sillä tuottajan on huolehdittava, että kaikesta pakkausjätteestä hyödynnetään keskimäärin 61 painoprosenttia. Muilta osin näiden jätehuollosta vastaa jätteen haltija sekä kiinteistön haltija ja kunta (Anonyymi 1993a).

Tuottajavastuun alaisten jätteiden tuottajan on toimitettava Pirkanmaan ympäristökeskukselle (tuottajavastuun vastaava viranomaisena) tarpeelliset tiedot markkinoille toimitetuista tuotteista ja käytöstä poistettujen tuotteiden kertymästä, keräilystä, uudelleenkäytöstä ja hyödyntämisestä (Anonyymi 1993a; Anonyymi 1997e). Uusiokäytön määrästä on riittävää kertoa keskimääräinen vuosittainen suuruusluokka (Paatonen 2005, suull.tiedonanto). Tiedot on annettava myös järjestetystä kierrätyksestä ja hyödyntämisestä sekä muusta jätehuollosta ja arvio sen piiriin kuuluvista pakkausjätteistä. Sopimukset uudelleenkäytöstä ja jätehuollon järjestämisestä ovat myös ilmoitettavia asioita (Anonyymi 1997e). Ulkomaille menevistä pakkausjätteistä ei vastata, sillä asiakas maahantuojana vastaa jätteistä tästä eteenpäin (Paatonen 2005, suull.tiedonanto).

Liittymällä tuottajayhteisöön vastuu jätteistä siirtyy tuottajayhteisölle, kun sopimusta koskeva ilmoitus on hyväksytty tai merkitty tuottajatiedostoon. Tuottajayhteisölle maksetaan liittymismaksu, vuosimaksu ja hyötykäyttömaksu, joiden avulla hyötykäyttövelvoitteet saavutetaan. Tuottajayhteisössä velvoitteet pyritään jakamaan tuottajien ja mahdollisten muiden toimijoiden kesken tasapuolisesti toiminnan laatu ja laajuus huomioon ottaen. Pakkausalan Ympäristörekisteri PYR Oy on pakkausalan tuottajayhteisöjen yhteinen toimielin, ja tehdessä sopimus PYR Oy:n kanssa, syntyy samalla sopimus kaikkien heidän alaisten tuottajayhteisöjen kanssa. PYR Oy kerää jäsenten tiedot ja ilmoittaa nämä

tuottajayhteisöille, tilastoi vuosittain käytetyt pakkausmateriaalit ja -määrät, perii tuottajayhteisöjen valtuuttamana hyötykäyttömaksut pakkausmateriaaleista ja hoitaa pakkausten hyötykäyttöön liittyvää kehitys- ja tiedotustoimintaa. Lisäksi jäsenten tuotteissa on käytössä PYR-merkki (PYR 2005). PYR Oy ilmoittaa myös jäsenten vuosittaiset raportit tuottajavastuun vastaavalle viranomaiselle. Sähkö- ja elektroniikkalaiteromun organisointia hoitava yritys Elker Oy hoitaa samoja tehtäviä tässä jäteluokassa (Ollila 2005, suull.tiedonanto).

Pakkausjätedirektiivi (94/62/EY) koskee kaikkia markkinoille saatettavia pakkaustyyppisiä ja pakkausjätteitä ja edelleen sen ensisijainen tavoite on pakkausjätteen synnyn ehkäiseminen (Anonyymi 1994). Peruseriaatteena on, että pakkaajan on edistettävä pakkausten uudelleenkäyttöä, kierrätystä ja muuta hyötykäyttöä, jotta vähimmäistavoitteet saavutettaisiin (Anonyymi 1993a; Anonyymi 1994; Anonyymi 1997e). Uusi pakkausjätedirektiivi (2004/12/EY) pakkauksista ja pakkausjätteestä annetun direktiivin (94/62/EY) muuttamisesta (Anonyymi 2004c) määrää, että vuoden 2008 mennessä on pakkausjätteiden painosta hyödynnettävä 60 %. Hyödyntämisvelvoitteet painoprosentteina ovat lasille sekä paperille ja kartongille 60 % ja puulle 15 %. Muovin hyödyntämisvelvoite on 22,5 painoprosenttia koskien materiaalia, joka kierrätetään takaisin muoviksi. Hietasen (2001) mukaan EU:ssa ehdotetut kierrätystavoitteet ovat haastavat ja esimerkiksi 60 % kierrätystavoite muoville tulisi nostamaan käsittelykustannuksia. Pakkausjätteen keräysverkostoa olisi laajennettava ja pakkausjätteen määrän vähentäminen on huomioitava tuotannossa (Yli-Kauppara & Niemi 2003).

Valtioneuvoston pakkauksia ja pakkausjätteitä koskevan päätöksen (962/1997) soveltamisala on Suomessa markkinoille luovutetut ja täällä kulutettavat pakkaukset, ja niistä syntyvät pakkausjätteet. Pakkauksena pidetään mitä tahansa materiaalia, joka on tarkoitettu tavaran säilytykseen ja suojaamiseen, ja myös samaan tarkoitukseen käytettyä kertakäyttötuotetta pidetään pakkauksena. Tuotantojäännöstä laki ei kuitenkaan koske (Anonyymi 1997e). CMC-tehtaalla suursäkit ja paperisäkit pakataan puulavoille ja paperisäkkien ympärille kääritään vielä pakkaus- ja kutistekalvoa. Yksittäinen pakkaus koostuu täten varsinaisesta pakkaussäkestä, puulavasta ja ympäröivästä pakkauskalvosta sekä paperisäkkien alle laitetusta pahvista.

Pakkauksen fyysisten ominaisuuksien on oltava sellaiset, että se kestää useita käyttökertoja tavanomaisissa käyttöolosuhteissa. Käytettyä pakkausta tulee voida käsitellä työntekijöiden terveyden ja turvallisuuden vaatimusten mukaisesti, ja pakkauksen tullessa jätteeksi, noudatetaan sen hyödynnettävyyttä koskevia vaatimuksia. Energiatuotantoa varten pakkausmateriaalilla tulee olla vähimmäislämpöarvo, jotta energian talteenotto kannattaa. Pakkauksiin on merkittävä niiden keruun, uudelleenkäytön ja hyödyntämisen helpottamiseksi niissä käytetyt materiaalit, jotta ne voidaan tunnistaa ja luokitella (Anonyymi 1994). Merkinnät ja tiedottaminen auttavat kuluttajaa toimimaan jätehuollon mukaisesti (Teollisuus- ja työnantajat 1996).

2.4 Jätteiden kaatopaikkasijoitus

Euroopan neuvoston direktiivi kaatopaikoista (1999/31/EY) edellyttää, että ilmaston lämpiämisen ehkäisemiseksi on tehtävä toimenpiteitä kaatopaikoilla syntyvän metaanin määrän vähentämiseksi. Direktiivi edellyttää, että biohajoavasta yhdyskuntajätteestä sijoitetaan kaatopaikalle vuonna 2006 enintään 75 prosenttia, vuonna 2009 enintään 50 prosenttia ja vuonna 2016 enintään 35 prosenttia vuonna 1994 syntyneestä jätteestä laskettuna. Nämä vähentämistavoitteet eivät kuitenkaan koske muita biohajoavia jätteitä (Anonyymi 1999a).

Kaatopaikkadirektiivin (1999/31/EY) toisen artiklan mukaan tehdaskaatopaikka luokitellaan sisäiseksi kaatopaikaksi, joilla jätteen tuottaja hoitaa oman jätteensä, ja näin se luetaan direktiivin soveltamisalaan. Koska CMC-jäte voi hajota aerobisesti tai anaerobisesti, luokitellaan se biohajoavaksi jätteeksi. Kaatopaikoille sijoitettava jäte pitää olla esikäsiteltyä, joka direktiivin mukaan tarkoittaa lajittelua ja jätteen prosessoimista fysikaalisesti, kemiallisesti, biologisesti tai termisesti, jolloin jätteen luonne muuttuu ja käsittely helpottuu. Kaatopaikkaluvassa on lueteltava eri jätetyypit ja jätteiden kokonaismäärät, joille on myönnetty lupa kaatopaikalle sijoittamista varten. Jätteiden kaatopaikkakelpoisuus on määritelty kaatopaikkadirektiivin liitteessä kaksi (Anonyymi 1999a).

Kaatopaikkadirektiivi edellyttää, että EU:n jäsenvaltiot laativat kansallisen strategian biohajoavien jätteiden kaatopaikkakäsittelyn vähentämisestä sekä tavoitteista jätteen

kierrätyksen ja hyödyntämisen edistämiseksi (Anonyymi 1999a). Suomen kansallisen biojätestrategian (Anonyymi 2004b) mukaan metsäteollisuuden omille kaatopaikoille saa sijoittaa biohajoavia jätteitä korkeintaan 5 % ja tämä ohjeellinen tavoite tuli saavuttaa vuoden 2005 loppuun mennessä. Tavoiteprosentit lasketaan muodostuvan jätteen määrästä (Yli-Kauppila 2005, suull.tiedonanto). Biohajoavan jätteen käyttö pintarakenteisiin ei ole loppusijoittamista eikä siten kuulu vähennystavoitteiden piiriin, sillä kaatopaikan pintaosissa hajoaminen on lähinnä aerobista (Seppänen 2005, suull.tiedonanto).

Biojätestrategia ei ole sitova mutta ohjaavana suosittaa jätevähennyksiin, ja Keski-Suomen ympäristökeskuksen Elina Linnove (2005, suull.tiedonanto) uskoo, että strategian vähentämistavoitteet hyväksytään sellaisenaan Suomen lainsäädäntöön jo lähi aikoina. Tämä voi muuttua, kun Valtioneuvosto määrittää uutta kaatopaikkapäätöstä, jolloin 5 % tavoite voi säilyä, tai jopa laskea (Linnove 2005, suull.tiedonanto). Tarkistetussa valtakunnallisessa jätehuoltosuunnitelmassa, joka ulottuu vuoteen 2005 asti (Anonyymi 2001a) esitetään samaa 95 % biohajoavan jätteen poistamistavoitetta teollisilta kaatopaikoilta keskeisenä ohjausekinona. Edellä mainitut tavoitteet edellyttävät siis nykyisen kaatopaikkapäätöksen (861/1997) muuttamista (Yli-Kauppila & Niemi 2003).

Biohajoavien jätteiden kierrätys, biologinen käsittely sekä energiahyödyntäminen polttamalla ovat kaatopaikkakäsittelyn vaihtoehtoja (Anonyymi 2004b). Teollisuuden jätteen määrän vähentäminen tulee tapahtua teollisuuden omin toimenpitein, kuten tehostamalla materiaalien hyödyntämistä käyttöä säästävän teknologian avulla, työtapoja muuttamalla ja henkilökuntaa motivoimalla (Anonyymi 2004b). Teollisuuden kaatopaikoille sijoitettavan jätteen määrä vähentyi vuosina 1995–2000 noin 18 %. Vähemmän syitä ovat olleet prosessimuutokset, erilliskeräyksen ja lajittelun lisääminen sekä jätteen hyötykäyttö materiaalina ja energiana (Yli-Kauppila & Niemi 2003). Kokonaisuudessaan vuonna 2003 Suomen teollisuus tuotti 149 miljoonaa tonnia jätettä, josta noin puolet loppusijoitettiin kaatopaikoille (Tilastokeskus 2004).

Jäteverotyöryhmä selvitti jäteveron laajentamista myös yksityisille kaatopaikoille. Työryhmä ehdotti, että sitä ei laajennettaisi, mutta kilpailuneutraliteetin varmistamiseksi samanlaista jätettä olisi kuitenkin verotettava yhtäläisellä tavalla riippumatta kaatopaikasta tai jätteen tuottajasta (Jäteverotyöryhmä 1999). Nykyään jäteveroa ei peritä yksityisiltä kaatopaikoilta, mikä sinänsä vääristää kilpailua (Kautto & Melanen 2004), joten tulevaisuudessa voidaan

näille myös jätevero määrätä. Jos jätemaksut ovat pieniä, ei ole taloudellisesti kannattavaa panostaa jätemäärän vähentämiseen. Myös investointien ympäristösuojelullisia arvoja on takaisinmaksuajassa vaikea arvioida (Ilomäki 1999).

Tehdaskaatopaikoille esitetään vaatimuksia jätteiden esikäsittelystä ennen kaatopaikkakäsittelyä ja kaatopaikkakaasun talteenotosta (Anonyymi1997f). Myös jätteen ja pakkausjätteiden kierrätyksen ja hyödyntämisen tehostaminen (Anonyymi 1998a; Anonyymi 2004c), kompostointi- ja mädätyslaitosten kehittäminen ja tutkimusvarojen ohjaaminen niiden kehittämiseen ovat keinoja jätteiden kaatopaikkasijoittamisen vähentämiseksi (Anonyymi 2004b). Euroopan unionin jäsenvaltioiden on toimittava edistääkseen jätteiden vähentämistä, kierrätystä, muuntamista raaka-aineeksi ja mahdollisesti energialähteeksi. ”Saastuttaja maksaa” -periaatteen mukaisesti jätteen haltija vastaa jätteiden huolehtimisen kustannuksista (Anonyymi 1975b).

3. Tehtaan nykyinen jätehuolto

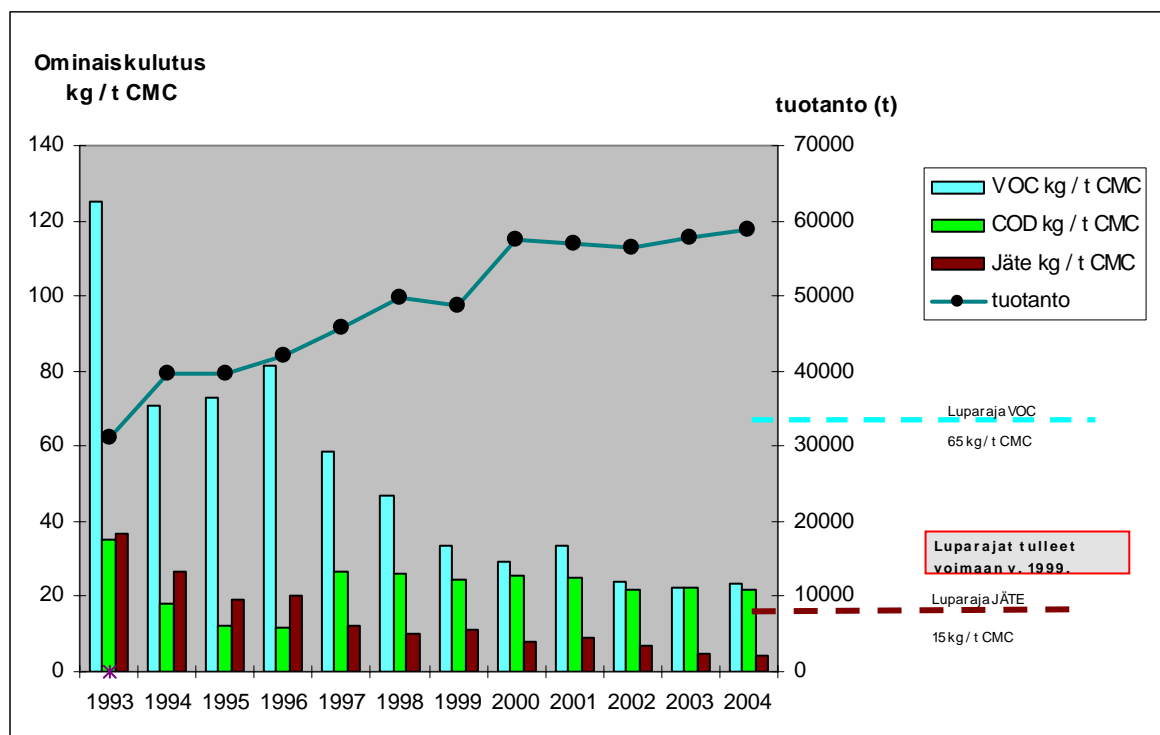
3.1 Yleistä

CMC-tehtaan vanha jätehuoltosuunnitelma on vuodelta 1996 ja käsittää sen aikaisen tehtaan toiminnan muodostamat jätteet (Parsiala 1996). Jätehuoltosuunnitelmaa on kuitenkin päivitetty ympäristölupahakemuksen mukaisesti (Anonyymi 1997a). Viimeisin ympäristölupa on vuodelta 1997, ja uusin lupahakemus on käsiteltävänä tätä tutkimusta tehdessä. Tehtaalla on tehty viime vuosina linja-muutoksia, jolloin 5-linja (puhdas) lopetettiin. Nykyään tuotantolinjoja on kolme, joista 3- ja 6-linja tuottavat puhdasta CMC:aa ja 4-linja teknistä laatua. Vanhan 5-linjan tiloissa on kuitenkin tehty erilaisia koeajoja.

Taulukko 1. Äänekosken tehtaalla syntyvät jätejakeet (Anonyymi 2004a).

Jätenimike	Syntypaikka	Määrä, t ka/a	
		2003	2004
Hyötykäyttöjäte			
Jätepaperi ja -pahvi	Toimistot	8	6,18
Metalliromu	Kunnossapito	44,8	40,9
Paperi- ja kartonkipakkaukset	Tuotanto	31	61,1
Rauta ja teräs	Kunnossapito	15,5	29,6
Puupakkaukset	Tuotanto	36	24
Loppusijoitettava jäte			
Sekalainen yhdyskuntajäte ja CMC-jäte	Tehdas yleiset	306	284,3
Ongelmajätteet			
Kiinteä öljypitoinen	Kunnossapito	1,68	2,17
Hydrauliöljy	Kunnossapito	0,29	3,28
Voiteluöljy	Kunnossapito	2,71	1,66
Muut liuottimet ja liuotinseokset	Tuotanto	0,31	0,01
Romuakut ja paristot	Kunnossapito	0,1	0,01
Lyijyakut	Kunnossapito	0,64	0,01
Loisteputket ja lamput	Kunnossapito	0,35	0,3
Metallipakkaukset (tynnyrit)	Kunnossapito	0,7	0,36
Jäätymisenestoaineet	Kunnossapito	0,25	0,68
Elektroniikkaromu	Kunnossapito	0,75	0
Sähkö- ja elektroniikkalaitteistot, jotka sisältävät vaarallisia aineita	Kunnossapito	0,4	0,41
Työstöemulsiot ja liuokset	Kunnossapito	0,65	0,4
Elohopeaa sisältävät jätteet	Laboratorio	0	0,01
Painepakkauksissa olevat kaasut	Kunnossapito	0	0,08
Hapot	Tuotanto/Lab.	0	0
Lietteet	Tuotanto	0	1,2
Rikkihappo	Laboratorio	0	0,01
Muut lääkkeet	Laboratorio	0,95	0,47

Suurin osa vuosina 2003 ja 2004 syntyneistä jätteistä koostui yhdyskuntajätteistä ja CMC-jätteestä. Ongelmajätteiden määrä oli pieni suhteessa muihin jätteisiin (Taulukko 1). Yleensä kemianteollisuudella materiaalihävikki on pieni, joten mahdollisuuksia jätemäärän vähentämiseen on välillisten jätteiden kautta (Ilomäki 1999). Hyötyjätejakeista tehtaalla kerätään paperia, pahvia/teollisuuskuitua, lasia, metallia, puuta ja osittain muovia (Liite 1). Näistä jakeista erityisesti pahvin/teollisuuskuidun ja muovijätteen keräystä haluttiin parantaa. Pahvin ja paperisäkkien (teollisuuskuitu) kierrätys ja hyötykäyttö on jo nyt tehokasta, mutta sellurullien käärinpaperi ja muovi, paperihylsyt sekä sellujäte voitaisiin helposti ohjata hyötykäyttöön. Paperijätteelle on pahvisia keräyslaatikoita sekä suurempia 140–240 litran keräyslaatikoita. Pahvijäte kerätään rullakoihin, ja teollisuuskuituun kuuluville paperisäkeille keräys on järjestetty sekoitusaseman lähellä sijaitsevaan teollisuuspuristimeen. Pienemmässä määrin syntyvän lasijätteen keräyspaikat ovat konekorjaamolla, laboratoriossa ja Pilotlaitoksella. Jätehuolto Savolainen Oy kerää eri hyötyjätteet tasaisin väliajoin suoraan isoista keräyspisteistä, joita on eri puolilla tehdasta. Metallijätettä kerätään isoihin keräyslavoihin ja Stena Metall tyhjentää ne hyötykäyttöön. Pääasiassa rikkoutuneista kuormauslavoista, koostuvan puujätteen toimittaa Tmi Pekka Kosonen Äänevoiman voimalaitoksen puujätekentälle energiakäyttöön. Muovijätettä kerätään ja toimitetaan uusiokäyttäjille.



Kuva 2. CMC-tehtaan jätemäärän väheneminen tuotantoon suhteutettuna (Liimatainen 2006, suull.tiedonanto; Rosala 2006, suull. tiedonanto).

Loppusijoitettavaa sekajätettä muodostui 2004 vuonna 284,3 kuiva-aine tonnia (Anonyymi 2004a). Uusien lakinormien mukaan määrää on vähennettävä, vaikka tehtaan jätemäärät ovat viime vuosina vähentyneet suhteessa tuotantoon (Kuva 2). Sekajätteen kolme ja CMC-jätteen yksi keräyslava tyhjennetään M-Real Oyj:n ylläpitämälle tehdaskaatopaikalle, jonka käytöstä maksetaan tuodun jätemäärän mukaisesti.

Ongelmajätteistä suurimman osan muodostavat jäteöljyt, joita syntyy tasaisesti konekorjausten aikana mutta myös suurempia määriä alasajojen ja tehdasseisokkien yhteydessä. Laboratorion kemikaalit on jae, jota kerätään yhtäjaksoisesti. Muita ongelmajätteitä ovat muun muassa suodattimet, akut, paristot ja loisteputket. Ongelmajätteiden määrä vaihtelee esimerkiksi koneikkojen öljynvaihtojen mukaan, mutta tuotannosta ongelmajätteitä ei synny, sillä kemikaalien kierto on tehokasta. Lassila & Tikanoja Oy (L&T) huolehtii ongelmajätteiden keräyksestä säännöllisin väliajoin koko tehdasintegraatissa. Osa ongelmajätteistä säilytetään ongelmajätevarastossa ennen loppusijoittamista mutta osa kerätään suoraan syntypisteistään.

Suurimmat jätehuoltokustannukset muodostuivat ongelmajätteestä ja hyötyjätteestä, kun taas sekajätteen aiheuttamat kustannukset olivat pienemmät vuonna 2004 (Taulukko 2). Kustannukset sisältävät pääasiallisten jätehuoltoa hoitavien yhtiöiden veloittamat maksut, sisältäen jätteiden keräyksen ja loppusijoittamisen kustannukset sekä keräysastioiden vuokran. Metallijätteen myynnistä ja erillisistä hyötyjätejakeista (ATK-tarvikkeet, muovikontit) saatavia tuloja ei ole laskelmissa huomioitu, kuten ei myöskään muovijätettä. Kustannuksia voidaan alentaa jokaisessa jakeessa, mutta tämä vaatii lajittelun ja kierrätyksen tehostamista. Tuleva ympäristölupa määrittää uudet velvoitteet syntyvästä jätemäärästä ja määräykset biohajoavan jätteet esikäsittelystä voivat huomattavasti nostaa kustannuksia.

Taulukko 2. Jätehuoltokustannukset vuonna 2004 (Väisänen 2005, suull. tiedonanto).

Jätehuoltokustannus	hinta/(€)
Ongelmajäte	10 776
Säiliöiden puhdistus	2760
Hyötyjäte	8202
Sekajätelavat	3989
Yhteensä	25 727

3.2 Kyselytutkimus

3.2.1 Johdanto

Tutkimuksen alkuvaiheessa päätettiin tehdä kysely tehtaan henkilökunnalle jätehuollon toimivuudesta. Kyselyn perusteella on helpompaa tarkastella yleisimpiä ilmenneitä ongelmia ja positiivisia seikkoja jätteiden keräykseen, lajitteluun ja kierrätykseen liittyen. Luonteeltaan kysely oli kvalitatiivinen, ja sen tehtävänä oli antaa henkilökunnan mielipide tehtaan nykyisestä jätehuollosta ja mahdollisista parannusehdotuksista.

3.2.2 Menetelmät

Kysely tehtiin koko tehtaan henkilökunnalle ja tehtaalla työskenteleville ulkopuolisille urakoitsijoille. Kysely (Liite 2) koostui erilaisista kysymyksistä aina jätekeräyspisteiden riittävydestä koulutuksen lisäämiseen asti. Kymmenen monivalintakysymyksen lisäksi oli muutama avoin kysymys. Taustatietoina haluttiin tietää henkilön pääasiallinen toimirakennus/linja, ikä, sukupuoli ja koulutus. Vastaukset annettiin nimettöminä. Toimihenkilöille ja osalle ulkopuolisista urakoitsijoista kysely jaettiin postitse tai sähköpostitse, ja he palauttivat lomakkeet annettuun määräaikaan mennessä. Muut työntekijät täyttivät kyselyn lomakkeiden jaon yhteydessä ja palauttivat sen heti täytön jälkeen. Vastaamiseen kului aikaa noin kymmenen minuuttia, ja kyselyn jaon yhteydessä kerrottiin työn taustasta, ja samalla vastaajilla oli mahdollisuus kysyä ja kertoa suullisesti jätehuoltoon liittyvistä asioista. Kysely tehtiin noin kahden viikon aikana huhtikuussa 2005, mutta toimihenkilöillä ja ulkopuolisilla urakoitsijoilla vastausaika oli pidempi.

3.2.3 Tulokset

Kyselyyn vastanneiden toimihenkilöiden palautusprosentti jäi alhaiseksi lomakkeen jakotavasta johtuen. Osa toimihenkilöistä palautti kyselyn sisäisen postin välityksellä tai muiden työntekijöiden vastausten mukana, joten oli mahdotonta tietää kuuluiko vastaus toimihenkilölle vai työntekijälle. Näin ollen toimihenkilöitä ei tarkasteltu erikseen. Ulkopuolisten urakoitsijoiden palautuksessa oli sama ongelma, ja tarkkaa lukumäärää tehtaalla työskennelleiden henkilöiden lukumäärästä ei ollut. Tehtaan varsinaisten

työntekijöiden vastausprosentti oli korkea (yli 95 %). Kahdelle yövuorolle kysely jaettiin vuoromestarin välityksellä, mutta tämä ei laskenut vastausprosenttia. Työntekijöiden vastaukset olivat suuremmassa roolissa, sillä heidän määrä on lähes kolminkertainen toimihenkilöihin verrattuna, ja lisäksi he ovat päivittäin kosketuksissa jätehuollon kanssa. Kyselyyn vastaajien tarkan määrän laskemista vaikeuttivat myös kesätyöläiset, uudet määräaikaisten työntekijät ja poissaolot. Kokonaisuudessaan vastaajia oli 210 henkilöä.

Tuloksissa päätettiin tarkastella eri rakennusten jätehuollon tilaa, sillä tehtaan toiminnot ja työntekijöiden tehtävät eroavat eri osastojen mukaisesti (Taulukko 3). Tuotanto-osio koostuu 3-, 4- ja 6-linjoista sekä tislaamon ja säkityksen rakennuksesta. Näissä oli havaittavissa samojen vastausten yleisyys jätteiden samankaltaisuudesta johtuen. Selvästi suurimmat henkilömäärät oli laboratorio-, tutkimus- ja kehitysrakennuksessa (T&K), konekorjaamolla sekä ulkopuolisilla urakoitsijoilla. Useassa työpisteessä työskenteleviä henkilöitä oli myös paljon, ja heitä tarkasteltiin omana ryhmänään. Tuloksista laskettiin vain prosentuaalinen jakauma eikä muita tilastollisia analyysejä tehty, joten tulokset perustuivat näihin 210 vastaukseen. Kyselyn tehtävänä oli antaa alustavaa tietoa jätehuollon kehitystarpeista, joihin monivalintakysymysten ohella avoimet kysymykset antoivat hyviä vastauksia. Erityisesti jätehuollon ongelmat ja parannusehdotukset olivat tärkeitä.

Taulukko 3. Kyselyn tulokset henkilöiden toimipisteisiin/rakennuksiin jaettuna.

3-linja	<ul style="list-style-type: none"> – metalli-, CMC-, seka- ja puujätteen paikat tiedettiin parhaiten – 50 % vastaajista ei ollut saanut jätelajitteluopastusta – ongelma-, muovi- ja lasijätteellä oli eniten en osaa sanoa -vastauksia useassa kysymyksessä – 64 % henkilöistä oli kokenut epäselvyyttä jätteiden sijoittamisessa oikeaan keräyspisteeseen – 61 % vastaajista ilmoitti kierrätyksen aiheuttavan ylimääräistä työtä. Syinä ilmoitettiin liian pitkät matkat keräyspisteisiin ja roskalavojen vähäinen määrä – seka-, muovi- ja CMC-jätteen kierrätyksessä havaittiin olevan eniten kehitettävää – 77 % työntekijöistä ei ollut saanut riittävää jätehuoltokoulutusta, ja sama määrä olisi halukas osallistumaan jätehuoltokoulutukseen – vastaajien mielestä jätteitä tyhjenetään sekaisin ja merkinnät ovat puutteelliset – parannusehdotuksina mainittiin kaikille jätteille yhteistä keräyspaikkaa sekä keräyspisteiden karttaa ilmoitustauluille ja intranettiin. Haluttiin myös keräyslavojen uudistamista ja niiden selkeämpää merkitsemistä
	18 vastaajaa, jotka kaikki olivat miehiä. 67 % ammattikoulun käyneitä

(jatkuu)

Taulukko 3. (jatkuu)

4-linja	<p>– lähes kaikkien keräyspisteiden sijainnista oltiin tietoisia</p> <p>– ongelma-, muovi- ja lasijätteistä oli vähemmän tietoa, mikä ilmeni en osaa sanoa -vastauksien määrässä</p> <p>– 47 % vastaajista ei ollut saanut riittävää jätelajitteluopastusta</p> <p>– metalli-, CMC- ja puujätteen keräyspisteiden määrään oltiin tyytyväisiä, mutta sekajätekeräyspisteitä on liian vähän</p> <p>– 56 % vastaajista oli ollut epätietoisuutta jätteen sijoittamisessa oikeaan keräyspisteeseen</p> <p>– ongelmina pidettiin tietämättömyyttä keräyspisteiden sijainnista sekä kierrätyksen toimimattomuutta sisätilojen pienillä keräyslavoilla</p> <p>– 61 %:lle kyselyyn vastaajista kierrätys ei aiheuttanut ylimääräistä työtä</p> <p>– eniten kehitettävää olisi seka-, ongelma- ja CMC-jätteen kierrätyksessä</p> <p>– metallijakeen sekoittuminen mainittiin myös ongelmana</p> <p>– 63 % henkilöistä ei ollut saanut riittävää jätehuoltokoulutusta ja 58 % oli halukas osallistumaan koulutukseen</p> <p>– ongelmina havaittiin jättejakeiden sekoittuminen, kuten CMC-jätteen seassa muut jätteet ja epävarmuus jätteiden sijoittamisesta</p> <p>– parannusehdotuksina mainittiin keräyspisteiden lisäämistä lasille, metallille ja muoville. Lisäksi ehdotettiin katettuja jätealueita ja selkeitä opasteita</p> <p>19 vastaajaa, joista 94 % oli miehiä. Eniten 45–53-vuotiaita, ja ammattikoulu oli 79 %:lla vastaajista koulutusmuotona</p>
6-linja	<p>– keräyspisteistä tiedettiin parhaiten metalli-, puu-, seka- ja CMC-jätteen paikat</p> <p>– 47 % vastaajista ei ollut opastettu lajittelussa</p> <p>– metalli-, puu- ja sekajätteen keräyspisteiden määrä oli riittävä, mutta linjalla harvinaisempien jakeiden (paperi, pahvi ja muovi) keräyspisteitä olisi lisättävä</p> <p>– ongelma-, muovi- ja lasijätteellä oli jälleen eniten en osaa sanoa -vastauksia</p> <p>– 87 %:lla kyselyyn vastanneista oli ollut ongelmia jätteiden sijoittamisessa oikeaan keräyspisteeseen</p> <p>– 60 %:lla vastanneista kierrätys aiheutti lisätyötä, sillä oikean keräyspisteen löytäminen kuluttaa aikaa</p> <p>– eniten kehitettävää olisi pahvi- paperi- ja muovijätteellä. Perusteluina mainittiin paperien ja sellurullien päätyminen kaatopaikalle ja CMC-jätteen sekoittuminen sekajätteeseen</p> <p>– 67 % ei ollut kokenut saaneensa riittävää jätehuoltokoulutusta, ja 54 % vastaajista oli halukas tähän osallistumaan, jos sitä järjestettäisiin</p> <p>– ongelmina pidettiin 6-linjan sekajätelavan harvaa tyhjennysväliä, ja että jättejakeet ovat keräyslavoilla sekaisin</p> <p>– parannusehdotuksina oli keräyspisteiden siirto samaan paikkaan, selkeämmät merkinnät ja enemmän keräyspisteitä paperi- pahvi- ja lasijätteelle</p> <p>Kaikki 15 vastaajaa olivat miehiä. Yli puolet vastaajista 45–53-vuotiaita ja 66 % oli ammattikoulun käyneitä</p>

(jatkuu)

Taulukko 3. (jatkuu)

Tislaamo- ja säkitys-rakennus	<ul style="list-style-type: none"> – seka-, paperi- ja metallijätteen keräyspisteiden paikat tiedettiin parhaiten – 50 % vastaajista ei ollut opastettu jätelajittelussa – metalli- ja CMC-jätteen keräyspisteiden määrä oli riittävä, kuten myös seka- ja puujätteellä – keräyspisteitä tulisi lisätä pahvi-, paperi- ja lasijätteelle – keräyspisteiden merkintään oltiin myös tyytyväisiä – 45 % vastaajista oli kokenut ongelmia jakeiden sijoittamisessa oikeaan pisteeseen – 67 %:lle vastanneista kierrätys oli aiheuttanut ylimääräistä työtä, sillä pisteet sijaitsevat useassa paikassa, ja on useita jäteastioita tyhjennettävänä – eniten kehitettävää olisi muovi-, paperi-, seka- ja ongelmajätteen kierrätyksessä – 67 % vastaajista oli halukkaita osallistumaan koulutukseen – eniten ongelmia oli ilmennyt seka-, paperi- ja pahvijätteen kanssa. Jätteitä oli väärissä paikoissa, sekä astioiden sijainti ja toimivuus oli huono – parannusehdotuksina informaatiota ja opastusta tulisi lisätä, keräyspisteet tulisi saada toimiviksi, merkintää paremmaksi ja keräyspisteiden paikkana pitäisi olla selkeä alue
	9 vastaajaa, jotka kaikki miehiä. 56 % vastanneista 45–53-vuotiaita. 78 % ammattikoulun käyneitä
Konekorjaamo	<ul style="list-style-type: none"> – keräyspisteiden paikat tiedettiin hyvin, paitsi harvinaisemmat muovi- ja CMC-jäte – vastauksissa voi havaita työntekijöiden laajan liikkuvuuden tehtaalla – noin puolta työntekijöistä ei ollut opastettu jätteiden lajittelussa – lasi- ja pahvijätteen keräyspisteiden määrää pidettiin riittämättömänä – yli 50 %:n tyytymättömyys lasi- ja ongelmajätteen merkinnässä. (Nämä keräyspisteet sijaitsevat konekorjaamolla) – 45 %:lle vastaajista kierrätys aiheutti ylimääräistä työtä, ja perusteluina olivat keräyspisteiden sijaitseminen ympäri tehdasta ja muiden jälkien korjailu – kolmena jakeena, joissa on eniten kehitettävää, mainittiin seka-, muovi- ja ongelmajäte. Perusteluina kerrottiin huonot opasteet ja liian pienet keräyspaikat – 44 % vastaajista ei ollut saanut riittävää jätehuoltokoulutusta mutta 26 % ei myöskään ilmaissut mielipidettään – 74 % vastanneista henkilöistä olisi halukas osallistumaan koulutukseen – ongelmina oli jättejakeiden, erityisesti metallin, sekoittuminen sekä keräyspisteiden riittämättömyys lasi- ja ongelmajätteelle – parannusehdotuksina mainittiin kartta keräyspisteistä, infopisteen perustaminen, keräysastioiden lisääminen, uusien työntekijöiden opastus ja metallijätteen keräyksen parantaminen
	Kaikki 23 vastaajaa olivat miehiä. Ikäryhmät olivat tasaisesti edustettuina. 66 % vastaajista oli ammattikoulun käyneitä ja 22 %:lla oli II asteen tutkinto

(jatkuu)

Taulukko 3. (jatkuu)

Tuoteva- rasto	<ul style="list-style-type: none"> – ainoastaan lasi-, ongelma-, paperi- ja muovijätteen keräyspisteiden sijainti aiheutti epätietoisuutta – kaikkia vastanneita oli opastettu jätelajittelussa – jätekeräyspisteiden määrä oli riittävä CMC-, metalli- ja puujätteelle. Paperi-pahvi-, muovi- ja sekajätteelle keräyspisteitä tulisi lisätä – 42 % vastanneista oli havainnut epäselvyyttä jätteiden sijoittamisessa mutta 29 % ei osannut sanoa kantaansa – kierrätys ei aiheuttanut kenellekään ylimääräistä työtä – seka- ja CMC-jätteen kierrätyksessä olisi eniten kehitettävää – 42 % vastanneista ei ollut saanut riittävää jätehuoltokoulutusta ja vain 14 % ei ollut halukas osallistumaan koulutukseen – ongelmina kerrottiin jätelajien sekoittuminen suurilla keräyslavoilla ja keräyspisteiden epäselvyys – parannuksina ehdotettiin lasi- ja pahvikeräyspisteiden tarkempaa merkintää ja yleisesti merkintää suuremmilla kylteillä <p>7 vastaajaa, jotka kaikki olivat miehiä. Ikäryhmistä vain yli 54-vuotiaita ei ollut edustettuina. 86 % vastanneista oli ammattikoulun käyneitä</p>
Konttoriti- lat	<ul style="list-style-type: none"> – keräyspisteiden sijainnista paperi- ja pahvijäte tiedettiin parhaiten – 22 % vastanneista ei ollut saanut jätelajitteluopastusta – konttorin osalta pääjätetyypit ovat seka-, paperi- ja pahvijäte, joista paperi- ja pahvijätteen keräyspisteiden määrään oltiin tyytyväisiä – keräyspisteiden merkintä oli riittävää paperi-, pahvi- ja lasijätteen osalta – 87 %:lle vastaajista kierrätys ei aiheuttanut ylimääräistä työtä – kolmena jakeena, joiden kierrätystä pitäisi tehostaa, mainittiin muovi-, seka- ja pahvijäte – 49 % vastaajista ei ollut saanut riittävää jätehuoltokoulutusta, ja kaikki vastaajat olisivat halukkaita osallistumaan koulutukseen – joitakin ongelmia esiintyi paperi- ja pahvijätteen osalta, kuten keräyspisteiden täynnä oleminen – parannuksina jätehuoltoon ehdotettiin pahvin keräyksen tehostamista, selkeämpää keräyspisteiden merkitsemistä, kierrätysmerkin sijoittamista kierrätyshuoneen oveen, koulutuksen lisäämistä ja biojätteen keräyksen aloittamista <p>9 vastaajaa, joista 56 % oli naisia. Ikäryhmistä 27–35 - ja 45–53-vuotiaat olivat suurimmat. Koulutuksena II asteen tutkinto oli 67 %:lla vastanneista, ja loput olivat ylemmän korkeakoulututkinnon suorittaneita</p>

(jatkuu)

Taulukko 3. (jatkuu)

Laboratorio ja T&K-tilat	<p>– eri jätteiden keräyspisteistä oltiin hyvin tietoisia, mutta muovijäte sai eniten ei-vastauksia</p> <p>– muovia kierrätetään laboratoriossa, mutta tämä päättyy silti sekajätteeseen</p> <p>– 79 % vastaajista on opastettu jätelajittelussa</p> <p>– jätekeräyspisteiden määrään ollaan tyytyväisiä paperi-, lasi-, seka-, CMC- ja pahvijätteen osalta, mutta tyytymättömiä muovi- ja metallijätteeseen</p> <p>– 46 %:lla vastaajista jätejakeiden sijoittamisessa ei ole ollut ongelmia</p> <p>– 86 %:lle vastanneista kierrätys ei aiheuttanut ylimääräistä työtä. Työtä lisäsivät kuitenkin pienten astioiden tyhjennys suurempiin ja työkiireistä johtuen astioiden täysinä oleminen</p> <p>– muovi-, seka- ja ongelmajätekierrätystä pitäisi kehittää</p> <p>– 47 %:n mielestä jätehuoltokoulutusta on ollut riittävästi, ja vain 2 % ei olisi halukas osallistumaan koulutukseen</p> <p>– ongelmina nähtiin muovin keräyksen toimimattomuus, lasijätteen jakeet, ongelmajätteiden säilyttäminen, pahvinkeräyspisteen ja jäteastioiden oleminen liian täysinä ja väärin jätejakeiden vienti lavoille. Ongelmajätepisteeseen tuodaan riittämättömästi merkittyä jätettä, ja metallille ei ole omaa pientä keräyspistettä</p> <p>– parannuksina ehdotettiin biojätteen keräystä, tiedotusta eri keräyspisteiden sijainnista sekä karttaa ja selkeitä merkintöjä keräyspisteisiin. Jättemerkki ongelmajätevarastoon, muovijätteelle keräyspiste ja paristojen keräys laboratorioon olivat myös ehdotuksina. Lisäksi haluttiin siisti katoksellinen jätekeräyspiste ja selkeää ohjeistusta työntekijöille</p> <p>43 vastaajaa, joista 67 % oli naisia. Kaikki ikäryhmät olivat edustettuina, mutta 34 % 27–35-vuotiaita. 42 %:lla vastanneista ammattikoulu yleisin, mutta lukion käyneitä myös 28 %</p>
Vanha pää/päivävuoro	<p>– ainoastaan lasi- ja ongelmajätteen keräyspisteen sijainnista oli epätietoisuutta</p> <p>– 83 % vastanneista oli opastettu lajittelussa</p> <p>– jätekeräyspisteiden riittävydessä CMC- ja puujätepisteisiin oltiin tyytyväisiä, mutta ei-vastauksia tuottivat eniten pahvi-, paperi- ja muovijäte</p> <p>– keräyspisteistä seka-, puu- ja metallijäte olivat parhaiten merkittyjä</p> <p>– 67 %:lla vastaajista oli ollut ongelmia jätejakeiden sijoittamisessa</p> <p>– puu- ja paperijätteen keräys ei ollut aiheuttanut ongelmia</p> <p>– puolelle vastaajista kierrätys lisäsi ylimääräistä työtä, sillä lavojen jäte joudutaan joskus lajittelemaan uudestaan, ja jakeiden kuljettaminen kuluttaa aikaa</p> <p>– seka- ja CMC-jätteen kierrätyksessä havaittiin olevan eniten kehitettävää</p> <p>– 50 % vastanneista ei ollut saanut riittävästi jätehuoltokoulutusta ja 83 % oli halukas osallistumaan koulutukseen</p> <p>– ongelmina olivat jakeiden sekoittuminen, tiedonpuute ja välinpitämättömyys. Keräyspisteiden koettiin olevan liian täynnä, lavat ovat huonokuntoisia ja muovipaalien varastointiaika on pitkä</p> <p>– parannusehdotuksina esitettiin asenteiden muuttamista sekä tehokkaampaa tarkkailua ja huomautuksia, jos säännöistä poiketaan</p> <p>Kaikki 6 vastaajaa olivat miehiä. 60 % sijoittui ikäryhmään 27–35-vuotiaat. 83 % vastanneista oli käynyt ammattikoulun</p>

(jatkuu)

Taulukko 3. (jatkuu)

Pilot - laitos	<ul style="list-style-type: none"> – pahvi- ja muovijätteen keräyspisteistä ei ollut kukaan tietoinen, mutta parhaiten tiedettiin seka- ja metallijätteen keräyspisteiden sijainti. Oma pahvijätekeräys alkoi vasta kyselyn jälkeen – ketään vastanneista ei ollut opastettu lajittelussa – paperikeräyspisteiden määrään oltiin tyytyväisiä, mutta muut jakeet saivat ei- ja en osaa sanoa -vastauksia – metalli-, paperi- ja lasijäte olivat hyvin merkittäviä, mutta CMC- ja muovijäte vastaavasti heikoiten – 75 % vastanneista oli kokenut epäselvyyttä jätejakeiden sijoittamisessa – puolelle vastaajista kierrätys oli aiheuttanut ylimääräistä työtä – kierrätyksessä olisi eniten kehitettävää CMC-, muovi- ja pahvijätteellä – kukaan vastaajista ei ollut saanut riittävää jätehuoltokoulutusta, ja kaikki olivat halukkaita osallistumaan jätehuoltokoulutukseen – ongelmia aiheuttivat suurien ongelmajäte-erien lähetys ja jätejakeiden päätyminen sekajätteeseen. CMC-jäte liimaa jätteet keräyslavojen pohjaan, sekä puu- ja muovijätteelle ei ole keräyspaikkaa. CMC-jätelava sijaitsee myös kaukana – parannuksina ehdotettiin keräyspisteiden merkintää isolla selkeällä tekstillä ja yleistä selkeyttä järjestelmään <p>4 vastaajaa, joista 75 % oli miehiä, ja ikäryhmistä ainoastaan yli 54-vuotiaita ei ollut edustettuna. Puolet vastaajista oli ammattikoulun käyneitä</p>
Useassa paikassa työskentelevät	<ul style="list-style-type: none"> – keräyspisteistä heikoiten tiedettiin ongelma-, muovi- ja lasijätteen paikat – pahvijätteen paikka tunnettiin paremmin kuin paperijätteen – 59 % vastaajista ei ollut opastettu lajittelussa – jätekeräyspisteiden määrä oli riittävä puu-, seka- ja metallijätteelle. Pahvi- ja muovijäte saivat eniten ei-vastauksia – metalli-, puu- ja paperijätepisteiden merkintään oltiin 70 %:sti tyytyväisiä – 55 % vastaajista oli kokenut epäselvyyttä jätejakeiden sijoittamisessa oikeaan paikkaan – 53 %:lle vastanneista kierrätys ei aiheuttanut ylimääräistä työtä. Kuitenkin työtä lisäävinä mainittiin suursäkkien kierrätys. Kiire vähentää myös asiaan perehtymistä, ja kuljetusmatkat keräyspisteille ovat liian pitkiä – kierrätyksessä olisi eniten kehitettävää seka-, muovi- ja paperijätteellä. Perusteluina mainittiin sellurullien kierrättämisen tehostaminen – 70 % vastanneista ei ollut saanut jätehuoltoon liittyvää koulutusta ja 65 % oli halukas osallistumaan koulutukseen – ongelmina oli jätteiden sekoittuminen ja riittämätön keräyspisteiden määrä. Muovi-, lasi-, bio- ja ongelmajätepisteet ovat epäselviä, kuten myös CMC- ja sellujätteen sijoittaminen oikeaan keräyspisteeseen. Keräyspisteet sijaitsevat kaukana toisistaan, ja niitä on vaikea löytää. Lavat ovat liian pieniä, ja ollaan tietämättömiä epäonnistuneen tuotteen loppusijoittamisesta. Sekajätteessä on eri jätejakeita, ja pahvinkeräyspiste on täynnä. Lisäksi eri jätejakeiden puhtausvaatimukset ovat epäselviä. Kertakäyttökulutuksen määrän kerrottiin myös nousseen kahden viime vuoden aikana – parannusehdotuksina mainittiin keräyspisteiden parempaa tiedotusta ja merkintää sekä kiinteää jäteastioiden paikkaa. Lisäksi ehdotettiin biojätteen keräyksen aloittamista ja jätekoulutuksen lisäämistä <p>34 vastaajaa, joista 73 % miehiä. Ikäryhmiä tasaisesti, mutta 30 % 27–35-vuotiaita. Ammattikoulutus oli 68 %:lla vastaajista yleisin koulutusmuoto</p>

(jatkuu)

Taulukko 3. jatkuu

Ulkopuoliset urakoitsijat	<ul style="list-style-type: none"> – vastauksissa oli suuremmat vaihtelut kuin tehtaan omilla työntekijöillä – seka-, metalli- ja puujätteen keräyspisteiden paikat tiedettiin parhaiten. Epätietoisuutta aiheuttivat lasi-, ongelma- ja muovijätteen keräyspisteiden paikat – 61 % vastaajista ei ollut opastettu jätelajittelussa – seka-, metalli- ja puujätteen keräyspisteitä oli riittävästi – vain 14 % vastaajista oli kokenut epäselvyyttä jätejakeiden sijoittamisessa mutta 38 % ei osannut sanoa kantaansa – 44 %:lle vastaajista kierrätys ei aiheuttanut ylimääräistä työtä mutta 26 % ei osannut sanoa kantaansa. Syiksi mainittiin keräyspisteiden sijaitseminen eri puolilla tehdasta ja lajittelun työtä hidastaminen – Ongelma- ja muovijätteen kierrätyksessä olisi eniten kehitettävää – 65 % vastanneista ei ollut saanut riittävästä jätehuoltokoulutusta ja vain 4 % ei ollut halukas osallistumaan koulutukseen – ongelmia oli yleisesti aiheuttanut jätejakeiden sijoittaminen, keräysastioiden katoaminen ja jätejakeiden sekoittuminen – parannuksina ehdotettiin keräyspisteiden sijoittamista samaan paikkaan tai muutamaaan pisteeseen ja merkinnät selkeästi jokaiseen kierrätyslavaan. Jätteiden polttamista myös ehdotettiin <p>Kaikki 23 vastaajaa olivat miehiä. Jokaista ikäryhmää oli tasaisesti edustettuna, ja ammattikoulu oli 76 %:lla vastanneista koulutusmuotona</p>
Kaikki yhdessä	<ul style="list-style-type: none"> – 55 % vastaajista oli opastettu lajittelussa – sekajätteen keräyspisteiden määrään oltiin tyytyväisiä, paitsi 3- ja 4-linjalla – paperinkeräys aiheutti eniten tyytymättömyyttä 6-linjalla – 70–80 %:n tyytyväisyys puujätteen keräykseen havaittiin tuotannon vastauksissa – muovijätteen kierrätys tuotti vielä ongelmia useassa paikassa, kuten myös suursäkkien kierrätys – seka- ja CMC-jätteen merkintä oli kaikkialla riittävä – 50 % vastaajista oli kokenut ongelmia jätejakeiden sijoittamisessa oikeaan keräyspisteeseen – metallijätteen keräys ja kierrätys oli riittävä, mutta lajittelun vaikeus näkyi konekorjaamon vastauksissa – 56 %:lle vastaajista kierrätys aiheutti ylimääräistä työtä – kierrätystä pitäisi kehittää erityisesti muovin, sekajätteen, ongelmajätteen ja CMC-jätteen osalta – 60 % vastanneista ei ollut saanut jätehuoltokoulutusta ja 70 % olisi valmis osallistumaan koulutukseen, jos sitä järjestettäisiin <p>Vastaajia oli yhteensä 210, joista 79 % miehiä. 63 % vastaajista oli alle 44-vuotias ja ammattikoulun käyneitä oli 61 %.</p>

3.2.4 Tulosten tarkastelu

Jätteiden kierrätys ja keräys vaihteli rakennuksissa niiden toiminnan mukaan. Esimerkiksi tuotantopuolen vastauksissa toistuivat samat teemat, jotka erosivat selvästi konttoripuolen ja laboratorion vastauksien teemoista. Myös rakennuksen sijainti jätekeräyspisteeseen nähden

nosti työntekijöiden tietämystä eri jätelajeista. Tämä näkyi erityisesti lasi- ja ongelmajätteen osalta, joita syntyi pääasiassa laboratoriossa. Pilot-laitoksen työntekijöiden vähäinen määrä ja laitoksen erillinen sijainti vaikuttivat vastausprosentteihin. Tietämys eri kierrätyspisteistä havaittiin laajalla alueella liikkuvien henkilöiden vastauksissa, kuten ”vanhanpään”, tuotevaraston ja konekorjaamon työntekijöillä. Heidän tietämys eri jätteistä oli laajempi kuin tietyssä yksittäisessä toimipisteessä työskentelevien henkilöiden tietämys. Ulkopuolisten urakoitsijoiden vastauksissa heijastui epävarmuus, lähes kaikissa jätelajeissa, en osaa sanoa -vaihtoehdon määrissä. Vastaavasti useassa paikassa työskentelevien henkilöiden jätetietämys oli melkein keskiarvo muiden työntekijöiden vastauksista.

Kysely antoi hyvää taustatietoa jätehuollon nykytilasta ja varsinkin sen kehitysmahdollisuuksista. Ennen kyselyä tiedettiin puutteet suursäkkien ja 6-linjan teollisuuskuidun kierrätyksessä, metallijätteen lajittelussa sekä sekajätteen sekoittumisesta hyötyjätteiden kanssa. Kyselyn tulokset kuvasivat näitä ongelmia hyvin. Vaikka keräys olisi syntypisteessä onnistunut, niin silti jakeet saattoivat sekoittua loppukeräyspisteessä. Erityisesti sekajätteen sekaan eksyi paljon muita jakeita, kuten hyötykäyttöön kelpavaa paperia ja pahvia. Muovijätteen ja CMC-jätteen keräys herätti paljon kysymyksiä, sillä näitä jakeita päätyi myös sekajätteen sekaan, vaikka molemmilla onkin erillinen keräys. Muovijätteen keräykseen ilmeni halukkuutta erityisesti laboratoriossa. Harvinaisempina jakeena ongelmajätteeseen kuuluvien jätteiden luokittelu ja keräyspisteiden sijainti pitäisi selvittää paremmin. Puujätteen keräys toimii hyvin, kuten myös muiden perusjakeiden kierrättäminen.

Kyselyn perusteella suuri osa vastaajista ei ollut saanut jätehuoltokoulutusta, vaikka näitä asioita käsitellään erilaisten tapaamisten ja turvapassikoulutuksen yhteydessä. Työntekijät ymmärsivät kysymyksen siten erillisenä koulutuksena. Vastaajat olivat kuitenkin halukkaita osallistumaan koulutukseen ja halusivat lisää tietoa lajittelusta, kierrätyksestä, jätteiden loppusijoittamisesta ja kierrätyksen hyödyistä. Ilomäen (1999) tekemässä kyselyssä PKT-yrityksiin saatiin samansuuntaisia vastauksia. Hänen kyselyn perusteella viranomaisilta haluttiin neuvontaa lajittelusta, tietoa tietyn jätelajeen hyödynnettävyydestä ja tiedotusta ympäristölainsäädännön muutoksista (Ilomäki 1999). Tehtaalla kierrätyspisteet tulisi merkitä selkeämmin ja mieluummin perustaa yksittäinen keräystarha kaikille jätteille. Jätekeräyspisteiden kartta ja näistä tiedottaminen olivat parannusehdotuksina. Parannukset vähentäisivät ylimääräisen työn määrää, ja kierrätys tulisi mielekkäämmäksi. Avoimiin

kysymyksiin saatujen vastausten ja parannusehdotusten perusteella työntekijät olivat kiinnostuneita jätehuollon toimivuudesta.

Sukupuolen, iän tai koulutuksen vaikutusta vastauksiin ei tarkemmin analysoitu, vaikkakin positiivisuutta ja tietoa kierrätyksestä oli enemmän toimirakennuksissa, joissa työskentelee naisia ja nuorempia henkilöitä. Tuotannon työntekijöiden laaja työnkuva ja kiire heijastuivat vastauksissa. Harvinaisempien jätejakeiden osalta en osaa sanoa - ja ei kuulu toimenkuvaan - vastaukset olivat yleisiä. Erityisesti ongelmajäte-nimitys tuotti epävarmuutta monessa vastauksessa.

Kysymykset olisivat antaneet väittämämuodossa mahdollisesti erilaisen vastausjakauman, sillä tällöin henkilön olisi pitänyt painottaa enemmän vastaustaan. Kyselyn analysointi toimirakennusten kesken aiheutti ongelmia, sillä työntekijöiden määrä oli joissakin paikoissa vähäinen ja monet työntekijät työskentelivät myös useassa eri paikassa tehtaalla. Vaikka henkilöt merkitsivät vastaukseen vain pääasiallisen toimirakennuksen, niin silti heidän vastauksissaan heijastui eri työpisteiden jätehuoltotilanne. Erityisesti konekorjaamon työntekijöiden vastauksissa tämä tuli esille. Tämä ei sinällään ole ongelma, sillä tavoitteena oli tarkastella koko tehtaan jätehuollon tilaa eri osien summana. Ongelmajätteen määrittäminen olisi pitänyt olla kyselyssä tarkempi, sillä sen tarkkaa koostumusta ei tiedetty, ja vain muutama työntekijä työskentelee ongelmajätteen kanssa. Muu jäte -vaihtoehdon tehtävänä oli antaa vastaajalle mahdollisuus kertoa kyselyssä mainitsemattomasta jätteestä, mutta tämä ymmärrettiin virheellisesti omana jätejakeenaan. Muu jäte jätettiin pois analyysituloksista. Toimihenkilöitä ei erotettu muista työntekijöistä, joka on voinut vääristää tuloksia, sillä toimihenkilöiden työnkuvaan kuuluu osittainen jätehuollosta vastaaminen. Avoimien kysymysten esitysmuoto oli puutteellinen, sillä henkilö pakotettiin vastaamaan näihin lisäkysymyksiin riippuen hänen monivalintakysymyksen vastauksestaan. Ei kuulu toimenkuvaan -vastausvaihtoehtoa käytettiin vain todellisissa tilanteissa, esimerkiksi toimistohenkilökunnan vastauksissa metallijätteestä, ja pelkkiä en osaa sanoa -vastauksia esiintyi vain hajanaisesti.

3.2.5 Johtopäätökset

Kysely antoi perusteellisempaa tietoa jättejakeista ja työntekijöiden ongelmista niitä kerätessä ja kierrätettäessä. Samalla kävi ilmi heidän mielipiteensä ja halukkuus kierrätykseen. Kysely nähtiin työntekijöiden mielestä positiivisena, sillä se herätti mielenkiinnon jätehuoltoon ja toimi eräänä vaikutusmahdollisuutena. Iivonen ym. (1990) ehdottavat koulutus- ja asennekasvatuksen antamista työntekijöille, sillä jätehuollon toimintatapoja ei mahdollisesti noudateta, jos nämä hidastavat ja lisäävät työtä. Tehdyn kyselyn mukaan asenne kierrätykseen oli yleensä hyvä, vaikka työn hidastuminen ja jätteiden kierrättämisen aiheuttama lisätyö tulivatkin ilmi. Jätekeräyspisteiden hajallaan sijaitseminen oli suurin vaikuttava tekijä, jonka johdosta yksittäistä keräystarhaa ehdotettiin paljon. Tehdasalueella ei ole keräystarhalle kuitenkaan tilaa, jolloin se jouduttaisiin sijoittamaan kauas tehdasrakennuksista, mikä entisestään lisääisi kuljetusmatkoja. Nykyinen syntypistekeräys on toimiva, mutta keräyspisteiden määrää tulee osalle jakeista lisätä ja sijoittaa näitä lähelle toisiaan sekä merkitä suuret loppukeräyspisteet paremmin, jotta jakeet eivät sekoittuisi. Vaikka jätekeräyspisteistä on tehty kartta, tulisi tämän olla enemmän esillä, ja sen yhteyteen tulla myös tietoa muusta lajittelusta.

On tärkeää motivoida ja lisätä työntekijöiden mielenkiintoa jätehuoltoon kohtaan. Tämä voidaan tehdä tiedottavilla aktiviteeteilla tai opetusohjelmilla. Syntypistekeräyksen tärkeydestä tiedottaminen, jätteisiin liittyvät kilpailut ja juhlat ovat osaltaan suositeltavia (Hogland & Stenis 2000). Halukkuus jätehuoltokoulutukseen oli korkea, sekä tiedottaminen että vaikuttaminen jätehuoltoon nähtiin tärkeinä. Asenteelliset keinot vaikuttavat työntekijöihin, ja tiimityöskentely lisää vastuuta työstä ja ympäristöstä, joten ympäristöjärjestelmissä työntekijöitä pitäisi aktivoida enemmän (Ilomäki 1999). Äänekoskella sisäiset auditoinnit ovat osana työntekijöiden tehtäviä. Lisäksi on omistajan auditoinnit, siisteyskierrokset kuukausittain eri osissa tehdasta ja vielä kiertävät työsuojeluparit. Tiimityöskentelyä sisäisten auditointien lisäksi on lähinnä sovittujen alueiden siisteydestä vastaaminen, ja tähän liittyy myös pieni kilpailuasettelu. Vuorotyö antaa tiimityölle hyvän pohjan, joten jätehuollon kehittämisen tulisi perustua tähän. Mahdollisesti suurempi vastuu jätekierrätyksestä ja tarkemmat ympäristötavoitteet jätehuollossa nostaisivat entisestään työntekijöiden aktiivisuutta.

Kyselyssä saatujen tietojen avulla pystytään helpommin poistamaan työntekijöiden mainitsemat ongelmat ja puutteet. Saatujen tietojen perusteella voidaan paremmin tiedottaa epäselvistä asioista sekä opastaa työntekijöitä. Erityisesti kaatopaikkasijoittamisen vähennystavoitteista tulisi kertoa enemmän. Haastattelut tehtaalla ja muiden jätealan henkilöiden kanssa olivat toinen tärkeä tietolähde. Näihin tietoihin pohjautettiin tehtaan jätejakeita, pääasiassa kvalitatiivisesti, tarkasteltaessa. Ilmenneistä ongelmista ja puutteista huolimatta kysely antoi laajan kuvan tehtaan jätehuollon nykytilasta, ja lisäksi työntekijät saivat ilmaista havaittuja ongelmia jätehuoltoon liittyen.

4. Tehtaalla syntyvien jätejakeiden tarkastelua

4.1 Sekajäte

Pääosa tehtaalla syntyvästä loppusijoitettavasta sekajätteestä sisältää erilaista siivousjätettä. Käsipyyhkeet, kertakäyttöastiat ja muoviroskat ovat sosiaalitiloista, työhuoneista, kahvihuoneista ja valvomoista syntyvää jätettä. Myös tuotannon lakaisujätteet, erilaiset kierrätykseen kelpaamattomat muovit ja likaiset hyötykäyttäjakeet ovat tavanomaisia sekajätejakeita. Sekajätteeseen kulkeutuu vielä liian paljon puhdasta hyödynnettävissä olevaa jätettä, kuten pahvia, teollisuuskuitua, muovia ja sellua. Tämän poistaminen sekajätteestä vähentää huomattavasti loppusijoitettavaa jätemäärää.

Sekajätteen keräysastioita on eri puolilla tehdasta, ja suurempia trukilla tyhjennettäviä sekajätelavoja sijaitsee tuotantotiloissa. Loppukeräyspisteitä on kolme, joista kaksi on umpilavoja ja yksi avolava (Liite 1). Avolavan tyhjentää Tmi Kosonen ja umpilavat Jätehuolto Savolainen Oy. Ennen tehdaskaatopaikalle tyhjennystä lavat punnitaan pääportilla ja punnitustiedot lähetetään CP Kelco Oy:n Jani Rosalalle, tehdaskaatopaikasta vastaavalle M-Real Oyj:n Pauli Kangasmaalle ja yksi kappale jää myös kuljetusyhtiölle. Suurien sekajätelavojen tyhjennysväli vaihtelee. Erityisen paljon jätettä muodostui paperi- ja selluloosatehtaiden työseisauksen aikana toukokuussa 2005, koska suuri määrä sellupaalien kääreitä päätyi sekajätelavoille. Tällöin 6-linjan sekajätelava tyhjennettiin lähes joka toinen päivä. Yleisesti avolava tyhjenetään normaalitilanteessa kerran viikossa ja umpinaiset

sekajätelavat harvemmin. Pääasiassa vain siistijät laittavat näihin umpilavoihin jätösäkkejä ja muuta siivousjätettä (Kosonen 2005, suull. tiedonanto; Paanala 2005, suull. tiedonanto).

Koska valtioneuvoston päätöksen (861/1997) mukaan kaatopaikoille sijoitettavan biohajoavan jätteen määrää tulee vähentää huomattavasti, on näitä jakeita poistettava sekajätteestä. Kaatopaikoille saa sijoittaa vain esikäsiteltyä jätettä, ja biohajoava jäte on erotettava hyötykäyttöön, joten paperiset käsipyyhkeet on myös erotettava sekajätteestä (Anonyymi 1997f; Anonyymi 2003b). Sekajätteestä suurin osa koostuu juuri käsipyyhepaperieista ja kertakäyttöastioista, kuten pahvimukeista. Suurella osalla työntekijöistä on henkilökohtainen pesunkestävä muki sekä tehtaan puolesta yhteiset ruokailuastiat ja välineet. Samaa periaatetta pitäisi soveltaa myös tehtaalla käyviin vieraisiin. Lindström Oy:n valmistaman pyyheannostelijan yksi puuvillakestopyyherulla tuottaa jätettä elinkaarensa aikana vain 2 kg, kun vastaavasti samalla käyttömäärällä paperipyyhkeistä syntyy biohajoavaa jätettä 35–72 kg. Tehtaan vastuhenkilö huolehtii rullien vaihtamisesta annostelijaan, ja Lindström Oy vaihtaa likaiset rullat puhtaisiin. Yksi rulla voi kiertää jopa 100 kertaa, jonka jälkeen se hyötykäytetään erilaisissa teollisuuden tuotteissa (Kinnunen 2005, suull. tiedonanto). Annostelija soveltuu erinomaisesti tehtaan sosiaalituloihin ja yleensäkin käsienpesupisteiden läheisyyteen. Konekorjaamolla annostelijan käyttö on ollut aktiivista, ja työntekijöiden mukaan se on vähentänyt käsipaperien käyttömääriä. Paperipyyhkeitä olisi kuitenkin oltava lisänä. Annostelijoita on lisäksi muutamissa WC-tiloissa.

Jätehuolto Savolainen Oy kerää tehdasintegraatissa energiajätettä ainakin M-Real Oyj:n tehtailta. Jae murskataan, jonka jälkeen se viedään energiahyötykäyttöön. Energiajätekeräykseen soveltuvat muovipakkaukset ja kelmut, likaiset ja öljyiset käärepaperit, muunlaiset paperit, styrox sekä puujäte. PVC-muovia, metallia, maali- ja kumijätettä sekä lasia ei keräykseen saa laittaa. Keräyksestä peritään tyhjennyshinnat ja käsittelykustannukset (Savolainen, M. 2005, Jätehuolto Savolainen Oy, suull. tiedonanto). Samaan tapaan energiajätettä kerää myös Paperinkeräys-yhtiöiden Encore Ympäristöpalvelu Oy Etelä-Suomen alueella (Teittinen 2005, suull. tiedonanto). Tehtaan kuitu- ja muovijätteen kierrättäminen energiajätteeksi on yksi vaihtoehto, mutta jätehierarkian mukaan materiaalikierrätys on tavoitellumpaa. M-Real Oyj:n paperi- ja kuitujättemäärät ovat suuremmat kuin kemiantehtaalla, mutta muovijätettä syntyy kemiantehtaalla vastaavasti enemmän. Muovijätteen lämpöarvo on korkea, mutta sen murskaus ennen polttoa aiheuttaa ongelmia. Muovijätteen materiaalikierrätyksessä voi lisäksi saada tuloja.

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös läheisten tehtaiden jätehuollon toimintaa. Oy Metsä-Botnia Ab:n sellutehtaalla syntyvät jätteet ovat suurimmaksi osaksi prosessijätteitä, joita kerätään isoihin keräyslavoihin ja viedään tehdaskaatopaikalle välivarastointiin tai loppusijoitettavaksi. Hyötykäyttäjakeet kerätään hajautetusti yksittäisiin astioihin syntypisteen läheltä (Tupitsa 2005, suull.tiedonanto). M-Real Oyj:n paperitehtaalla jätteiden keräys on hajautettu syntypisteisiin, mutta on myös yksi kokoomapistee, jossa on lavat pahville, valkoiselle paperille, energijätteelle ja kuivajätteelle. Keräyspisteitä on paljon, ja jokaisessa pisteessä on eri jakeiden keräyslaatikoita, mikä helpottaa jätteen lajittelua. M-real Oyj käyttää Äänekosken ja Kankaan tehtaillaan eri värikoodeja eri jättejakeille. Keräysastiat ovat joko koodin värisiä, tai niissä on jättekoodin värinen etiketti. Heidän tehtaillaan sekajätteen tilalla käytetään termiä kuivajäte, sillä tämä antaa selkeämmän kuvan jätteestä ja on siten vähentänyt sen määrää sekä parantanut puhtautta sekajätteeseen verrattuna. Energijäte koostuu puu- ja muovijätteestä, jonka käyttöönoton jälkeen kuivajätteeseen kuuluvat enää hyötykäyttöön ja energijätteeseen kelpaamattomat jakeet. Aikaisemmin muovijäte kerättiin M-Real Oyj:n tehtailla erikseen, mutta uuden pakkauslinjan ja energijakeen takia se ei enää ole kannattavaa (Kovanen 2005, suull.tiedonanto).

Sekajätteen keräyspisteitä on CMC-tehtaalla riittävästi, mutta koska muut hyödynnettävät jakeet pitää saada siitä erilleen, tulisi M-Real Oyj:n käyttämä kuivajäte-termin käyttöä kokeilla myös CMC-tehtaalla. Tämä nimenmuutos voisi tehostaa lajittelua, sillä sekajäte termi sisältää kuvainnollisesti kaikki jättejakeet, joten sen sekaan on helppo sijoittaa myös hyötyjätteitä. Nykyisten sekajätteen sisäkeräyspisteiden läheisyyteen tulisi lisätä muiden jättejakeiden keräysastioita, jolloin jätteiden sijoittaminen helpottuisi. Trukilla tyhjennettäviä sisäkeräyslaatikoita pitäisi työntekijöiden mukaan merkitä myös paremmin.

4.2 Puujäte

Puujätettä syntyy pääasiassa tuotepakkauksien kuormalavoista, jotka suojaavat tuotetta ja helpottavat sen siirtoa ja kuljetusta. Kuormalavat ovat kertakäyttöisiä, joten ne jäävät tuotteen mukana asiakkaalle, sillä niille ei ole palautusjärjestelmää. Tehtaalla lavat kiertävät sisäisesti uudelleensäkitysten ja muiden toimien yhteydessä ja edelleen takaisin pakkaukseen. FIN- ja EURO-lavoja on myös kokeiltu, mutta ulkomaisten asiakkaiden pitkästä välimatkasta johtuen lavojen pantti/vaihtosysteemi on lähes mahdoton toteuttaa. Lavat kiertävät tehtaalla sisällä,

kunnes niissä havaitaan rikkoutumisen merkkejä, tai kuljetus muutoin on työturvallisuuden vastaista. Puujäte kerätään konekorjaamon vieressä olevaan puujätelavaan. Kemiallisesti käsiteltyä puuta ei tehtaalla käytetä, joten sitä ei sekoitu muuhun puujätteeseen. Puulava tyhjennetään Äänevoiman puujätekentälle, josta massa siirtyy polttoon. Pekka Kososen (2005, suull. tiedonanto) mielestä puulavat tulisi pakata lavalle tiiviimmin, jotta koko lavan tilavuus saataisiin käytettyä paremmin hyödyksi. Ratkaisuna olisi kerätä suurempi määrä rikkiäisiä puulavoja yhteen, ja työntää tämä lavapaketti trukilla perästäpäin keräyslavalle. Tällöin lavat pysyisivät järjestyksessä, sillä jälkeinpäin näiden järjestely on työlästä ja turhauttavaa.

Kuormalavojen korjausta on laajalti ympäri Suomea, ja Helsingistä löytyy varsinainen kuormalavakeskus (Helström 2005, suull. tiedonanto; Teittinen 2005, suull. tiedonanto). Encore Ympäristöpalvelu Oy toimittaa uusia ja käytettyjä lavoja ja lisäksi korjaa rikkiäisiä. Pekka Helström (2005, suull. tiedonanto) kertoo, että kertakäyttölavojen korjaus ei yleensä ole kannattavaa, jos lavojen määrä on alle 5000 kappaletta vuodessa, sillä korjauskustannukset ovat kalliimmat kuin uuden lavan ostaminen. Kertakäyttölavoja he kuitenkin ottavat veloituksetta vastaan.

Puujätteen kierrätys on tehtaalla tehokasta, ja materiaalin käyttö energiataroitukseen sopii Äänevoimalle. Lavat kestävät tehtaan sisäisessä kierrätyksessä riittävän kauan, ja täten niitä ei kannata vaihtaa kestolavoihin. Kustannuksia syntyy ainoastaan puujätelavan tyhjennyksestä, sillä Äänevoima ottaa jätteen veloituksetta vastaan.

4.3 Metall

Metallin kierrätys on primääristä kierrätystä, koska sen arvo ei muutu kierrätyskertojen kasvaessa ja tuote palaa alkuperäiseen tehtäväänsä (Helanto 1993). Tästä johtuen kierrätystä tulee Suomessa tehostaa, sillä nykyisin vain 10–20 % metallista kierrätetään. Eniten kierrätetään alumiinia, terästä ja kuparia (Anhava ym. 2001).

Metallijätteen keräykseen on tehtaalla useita keräyslavoja sisätiloissa, ja loppukeräyspisteet sijaitsevat konekorjaamon vieressä. Työntekijät tyhjentävät trukilla pienemmät kippilavat, ja isot lavat tyhjentää Stena Metall. Isoja keräyslavoja on kolme, kaksi mustalle raudalle ja yksi kirkkaalle metallille. Kirkkaan metallin keräyspiste on ollut käytössä vasta maaliskuusta 2005

lähtien, ja sen kierrätyksen tasoa tarkkaillaan. Tavoitteena on vähentää lavojen määrä kahteen, yksi kummallekin laadulle. Isommat metallikappaleet viedään läheiselle niin sanotulle mikserikentälle, jossa Stena Metall lajittelee jakeet ja kuljettaa hyötykäyttöön. Kentällä lajitellaan myös metallilavojen sisältöä (Häyrinen 2005, suull.tiedonanto; Mustapirtti 2005, suull.tiedonanto).

Metallijätettä muodostuu tasaisena jätevirtana sellupaalien metallilangoista, konekorjaamon sorvinlastuista ja muista kunnossapitotehtävistä sekä putkimuutosten yhteydessä tuotantolinjoilta. Suurempia metallikappaleita, kuten reaktoreita ja sekoittimia, syntyy ajoittain linjamuutosten ja rikkoutumisten yhteydessä. Konekorjaamon edessä sijaitseva erillinen sorvinlastulava sisältää muovi- ja metallilastua, ja se tyhjenetäänkin sekajätteenä (Häyrinen 2005, suull.tiedonanto). Harvemmin muodostuvaa sähkökaapelijätettä, joka sisältää muun muassa kuparia, myydään eri metallikerääjille.

Stena Metall tyhjentää lavat ilmoituksesta tasaisin väliajoin. Metallijäte punnitaan ensin tehtaalla ja vielä uudelleen Stena Metallilla jakeiden määrän arvioinnin jälkeen. Tämän mukaan jäte myös hinnoitellaan maailmanmarkkinahintojen mukaisesti (Rönberg 2005, suull.tiedonanto). Kaikki jäte kuljetetaan heidän kauttaan, jotta tärkeät metallit eivät sekoittuisi. He lajittelevat metallin magneetilla ferrous- ja non-ferrous -laatuihin, jonka jälkeen jakeet viedään metalliteollisuuden sulattamolle. Syntypistelajittelu vähentää heidän työtään ja siten myös kustannuksia asiakkaalle (Mustapirtti 2005, suull.tiedonanto).

Metallijakeet sekoittuvat syntykeräyspisteissä, sillä pieniin keräysastioihin kerätään kaikki metallijakeet sekaisin, joten lavaa tyhjennettäessä metallit pitäisi erotella uudelleen. Stena Metallin kanssa tehdyssä sopimuksessa metallit on eroteltu happoteräkselle, mustalle raudalle, alumiinille, paalilangalle, pätkitylle paalilangalle ja harvemmin syntyvälle ruostumattomalle teräkselle (Taulukko 4). He pystyvät lajittelemaan osan metalleista, mutta tämä lisää kustannuksia. Kokeilussa olevalla kirkkaalla metallilla tarkoitetaan sekä happoterästä että ruostumatonta terästä. Näiden erottaminen toisistaan on jälkeinpäin mahdotonta, jolloin jäte hinnoitellaan halvemman ruostumattoman teräksen mukaan. Koska tehtaalla on käytössä pääasiassa happoterästä, sen erillinen kerääminen arvokkaampana metallina olisi kannattavampaa. Web-kameran asentaminen nykyisten jätelavojen edustalle varmistaisi oikean tyhjennysajankohdan, sillä tällöin metallikeräisyhtiö saa suoraan tiedon lavojen

täyttymisestä. Tämä mahdollisesti estäisi myös metallien sekoittumista (Mustapirtti 2005, suull.tiedonanto).

Taulukko 4: Muodostuneet metallijättemäärät 1.7.04. – 30.06.05 välisenä aikana. Titaanijäte oli yksittäinen nouto (Mustapirtti 2005, suull.tiedonanto).

Metallit	kg
Happoteräs	597
Titaani	703
Pelti	21950
Sekalainen rauta	27900

Kokeilussa olevan kirkkaan metallin keräys ei ole koskaan tuottanut tulosta. Lavalle tyhjenetään väärää metallilaatua, kuten kirkasta paalilankaa, joka ei kuitenkaan ole happoteräsmetallia eikä ruostumatonta terästä. Kirkkaan metallin lavan pitäisi sijaita erillään muista lavoista, ja sinne vietäisiin vain suuremmat jakeet. Erillinen koulutettu ryhmä voisi kerätä kirkkaan metallin, sillä liian tarkka lajittelu aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia (Häyrinen 2005, suull.tiedonanto). Matti Mustapirtin (2005, suull.tiedonanto) ehdotuksena oli pitää yksi tai kaksi isoa lavaa mustalle raudalle, keskikokoinen lava kirkkaalle metallille ja pienempiä laatikoita paalilangoille ja alumiinille. Paalilankalaatikot sijaitsisivat jauhatuksen yhteydessä, ja myös alumiinin keräyslaatikko ja kirkkaan metallin lava olisivat erillään mustan raudan keräyslavasta. Jos paalilankojen keräys laatikoihin onnistuisi, niin toinen iso mustan raudan lava poistuisi (Mustapirtti 2005, suull.tiedonanto).

Sellupaalien langat vievät suuresti tilaa, jos niitä ei katkota tai puristeta pienempään tilavuuteen. Pitkät langat ovat lähes arvotonta metalliromua, jotka pitää katkoa ennen kuin ne kelpaavat sulattamoille, ja Stena Metall veloittaa tästä työstä. 3- ja 6-linjalla langat pyritään katkomaan heti sellunjauhatuksen yhteydessä, mutta langankatkajien konerikoista johtuen tämä ei aina ole mahdollista. Varkauden Corenson tehtaalla käytetään lankojen paalauslaitetta sekä trukkiin sijoitettavaa paalilankakatkaisijaa, jotka voisivat olla eräinä vaihtoehtoina (Boman 2005, suull.tiedonanto; Oinonen 2005, suull.tiedonanto). Paalattujen tai katkaistujen lankojen täydet keräyslaatikot nostettaisiin kuorma-auton lavalle ja tuotaisiin tyhjät tilalle. Laatikoista langanpätkät eivät pääsisi myöskään tippumaan tielle autoilijoiden harmiksi (Mustapirtti 2005, suull.tiedonanto).

Mikserikentällä oli tarvetta siistiä ympäristöä ja erityisesti hankkiutua eroon muovisista 1000 litran konteista. Konttien metallikuoret soveltuvat metallijätteeksi, ja muoviosan hyötykäyttäisivät muovijätevastaanottajat. Mikserikenttä toimii M-Real Oyj:n, Oy Metsä-Botnia Ab:n ja CP Kelco Oy:n metallijätevarastona, jossa säilytetään isompia laitteita. Alueen aitaaminen yksinkertaisilla aidoilla, ja eri jakeiden merkitseminen siistivät ympäristöä ja helpottaisi metallijätteen kerääjän toimintaa (Boman 2005, suull.tiedonanto; Mustapirtti 2005, suull.tiedonanto). Tutkimuksen tekovaiheen jälkeen mikserikenttää on siistitty ja muovikontit poistettu. Nykyisin suuremmat koneenosat sijoitetaan mikserikentän ympärillä oleviin varastorakennuksiin, ja metallijätettä ei siellä enää lajitella, joten kentän käyttö metallijätteen osalta on lopetettu (Liimatainen 2005, suull. tiedonanto).

4.4 Lasijäte

Tehtaan lasijäte koostuu laboratoriolasista sekä pienestä määrästä laiteiden ja trukkien ikkunalaseja. Mahdollisesti myös lämpölasia on laboratoriolasin seassa. Lasinkeräyspisteitä on tehtaalla vain kolmessa paikassa, sillä syntyvän jätelasin määrä on vähäinen. Jätelasi kerätään laboratorion pienistä astioista isompaan keräysastiaan (140 l jäteastia), jonka Jätehuolto Savolainen Oy tyhjentää ja lajittelee lasimassan käsin. Käsinlajittelussa hyötykäyttöön kelpaamattomat lasit poistetaan, jonka jälkeen ne viedään Forssan Uusioainekselle värilajitteluun. Lopulta lasimassa kulkeutuu Riihimäelle hyötykäyttöä varten (Paanala 2005, suull.tiedonanto; Sarja 2005, suull.tiedonanto). Tuotantolinjoilla syntyvät laiteikkunoiden ja trukkien lasit kerätään konekorjaamon lasinkeräyspisteeseen, mutta nämä päätyvät sekajätteeksi. Panttisysteemiin kuuluvat muovi- ja lasipullot sekä alumiinitölkit voidaan viedä keräykseen, ja näistä saadut varat voitaisiin käyttää esimerkiksi yhteiseen virkistyskäyttöön. Kyselyn perusteella pienempiä lasinkeräyspisteitä haluttiin lisätä eri puolille tehdasta nykyisten pääkeräyspisteiden lisäksi.

4.5 Jätepaperi

Jätepaperi koostuu työhuoneista, valvomoista ja sosiaali-tiloista peräisin olevista sanomalehti- ja valkoisesta konttoripaperista. Tuotepakkauksessa käytettävää paperisäkkiä ei lueta jätepaperiksi, vaan se on teollisuuskuitua ja hyötykäytetään Varkauden Corenson tehtaalla.

Tietosuojattu keräyspaperijae, jota syntyy konttorirakennuksesta ja yleensäkin toimihenkilöiden työhuoneista, tuhotaan ensin ja käytetään Mäntän Metsä-Tissuen tehtaalla pehmopaperin raaka-aineeksi. Tätä jätettä kertyy pääasiassa työhuoneiden inventaarioiden yhteydessä. Valkoisen konttoripaperin Jätehuolto Savolainen Oy kuljettaa paalaamisen jälkeen myös Metsä Tissue teollisuuden käyttöön. Sanomalehtipaperijäte viedään UPM-Kymmene Oyj:n tehtaalle Kaipolaan, ja jätettä syntyy tasaisesti kaikista tehtaan osista (Paanala 2005, suull.tiedonanto).

Keräyspisteitä on tasaisesti eri osissa tehdasta, ja erityisesti työhuoneissa on kaksi erillistä pahvilaatikkoa sanomalehtipaperille ja konttoripaperille. Ongelmia ovat aiheuttaneet erilaisten paperilaatujen sijoittaminen oikeisiin laatikoihin. Paperin jäännösaineita ovat väriaineet ja vedenpitävät päällyksaineet (Gascoigne & Ogilvie 1995), ja läpivärjätyt paperit ovatkin olleet välillä ongelmallisia uusiokäyttöä (Peltola, S. 2005, suull.tiedonanto). Erilaisilla käsittelyillä paperista voidaan hyötykäytön yhteydessä poistaa sen sisältämä muovi, sideaine, langat ja niitit (Gascoigne & Ogilvie 1995), joten nämä eivät haittaa kierrätystä. Paperinkeräys Oy:n internet-sivuilla on ohjeet eri paperilaatujen kierrättämisestä, jotka on myös mahdollista linkittää tehtaan intranettiin (Paperinkeräys 2005). Suurempia 140 ja 240 litran astioita on eri paikoissa tehdasta, ja pahvilaatikoiden tyhjennys näihin kuuluu jokaisen työntekijän tehtäviin.

Paperisilppurijäte päättyy usein sekajätteeksi. Silppurien tyhjentäminen pitää sisällyttää työntekijöiden työtehtäviin, jolloin siistijöille jää vain sekajätteen tyhjennys. Silppurijäte voidaan tyhjentää valkoisen konttoripaperin isoihin keräyspisteisiin. Näiden määrää pitää tällöin lisätä, sillä silppurijäte vie runsaasti tilaa. Jätepaperi kuuluu tuottajavastuun piiriin, joten sen keräys on ilmaista, eikä siitä saada tuloja. Paperinkeräys Oy on keräyspaperin tuottajayhteisö ja järjestää paperintuottajille kuuluvat velvollisuudet. Vaikka vastuu jätteen hyödyntämisestä on tuottajayhteisöllä, jätteentuottajan aktiivisuus ja yhteistyö auttavat keräyksen järjestämisessä. (Jäppinen 2005, suull.tiedonanto; Peltola, S. 2005, suull.tiedonanto)

Kokonaisuudessaan jätepaperikeräys ja lajittelu toimivat hyvin, ja niissä ei suoranaisesti ole kehittämistä. Ainoastaan paperisilppurijätteen tyhjentämisestä pitää sopia uudet säännöt, ja valkoisen paperin isoja keräyspisteitä on lisättävä, tai tyhjennysväliä lyhennettävä, sillä laatikot täyttyvät nopeasti. Tarkemmat lajitteluohjeet keräyspisteiden yhteyteen helpottavat lajittelua.

4.6 Jätepahvi ja teollisuuskuitu

Tehtaalla teollisuuskuitu sisältyy jätepahvijakeeseen, mutta niitä olisi syytä tarkastella erikseen. Varsinaista jätepahvia syntyy laboratorion, tarvikevaraston, Pilot-laitoksen ja konttorin posti- ja tavaralähetysten yhteydessä. Näille on erikseen pahvirullakot lähellä syntypisteitä. Pahviaines viedään uusiokäyttöön Corenson Porin tehtaalle, kun taas paperisäkit sekä muu teollisuuskuitujae, kuljetetaan Corenson Varkauden tehtaalle (Sarja 2005, suull.tiedonanto). Varsinaisesti CMC:n valmistuksessa jätepahvia on vain lisäainepakkauksissa, mutta teollisuuskuitua syntyy 6-linjalla sellurullien päällyspapereista ja rullahylsystä sekä erityisesti sekoitusasemalla syntyvistä paperisäkeistä. Yksittäisiä paperisäkkejä muodostuu myös lisäaineiden syötöstä ja 3- ja 4-linjan säkitysten yhteydessä (Tiihonen 2005, suull.tiedonanto). Tuotetta pakattaessa paperisäkkien alla käytettävät muovikalvoiset paperiliuskat kiertävät sekoitusaseman uudelleensäkitysten yhteydessä takaisin 4-linjan pakkaukseen.

Paperisäkkien kierrätys on tehokasta, sillä sekoitusaseman sekä 3- ja 4-linjojen paperisäkkikeräyslaatikot tyhjenetään Jätehuolto Savolainen Oy:n ylläpitämään teollisuuspuristimeen. Kuitupohjaisen teollisuuskuidun kierrätyksen järjestää Paperinkeräys Oy ja Suomen keräystuote Oy. Kaikkea paperisäkkimassaa ei Suomessa viedä materiaalikierrätykseen, sillä esimerkiksi säkiin pakattu kiviaines pilaa sen uusiokäytön. Muovi ja tarramerkinät eivät kuitenkaan haittaa kierrätystä. CMC-säkkiä pidetään hyvin kierrätykseen soveltuvana CMC:n biohajoavuuden takia. Paperisäkit ovat pakkausjätettä, joten asiakkaalla on oikeus hyödyntää tuottajayhteisön kierrätysverkkoa, kun omistussuhde vaihtuu (Kleemola 2005, suull.tiedonanto). Oman käytön pakkausjätteet eivät kuulu tuottajavastuun piiriin, joten niiden keräyksestä ja hyötykäytöstä pitää maksaa.

Suurin ongelma on sellurullien päällyspaperijäte, jota syntyy suuri määrä 6-linjalla sellun jauhatuksen yhteydessä. Nämä teollisuuskuitukäreet soveltuvat paperisäkkien kanssa samaan keräysastiaan. Nykyisin jäte päätyy sekajätteeksi, jolloin 6-linjan edessä oleva avolava täyttyy nopeasti (Savolainen, M. 2005, CP Kelco Oy, suull.tiedonanto). Rullien päällä käytetään myös muovipäällystettä, joten ehdotuksena oli ottaa käyttöön paalain, jolla kumpikin jae pakataan pieneen tilaan ja saadaan jakeet hyötykäyttöön. Käyttöön suunnitellun paineilmallan toimivan paalaimen pahvipaalien kokoluokka olisi noin 150–250 kg (Saarela 2005, suull.tiedonanto).

Pahvin hinnan laskusta johtuen pahvinkeräys on nykyisin maksullista, joten rullakoiden tyhjennyksestä peritään maksu, ja teollisuuskuitu on arvoltaan vielä aaltopahvia alhaisempaa. Jätehuolto Savolainen Oy:n ja Lassila & Tikanoja Oy:n paalaamien paalien koko on useita satoja kiloja, joten tätä pienemmät paalit he joutuvat paalaamaan uudelleen, mikä lisää työtä ja kustannuksia. Jos CMC-tehtaalla paalattaisiin pahvi ja kääreet erikseen, niin paalien koko pitäisi olla 300–400 kg, ja paaleja olisi varastoitava täysi rekkakuormallinen ennen niiden toimittamista kierrätettäväksi. Tällöin jätteen vastaanotto olisi ilmaista, tai mahdollisesti siitä jopa maksettaisiin. Tämän kokoluokan paalaus on kannattavaa vain, jos pahvia ja kääreitä syntyy useita tuhansia kiloja vuodessa (Auvinen 2005, suull.tiedonanto). Jätehuolto Savolainen Oy:n Mikko Sarja (2005, suull.tiedonanto) ehdotti myös toista teollisuuspuristinta kääreille, jolloin he pystyvät paalaamaan kääreet sopivan kokoisiksi paaleiksi ilman lisätyötä. Paalaimen hankintaa pitää tarkastella myös muovijätteen kannalta ja vertailla puristimen ja paalaimen kustannuseroja sekä syntyvää pahvikääreen määrää.

Sellurullien sisällä olevat paperihylsyt voidaan sijoittaa paperisäkkien puristimeen. Paperihylsyt voidaan kerätä myös erikseen, jolloin ne saadaan pakattua tiiviimmin, ja silloin ne eivät vaurioita puristimen toimintaa. Paperihylsyjen uusiokäyttö on Suomessa tehokasta, ja esimerkiksi M-Real Oyj:n paperitehtaalta rullat viedään siistittäväksi Jätehuolto Savolainen Oy:lle, josta ne palaavat takaisin käyttöön (Kovanen 2005, suull.tiedonanto). CMC-tehtaan selvästi lyhyemmät hylsyet voitaisiin mahdollisesti kerätä samaan keräysastiaan. Jos tuottajalla ei ole säkeille, pahville ja hylsyille suurta hintaeroa, niin kaikki jakeet voidaan sijoittaa myös samaan kierrätyspisteeseen, kuten myös muovipinnoitettu pahvi (Kleemola 2005, suull.tiedonanto).

Sellupaalien sellujätettä muodostuu 3- ja 4-linjan sellunjauhatuksesta. Työntekijät poistavat päällimmäiset arkit jätteeksi erilliseen keräysastiaan, josta ne päätyvät sekajätteeksi. Sellujäte sopii sanomalehtipaperin kanssa samaan keräysastiaan tai mahdollisesti paperihylsyjen keräysastiaan (Kleemola 2005, suull.tiedonanto). Arkit soveltuvat myös 4-linjan teknisen tuotteen valmistukseen, joten vaihtoehtona olisi viedä selluarkkijäte 4-linjan jauhatukseen ja edelleen CMC:n tuotantoon (Liimatainen 2005, suull.tiedonanto). Toimistopaperin ja sanomalehtipaperin soveltumista CMC:n raaka-aineeksi on myös kokeiltu, mutta materiaalien lisäaineet häiritsivät liikaa analyysituloksia, joten niiden perusteella on vaikea tehdä johtopäätöksiä (Vesänen 2004).

4.7 Ongelmajätteet

Suurin osa ongelmajätteistä koostuu kunnossapidon jäteöljyistä ja laboratorion kemikaalijätteistä. Tuotantoprosesseista ongelmajätettä ei synny, sillä kemikaalien kierto on tehokasta. Vain lietteitä muodostuu laiterikkojen yhteydessä. Konekorjaamon lähellä sijaitseva ongelmajätevarasto on katettu, lukittava ja sisältää varoaltan. Sinne kerätään lähinnä linjoilta syntyvät jätteet. Öljyjätteitä muodostuu pääasiassa kunnossapidon huoltotoimien yhteydessä ja suurempia määriä seisokkien ja tehtaan alasajojen aikana. Kiinteiden öljypitoisten jätteiden keräys on laajaa tuotannon tiloissa, ja Lassila & Tikanoja Oy tyhjentää nämä suoraan keräyspisteestään. Tehtaan omat työntekijät keräävät ja kuljettavat muut ongelmajätteet säilytettäväksi ongelmajätevarastoon (Lehtelä 2005, suull.tiedonanto; Tiuhonen 2005, suull.tiedonanto).

Ongelmajätteiden hinta määräytyy L&T:lla laadun, massan ja rahtimaksun mukaisesti, eli mitä enemmän jätettä on, sitä enemmän muodostuu kustannuksia. Ekokem hinnoittelee toimintansa samoilla perusteilla, ja myös heillä öljyjätekeräys on ilmaista, koska he kuuluvat valtion öljyjäterahastoon. L&T:n ongelmajätteet päätyvät pääasiassa materiaalihyötykäyttöön, ja vain vaikeimmat jakeet poltetaan Ekokemin ongelmajätelaitoksella Riihimäellä. Mustista öljyistä valmistetaan kierrätysöljyä Lahden L&T laitoksella, ja Forest Oil Oy jatkokäsittelee kirkkaat öljyt hyötykäyttöön. Myös Ekokemin keräyksestä jakeet päätyvät uusiokäyttöön, kuten mustat jäteöljyt Harjavallan tehtaalle uusioöljyn raaka-aineeksi ja kirkkaat öljyt Jämsänkoskelle (Aro 2005 suull.tiedonanto; Laimio 2005, suull.tiedonanto; Rissanen 2005, suull.tiedonanto).

Ongelmajätekeräys järjestetään tehdasintegraatissa tasaviikoin ja suuremmista yksittäisistä eristä tehdään erillinen tilaus. Isot yksittäiset jäte-erät tulee viedä ongelmajätevarastoon, joka on lain mukaisesti varusteltu. Varasto on vain väliaikainen säilytyspaikka, joten se pitää tyhjentää ainakin kerran vuodessa. Ennen tehdaskierrosta Lassila & Tikanoja Oy:n Juha Aro soittaa ongelmajätteistä vastaaville henkilöille ja varmistaa jätteiden koostumuksen. Tasaisesti ongelmajätettä syntyy vain laboratorion, joten saatujen tietojen perusteella siirtoasiakirjaan merkitään laboratoriojätteen oikea luokitus ja numerointi (Aro 2005, suull.tiedonanto). L&T ja Ekokem ovat molemmat ”täyden palvelun” jätehuoltoyrityksiä, eli he tekevät asiakkaan puolesta siirtoasiakirjan, kunhan heille on ensin annettu tarvittavat tiedot jätteen koostumuksesta (Aro 2005, suull.tiedonanto; Laimio 2005, suull.tiedonanto).

Laboratorion kemikaalijäte säilytetään lukittavassa kemikaalivarastossa, josta se haetaan edelleen hävitettäväksi. Keskenään reagoivat jätteet pidetään vetokaapissa omissa pulloissaan, erillisissä muovialtaissa, erillään neutraalisista käyttökemikaaleista. Astioissa pitää olla selkeät merkinnät, jotta jäte ja käyttökemikaalit tunnistetaan. Laboratoriomittakaavassa varoallasta ei tarvita (Frilander 2005, suull.tiedonanto; Yli-Kauppi 2005, suull.tiedonanto). Laboratorion jätteitä ovat dikromaatti-titrausjäte (hapan, syövyttävä), CED-liuos (emäksinen ja syövyttävä), sekä Hydranal-titrausaine ja -liuotin (palava ja myrkyllinen). Lisäksi on muita kemikaaleja. Työntekijät tuovat jätteet merkittyinä varastoon, josta tutkimuslaboratorion assistentti Marja Kytövaara (2005, suull.tiedonanto) lajittelee ja pakkaa ne oikeisiin pakkauksiin.

Muita tehtaalla syntyviä ongelmajätteitä ovat loisteputket, paristot ja akut. Loisteputkille on erillinen keräyspaikka 3-linjan ulkovälissä. Loisteputket (SE-romu) kuuluvat nykyään tuotevastuun piiriin (Anonyymi 1993a; Anonyymi 2003c; Anonyymi 2004e), joten niistä ei peritä käsittelymaksua, ainoastaan laatikon vuokrausmaksu. Akut ja paristot kerätään ongelmajätevarastoon noutoa odottamaan. Paristonkeräyspisteitä on tehtaalla muutamia, jotka tyhjennetään ongelmajätevaraston pääkeräyspisteeseen. Akut päätyvät lopulta Suomen Akkukeräys Oy:lle Raumalle (Aro 2005, suull.tiedonanto). M-Real Oy:llä paristokeräyspisteitä lisättiin huomattavasti, sillä tutkimuksen mukaan palautus oli tehotonta (Kovanen 2005, suull.tiedonanto).

Sähkö- ja elektroniikkaromu koostuu pääasiassa ATK-laitteista, joille on erillinen varastohuone konttoritiloissa. Vanhat toimivat ATK-laitteet kierrätetään mahdollisuuksien mukaan työntekijöiden käyttöön, mutta rikkinäiset jätekomponentit L&T, tuottajavastuun mukaisesti, kerää ilmaiseksi hyötykäyttöön Keravan laitokselle (Aro 2005, suull.tiedonanto). Lisäksi Keski-Suomen Toimistomaailma kerää tulostimien värikasetit hävitettäväksi (Korkala 2005, suull.tiedonanto).

Lindström Oy:n palveluun kuuluu myös kierrätettävät Vipperi-pyyhkeet, joita käytetään korjaamoilla öljyisiä pintoja pyyhittäessä. Yksi pyyhe kestää 15–20 pesukertaa, jonka jälkeen ne hävitetään energiajätteenä (Winqvist 2000). Koska pyyhkeiden sisältämä öljyjäte on ongelmajätettä, niin likaisten pyyhkeiden kuljettamisessa käytetään myös siirtoasiakirjaa. Näitä öljynimeytyspyyhkeitä on aikaisemminkin kokeiltu tehtaalla, ja edelleen 3-linjan kunnossapidon tukikohdassa on yksi Vipperi-pyyhekokeilu käynnissä.

Ongelmajätteiden keräys on kustannuksiltaan suurin, joten L&T ja Ekokem olisi hyvä kilpailuttaa. Ulla-Maija Kovanen (2005, suull.tiedonanto) mukaan kilpailutus laskee kustannuksia M-Real Oyj:n Kankaan tehtaalla, kun vaihduttiin toisen ongelmajäteyhtiön asiakkaaksi. Molemmilla yhtiöillä on kuitenkin sama hinnoittelusysteemi, ja myös tehdaskierrokset tehdään tasaisin väliajoin, joten suurta eroa näiden välillä ei ole. Selkeät merkinnät, tarkka kirjanpito, oikeat säilytysolosuhteet ja oikeiden kemikaalien hankkiminen pystyvät vähentämään ongelmajätteiden muodostumista.

Ongelmajätteiden kerääminen ja pakkaaminen tehtaalla on ollut kiitettävää, mutta allekirjoituksen saaminen siirtoasiakirjaan taas vaikeaa (Aro 2005, suull.tiedonanto). Porttivahdin allekirjoitus olisi yksi vaihtoehto, mutta tällöin alkuperäisen jätteen haltijan nimi jäisi saamatta. Jätteen kuljettaminen ilman allekirjoitusta on lainvastaista, joten tehtaalla on sovittava henkilöt, jotka vastaavat jätteistä ja vahvistavat nimikirjoituksellaan siirtoasiakirjat. Ongelmajätettä kemikaali- ja ongelmajätevarastoon luovutettaessa tulee jätteestä ilmetä kaikki mahdollinen tieto. Jätteen nimi, kemiallinen kaava, ominaisuudet ja vaaratekijät ovat tärkeitä tietoja jätteen käsittelijälle. Iivosen ym. (1990) raportin mukaan ongelmajätteiden varastointi on yrityksillä yleensä asianmukaista, mutta juuri merkintä on puutteellista. Hänen tutkimuksissaan merkintä puuttui monelta jätejakeelta, kuten öljyiltä, liuottimilta ja akuilta (Iivonen 1990).

4.8 Muovijäte

4.8.1 Nykytilanne ja ongelmat tehtaalla

Muovijätejakeen muodostavat tuotteen pakkauksessa ja varastoinnissa käytettävät kirkas pakkaus- ja kutistekalvo sekä neulotusta polyeteeni- (PE) ja polypropeeni-kalvoista (PP) tehdyt suursäkit. Pakkaus- ja kutistemuovi suojaa paperisäkkejä kosteudelta, likaantumiselta ja tukevat lisäksi lavaa. Jätettä muodostuu uudelleensäkityksissä mutta myös pakkaamisen hylkyosana. Kirkasta muovia (PE) ovat myös näytepusseja sekä Pilot-laitoksen näytelähetysten ja koeajotuotteiden muovipussit. Lisäksi laboratoriossa käytettävistä kemikaalien säilytysastioista jää jäljelle erikokoisia muovikanistereita. Tehtaalle tuodaan tuotannon lisäaineita suurilla tuhannen litran muovikonteilla, jotka kiertävät tehokkaasti takaisin kemikaalituottajille. Kontteja myydään myös työntekijöille. Muovijätteeseen sisältyvät myös

tehtaalle tulleiden pakkausten muovijäte sekä ruoka-annoksissa käytetyt kertakäyttömuoviastiat.

Uuden pakkausjätedirektiivin mukaan muovია pitää kierrättää materiaalina 22,5 % vuoteen 2008 mennessä (Anonyymi 2004c). Vuoteen 2005 kestävän valtakunnallisen jätesuunnitelman mukaan muovista piti hyödyntää aineena ja energiana 70 % (Anonyymi 2001a). Suursäkki on uudelleenkäytettävä, joten se ei sisälly tähän tavoitteeseen, mutta niiden käyttö onkin alle prosentin luokkaa pakkauksista Suomessa (Kärhä 2005, suull.tiedonanto). Jätemuovien osalta Keski-Suomessa on ollut vaikeaa löytää materiaalihyötykäyttökohteita, ja jätteen pienet määrät sekä käsittelyn kustannukset ovat lisäksi vaikeuttaneet asiaa (Yli-Kauppi & Niemi 2003). Muovien energiahyötykäyttökin on Suomessa 2006 vuoden alusta lähtien vaikeaa jätteenpolttodirektiivin (2000/76/EY) sovellusten voimaantulosta johtuen. Energiakäyttöön suunniteltuja muoveja pitää tällöin varastoida, joten vastaanottomaksut voivat myös nousta. Tilanne on väliaikainen, kun prosesseja kehitetään ja tehdään mahdollisesti uusia lakimuutoksia (Mikkilä 2005, suull.tiedonanto).

Tehtaalla on osittainen muovijätteen kierrätys ja hyötykäyttö, sillä suuri osa pakkaus- ja kutistekalvosta sekä käytetyistä suursäkeistä pakataan muovipaalaimella ja välitetään hyötykäyttötarkoituksiin. Ympäristölupa ei kuitenkaan edellytä muovijätteen erilliskeräämistä. Tuotannon tiloissa muovია kerätään keräyslaatikoihin, josta se tyhjenetään sekajätelavalle tai mahdollisesti sekoitusaseman muovipaalaimen. Sekoitusaseman läheisyydestä kaikki pakkaus- ja kutistekalvo, kuten suuri osa suursäkeistäkin, pakataan muovipaalaimella. Paalaimen 319 käyttötunnin aikana (noin kahden vuoden aikana) paaleja syntyi noin 1500 kappaletta, mikä vastaa kokonaisuudessaan yli 40 tonnia muovijätettä. Tästä määrästä suuri osa oli suursäkkejä. Laadunvalvontalaboratoriossa muovijätettä kerätään erikseen, mutta tämä päättyy lopulta sekajätteeksi.

Suurimman ongelman kierrätyksessä aiheuttavat suursäkit, joiden toimiva tehtaansisäinen kierrätys vähentäisi muovijätettä huomattavasti. Käytettyjen suursäkkien materiaalihyötykäyttö tehtaan ulkopuolella on hankalaa työturvallisuussyistä ja energiahyötykäyttö vaikeaa suursäkkien kestävän kangasrakenteen takia. Säkkien saumat ja kantohihnat jumiuttavat murskaimien terät, joten murskaus uusiokäyttöön ja energiataroitukseen on osittain mahdotonta (Kuusisaari 2005, suull.tiedonanto; Roivainen 2005, suull.tiedonanto; Roos 2005, suull.tiedonanto; Sipilä 2005, suull.tiedonanto). Säkkien

rikkoutuminen hyötykäytössä tehtaan ulkopuolella voi aiheuttaa ongelmia tehtaalle, koska suursäkeissä on tehtaan oma leima.

Suursäkit kulkeutuvat asiakkaalle tuotteen mukana, ja niitä ei palauteta takaisin tehtaalle, mutta tuotteen uudelleensäkityksessä suursäkkien muovi sisältyy tehtaan jätekuorman. Suursäkkiä voidaan käyttää uudelleen jopa kymmenen kertaa, mikäli säkki on ehjä. Uudelleensäkityksissä suursäkit pysyvät pääasiassa ehjinä, mutta niiden uudelleen taitteleminen ja sulkeminen lisäävät työtä. Tästä johtuen on helpompaa ottaa uusi ja puhdas säkki, jolloin kertaalleen käytetty säkki siirtyy jätteeksi. Rikkoutuneet suursäkit päätyvät jo turvallisuussyistäkin jätteeksi (Laasanen 2005, suull.tiedonanto).

4.8.2 Suursäkkien ja muovikonttien kierrätys tehtaalla

Karboksimetyyliselluloosaa pakataan Alfa-bag 500–1000 kg ylä- ja pohjaventtiilisiin suursäkkeihin. Suursäkkien käyttökertoihin vaikuttavat useat tekijät, kuten varastointi ja käsittely (Laasanen 2005, suull.tiedonanto). Tuotetta pakattaessa säkit eivät kontaminoidu siten, että niitä ei voisi käyttää uudelleen. Hienojakoinen hygroskooppinen pöly on vain ongelmana.

Viikolla 29, 2005 aloitettiin uusi kierrätyskokeilu, jonka mukaan laadittiin myös työohje (valmisteilla). Koska suursäkkikoodeja on useita, niin tavoitteena on kierrättää näistä eniten käytetyt. Ensin kokeiltaisiin viiden koodin kiertoa, joita käytetään eniten (esimerkiksi C1 lähes 8000 kpl/vuosi). Työohjeen mukaisesti säkin kunto tarkistetaan, poistetaan eränumeromerkinnät ja suljetaan pohjaventtiili. Lopuksi säkki viikataan ja asetetaan koodia vastaavaan konttiin odottamaan uudelleenkäyttöä. Kierrätettäviin säkkeihin on tarkoituksena pakata CMC-jätettä ja välivarastoitavaa tuotetta, mutta myös muutamia lähetettäviä peruslaatuja. Suursäkkijätteestä 95 % syntyy sekoitusasemalla ja lisäaineiden syöttöpisteessä, mutta vain muutamia säkkejä säkitetään uudelleen 3-linjalla. Muovipaalaimen päätyy siltikin lähes puolet suursäkeistä, sitä mukaan kun niissä on havaittu erilaisia vikoja tai epäpuhtauksia (Kahila 2005, suull.tiedonanto).

Perunatärkkelysvalmistaja Finnamyl Oy Kokemäeltä säkittää perunajauhoja 1000 kg suursäkkeihin. Suursäkkejä kierrätetään tehtaan sisällä, ja pisin yhden säkin kiertosykli on

ollut yli kymmenen vuotta. Tauno Henttisen (2005, suull.tiedonanto) mukaan säkit puhdistetaan ja viikataan heti tyhjennyksen jälkeen. Ne nostetaan roikkumaan sekä ravistellaan ja puhdistetaan mahdollisesti myös paineilmalla. Pölyämisen estämiseksi on suunniteltu myös pölynpoistojärjestelmää. Ravistelun jälkeen säkit viikataan kuormalavalle pinoksi. Nykyään työ on ulkoistettu, ja työntekijät ovat saaneet vaikuttaa säkkimateriaalin ja säkkityypin valintaan, jotta säkin kierrätys olisi helpompaa. Eri säkkivalmistajat on myös kilpailutettu, jotta säkin kierrätysyksi olisi pidempi (Henttinen 2005, suull.tiedonanto).

Kemiran Uudenkaupungin tehtaat valmistavat suursäkkejä pääasiassa maatalouden käyttöön. Suursäkeissä ei ole pohjaventtiiliä, joten ne on revittävä auki eivätkä enää sen jälkeen sovellu uudelleenkäyttöön. Kemira kustantaa 4H-yhdistyksen säkkien keräyksen maataloilta energiahyötykäyttöön (Lindross 2005, suull.tiedonanto). Heikki Turkki (2005, suull.tiedonanto) mainitsee Norjassa suursäkkikierrätyksen olevan tehokasta, sillä säkkien sisä- ja ulkomateriaali ovat samaa muovia, joka osaltaan helpottaa kierrätystä. Kemiralla suunnitellaan tutkimusta pelkän polypropeenin käytöstä säkkimateriaalina, jolloin suojaavan PE-sisäkalvon poisjättäminen laskisi raaka-ainemääriä ja säkki voidaan paremmin hyötykäyttää. Pakkaselle polypropeeni on kuitenkin haurasta, ja sen kosteuden sieto on heikompaa kuin polyeteenillä (Turkki 2005, suull.tiedonanto).

Suursäkkien kierrätys aiheuttaa lisätyötä pakkaajille ja säkittäjille säkkien taitteluna ja sulkemisena, mutta työ vähentää suuresti jätekuormaa. Asian tärkeydestä tiedottaminen ja keskustelu työntekijöiden kanssa mahdollisista parannusehdotuksista voisi helpottaa työtä. Suomessa ei ole toimivaa suursäkkien kansallista puhdistus- ja kierrätysjärjestelmää, kuten Keski-Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa. Lisäksi suursäkkien materiaali on halpaa, joten kuljetus puhdistettavaksi ei ole kannattavaa (Laasanen 2005, suull.tiedonanto).

Rikkonaiset, likaiset ja kierrätykseen kuulumattomat suursäkit paalattaisiin muusta muovijätteestä erikseen ja toimitettaisiin hyötykäyttäjille energijätteeksi. Yksi tyhjä säkki vastaa energialtaan noin kiloa nestekaasua (polttoarvo 44 MJ/kg) (Kärhä 2005, suull.tiedonanto), joten poltto on hyvä vaihtoehto. Muovit sisältyvät orgaaniseen jätteeseen, joten niiden käyttö energiaksi ei kuitenkaan ole hiilidioksidineutraalia (Hietanen 2001). Energijätteenäkin muovi pitäisi ensin murskata, mutta Annika Mikkilän (2005, suull.tiedonanto) mukaan energiahyötykäyttömurskaimien kapasiteetti soveltuu jopa suursäkkien murskaamiseen, vaikka ongelmia on ollut.

Lisäainekemikaalien käyttömäärät ovat pieniä, joten suurten säiliöiden rakentaminen ei ole kannattavaa (Paananen 2005, suull.tiedonanto), siksi mikserikentälle on kertynyt suuri määrä kemikaali- ja tuotemuovikontteja, jotka pitäisi hävittää. Konttien metallikuoret kelpaavat metallijätteenä, mutta ongelmallisempi on muoviosa, joka pitäisi puhdistaa ja murskata, sillä rahtikustannukset ovat korkeat, jos kontit kuljetetaan kokonaisina (Mustapirtti 2005, suull.tiedonanto). Kontit kiertävät hyvin kemikaalitoimittajille, sillä Glyksal-, Trilon A- ja Pluriol-kontit tulevat Saksasta ja kuuluvat kansainvälisen Schulz yhtiön kierrätyksen piiriin. Näiden konttien hintaan kuuluu valmiiksi maksettu jätemaksu (Kahila 2005, suull.tiedonanto). Hannu Kahilan (2005, suull.tiedonanto) mukaan yhtään konttia ei ole viety viimeisen kahden vuoden aikana jätteenkäsittelyalueelle, ja välillä on konteista ollut jopa pulaa. Tyhjiä kontteja on annettu Jyväskylään ammattioppilaitoksille trukkikoulutukseen ja työntekijöille vedenkeräysastioiksi. Mahdollinen ongelmakohta konteissa on Simpeleeltä palaavat Reomaster-tuotekontit, jotka sisältävät kuivunutta tuotejäämää. Kuivuneita kontteja ei voi pestä, joten ne on käytetty hyödyksi esimerkiksi puunkeräyskontteina (Kahila 2005, suull.tiedonanto). Mahdollisena toimenpiteenä olisi pyytää Reomaster-konttien pesua asiakkaan käytön yhteydessä, sillä konttien pitää olla puhtaita, jotta ne kelpaisivat hyötykäyttöön. Muovikontit sopivat myös laboratorion kanisterien keräyslavoiksi leikkaamalla kontin yläosa pois (Kuusisaari 2005, suull.tiedonanto). Mikserikentän toiminnan loppuessa sinne kerääntyneet kontit saatiin hyötykäyttöön, joten enää siellä ei kontteja säilytetä.

4.8.3 Muovijätteen hyötykäytön tehostaminen

Tavoitteena on kerätä pakkaus- ja kutistekalvo erikseen muusta muovijätteestä, ja paalata tämä hyötykäyttäjien materiaaliksi. Ennen erillisen keräyksen aloittamista on tärkeää selvittää kirkaassa muovissa käytetty muovilaatu hyötykäytön kannalta. Vain likaiset ja rikkoutuneet suursäkit paalattaisiin omiin paaleihinsa. Tämä järjestelmä vaatii sekoitusasemalle erilliset keräyslaatikot molemmille jakeille, ja näihin laatikoihin tai suoraan paalaimen työntekijät tyhjentäisivät tehtaan muista osista syntyneen muovijätteen. 6-linjalle suunnitella oleva paalain sopisi niin pahvi- kuin muovijätteellekin. Kuitenkin sekoitusaseman paalaimen toimintakapasiteetti soveltuu myös 6-linjan muovijätteen käsittelyyn, kunhan suursäkkien kierrätys tehostuu. Sellupaalien suojamuoveille pitää olla vain erillinen keräyslaatikko.

Merkintää haluttiin edelleen tehostaa ja keräyspisteiden määrää lisätä, jotta jakeet saadaan halutusti erilleen.

Muovikalvoille on käytössä myös plasticpak-telineitä, jotka kuristavat muovijätteen 200 litran pussissa pienempään tilaan (Saarela 2005, suull.tiedonanto). Näille olisi mahdollisesti käyttöä esimerkiksi laboratoriossa, jossa muovijätettä jo kerätään erikseen, ja halukkuus sen tehostamiseen oli huomattava. Myös Pilot-laitoksessa ja varastoissa muovikeräys tehostuisi, ja nämä pussit voidaan paalata sellaisenaan. Kuristetelineitä voisi sijoittaa myös eri puolille tehdasta paikkoihin, joissa muovia syntyy vähemmän, ja niihin sijoitettaisiin kaikki kirkas PE-muovijäte. Tehtaan näytepussien ja kalvojen materiaaleissa ei käytetä PVC-muovia, joten kaikki tämä kirkas materiaali sijoitettaisiin kuristetelineisiin. Konttorin piirtoheitinkalvosilppurin jäte tyhjennetään sekajätteeksi, sillä se sisältää PVC-muovia.

Muovikontit kiertäisivät takaisin raaka-ainetoimittajille, ja vain kontit, joita on mahdotonta pestä, sekä rikkoutuneet kontit päätyisivät muovivastanottajille (Taulukko 5) tai omalle henkilökunnalle hyötykäyttöön. Laboratorion kanisterit kerättäisiin myös hyötykäyttöä varten. Ruoka-annosten muoviastioita ei voida vielä kierrättää hygieniasyiden ja Sodexon sertifikaattijärjestelmän vuoksi (Vuorimäki 2005, suull.tiedonanto), mutta mahdollisesti tulevaisuudessa tämä onnistuu.

Taulukko 5. Muovijätevastaanottoajat ja heidän vastaanottamat jakeet (Ketola 2004; Friberg 2005, suull.tiedonanto; Koski 2005, suull.tiedonanto; Kuitunen 2005, suull.tiedonanto; Kuusisaari 2005, suull.tiedonanto; Malen 2005, suull.tiedonanto; Mikkilä 2005, suull.tiedonanto; Mäenpää 2005, suull.tiedonanto; Rauhala 2005, suull.tiedonanto; Roos 2005, suull.tiedonanto; Sandvick 2005, suull.tiedonanto; Sipilä 2005, suull.tiedonanto; Surakka 2005, suull.tiedonanto; Viili 2005, suull.tiedonanto).

L&T Kerava, Esa Sipilä puh.010- 636363	<ul style="list-style-type: none"> – vastaanottavat suursäkkejä ja kirkasta muovia – suursäkeistä pitää olla käyttöturvallisuustiedote niiden sisältämästä massasta, ja säkit voidaan paalata tai pakata monta säkkiä yhteen säkkiin – eri muovijakeet pitää lajitella erikseen – he kierrättävät kirkkaan muovin Eurooppaan, Aasiaan ja Suomen muoviteollisuudelle sekä suursäkit Aasian markkinoilla – muovi pyritään saamaan pääasiassa ensimmäisen luokan tuotteisiin – vastaanottomaksu kirkkaalle muoville on 30 €/t, suursäkeille 69 €/t, ja energiajättemaksu on 70 €/t
---	---

(jatkuu)

Taulukko 5. jatkuu

<p>L & T Muoviportti Oy, Olli Roos, Merikarvia puh. 010- 6363722</p>	<ul style="list-style-type: none"> – vastaanottavat kirkasta muovijätettä, ja yli 5000 kg erät noudetaan veloituksetta – sulattavat muovimateriaalin, joka lopulta päättyy jätesäkkien ja kalvojen raaka-aineeksi teollisuudelle. Tästä syystä pakkaus- ja kutistekalvon etikettien pitäisi olla muovia – suursäkkejä ei oteta vastaan, sillä muovin sulatuslämpötilassa eri kemikaalit ovat turvallisuusriskinä, ja koska suursäkkien saumat ja sidokset sisältävät eri muovilaatuja, päättyvät nämä yleisesti polttoon – he eivät ota alle 5000 kg määrää muovikanistereita materiaalikäsittelyyn, ja lisäksi näiden pitäisi olla murskattuja
<p>Suomen Muovivarikko Oy, Pertteli, Rauno Friberg ja Toni Koski, puh. (02) 734 7840</p>	<ul style="list-style-type: none"> – heille soveltuvat kaikki CMC-tehtaan muovijakeet – suursäkeistä he valmistavat muovirouhetta, jonka jälkeen massa viedään muoviteollisuudelle ja suursäkkejä on käytetty myös muun muovimassan pakkaamisessa – pakkaus- ja kutistekalvo pitää lajitella erikseen ja paalaus olisi suositeltavaa, sekä tarrat ja paperit tulisi poistaa – kontit vastaanotetaan kokonaisina – ottavat muovin vastaan maksutta, mutta rahtimaksun maksaa asiakas – nykyisin yhtiön omistaa Toni Koski
<p>Tynnyri ja Säkki Tmi, Seppo Viili, Turku puh. 02- 2550200</p>	<ul style="list-style-type: none"> – puhdistavat suursäkkejä ja välittävät näitä eteenpäin. Esimerkiksi Raision tehtailta säkit päättyvät turpeen, hiekan ja viljan säilytykseen ja suursäkeissä saa olla yhtiön leima, sillä uusiokäyttäjät käyttävät säkkejä omalla vastuullaan. Heillä on säkeille vastaanotto, mutta ei hakupalvelua – ottavat vastaan myös tuhannen litran muovikontteja, kunhan näissä ei ole säilytetty vaarallisia kemikaaleja, ja maksavat muovilavallisesta kontista 10€/kpl ja puupohjaisesta hiukan vähemmän. He olisivat halukkaita hakemaan tehtaalta täyden kuorman kontteja 5 €/kpl myyntihintaan – kontit käytetään pesun ja kunnostuksen jälkeen autokemikaalien säilytyksessä, vesisäiliöinä saaristossa ja kasvihuoneilla
<p>Muovix Oy, Mika Surakka, Riihimäki puh. 019- 7604210</p>	<ul style="list-style-type: none"> – vastaanottavat kirkasta muovia, kanistereita ja kontteja, muttasuursäkkejä he eivät ota vastaan – vastaanottavat jätemuovia maksutta, mutta rahdista peritään maksu ja asiakkaan konttien murskaaminen esimerkiksi moottorisahalla alentaa rahtikustannuksia – elintarvikepakkaukset ja ongelmajätteeksi luokiteltavat kanisterit ja kontit eivät sovellu heidän käyttötarkoitukseen. Vastaanotettavien konttien pitää olla myös tyhjiä ja huuhdeltuja – kalvomuovien tarrat ja teipit eivät haittaa prosessointia, ja tämän muovijakeen paalaus on suositeltavaa – he valmistavat Muovix-tuotteita maatalouden sekä katu-, tie- ja puistorakentamisen tarpeisiin

(jatkuu)

Taulukko 5. jatkuu

<p>Suomen Käyttömuovi Oy, Noormarkku, Jukka Malen, puh. (02) 548 4481</p>	<p>– ottavat vastaan useita eri muovilaatuja, mutta vain suuria muovimääriä, sillä toimivat materiaalikäsitelijänä vieden massan muoviteollisuuden käyttöön</p> <p>– suursäkkejä he eivät voi sijoittaa muun muovijätteen joukkoon ja eri muovilaadut tulee lajitella erikseen, ja on mahdollista sopia myös haku paikanpäältä</p> <p>– arvioidun 20 000 kg muovimäärän kohdalla ehdotettiin mieluummin polttoa kuin materiaalihyödyntämistä</p>
<p>Tmi Matti Kuusisaari, Evijärvi puh. 040- 8463041</p>	<p>– ovat valmiita vastaanottamaan veloituksetta ainakin 5000 kg suursäkkierän. Säkkien murskaus on raskasta terille, mutta säkkimateriaali soveltuu sellaisenaan myös putkimateriaaliksi. Säkin orgaaninen jäte ei haittaa, mutta esim. kiviaines aiheuttaa ongelmia murskaamisessa</p> <p>– kirkkaasta PE-muovista valmistetaan muoviputkia, jotka käytön jälkeen viedään energiakäyttöön. Paperitarrat ja teipit eivät haittaa hyötykäyttöä ja eri muovilaatuja ei tarvitse paalata erikseen</p> <p>– muovikanisterit sopivat materiaaliksi, ja mitä suurempi kanisterikoko, sen parempi. He ottavat vastaan myös kokonaisia muovikontteja, ja kanistereita voi kerätä esimerkiksi aukaistuun muovikonttiin. Kontit pitää huuhdella heti käytön jälkeen, sillä epäpuhtaudet haittaavat prosessia</p> <p>– keräävät muovijätteen suoraan yrityksistä paluukuormana toimittaessaan ensin tuotteitaan asiakkaille ja samalla annetaan tiedot jätteen käyttötarkoituksesta. Pakkaus- ja ympäristörekisteriin kuuluville haku on maksutonta</p> <p>– toiminta on laajentumassa, joten vastaanottoerien koko voi kasvaa</p>
<p>Ab Rani Plast Oy, Teerijärvi, Ulf Sandvick (kunnossapidon päällikkö), puh. (02) 0 768 0111</p>	<p>– pakkaus- ja kutistekalvojen PE-muovi soveltuu hyvin heidän käyttöönsä, mutta PP-muovi on vaikeampaa käsitellä</p> <p>– käsityötön seurauksena värillinen ja kirkas kalvo pitää lajitella erikseen ja tämän takia tarrat ja paperit pitää myös poistaa kalvoista</p> <p>– vastaanotto on veloitukseton, mutta jätteestä ei myöskään makseta asiakkaalle</p> <p>– ensin jäte granuloidaan, jonka jälkeen seuraa lämmitys ja kalvojen muodostus puhaltamalla. Tuotteina valmistuu muun muassa tuotepakkaus- ja heinäkiristekalvoja</p>
<p>MK- Uusiomateriaalit, Lahti, Lea Kuitunen puh. (03) 880 940</p>	<p>– vastaanottavat kirkasta PE-muovia, mutta seassa ei saa olla muita muovilaatuja. Myös paperit ja tarrat pitäisi poistaa, ja paalaaminen soveltuu hyvin pakkaamismuodoksi</p> <p>– hyötykäyttävät myös kanistereita ja kontteja, mutta näiden pitää olla pestyjä. Mieluummin kokonaisina, jolloin saadaan varmuus kaikista muovilaaduista</p> <p>– suursäkeille on mahdollisesti materiaalihyötykäyttöä tulevaisuudessa, mutta eivät varastoi näitä vielä. Suursäkkien energiahyötykäyttöönkin vaikuttaa lämpövoimalaitosten ostajanmarkkinat, jolloin säkeistä pitäisi maksaa. Antavat lisäohjeita lajittelusta, heidän toimiessa muovien hyötykäyttäjinä</p>

(jatkuu)

Taulukko 5. jatkuu

Tynnyripalvelu Esko Mäenpää, Vammala puh. 040 568 7395	<ul style="list-style-type: none"> – pesevät ja kunnostavat tuhansia kontteja vuodessa ja kunnostavat myös konttien rikkoutuneet aluslavat – he ottavat vastaan myös likaisia kontteja, mutta näissä pitää olla tieto säilytetystä materiaalista. Jos kontit pystytään pesemään puhtaiksi, niin konteista ei veloiteta. Muussa tapauksessa on veloitus – asiakas voi tuoda kontit heille, mutta heillä on myös noutopalvelu. Äänekoskella ei ole asiakkaita, joten sieltä nouto ei mahdollisesti onnistu
Paketo Oy, Kellokoski puh. (09) 274 4580	<ul style="list-style-type: none"> – Paketo Oy kunnostaa ja myy nestekontteja, kannuja ja tynnyreitä – he toimittavat tynnyreitä ja kontteja asiakkaiden käyttöön, puhdistavat ja keräävät ne lopulta uusiokäyttöön – toimialana on koko maa – käytössä myös kuorma-autossa oleva puhdistuslaite, joka ottaa vastaan käytöstä poistettavia pakkauksia, puhdistaa ja puristaa ne uusiomateriaaleiksi – ainejäämät viedään Ekokemille käsiteltäväksi
L & T Muoviportti Oy, Petäjävesi, Anni Mikkilä, puh. 010 636 3741	<ul style="list-style-type: none"> – eivät vastaanota suursäkkejä, mutta tulevaisuudessa tämä mahdollisesti onnistuu, jos energiahyötykäyttö Suomessa tehostuu – vastaanottavat kirkasta muovia, mutta muovilaadut eivät saa olla sekaisin. Jakeesta pitää poistaa myös paperit ja muut epäpuhtaudet. Ehdotuksena oli koepaalin lähettäminen heille, jonka mukaan he tarkastelevat jakeen soveltuvuutta hyötykäyttöön – vastaanotto on maksuton kirkkaalle kalvolle mutta myös veloitukseton nouto Äänekoskelta – kontteja ja kanistereita eivät ota vastaan, sillä heillä ei ole pesulinjaa, ja koska nykyisin muovien energiahyötykäyttö on hankalaa
Rauhala Oy, Seppo Rauhala, Espoo puh. 09-8533803	<ul style="list-style-type: none"> – ottavat vastaan pakkaus- ja kutistekalvoa. Kirkkaassa muovissa paperilaput ja tarrat eivät ole haitaksi – ei suursäkkien, kanisterien ja konttien vastaanottoa – paalaavat ja välittävät muovin teollisuuden käyttöön Saksaan – pienetkin määrät muovia kelpaavat, ja asiakkaan ei tarvitse paalata näitä – veloittavat muovin käsittelystä, mutta jos materiaali on siistiä, niin vastaanotto on maksuton

Muovijätteen kierrättäminen on sekundääristä kierrätystä, jossa materiaalin arvo putoaa kierrätyskertojen myötä, joten muovijätteen myynnistä ei normaalisti synny tuloja. Muovijätteen osalta kaksisuuntainen jakelu, eli uusiotuote yhteen suuntaan ja kierrätys toiseen suuntaan on mahdollista, mutta tällöin kierrätettävälle tuotteille pitää olla riittävä kysyntä ja tarjonta, sekä tuotteista saatavan hinnan pitää kattaa kierrätysjärjestelmän kustannukset (Helanto 1993). Muovin puhtaus, kertymien määrä, jakeiden lajiteltavuus, tilavuuspaino ja kuljetusmatkat ovat tärkeimpiä vaikuttajia kierrätyksen onnistuvuuteen. Yhden muovimateriaalin käyttö helpottaa kierrätystä (Dammert 1994), ja muovien kierrätysedellytyksenä onkin eri laatujen selkeä merkintä ja esilajittelu (Anhava ym. 2001).

Muovin jäännösaineita ovat väriaineet ja täyteaineet. Muut polymeerit, bakteerit, väri, kirjaimet ja sideaine saadaan erotettua erilaisilla käsittelyillä (Gascoigne & Ogilvie 1995), joten nämä eivät useinkaan haittaa hyötykäyttöä. Myös muovijätteen keveys ja tilavuus sekä prosessoinnin kannattamattomuus aiheuttavat kierrätysongelmia. Lassi Hietanen kertoo Aino Tiirikkalan (2002) artikkelissa, että muovikanisterit soveltuisivat hyvin kierrätettäväksi, mutta niiden määrä on vain liian pieni. Hietasen mukaan muovien lajittelu ei ole ongelmana, vaan pikemminkin niiden likaisuus (Tiirikkala 2002).

4.9 Biojäte ja CMC-jäte

Ruokajätettä kerätään ainoastaan tehdasruokalasta, jossa on kaksi biojäteastia. Tyhjennys on kerran viikossa, ja biojäte vietiin ennen Jyväskylän Mustankorkean jätteenkäsittelylaitokselle kompostoitavaksi, mutta joulukuun 2005 alusta kuljetus siirtyi Saarijärven Sammakkokankaalle. Astian tyhjennyksestä on kertamaksu, mutta lasku muodostuu todellisen painon mukaan (Söderlund 2005, suull.tiedonanto). Siistijöiden mukaan sosiaalituloista ja valvomoista muodostuu suuri määrä ruokajätettä ja muuta biojätettä, joten biojätteen erilliskeräilyn aloittamista tehtaalla olisi harkittava. Myös muilla työntekijöillä oli halukkuutta tähän. Keräys voitaisiin aloittaa kokeiluluontoisesti valvomoista, joissa on ympärivuorokautisesti työntekijöitä ja jätettä muodostuu enemmän. Näin selviäisi muodostuvan biojätteen keskimääräinen määrä.

Biohajoavaa CMC-jätettä syntyy arvioiden mukaan noin 100 tonnia vuodessa, sillä vuonna 2005 maalis-joulukuun välisenä aikana jätettä muodostui noin 78 tonnia (Rosala 2005, suull.tiedonanto). Jättemäärää ei ole tarkasti määritetty, sillä CMC-jäte on tilastoitu sekajätteeksi, joten jättemäärä perustuu aikaisempiin arvioihin. Määriin vaikuttavat epäkurantin tuotteen määrä ja laiterikkoutumiset, mutta myös tuotannon vaihtelut. Jätettä kerätään tuotannontiloista pääasiassa lakaisujätteenä, ja laboratoriosta jäte päätyy uudelleen kiertoon. Suurempia määriä muodostuu juuri laiterikkoutumisten ja siivousten yhteydessä. Keskuspölynimurien ja tuotekuivurien CMC-jäte pakataan suursäkkeihin loppusijoitusta odottamaan, sillä suuri osa epäkurantista tuotteesta uusiokäytetään jauhamisen jälkeen tuotannossa. CMC-jätettä kerätään isoon avolavaan, josta se tyhjennetään tehdaskaatopaikalle. Lietteenä CMC-jätteen määrä on vähentynyt voimakkaasti. Loka-auton varoaltaaseen pumppaaman nesteen määrästä suurin osa on vettä ja CMC-jätteen määrä minimaalinen

(Savolainen, M. 2005, CP Kelco Oy, suull.tiedonanto). CMC-jätteen avolavan tyhjentämisessä on ollut ongelmia, sillä avonaiseen lavaan pääsee vesisade esteettä liisteröimään massan lavaan kiinni ja CMC:n sitoessa kosteutta jätteen paino kasvaa. Tyhjennys on vaikeaa ja tästä syystä olisikin tarvetta käyttöönottaa kannellinen lava tai rakentaa katos lavan ympärille (Kosonen 2005, suull.tiedonanto). Lavan ympäristö on myös epäsiisti lavalta valuvasta materiaalista johtuen. Jos katos tehtäisiin, niin trukkien tulisi päästä tyhjentämään jäte lavalle mahdollisimman helposti.

CMC-tehtaalla ekotehokkuus ilmenee raaka-aineiden ja tuotteiden liikkumisena lähitehtaiden välillä. Äänevoima käyttää osan jätteestä energiana, ja suuri osa epäkurantista tuotteesta kiertää takaisin tuotantoon. Veden poistaminen tuotteesta pienentää tilavuutta ja helpottaa käsittelyä. Lisäksi keskuspölynimurin käyttö estää materiaalien pääsyn viemäriin pesujen yhteydessä.

CMC-tehtaan sekajäte, josta maksetaan jätemaksu, tyhjenetään M-Real Oyj:n ylläpitämälle tehdaskaatopaikalle. Tehdaskaatopaikka luokitellaan tavanomaisen jätteen kaatopaikaksi (Anonyymi 2005a). Nykyään sekajäte ja CMC-jäte viedään roska-alueelle, minkä käyttöä 1.11.2007 jälkeen ei voida nykyisillä pohjarakenteilla jatkaa (Anonyymi 1997f; Anonyymi 1999b). Jätteenkäsittelyalueelle sijoitetaan lisäksi viherlipeää, meesa-jätettä, PCC-sakkaa ja kuitusavea, joista varsinkin meesa ja PCC-sakka ohjataan hyötykäyttöön. Kuitusavea käytetään kaatopaikkojen pintarakenteissa. Uuden alueen rakentaminen alkaa vuonna 2006, johon valmistuu kolme allasta lietteille, viherlipeälle ja roskille. Kaikkiin tehdään EU:n mukaiset pohjarakenteet. Ensin alueen pinta-ala on 1,5 ha, ja myöhemmin rakennetaan vastaavan suuruinen alue lisää. Biojätteen lajittelun tulee tehostua, sillä vuonna 2005 sen piti olla 95 %, kun se vuonna 2000 oli 91 %. Varsinaista kompostointikenttää ei ole, mutta alue kyllä löytyy, kun lupa kompostointiin on saatu (Kangasmaa 2005, suull.tiedonanto).

Edellä käsiteltyjen jätejakeiden syntypaikat, keräyspisteet ja loppusijoittaminen sekä hyötykäyttö on esitetty Liitteessä 3. Taulukko on jaettu eri rakennusten ja toimintojen kesken, ja siinä on sovellettu kyselyssä ja haastatteluissa saatuja tietoja.

4.10 Jätteenpolitto

CMC-jätteen jätteenpolttomahdollisuutta tarkasteltiin Äänevoima Oy:n voimalassa. Puujätteen polton lisäksi öljyjätettä käytettiin aikaisemmin voimalan kuljetushihnojen voiteluun, mutta nykyään öljyn hintaan sisältyy jätemaksu, joten ongelmajätekeräys on kannattavampaa. Äänevoima Oy on halukas osto-Ref 1:n (puu ja paperi) polttoon, mutta lakimuutokset vaikuttavat tähän. Käsipyyhkeet ja muovi soveltuvat myös polttoon, mutta muovi kiertyy helposti murskaimen akselin ympärille, ja toisaalta se pilaa Oy Metsä-Botnia Ab:n sellun läheisiin hakekasoihin päästyään (Peltola, H. 2005, suull.tiedonanto).

Ympäristönsuojeluasetus (169/2000) määrittää jätteen polttamisesta koskevan lupapäätöksen määräykset. Sen mukaan ympäristöluvassa on oltava tiedot poltettavista jätteistä jäteluokittain ja näiden suurimmat sallitut polttomäärät (Anonyymi 2000b). Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi (2000/76/EY) jätteenpoltoasta edelleen määrittää, että ensisijainen tavoite on jätteiden syntymisen ehkäiseminen, joka olisi jätepolitiikan tärkein painopistealue. Klooria sisältävän jätteen poltossa olisi huolehdittava polttojätteistä, ja että niiden haitallisuus minimoidaan, sillä kloorin poltossa syntyy savukaasujäämiä. Luvassa on esitettävä vaarallisen jätteen pienin ja suurin massavirta, pienimmät ja suurimmat lämpöarvot sekä suurimmat sallitut pitoisuudet epäpuhtauksille, kuten kloorille (Anonyymi 2000c).

Äänevoima ei ole rinnakkaispolttolaitos, vaikka se hiukan jätettä polttaakin (Ref 1). Koska EU:n jätetilastointi luokittelee metsäteollisuuden puupolttoaineen jätteeksi, luetaan mahdollisesti nämä pienet määrät jättepolttoainetta tulevaisuudessa myös jättepolttodirektiivin alaisiksi (Hietanen 2001). CMC:n poltto vaatii luvan, ja koska Äänevoima on yli 300 MW laitos, tapahtuu luvan hakeminen Kuopion ympäristövirastosta. Tämä on pitkä prosessi, johon ei mielellään haluta ryhtyä (Peltola, H. 2005, suull.tiedonanto).

Teknisen CMC:n suolapitoisuus on noin 15–30 %, ja kloori aiheuttaa kaliumin kanssa tulistimien korroosiota. Kattilan metallipintaa suojaa oksidikerros, ja kun kloridit esiintyvät pelkistävien olosuhteiden yhteydessä korroosioriski on erittäin suuri. Alkali- ja maa-alkalimetallit voivat reagoida myös polttoaineen rikin kanssa, jolloin muodostuu sulfaattiseoksia. Natriumin sulfaatti- ja kloridiseoksien ensisulamispiste on alhainen, ja tämä sula syövyttää kattilaa voimakkaasti (Skrifvars & Hupa 2002). Kattilan valmistajan antama raja-arvo kloorille on 0,5 % polttoaineen kuiva-aineesta, joten tekninen CMC nostaisi kloorin pitoisuutta polttoprosessissa huomattavasti. Natrium muiden alkalimetallien tavoin alentaa

leijukerrosbiekan sulamispistettä, minkä seurauksena hiekan leijuntaominaisuudet heikkenevät (Aho 2005, suull.tiedonanto; Peltola, H. 2005, suull.tiedonanto). Äänevoimalla on käytössä yhden suuren pääkattilan järjestelmä, joten kattilan alasajo on taloudellisesti merkittävää (Hietanen 2001).

Jos CMC-jätettä poltettaisiin, niin sillä pitäisi olla riittävä lämpöarvo, ja ylimääräisiä kuluja ei saisi syntyä, sillä jätteen polttoon ei haluta ryhtyä vain hävitystarkoituksella. CMC:n polttoarvoa ei ole määritetty, mutta puhtaan selluloosan arvo on noin 18 MJ/kg, mikä on lähes sama kuin puulla (ECN-Biomass, <http://www.ecn.nl/phyllis>, 16.11.2005). Polttoaineen syöttö Äänevoimalla on tehty mahdolliseksi vain kiinteälle polttoaineelle, joten valmiiksi hienojakoisen CMC:n syöttö puhaltamalla on mahdotonta. Äänevoiman Hannu Peltola (2005, suull.tiedonanto) myös arveli, että mahdollisen CMC:n polttoon karkeampi raekoko olisi parempi, sillä pölyä on vaikea käsitellä.

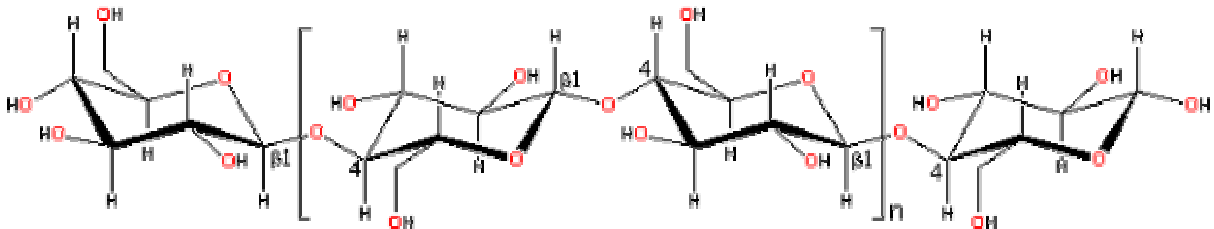
5. Selluloosa ja CMC

5.1 Selluloosan ja ligniinin biologinen hajoaminen

Kasvien soluseinissä sijaitseva lignoselluloosa koostuu ligniinistä, selluloosasta ja hemiselluloosasta. Suuret molekyylit pitää saada ensin liukoiseen muotoon hydrolyysientsyymien avulla, jotta niiden hajoaminen on mahdollista. Lignoselluloosan hajoaminen riippuu suuresti näiden entsyymien pääsystä substraattiin. Muita hajoamiseen vaikuttavia seikkoja ovat ligniinin määrä, selluloosan kiteiden määrä ja selluloosakuidun huokoisuus. Myös mikro-organismit ja ympäristötekijät, kuten lämpötila, vaikuttavat hajoamiseen. Paljon ligniiniä sisältävät lignoselluloosamateriaalit muodostavat vähän metaania ja sopivat paremmin kompostoitaviksi (Sanders ym. 2002).

Selluloosaa on kasvien primaarisissa ja sekundaarisissa soluseinissä. Se on haaroittumaton glukoosipolymeeri, jonka ketjut koostuvat tuhansista D-glukoosiyksiköistä sitoutuneena toisiinsa β -1,4-glykosididoksilla (Kuva 3). Yksittäiset lineaariset ketjut kiinnittyvät toisiinsa vetysidoksin, jolloin muodostuu misellejä ja edelleen suurempia mikrofibrillejä (Alm ym. 1993; Sjöström 1993). Mikrofibrilleissä esiintyy sekä järjestäytyneitä kidealueita että järjestäytymättömiä amorfisia alueita (Hobson & Wheatley 1993; Sjöström 1993; Whitney &

Lynch 1996), joista kiteiseen selluloosaan on entsyymien vaikeampi päästä (Eriksson ym. 2002). Mikrofiibrilleistä rakentuvat lopulta fibrillit. Luonnon selluloosa on I muodon selluloosaa, mikä erilaisilla käsittelyillä (merserointi, happokäsittely) vaihtuu II muotoon, joka taas on termodynaamisesti kestävämpää voimakkaampien vetysidosten takia (Sjöström 1993).



Kuva 3. Selluloosamolekyylin rakenne (Chaplin 2005).

Veteen liukenemattoman selluloosan hydrolyysin lopputuotteena syntyy sellobioosia ja lopulta D-glukoosia. Näiden hajoaminen tuottaa orgaanisia happoja, jotka hajoavat aerobisesti hiilidioksidiksi ja vedeksi. Anaerobisessa hajotuksessa muodostuu metaania ja hiilidioksidia (Coldberg 1988). Selluloosan hajoaminen on hidasta, ja siihen vaikuttaa eri kasvien kasvukuitujen selluloosarakenne (Hobson & Wheatley 1993). Kunhan selluloosa on erillään ligniinistä, soveltuu se hyvin anaerobimikrobien hajoitettavaksi (Schink 1988), kuten myös aerobiseen hajotukseen. Selluloosan hajoamisessa sellulaasi diffuntoituu ensin nesteeseen, jonka jälkeen tämä siirtyy substraatin pinnalle ja adsorboi sellulaasin entsyymiselluloosakompleksina. Kideosien suhteellinen määrä lisääntyy hydrolyysin edetessä, sillä amorfiset osat hajoavat helpommin (Cao & Tan 2002). Hemiselluloosat ovat heterogeenisiä, lyhyempiä ja haaroittunut ketju muodostuu eri sokereista, kuten ksyloosista, arabinoosista, glukuronihaposta ja glukoosista. Tämä koostumus vaihtelee kasvin, ja sen iän mukaan, kuten myös selluloosan kide- ja amorfisten osien suhde (Sjöström 1993). Myös hemiselluloosa on veteen liukenematonta (Hobson & Wheatley 1993; Whitney & Lynch 1996).

Ligniini on voimakkaasti haaroittunut fenyylipropaaniyksikköjä sisältävä polymeeri. Kolmiulotteinen aromaattinen polymeeri koostuu p-hydroksifenyylipropaanista ja on linkkiytynyt C–C ja C–O–C sidoksilla (Whitney & Lynch 1996). Ligniinin sidokset ovat melko vastustuskykyisiä sekä biologiselle että kemialliselle hajotukselle, joten ligniinin

hajoaminen erityisesti anaerobisissa oloissa on vähäistä (Coldberg 1988). Ligniini on tiukasti kiinnittyneenä hemiselluloosaan peittäen selluloosan, ja näin ligniini muodostaa fyysisen esteen hydrolyyttisille entsyymeille. Lisäksi selluloosan kiderakenne estää hajotusta, joten kokonaisuudessaan pinta-ala on pieni, jossa mikro-organismit voivat olla kosketuksessa kuituihin ja pilkkoa niiden rakennetta (Angelidaki & Ahring 2000). Angelidakin ja Ahringin (2000) kokeiden tuloksissa ilmeni, että mitä pienemmiksi kuidut oli saatu, sitä suurempi oli pinta-ala ja edelleen metaanipotentiali. Kokeet tehtiin vertailemalla käsittelemätöntä ja liuotettua lantaa.

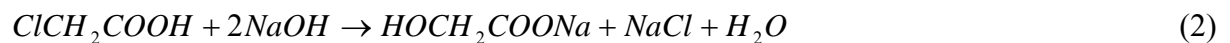
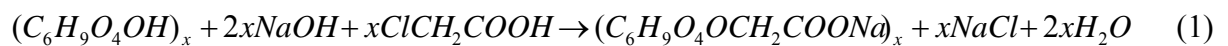
Lignoselluloosan esikäsitely on tarpeellista, jotta ligniini saadaan erilleen helpommin hajoavista hemiselluloosasta ja selluloosasta, jolloin ligniinin ja selluloosan saatavilla oleva pinta-ala kasvaa (Fox & Noike 2004). Fysikaalisilla (lämpö), kemiallisilla (hapetus) ja biologisilla (entsyymit) ligniini-hiilihydraattikompleksin esikäsitelyillä parannetaan selluloosan hajotusta (Op Den Camp & Gijzen 1991; Mata-Alvarez ym. 2000). Koska selluloosan pintarakenteen ja partikkelikoon havaittiin olevan tärkeitä ominaisuuksia määrittäessä hydrolyysin nopeutta (Eriksson ym. 2002), avaamalla selluloosan kiteinen rakenne pääsevät entsyymit toimimaan paremmin (McGinnis ym. 1983; Sanders ym. 1999). Höyrynpainekäsittelyllä lignoselluloosa hajosi eri komponentteihin, jolloin liukenevat hiilihydraatit tuottivat yli kaksinkertaisen määrän metaania käsittelemättömään verrattuna. Samalla myös kinetiikka nopeutui, eli kaasua muodostui nopeammin (Liu ym. 2002). CMC:n esikäsitelyä on kokeiltu entsyymien lisäksi myös ultraäänikäsitelyä, mikä laskee polymeroitumisastetta (viskositeettiä) (Grönroos ym. 2004; Imai ym. 2004).

Jokainen lignosellulolyttinen komponentti tarvitsee useamman kuin yhden entsyymin toimintaa pilkkoutuakseen. Selluloosaa pilkkovat endo- ja eksoglukanaasit synergiassa keskenään, sillä muuten kideosat voivat muodostua uudestaan. Hydrolyysi glukoosiksi vaatii vielä sellobiaasi-entsyymin, joka pilkkoo sellobioosia. Vaikka ligniinin rakenteesta johtuen se näyttää olevan resistentti entsyymattiselle hajotukselle (Whitney & Lynch 1996), niin Schinkin (1988) mukaan hajoaminen tapahtuu helposti, kunhan aromaattinen rengas on substituoitu. Hajotus vaatii koentsyymin toimintaa, ja tuloksena muodostuu sykloheksaanikarboksylaattia (Schink 1988). Märehtijöiden pötsin mikrobit soveltuvat hyvin selluloosan pilkkomiseen, sillä hajotus voi olla 20–50 kertainen keinotekoisiiin mikrobipopulaatioihin verrattuna. Näillä on suuri sellulolyttinen aktiviteetti ja lyhyt sukupolvenväli (Op Den Camp & Gijzen 1991).

Mustalipeä on sellunkeitosta syntynyt massa, jossa on keittokemikaalien (natriumyhdisteet) lisäksi suuri määrä ligniiniä ja myös pieni osa puun selluloosaa ja hemiselluloosaa. Orgaanisen aineksen määrä on vähintään 60 % (Holmlund & Parviainen 1999; Vakkilainen 1999). Nykyään mustalipeä poltetaan energian tuottamiseksi, mutta myös sen biometanointi olisi energeettisesti edullista. Materiaalista saataisiin polttoainetta, ja keittokemikaalien regenerointi olisi taloudellisempaa, koska hydrolyysijäännöksen kuivaus olisi helpompaa kuin biometanoimattoman massan (Hänninen & Leinonen 1996). Vaikka ligniinin hajoaminen on vähäistä, niin substituenttien heteroatomit edistävät aromaattien pilkkomista (Schink 1988). Myös alhaisen molekyylipainon aromaattiset ligniinipolymeerit hajoavat anaerobisissa oloissa bakteerien konsortion avustuksella (Widdel 1988).

5.2 CMC:n valmistus ja ominaisuudet

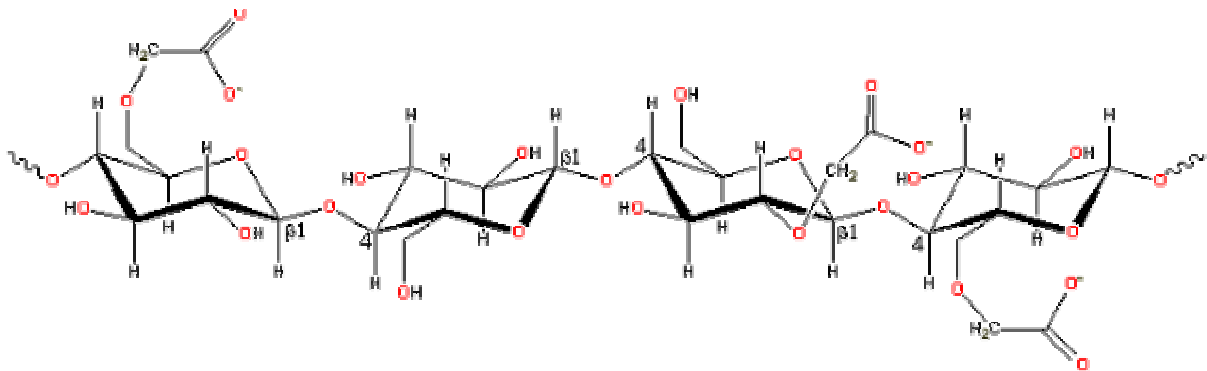
Lisättäessä sellun ja liuottimen seokseen 50 % natriumhydroksidia (NaOH), tapahtuu merserointi (alkalointi) ja syntyy alkaliselluloosaa. Monokloorietikkahappoa (MCA) annosteltaessa seokseen ja lämpötilaa nostettaessa 60–70 °C:een tapahtuu eetteröityminen (1).



Tekninen CMC jätetään lievästi alkaaliseksi, mutta puhdas CMC neutraloidaan suolahapolla alkoholi-vesiliuoksessa ja pestään myös alkoholi-vesiliuoksella (Riistama ym. 2003). Pesulla poistetaan sivutuotteina syntyneet natriumkloridi (NaCl) ja natriumglykolaatti (HOCH₂COONa) (2) (Pietikäinen 1985; Riistama ym. 2003). Natriumkloridia ja natriumglykolaattia muodostuu reaktiossa suhteessa 1,3/0,7 (Kanniainen 2005, suull.tiedonanto). Valmistusreaktion aikana voidaan lisätä tarvittavia lisäaineita halutun lopputuotteen mukaisesti. Syntyvien teknisten laatujen CMC-pitoisuus on vähintään 60 % ja puhtaiden laatujen 98 % (Pietikäinen 1985).

CMC on selluloosan ja glykolihapon natriumsuolan eetteri (Riistama ym. 2003), ja karboksyylihapon suolana se on happovaikutukseltaan lähes yhtä vahva kuin etikkahappo (Stelzer & Klug 1980; Cohen ym. 2004). Karboksimeetyyliselluloosan ominaisuuksiin

vaikuttavat polymeroitumisaste, substituutioaste sekä substituenttien jakauma molekyyliketjussa (Riistama ym. 2003).



Kuva 4: Karboksimeetyyliselluloosan rakenne (Chaplin 2005).

Substituutioaste (DS) kuvaa glukoosin hydroksyyliyhmiin korvautumista karboksimeetylyhmiin. Glukoosissa on kolme OH-ryhmää, joten substituutioaste on maksimissaan kolme, mutta DS lasketaan yleensä kymmenen glukoosiyksikön keskiarvona (Anonyymi 1988). Koska selluloosa koostuu suorasta ketjusta polymerisoituja glukooseja, jotka ovat yhdistyneet $\beta 1 \rightarrow 4$ glykosididoksilla, voidaan jokaista glukoosiyksikköä modifioida C2, C3 tai C6 hydroksyyliyhmiin (Kuva 4) (Cohen ym. 2004). Näin CMC voi rakentua kahdeksasta erilaisesta glukoosiyksiköstä: yksi substituutumaton, kolme monosubstituoitua, kolme disubstituoitua ja yksi trisubstituoitu (van Ginkel & Gayton 1996). Substituutioaste vaikuttaa vesiliukoisuuteen ja polymeerin negatiivisuuteen, sillä vasta DS arvolla 0,5 CMC liukenee veteen (Pietikäinen 1985). Toisaalta DS:n kasvaessa imukyky lisääntyy (Stelzer & Klug 1980) ja biohajoavuus hidastuu (Reese ym.1950; Wirick 1974; Sieger ym. 1995; Boekema 2003b; Lahtinen & Boekema 2003). Yleisesti puhtaissa laaduissa on korkeampi DS kuin teknisissä laaduissa (Kanniainen 2005, suull.tiedonanto).

Polymeroitumisaste (DP) kuvastaa selluloosaketjun pituutta. Tämän kasvaessa kasvaa myös molekyyliaino ja viskositeetti. Lämpötilan nostaminen, pH:n lasku ja ultravioletti säteily laskevat viskositeettiä (Anonyymi 1988). Suljetuissa pullokokeissa viskositeetin vaikutus CMC:n biohajoavuuteen oli myös merkittävä (Anonyymi 1998b). Toksikologiset kokeet paljastavat, että biologisesti käsitelty CMC ei aiheuta toksisuutta, ja CMC:n osittainen hajoaminenkaan ei tuota myrkyllisiä tuotteita. van Ginkelin ja Gaytonin (1996) kokeiden mukaan CMC (DS 0,7) on luonnostaan biohajoava polymeeri, jonka voidaan olettaa hajoavan täydellisesti luonnon ympäristössä, kuten maaperässä, järvissä ja joissa.

CMC on modifioitua selluloosaa, joten sen biologinen hajoaminen ei huomattavasti eroa selluloosan hajoamisesta. Schinkin (1988) kokeet kuitenkin osoittivat, että koska CMC ja paperi ovat osittain denaturoituja selluloosajohdannaisia, ei niitä voi suoraan verrata luonnon selluloosa biomassaan, jonka kiteellinen rakenne on jäykkä ja estää mikrobihyökkäyksiä. CMC:aa pidetään lähinnä amorfisena selluloosana (Wang 2005), eli voidaan yleisesti sanoa, että selluloosan kiteisyysaste pienenee CMC:n valmistuksessa (Kanniainen 2005, suull.tiedonanto). Koska CMC ja selluloosa eivät pääse solun sisään, sellulolyttiset entsyymit eritetään väliaineeseen ja/tai sitoutuvat CMC:aa tai selluloosaa hajottavien organismien pinnalle (Sieger ym. 1995). Songin ym. (2005) mukaan bakteerien muodon yhtäläisyyden perusteella suurempi osa selluloosasta muutetaan liukoiseen muotoon soluihin kiinnittyvillä hydrolyysientsyymikomplekseilla eikä vapailta entsyymeillä. Myös Sieger ym. (1995) toteavat, että ainakin osa endoglukanaaseista on kiinnittyneenä solun seiniin, koska CMC:ssa kasvaneista bakteereista muodostuva soluliete pystyi hapettamaan CMC:aa pesun jälkeenkin.

Tärkeä merkitys on substituutiolla, joka estää osaa entsyymeistä toimimasta, joten vain substituotumattomat ja monosubstituoidut 6-glukoosiyksiköt metabolisoidaan, johtaen CMC:n osittaiseen biohajoavuuteen puhtaassa mikrobikulttuurissa (Sieger ym. 1995). CMC:ssa tapahtuu myös itsenäistä hajoamista ajan kuluessa (glyoksaalisidosten hydrolyysi), jonka lisäksi sekoitus ja suolapuskurin lisäys vaikuttavat hajoamiseen (Boekema 2003b). Suuri substituutioaste takaa hyvän biostabiliteetin. Block-wise substituoidut ketjut hajoavat helpommin, kuin satunnaisesti substituoidut, sillä ne sisältävät enemmän geeliainesta, mikä tarkoittaa heikompaa substituutioastetta (Boekema 2003b). Vertaamalla bakteerien kasvunopeutta glukoosissa ja CMC:ssa Sieger ym. (1995) huomasivat, että hiilihydraattien hajoaminen on rajoittava vaihe CMC:n biohajoamisessa, sillä bakteerien kasvu oli CMC:ssa huomattavan hidasta.

6. Anaerobinen hajoaminen ja metaanintuotto

6.1 Yleistä

Anaerobinen (ilman happea) tapahtuva orgaanisen aineen hajoaminen on erilaisten mikrobien yhteistoiminnan tulos, jossa lopputuotteena syntyy metaania (CH₄) ja hiilidioksidia (CO₂)

sisältävää biokaasua sekä jäljelle jäävää biomassaa, niin kutsuttua hydrolyysijäännöstä, jota voidaan käyttää maataloudessa lannoitteena (Pöyhönen ym. 2004). Teollisuusjätteiden osalta etuina ovat ilmainen raaka-aine, ympäristöystävällisyys ja käytön joustavuus. Suuret investointikustannukset ovat prosessin suurin haittatekijä, jota voidaan kuitenkin vähentää uuden teknologian avulla. Prosessina anaerobinen käsittely on verraten monimutkaista (Hänninen & Leinonen 1996; De Baere 2000). Anaerobisessa käsittelyssä orgaanisen aineen vähenemä on selkeästi suurempi kuin aerobisessa käsittelyssä (Wellinger 1999) ja muodostuvaa biokaasua voidaan käyttää eri poltin- ja kattilajärjestelmissä sekä polttomoottoreissa (Hänninen & Leinonen 1996). Kompostointiin verrattuna mädätys vaatii vähemmän tilaa, sillä on pienempi rakennetilavuus, pienemmät hajuhaitat, tuotteena syntyy energiaa ja prosessi-aika on lyhyt (Rilling ym. 1996). Suuresta energiapalautuvuudesta ja alhaisista ympäristövaikutuksista johtuen anaerobinen käsittely on kustannustehokkain ratkaisu jätteen käsittelyyn (Mata-Alvarez ym. 2000).

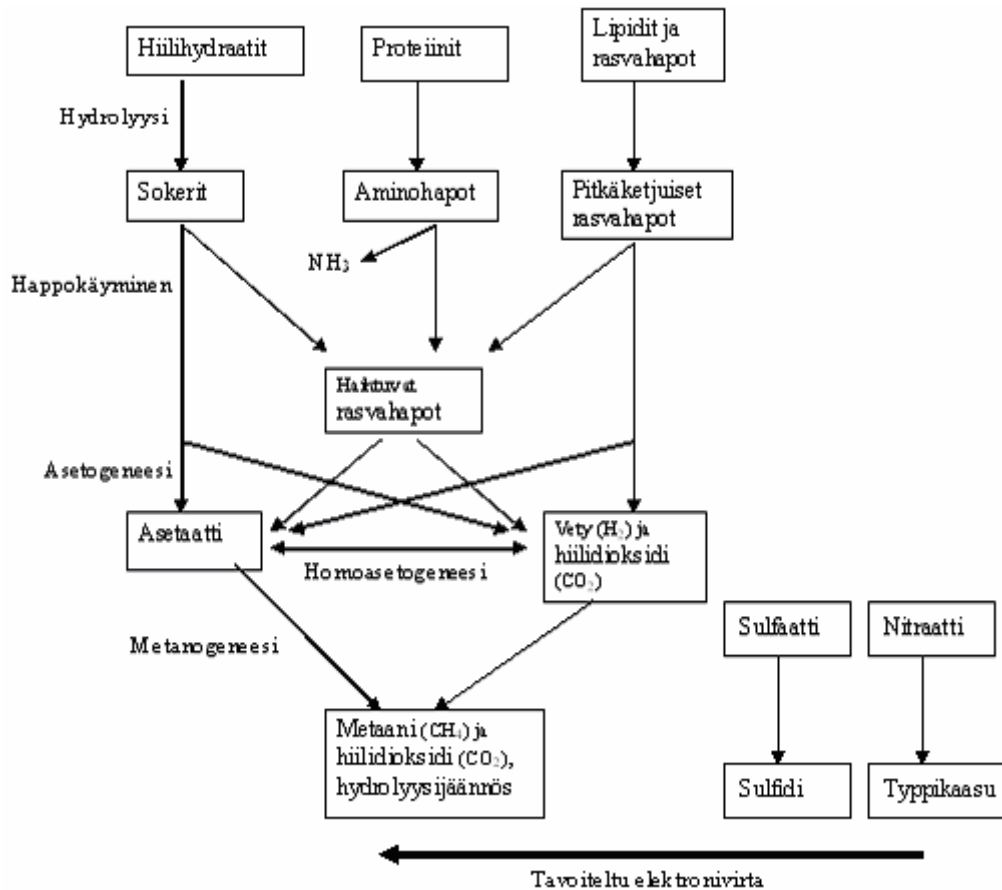
Anaerobinen käsittelymuoto voidaan luokitella usealla eri tavalla. Märkä- ja kuivaprosessien erona on käsiteltävän massan kosteuspitoisuus, mikä kuivaprosessissa on noin 20–40 % ja märkäprosessissa yleensä tätä pienempi. Panosprosessissa biokaasun tuotto kestää niin kauan, kunnes biohajoavan materiaalin hajotus ja kaasuntuotto loppuvat. Jatkuvassa prosessissa biohajonnut massa kiertää prosessissa eteenpäin ja uutta materiaalia lisätään saman verran kuin prosessin läpikäynyttä poistuu. Tällöin biokaasun tuotto ei myöskään keskeydy. Moni- ja yksivaiheisen jatkuvanprosessin erona ovat käsittelyreaktorien määrä. Monivaiheisessa prosessissa hydrolyysi ja happokäyminen tapahtuvat yleensä omassa reaktorissa ja metaanintuotto toisessa. Anaerobiproessin jako perustuu myös erilaisiin olosuhteisiin, sillä lämpötilan mukaan mesofiilisen prosessin (35 °C) sietokyky on korkea ja hallittavuus helppoa, mutta metaanintuotto on vähäisempää ja lopputuote ei ole niin hygienistä. Vastaavasti termofiilisen prosessin (55–60 °C) korkeassa lämpötilassa massa hygienisoituu paremmin ja kuormitettavuus on suurempi, mutta inhibitioherkkyys ja energiakulut ovat suuremmat. Muodostuvaa biokaasua voidaan tietysti käyttää reaktorin lämmityksessä tai energialähteenä ajoneuvoissa. Voidaan sanoa, että anaerobinen käsittely sopii erityisesti märille jätteille (Hobson & Wheatley 1993; Wellinger 1999; Hänninen & Leinonen 1996; Vandevivere ym. 2002).

Jätteiden yhteiskäsittelyllä säästetään rakennuskustannuksissa, ja olosuhteet hajottamiselle paranevat, sillä erilaisten haitallisten aineiden pitoisuudet ja kosteus tasaantuvat. Myös

ravinnetasapaino on vakaampi, ja inhiboivat aineet laimenevat. Riskeinä ovat haitta-aineiden leviäminen ja ongelmana prosessin organisointi eri jätteentuottajien kannalta (Mata-Alvarez ym. 2000).

6.2 Anaerobisen hajoamisen vaiheet

Hajotus koostuu neljästä vaiheesta: hydrolyysistä, happokäymisestä, asetogeneesistä ja metanogeneesistä (Kuva 5). Hydrolyysissä haponmuodostajabakteerien solun ulkopuoliset entsyymit hajottavat hiilihydraatit, rasvat (lipidit) ja proteiinit yksinkertaisiksi yhdisteiksi. Hiilihydraateista muodostuu sokereita ja alkoholeja, lipideistä pitkäketjuisia rasvahappoja sekä glyserolia ja proteiineista aminohappoja ja edelleen ammoniakkia. Happokäymisessä (fermentaatio) hydrolyysituotteet hajotetaan haihtuviksi rasvahapoiksi, kuten asetaatiksi, propionaatiksi, butyraatiksi, valeriaatiksi ja isopropionaatiksi. Vetyä tuottavat bakteerit pilkkovat muodostuneet rasvahapot asetaatiksi, hiilidioksidiksi ja vedyksi. Tätä vaihetta kutsutaan asetogeneesiksi, ja siihen voi ottaa osaa myös homoasetogeenit, jotka tuottavat asetaattia vedystä ja hiilidioksidista. Metanogeneesi on hajotuksen viimeinen vaihe, jossa metaaninmuodostajabakteerit muodostavat metaania asetaatista tai vedystä ja hiilidioksidista (Dolfing 1988; Hobson & Wheatley 1993; Lay ym. 1997; Wellinger 1999; Garcia-Heras 2002).



Kuva 5: Anaerobisen hajoamisen vaiheet, sulfaatin ja nitraatin pelkistyminen sekä tavoitellun elektronivirran suunta (Zinder 1984; Dolfing 1988; Tiedje 1988; Zehnder 1988; Koster 1989; Hänninen & Leinonen 1996; Kafkewitz & Togina 1998; Cecchi & Battistoni 2002; Madigan ym. 2003).

Mikrobiaalinen hydrolyysi tapahtuu solun ulkopuolella, joko solunvapaiden tai soluun kiinnittyneiden ekstrasellulaaristen hydrolyysientsyymikompleksien toimesta (Song ym. 2005). Erilaiset entsyymit pilkkovat hiilihydraatteja niiden rakenteesta riippuen. Monimutkaisten polysakkaridien hajotus on hidasta, joten lignoselluloosan suhteen hydrolyysi onkin hajotuksen hitain vaihe. Monimutkaista, polysakkarideista koostuvaa, selluloosaa pilkkovat sellulaasientsyymit, kun taas yksinkertaisempia disakkarideja pilkkovat eri entsyymit, kuten sellobioosia sellobioasi- ja tärkkelystä amylaasi-entsyymit. Näiden hajotus on nopeampaa kuin polysakkaridien. Vastaavasti lipidejä hajottavat lipaasit, ja proteiinien polypeptidirakennetta pilkkovat peptidaasi-entsyymit. Entsyymejä on useita, joista jokainen on erikoistunut tiettyyn substraattiin. Hydrolyysin jälkeen polymeerit ovat pääasiassa monomeereinä ja liukoisessa muodossa, hiilihydraatit yksinkertaisina sokereina, proteiinit aminohappoina ja peptideinä sekä lipidit pitkäketjuisina rasvahappoina (LCFA) tai

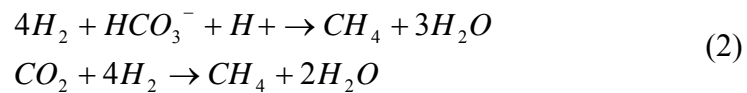
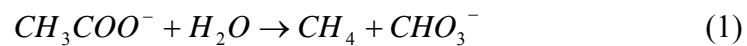
glyserolina (McInerney 1988; Hobson & Wheatley 1993; Miyamoto 1997; Madigan ym. 2003; Veeken ym. 2000).

Happokäymisessä haponmuodostajabakteerit muuttavat liukoiset orgaaniset komponentit haihtuviksi orgaanisiksi hapoiksi (VFA), alkoholeiksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi (Veeken ym. 2000; Bouallagui ym. 2005). Haponmuodostajabakteerit ovat asetogeenisiä bakteereita, jotka eivät pysty hydrolysoimaan polymeerisiä yhdisteitä. Solut fermentoivat ja hydrolysoivat ensimmäisen vaiheen tuotteita kataboliassaan saadakseen tarvitsemansa energian (Hänninen & Leinonen 1996). Happokäyminen tapahtuu siis solun sisällä hydrolyysistä poiketen. Aminohappojen ammoniumtyppi on mikrobien pääasiallinen typen lähde, mutta ionisoitumaton ammoniakkimuoto on mikrobeille suurina pitoisuuksina toksinen (Oremland 1988; Garcia-Heras 2002, Mata-Alvarez 2002).

Asetogeneesissä VFA hajoaa asetaatiksi, vedyksi ja hiilidioksidiksi (Hänninen & Leinonen 1996; Veeken ym. 2000). Dehydrogenaatiossa muodostuu vetyä ja asetaattia, mutta hydrogenaatiossa muodostuu pelkkää asetaattia (Dolfing 1988). Homoasetogeenit käyttävät tätä hydrogenaatioreittiä syntetisoimalla hiilidioksidista ja vedystä ainoastaan etikkahappoa (asetaattia) (Garcia-Heras 2002) tai muurahaishappoa. Koska muurahaishappoa ei pystytä analysoimaan FID:lla, niin sen merkitystä anaerobisessa käsittelyssä ei pidetä tärkeänä. Kuitenkin sen hajotessa muodostuu suoraan tärkeitä lopputuotteita vetyä ja hiilidioksidia, joten sen hajoaminen voi olla merkittävämpää kuin yleisesti ajatellaan (Hänninen 2005, suull.tiedonanto).

Metaanibakteerit eivät pysty suoraan hyödyntämään etikkahappoa pidempimolekyylisiä rasvahappoja, joten pitkät rasvahapot (yli viisi hiiltä) ja haihtuvat rasvahapot pilkkotaan obligatiivisten vedynmuodostaja-asetogeenien toimesta. Niiden asetogeeninen konversio asetaatiksi ja hiilidioksidiksi tai vedyksi on epäedullista vedyn osapaineen nousun takia (Hänninen & Leinonen 1996). Vedyn muodostus inhiboi näiden asetogeenisten bakteerien toimintaa, joten sulfaatinpelkistäjät ja vetyä käyttävät metanogeenit edistävät pitkien rasvahappojen pilkkomista pitämällä vedyn osapaineen alhaalla. Sulfaatin pelkistyessä muodostuu vetysulfidia (H_2S), joka on myrkyllinen yhdiste (rikkivety) (Hänninen & Leinonen 1996; Garcia-Heras 2002).

Metanogeneesissä metaania muodostuu etikkahaposta (1), vedystä ja hiilidioksidista (2), sekä muista aineista, kuten muurahaishaposta ja metanolista (Oremland 1988; Veeken ym. 2000; Mata-Alvarez 2002), mutta myös metyloidut amiinit ovat yksi vaihtoehto (Oremland 1988). Vetytroofinen metanogeneesi tuottaa metaania vedystä ja hiilidioksidista vetyä kuluttavien bakteerien toimesta, ja asetotroofisessa metanogeneesissä bakteerit käyttävät asetaattia substraattina ja tuottavat metaania ja hiilidioksidia (Garcia-Heras 2002). Hiilidioksidin pelkistyminen metaaniksi on vedystä riippuvaa, mutta formiaatti ja hiilimonoksidi voivat myös osallistua tähän. Pelkistymiseen tarvitaan useita koentsyymejä ja muun muassa metanofuraania sisältävän entsyymin toimintaa. Hiilidioksidi pelkistyy ensin formyyliksi, ja edelleen metyleeniksi ja metyyliksi ja lopulta metaaniksi (Vogels ym. 1988; Madigan ym. 2003). Kokonaisreaktio (2) on esitetty alla, mikä sellaisenaan on toisaalta mahdoton vahvoista sidoksista johtuen (Kerr 1994; Hänninen 2005, suull.tiedonanto), sillä energiantuotto anaerobisissa olosuhteissa on rajoitettua, toisin kuin esimerkiksi fotosynteesissä, missä aurinko on lähes rajaton energian lähde.



Kaksi kolmasosaa metaanista tuotetaan asetaatista, ja tärkeimmät asetaattia käyttävät bakteerit ovat *Methanosarcina spp.* ja *Methanosaeta spp.* -lajit (Smith & Mah 1966; Hobson & Wheatley 1993). Metaania syntyy pienempi määrä myös metanolista, formiaatista ja metyyliamiinista (Veeken ym. 2000). Vedystä ja hiilidioksidista metaania muodostavilla metanogeeneillä on tärkeä tehtävä pitää vedyn osapaine alhaisena, jotta asetogeeniset bakteerit voivat tuottaa vetyä (Dolfing 1988). Syntyvä biokaasu on metaanin ja hiilidioksidin kaasuseos, joka sisältää epäpuhtauksina muun muassa typpeä, hiilimonoksidia ja rikkivetyä (Hänninen & Leinonen 1996).

6.3 Energiametabolia ja kinetiikka

Anaerobinen energiometabolia tuottaa vähemmän energiaa kuin aerobinen respiraatio. Mielenkiintoinen tosiasia anaerobisesta ekosysteemistä on, että mineralisaatiotyyppejä on erilaisia, sillä metanogeeninen yhteistyö poistaa elektronit ja hiilen metaanin ja hiilidioksidin muodossa, sekä sulfidogeenisessä yhteistyössä elektronit poistuvat sulfidina ja hiili hiilidioksidina ja muina pienen molekyylipainon yhdisteinä (Kafkewitz & Togina 1998).

Energiametabolia on hapetus-pelkistysprosessi, jossa elektronit luovutetaan lopuksi terminaalille elektronivastaanottajalle käyttökelpoisen energian luovuttamisen jälkeen. Nämä vastaanottajaorganismit ovat sen verran tärkeitä, että anaerobiset ekosysteemit nimetään sen hetkisen nielupopulaation mukaan, kuten metanogeenit, sulfidogeenit ja asetogeenit. Mikrobit toimivat peräkkäisesti välituotteiden kanssa, joita muodostuu lähtöaineesta hajottavassa aineenvaihdunnassa (katabolia) ja jotka kulkevat solusta soluun. Konsortipopulaatio toimii paremmin, ja substraattimolekyylistä saatava energiamäärä on paljon suurempi, kuin yksittäisen organismin hajottaessa orgaanista yhdistettä. Koska fermentaatiossa energianieluina toimivat solujen omat metaboliatuotteet, määrittää energiatuoton rajoitettu terminaalisten elektronivastaanottajien saatavuus. Tästä syystä fermentaatio on yksi alhaisimmista energiaa tuottavista kataboliareiteistä biologiassa (Kafkewitz & Togina 1998).

Anaerobisessa hajotuksessa vety on tärkeä pääasiallinen sivutuote ja mahdollisesti merkittävä metaboliatuote, mikä pitää myös huomioida. Vety on energiarikas molekyyli, sillä se kantaa energiapitoisia matalapotentiaalisia elektroneja. Syntroofiset bakteerit hajottavat pitkiä rasvahappoja β -oksidatiivisella reitillä, jolloin muodostuu propionaattia, asetaattia ja vetyä (Kafkewitz & Togina 1998) sekä myös formiaattia (Hänninen 2005, suull.tiedonanto). Tämä reaktio voi onnistua, jos nieluorganismit poistavat vedyn niin nopeasti, kuin sitä vapautuu syntroofisilta (yhteistyötä tekeviltä) bakteereilta (Madigan 2003). Yleisimpänä elektronien vastaanottajana anaerobisessa ympäristössä pidetään hiilidioksidia, sulfaatin ja nitraatin ollessa muut tärkeät vastaanottajat (Hobson & Wheatley 1993; Kafkewitz & Togina 1998; Garcia- Heras 2002; Mata-Alvaraz 2002). Myös Fe^{3+} -suolat voivat poistaa vedyn (Kafkewitz & Togina 1998; Mata-Alvarez 2002).

Metanogeenit ovat suuri ja moninainen organismiryhmä, jotka ovat sopeutuneet monenlaisiin ympäristöoloihin. Sulfaatinpelkistäjät käyttävät vedyn oksideja (pääasiassa vettä), mutta tavallisesti sulfaatti-ioneita, terminaalisenä elektronien vastaanottajana. Metanogeenit ovat myös läsnä, mutta kilpailun voittaa yleensä sulfaatinpelkistäjät, sillä vetyä sieppaavat hydrogenaasientsyymit ovat näillä bakteereilla nopeampia kuin metanogeenilla. Asetaatti on yleisin hapettunut fermentaatiotuote, ja se yhdistää fermentatiiviset ja syntroofiset organismit vastaanottajien kanssa yhteen (Kafkewitz & Togina 1998; Garcia-Heras 2002).

Mikrobit kasvavat eksponentiaalisesti niin kauan kuin on tarpeeksi substraattia (Garcia-Heras 2002), mutta substraatin vähentyessä kilpailu kasvaa. Orgaanisen substraatin hajoamiseen vaikuttavat aineen pinta-ala, eli partikkelien koko, ja kemiallinen rakenne sekä mikro-organismit ja ympäristötekijät, kuten esimerkiksi lämpötila (Sanders ym. 2002). Lämpötila vaikuttaa reaktionopeuteen ja biologiseen muutosnopeuteen. Näiden lisäksi mikrobipopulaatio ja maksimaalinen kasvuvauhti muuttuvat lämpötilan mukaan pitkällä aikavälillä. Kuollessaan mikrobit muodostavat substraattia uusille mikrobeille, ja näin biomassassa muuttuu kasvun ja kuolemien mukaan (Garcia-Heras 2002). Asetaattia käyttävien metanogeenibakteerien kasvunopeus on hitaampaa kuin vetyä käyttävien metanogeenibakteerien (Sanders ym. 2002).

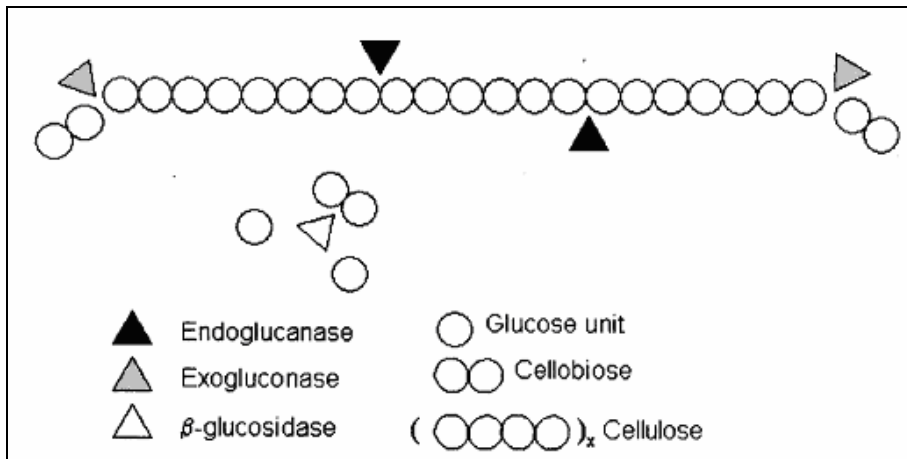
6.4 Entsyymit

Entsyymit ovat elävien organismien tuottamia biologisia katalyyttejä ja ovat rakenteeltaan globulaarisia proteiineja. Entsyymin katalysoimassa reaktiossa entsyymi ja substraatti muodostavat kompleksin, jossa substraatti kiinnittyy entsyymin aktiiviseen keskukseen. Tämän jälkeen entsyymi katalysoi kemiallisen tuotteen muodostumisen, jonka jälkeen se vapautuu katalysoimaan saman reaktion uudelleen. Katalyysireaktion nopeuteen vaikuttavat pH ja lämpötila, mutta myös inhiboivat tekijät. Lämpötilamuutokset voivat vaikuttaa entsyymitoimintaan muuttamalla hydrofobisia vuorovaikutuksia, jotka saavat aikaan entsyymin geometriamuutoksen. Aktiivisen keskuksen muuttuminen estää substraatin kiinnittymisen, ja korkeat lämpötilat denaturoivat entsyymin, kun sen kovalenttiset sidokset katkeavat. pH:n vaihtelut häiritsevät vetysidoksia, jotka pitävät entsyymin geometrian kasassa (Campbell ym. 1999; Boekema 2003a). Muita vaikuttavia tekijöitä ovat substraatin pitoisuus ja ominaisuudet, kuten selluloosalla polymeroitumisaste, kiteisyys, saavutettava substraatin

pinta-ala ja ligniinin määrä. Entsyymien toimintaa hidastaa myös inaktiivisten entsyymien tarttuminen substraattiin (Zhang & Lynd 2004).

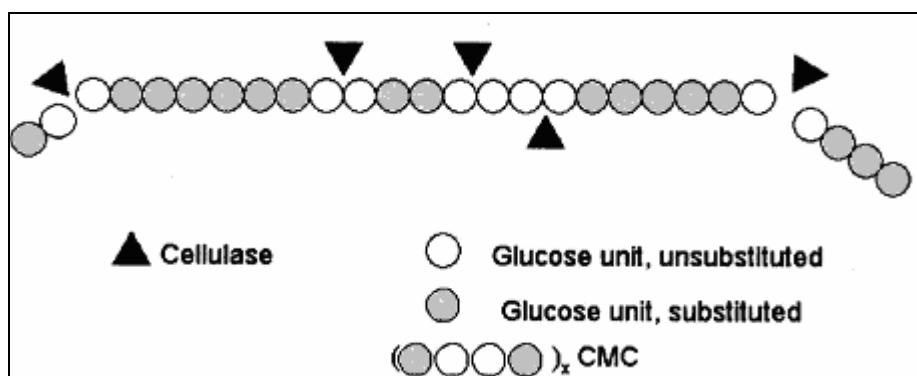
Sellulaasientsyymien toiminnassa tapahtuu kolme prosessia samanaikaisesti: 1. kemialliset ja fyysiset kiinteän substraatin muutokset, 2. primaarisessa hydrolyysissä liukenevat välituotteet irtaavat substraateista ja 3. sekundäärinen hydrolyysi, jossa välituotteet hydrolysoituvat pienemmiksi sokereiksi ja edelleen glukoosiksi. Sekundäärinen hydrolyysi on nopeampi kuin sen primäärinen muoto. Endoglukanaaseilla on päävastuu kiinteän substraatin pilkkomisesta, kun taas eksoglukanaasit ovat enemmän vastuussa tuotteiden liukoiseksi tekemisestä (Zhang & Lynd 2004).

Selluloosaa hajottavat useat sellulaasientsyymit, joiden toiminta määritetään erilaisten sellulaasiperheeseen kuuluvien entsyymien perusteella. Endo-1,4- β -glukanaasi (kutsutaan karboksimeetylisellulaasiksi) katalysoi 1,4- β -D-glykosidiliittymien hydrolyysiä selluloosaketjun sisäosissa (Kuva 6). Endoglukanaasin toimintaa tarkastellaan juuri CMC:aa hajottamalla (Wang ym. 2004). Endoglukanaasit hajottavat osittain pilkottuja ja liukenevia selluloosaderivaatteja ja ovat laajasti levinneet sienien, bakteerien ja aktinomykeettien keskuudessa. Näiden oligomeerien hajotus on kuitenkin hitaampaa kuin suuri molekyylipainoisilla yhdisteillä. Hajotus vaatii veden lisäämisen liukenemattomaan substraattiin, ja sidokset pitää irrottaa sokeriketjusta. Ekso- β -1,4-glukanaasit (sellubiohydrolaasit) katalysoivat 1,4- β -D-glykosidiliittymien hydrolyysiä selluloosassa ja sellotetroosissa, jolloin vapautuu sellobioosia pelkistymättömästä ketjun päästä. Nämä eksoglukanaasit hajottavat luonnollista selluloosaa (amorfiset ja mikrokiteiset selluloosaosat), mutta eivät osittain hajotettuja polysakkaridiketjuja tai oligomeereja (Lynch 1987; Lahtinen & Boekema 2003; Mondini ym. 2004). Lopulta β -glukosidaasi (sellobiaasi) hydrolysoi sellobioosin ja selludextriinit β -D-glukoosiksi (Lynch 1987). Nämä kolme entsyymiä hajottavat selluloosan kokonaisuudessaan (Coldberg 1988; Miyamoto 1997; Lahtinen & Boekema 2003). Suodatinpaperissa amorfisten osien hajotus tapahtuu β -glukosidaasin ja endoglukanaasin synergialla, kun taas paljon kideosia sisältävässä puuvillaselluloosassa toiminta on hiukan erilainen (Wang ym. 2004) ja tarvitaan myös eksoglukanaasin hajotustoimintaa. Sienien sellulaasien pH aktiviteetti arvot ovat 3-7 ja bakteerisellulaaseilla raja on laajempi (Boekema 2003a).



Kuva 6. Selluloosan entsymaattinen hajotus (Boekema 2003a).

Karboksimetylaatio vaikuttaa sellulaasien toimintaan, mahdollistaen ainoastaan endoglukanaasien hajotuksen CMC-ketjussa. Substituutioaste on tärkeä parametri vaikuttaen entsyymien reaktioihin, kun taas selluloosajohdannaisten polymerisaatio ei vaikuta entsyymien hydrolysaatioon (Sieger ym. 1995). DS arvolla 1,8 ei CMC:aa voida enää hajottaa entsyymeillä. Yleensä ainakin kaksi substituotumatonta glukoosiyksikköä tarvitaan endo-1,4- β -glukanaasin aktiivisuuteen (Kuva 7) (Boekema 2003a). Myös Kantelinen (2005, suull.tiedonanto) epäili endoglukanaasien kykyä pilkkoa sivuketjun lähellä olevia sidoksia. van Ginkel ja Gayton (1996) kuitenkin toteavat, että CMC:n täydellinen hajoaminen tapahtuu seuraavasti: ensin hajoavat substituotumattomat ja monosubstituoidut glukoosiyksiköt (Sieger ym. 1995), tämän jälkeen mikrobit adaptoituvat karboksimetyylioligomeereihin, ja lopulta tämä aklimoitu populaatio hajottaa kaiken CMC:n (van Ginkel & Gayton 1996).



Kuva 7. CMC:n hajotus sellulaasientsyymeillä (Boekema 2003a).

1,4- β -glukosididista pilkkovien entsyymien (sellulolyttiset entsyymit) tuotto on laajaa sekä sellulolyttisten että ei-sellulolyttisten organismien kesken. Tätä sidosta CMC:ssa pilkkova

entsyymi pilkkoo myös selluloosaa. Entsyymiä tuotetaan, 1,4- β -glukosididoksen esiintyessä riippumatta substraattimolekyylistä, ja se ei ole spesifinen modifioidulle ketjulle. Entsyymien avulla syntyy glukoosia lopputuotteena, mutta entsyymi ei pysty hydrolysoimaan välituotteena sellobioosia, jolla on Reesen ym. (1950) mukaan pieni rooli hydrolyysissä. Hajottajaorganismeilla on kyky säädellä entsyymien tuotantoa, sillä liika sokeri stimuloi heterotroofejia, jotka kilpailisivat sellulolyttisen populaation kanssa ravinnosta. Tätä kutsutaan kataboliseksi repressioksi (Mondini ym. 2004).

6.5 Olosuhdetekijät ja inhibointi

Lämpötilan suhteen anaerobinen käsittely voidaan jakaa psykrofiiliseen, mesofiiliseen ja termofiiliseen vaiheeseen, joista mesofiilinen (optimi 35 °C) ja termofiilinen (optimi 60 °C) ovat tärkeimmät. Termofiilisessä käsittelyssä reaktiokinetiikka on nopeampi ja kaasun tuotto suurempaa, mutta prosessi voi ”mennä hapoille”, jolloin kerääntyy haihtuvia rasvahappoja (Mata-Alvarez 2002). Koska anaerobinen reaktio tuottaa vain hiukan energiaa, on reaktoria lämmitettävä. Psykrofiilinen (alle 18 °C) hajotus on kuitenkin tärkeä kiinteän substraatin hajotuksessa pitkällä viipymääjällä (Hobson & Wheatley 1993).

Bakteerit pystyvät elämään laajalla pH välillä aina 3:sta 10:een asti, mutta neutraali taso pitää kaikki bakteerit aktiivisina. Yleensä hydrolyysi ja happokäyminen tapahtuvat hiukan korkeammilla pH arvoilla, kun taas asetogeneesi ja metonogeneesi suosivat hiukan happamampia olosuhteita. Jos kaikki hajotusreaktiot tapahtuvat samassa reaktorissa, on pH väli 7-7,5 optimaalisin kaikille mikrobeille. Muuten olosuhteet tulee säätää rajoittavan vaiheen mukaan, eli hitaasti hajoavan lignoselluloosan tapauksessa hydrolyysin mukaisesti. Metaanibakteerien pH väli on kapeampi, sillä optimiarvo on 6,8–7,2 (Oremland 1988; Hänninen & Leinonen 1996). Puskurointikyky pitää pH:n tasaisena muuttamalla syntyneet happojen fermentaatiotuotteet metaaniksi. Kemiallinen puskurointi tapahtuu ammoniakilla, haihtuvilla rasvahapoilla (VFA), bikarbonaattilla, fosfaatilla ja eri suolojen avulla (Hobson & Wheatley 1993; Garcia-Heras 2002). Happamoittavan hiilidioksidin muodostuminen estää pH:n nousua liian korkeaksi. Jos olosuhteet muuttuvat nopeasti ja pH laskee voimakkaasti, pienenee metaanin osuus kaasussa sen tuoton vähentyessä (Hänninen & Leinonen 1996). Ravinteiden ja hivenaineiden vaatimukseen vaikuttaa käsittelyssä oleva jäte. Typen- ja fosforin tarve on pieni, sillä lietettä syntyy vain 20 % aerobiseen jätevesikäsittelyyn verrattuna

(Ammary 2004). Inhiboivat aineet ovat joko anaerobisen hajotuksen välituotteita tai raaka-aineen sisältämiä yhdisteitä, jotka voivat hidastaa prosessia, tai jopa lopettaa hajotuksen kokonaan (Hobson & Wheatley 1993; Garcia-Heras 2002).

Ammoniakkia muodostuu pääasiassa proteiinien hajotuksesta. Korkeassa pH:ssa ammoniakki on ammonium-ioneina (NH_4^+), mutta happamissa olosuhteissa ionisoitumaton, inhiboiva muoto (NH_3) hallitsee. Ammonium-ionin epäillään aiheuttavan myös inhibitiota (Lay ym. 1997). Monet bakteerit pystyvät sopeutumaan korkeisiin ammoniakkipitoisuuksiin (Hobson & Wheatley 1993), jonka inhibiointi on oleellista paljon typpeä sisältävissä jätteissä, kun taas puupohjaisilla materiaaleilla typen määrä on alhainen.

Haihtuvat rasvahapot: formiaatti, asetaatti, propionaatti ja butyraatti ovat sekä metanogeneesiin lähtöaineita mutta myös inhiboivat tätä (Garcia-Heras 2002). Jos metanogeneesi vedystä vähenee, niin se inhiboi myös VFA:n pilkkomista, ja hapot kerääntyvät, kun vedyn osapaine nousee. Vedyn käytön väheneminen ja happojen kerääntyminen laskevat pH:ta, joka vaikuttaa bakteerien kasvuun ja muuttaa VFA:t ionisoimattomaan inhiboivaan muotoon. Hu ym. (2005) tutkimuksessa selluloosan hajotuksessa muodostui suuri määrä VFA:ja, joista asetaattia ja propionaattia oli suurimmat pitoisuudet. Koska hydrolyysituotteiden happokäyminen oli paljon nopeampi kuin kiteellisen selluloosan hydrolyysi mädättäjien pötsikulttuurilla, voi pienempi partikkelikoko ja suuremmat substraattipitoisuudet johtaa hydrolyysin parantumiseen ja VFA:n kerääntymiseen (Hu ym. 2005). Songin ym. (2005) kokeissa havaittiin sama VFA:n aikaansaama hydrolyysia inhiboiva vaikutus. Haihtuvien rasvahappojen pitoisuus on tärkeä parametri, sillä se voi olla ensimmäinen indikaattori siitä, että hajotus ei toimi normaalisti (Anonyymi 2003d). Kato ym. (2004) havaitsivat kompostointitutkimuksissaan, että anaerobisissa olosuhteissa aerobiset ei-sellulolyttiset bakteerit poistavat syntyneet selluloosan hajotusta hidastavat metaboliatuotteet ja lisäksi pitävät pH:n anaeroobeille sopivalla tasolla. Tämä viittaa anaerobisten- ja aerobisten- sekä sellulolyttisten- ja ei-sellulolyttisten mikro-organismien laajaan yhteistyöhön.

Kemiallisesti sulfaatti on inertti ja haihtumaton, jota syntyy proteiinien hajotuksen yhteydessä. Sulfaattikonsentraation kasvaessa metanogeneesi hidastuu, sillä sulfaatinpelkistäjäbakteerit kilpailevat samoista substraatista, eli vedystä ja asetaatista (Widdel 1988; Hänninen & Leinonen 1996). Kun sulfaattia on jäljellä, on elektronivirta sulfaatinpelkistykseen tavoitellumpi (Kuva 5). Jos happea olisi läsnä, olisi se kuitenkin

tavoitelluin elektroniakseptori (Kafkewitz & Togina 1998). Seuraavana tulee denitrifikaatio, ja sulfaatin pelkistys alkaa nitraatin kulutuksen jälkeen. Vasta näiden jälkeen on metanogeenin vuoro (Widdel 1988; Madigan ym. 2003). Jo pienet määrät happea inhiboivat metanogeenibakteereita, mutta happi käytetään nopeasti fakultatiivisten bakteerien toimesta (Oremland 1988; Hobson & Wheatley 1993). Myös syntynyt sulfidi on vahvasti inhiboiva metaanibakteereille (Hänninen & Leinonen 1996), ja vetysulfidi (rikkivety) on myrkyllinen myös eläimille ja ihmiselle (Widdel 1988), lisäksi vetysulfidi aiheuttaa laitteiston korroosiota (Anonyymi 2003d). Koska vetysulfidin ionisoitumaton muoto aiheuttaa inhibitiota, vaikuttavat pH ja alkaliteetti sen esiintymiseen. Rautaioni voi saostaa sulfidin (FeS) ja estää vetysulfidin muodostumisen (Mata-Alvarez 2002), myös muutamat bakteerilajit voivat muuttaa sen takaisin sulfaatiksi (Widdel 1988).

Muita inhiboivia aineita ovat antibiootit, raskasmetallit, desinfiointiaineet (Hobson & Wheatley 1993) sekä suolaisuus ja ksenobiootit (Mata-Alvarez 2002). Suolapitoisuus vaikuttaa solujen osmoottiseen tasapainoon, mutta yli 1M NaCl ei Hobsonin ja Wheatleyn (1993) mukaan vaikuttanut vetyä käyttäviin populaatioihin. Myös hitaasti hajoavat ligniinin aromaattiset yhdisteet aiheuttavat inhibitiota. Alkaaliset sellunvalmistusliuokset ovat ongelmallisia anaerobiselle käsittelylle johtuen niiden korkeasta pH:sta, myrkyllisyydestä metanogeenille sekä niiden sisältämästä suuresta ligniinimäärästä (Kortekaas ym. 1998). Bentsoaldehydin johdannaisten huomattiin olevan erityisen inhiboivia selluloosan hajotukselle, kuten myös vähemmän myrkylliset kanelihapon johdannaiset (Borneman ym. 1986). Useat liuottimet teollisuuden jätevesissä sekä erilaiset funktionaaliset ryhmät voivat myös inhiboida metanogeenibakteereita (Mata-Alvarez 2002).

Mädätysjäännös on prosessista jäljelle jäävä amorfinen materiaali. Alkuperäisen biojätteen koostumus määrittää myös loppujäännöksen laatua. Jäännöstä voidaan käyttää laadusta riippuen kaatopaikan pintamateriaalina tai kypsyttaa edelleen kompostituotteeksi, jolloin anaerobinen ja aerobinen käsittely yhdistyvät (Hänninen & Leinonen 1996; Anonyymi 2003d). Massaa ei pidä laittaa suoraan maahan, jos se on liian märkää; sisältää haihtuvia rasvahappoja, jotka ovat fytotoksisia; tai jos hajotus ei ole ollut termofiilistä, koska liete ei ole silloin hygienisoitua (Mata-Alvarez 2000). Prosessiveden pitoisuus voi myös olla korkea jolloin aerobisen denitrifikaation ja käänteisosmoositekniikan käyttöönotto on kannattavaa. Jos prosessin tavoite on vain metaanintuotto, ei lopputuotteen laatu ole kriittinen tekijä (Anonyymi 2003d).

6.6 Äänekoskelle suunniteltu biokaasulaitos

Ääneseutu on nykyään teknologia- ja kehityspanoksessa 7–8 sijalla Suomessa. Tavoitteena on edelleen nostaa tätä kehitysnäkymää ja valmistaa biokaasusta liikennepolttoainetta E4-tien liikenteen käyttöön. Äänekoskelle suunnitellaan teollisuus-, yhdyskunta- sekä maa- ja metsätalousjätteitä hyötykäyttävää biokaasulaitosta. Mahdollinen ylimääräinen kaasu käytettäisiin kaukolämpöverkossa lämmöntuottoon, ja liete palaisi maataloille peltolannoitteeksi (Harju 2005, suull.tiedonanto).

Prosessin alussa olisi murskaus, sekoitus ja 70 °C hygienisointiyksikkö, jonka jälkeen massa kulkisi reaktoriin, joka olisi joko mesofiilinen tai termofiilinen. Viipymä jälkikypsytyksineen kestäisi kuukauden verran, joka takaisi biokaasun tuoton myös hitaasti hajoavasta lignoselluloosajätteestä, jota maa- ja metsätaloudesta erityisesti syntyy. Pitkä viipymä olisi eduksi myös CMC-jätteelle. On myös ehdotettu prosessin lämmitystä M-Real Oyj:n teollisuuskaatopaikan kaasulla. Laskelmien mukaan suurin osa massoista muodostuisi maatilojen (5500 t) ja jätevedenpuhdistamon lietteestä (4000 t), ja tämän ensimmäisen vaiheen jättemateriaalien mukaan biokaasusta syntyisi polttoainetta 285 henkilöautolle. Laitoksen hinta olisi noin miljoonaa euroa ja takaisinmaksuajaksi arvioitiin viisi vuotta. Toisessa vaiheessa maatilat tuottaisivat energiakasveja, jolloin hygienisointiyksikköä ei tarvittaisi ja prosessi yksinkertaistuisi, sekä kustannukset näiltä osin laskisivat (Harju 2005, suull.tiedonanto; Kalmari 2005, suull.tiedonanto; Palmroth 2005, suull.tiedonanto). Jätteen tuottajalle porttimaksu Mustankorkealla tapahtuvaan kompostointiin verrattuna laskisi, sillä kuljetuskustannukset olisivat pienemmät, ja jos jätteen biokaasupotentiaali on korkea, vaikuttaa tämä myös hintaan. Parhailtaan etsitään halukkaita sijoittajia projektin aloittamiseksi.

7. Mädätyskokeet

7.1 Johdanto

Kokeen tavoitteena oli tutkia puhtaan- ja teknisen tuotantolinjan CMC-jätteen soveltuvuutta mädätykseen määrittämällä niiden metaanituotantopotentiaali. Mittaukset suoritettiin ilman entsyymejä ja näiden kanssa. Entsyymikokeella tarkasteltiin selluloosan hajoamisnopeuden

muutosta verrattuna tilanteeseen ilman entsyymejä. Materiaaleina oli myös muita tehdasalueen biohajoavia materiaaleja. Tutkittiin niiden soveltuvuutta yhteiskäsittelyyn CMC-jätteen kanssa ja potentiaalia mädätyslaitoksen materiaaleiksi. Muodostuvan lietteen ominaisuuksista tutkittiin kuiva-aine TS ja orgaaninen aine VS.

7.2 Materiaalit ja menetelmät

7.2.1 Jättemateriaalit teollisuuslaitoksilta

CMC-jätteenä oli puhtaan- ja teknisen tuotelinjan hienojakoinen keskuspölynimurijäte, jotta voitaisiin vertailla näiden laatueroja anaerobisessa käsittelyssä. Käytetyt materiaalit olivat melko heterogeenisiä, koska teknistä ja puhdasta CMC-laatua on monta eri tuotemuotoa, ja koska keskuspölynimurijätteet sisälsivät myös muuta jätettä, kuten sellua ja lakaisujätettä. Teknisessä tuotteessa on lisäksi suolaa ja DS on yleisesti matalampi kuin puhtaalla tuotteella. Näiden vaikutusta pyrittiin myös tarkastelemaan. Viskositeetti eroaa hiukan eri linjojen tuotteissa, mutta jätteestä eroa on vaikea havaita, joten tätä ei huomioitu. CMC-jätejakeita mädätettiin sellaisenaan mutta myös Oy Metsä-Botnia Ab:n polttoliipeän (mustalipeä) ja tehdasalueen jätevedenpuhdistamolle tulevan jäteveden kanssa. Sellu- ja paperitehtaiden jätevesissä on ligniiniä, tanniineja ja resiinejä, jotka hajoavat hitaasti (Vidal ym. 2001; Buzzini & Pires 2002; Vidal & Diez 2005), mutta myös nopeasti hajoavia hiilihydraatteja ja alkoholeja. BOD ja COD arvot ovat lisäksi korkeita (Ali & Sreekrishnan 2000). Polttoliipeä oli koostumukseltaan hyvin vahvaa ja tahmaavaa, kun taas jätevesi oli kirkasta ja sisälsi vain vähän kiinteää materiaalia. Ympinä käytettiin Jyväskylän Nenäinniemen yhdyskuntajätevedenpuhdistamon mesofiilistä anaerobilietettä. Jättemateriaaleista määritettiin ennen pullokokeiden aloittamista kuiva-aine pitoisuus (TS %) ja orgaanisen aineksen määrä (VS %) standardin SFS-3008 mukaisesti (Taulukko 6).

Taulukko 6. Anaerobikäsittelyn materiaalien kuiva-aine ja orgaanisen aineen pitoisuudet.

Materiaali	TS (%)	VS (% TS)
CMC-puhdas	89,48 ± 0,07	78,03±0,15
CMC-tekninen	91,08 ± 0,08	70,29±0,01
Mustalipeä	82,92±0,20	27,30±0,37
Ymppi	2,03±0,04	50,20±0,72
Jätevesi	0,34±0,00	31,22±1,13

7.2.2 Näytteenotto ja menetelmät

Kaasuntuoton potentiaalimääritys tehtiin Jyväskylän yliopiston tiloissa yhdeksän pullon panoskoesarjana soveltuvin osin standardin DIN-38414 mukaisesti 27.4.–24.7.2005 välisenä aikana. Käytettävien jätemateriaalien kuiva-ainepitoisuuden perusteella laskettiin materiaalien tarvittavat massat, käyttämällä kuormitusta 4 g TS/ 1000 ml (3,2 TS/ 800 ml). Jäteveden pienestä TS pitoisuudesta johtuen sitä käytettiin vain kymmenesosa muiden kuormituksesta (Taulukko 7). Materiaalit punnittiin analyysivaa’alla (Ohaus Analytical plus) ja annosteltiin litran (1 l) pulloihin. Lämpökaapissa +35°C:ssa säilytettyä ymppeä lisättiin lopuksi 800 ml. Lisäksi oli kontrolli, jolla tarkasteltiin ympin biokaasun tuottoa. Pulloihin liitettiin letkulla alumiinifoliopussi, johon muodostuva biokaasu kerääntyi (Kuva 8). Metaanipitoisuuden määrittämiseksi letkuihin oli liitetty pieni näytepullo, josta kaasunäytteet otettiin kokeen aikana. Pullot tyytettiin ennen kokeen aloittamista ja suljettiin kumikorkilla, jotta varmistuttiin anaerobisista oloista. Koejakson aikana pulloja inkuboitiin 35±1 °C lämpökaapissa käyttäen Heidolph Unimax 2010 -ravistelijaa (120 r/min) kerrostumien ehkäisemiseksi. Sekoitus vapauttaa myös substraattiin tarrautuneet kaasukuplat ja isommassa mittakaavassa tasoittaa lämpötilaeroja (Wellinger 1999).

Taulukko 7. Anaerobikokeissa käytettyjen materiaalien kuormitukset.

Materiaali	Kuormitus g TS/l
Puhdas-CMC	4
Tekninen-CMC	4
Mustalipeä	4
Puhdas-CMC+mustalipeä	4
Tekninen-CMC+mustalipeä	4
Puhdas-CMC+jätevesi	2,2
Tekninen-CMC+jätevesi	2,2
Jätevesi	0,4

Kokeen alussa mittauksia tehtiin lähes päivittäin, biokaasun tuoton tasaannuttua harvemmin. Muodostuvan kaasun tilavuus määritettiin syrjäyttämisperiaatteella toimivalla laitteistolla (ei rinnakkaisia) ja metaanipitoisuus mitattiin kaasukromatografilla (PerkinElmerARVEL Clarus 500) injektoitujen (0,1 ml) rinnakkaisten näytteiden (2) keskiarvona. Standardikaasuna käytettiin typen (70 %) ja metaanin (30 %) seoskaasua, jonka arvoihin näytteistä (3 rinnakkaista x 2) saatuja pitoisuuksia verrattiin. Näiden tietojen perusteella laskettiin

muodostuneen metaanin määrä. Ennen koetta ja sen päätyttyä lietteistä määritettiin TS ja VS, sekä pH (Metrohm 744 pH-meter).



Kuva 8: Anaerobikäsittelyn koelaitteisto.

Kokeen yksi (ilman entsyymejä) ja kokeen kaksi (entsyymit) koejärjestely ja olosuhteet olivat yhtäläiset. Kuormitus ja materiaalit pidettiin molemmissa kokeissa samana, ainoastaan entsyymikokeessa käytettiin Primafast 200 sellulaasientsyymiä (Genencor Jämsänkoski). Kaupallinen entsyymi on homepohjainen ja sisälsi suuren joukon eri sellulaasientsyymejä. (Kantelinen 2005, suull.tiedonanto). Entsyymiä pipetoitiin 8 ml (Finnpipete 2–10ml) pulloihin ennen ympin lisäämistä, mutta vertailuna olleeseen ymppi-pulloon entsyymiä ei lisätty. Kokeessa kaksi käytettiin Nenäinniemen ymppiä, joka ei ollut täysin mädätysprosessia loppuunkäynyttä. Tästä johtuen kokeita verrattiin siten, että ymppien biokaasutuotot huomioitiin keskenään. Entsyymien toiminnasta johtuen kokeen kesto oli selvästi lyhyempi kuin ensimmäisessä kokeessa.

7.3 Tulokset ja niiden tarkastelu

7.3.1 Kaasuntuotantopotentiaali

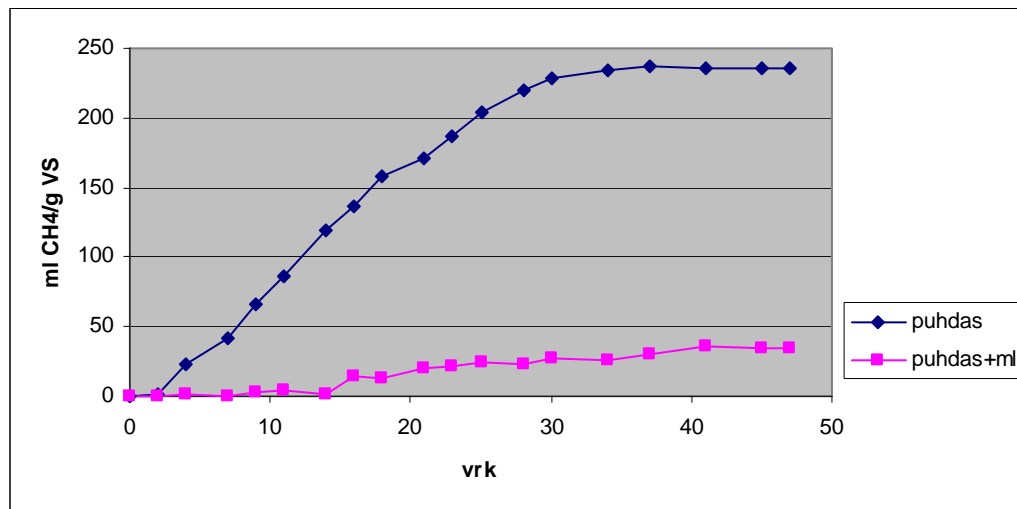
Ensimmäisessä koeosiossa metaania tuottivat ainoastaan puhdas CMC (235 ml CH₄/g VS) sekä puhtaan CMC:n ja mustalipeän seos (35 ml CH₄/g VS) (Taulukko 8). Muiden materiaalien biokaasuntuotto oli ympin tuottoa heikompaa.

Taulukko 8. Jättemateriaalit ja niiden metaanipotentiali. Ympärikontrollipullon (800 ml) kokonaismetaanintuotto on myös esitetty.

Jättemateriaali	ml CH ₄ /g VS	ml CH ₄ /g TS
Puhdas-CMC	235	302
Puhdas-CMC ja mustalipeä	35	67
Puhdas-CMC ja jätevesi	0	0
Tekninen-CMC	0	0
Tekninen-CMC ja mustalipeä	0	0
Tekninen-CMC ja jätevesi	0	0
Mustalipeä	0	0
Jätevesi	0	0
Ympäri (800 ml)	215	455

Kokeen kesto oli lähes 50 vuorokautta, mikä kuvastaa selluloosamateriaalin hidasta hajoamista. Kuvaajaa tarkasteltaessa havaitaan, että kaasuntuotto loppui puhtaalla CMC:lla kuukauden jälkeen (Kuva 9). Kokeen alussa oli hiukan viipymää, jonka jälkeen kaasun tuotto oli tasaista. Lopulta tuotto loppui ja koe lopetettiin. Korkein metaanipitoisuus (54 %) (Liite 4) saavutettiin 14 päivän kohdalla, mutta pitoisuus säilyi korkeana koko kuvaajan nousuvaiheen ajan. Suurin biokaasun tilavuus muodostui ensimmäisinä koepäivinä, jonka jälkeen se laski tasaisesti mutta pysyi kuitenkin korkeampana kuin muilla materiaaleilla (Liite 5). Paperista (92 % selluloosaa) muodostui Siegerin ja Banksin (2005) anaerobikäsittelykokeissa 13 päivässä 287 ml/g biokaasua vastaavissa olosuhteissa. Puhtaasta selluloosasta muodostui 50 vuorokauden aikana noin 370 ml/g VS metaania Hansenin ym. (2004) sekä Owensin ja Chynowethin (1993) kokeissa, mutta vain 96,7 ml/g TS 30 päivän kokeessa (Yang ym. 2004). Yli 400 ml CH₄/g VS on saatu (Op Den Camp & Gijzen 1991), joten tulokset vaihtelevat suuresti, joihin vaikuttaa muun muassa selluloosan koostumus. Yangin ym. (2004) kokeiden perusteella mesofiilinen selluloosan mädätysprosessi on tehokkaampi kuin termofiilinen käsittely. Koostumukseltaan lähimpänä CMC:aa on toimistopaperi, jonka 220 päivän mesofiilisessä mädätyskokeessa kumulatiivinen metaanintuotto oli yli 300 ml/g COD

(Clarkson & Wiao 2000). Joten tehdyn kokeen saatu tulos vastaa keskimääräistä metaanintuottoa selluloosapohjaisilla materiaaleilla.



Kuva 9. Jättemateriaalien kumulatiiviset metaanintuotot ensimmäisessä mädätyskokeessa.

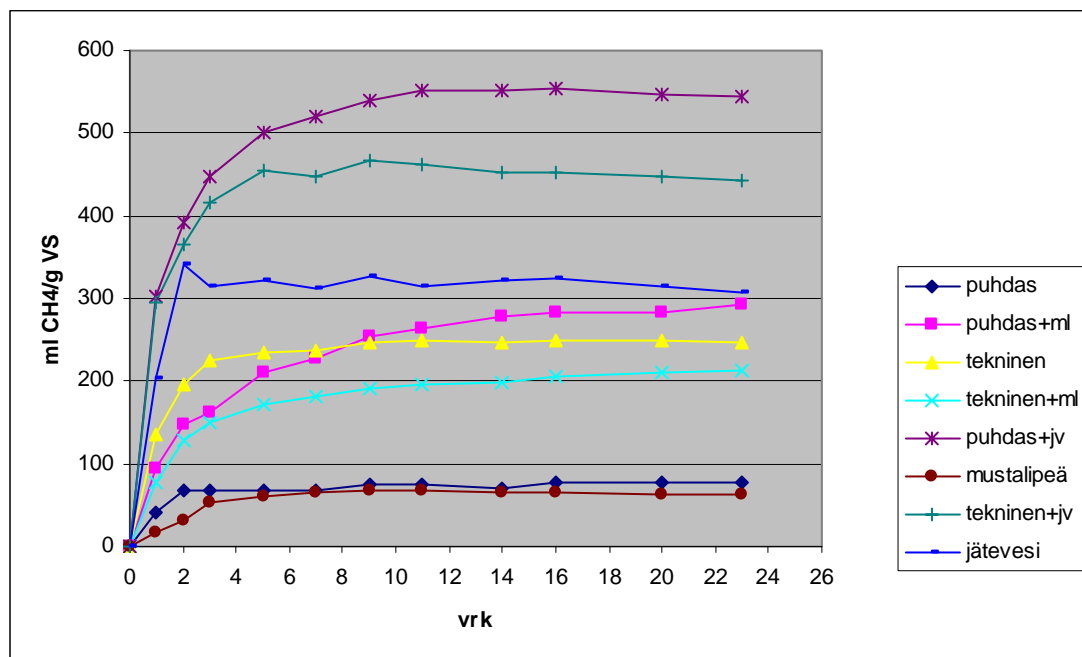
Puhtaan CMC:n ja mustalipeän seoksella syntyneet metaanimäärät olivat pieniä, ja kuvaajan perusteella kokeen alussa on havaittavissa selkeää kaasuntuoton viivästyistä. Kaasua muodostui vasta 15 päivän kohdalla, ja tuotto tasoittui lopussa puhdasta CMC:aa hitaammin. Suurin metaanipitoisuus (52 %) saavutettiin 15. päivän kohdalla, ja se oli lopussakin vielä lähes 40 %, toisin kuin muilla materiaaleilla. Mustalipeä ei ollut niin toksinen metanogeenille, etteivätkö nämä pystyisi adaptoitumaan siihen (Buzzini & Pires 2002), johon kokeen korkea metaanipitoisuus viittaa. Korkein kaasutilavuus saatiin jo toisena koepäivänä, joka oli vain puolet puhtaan CMC:n vastaavasta. CMC- ja mustalipeäseoksen kaasun kokonaistilavuus oli matalampi kuin teknisen laadun seoksella, jolla metaanipitoisuus oli taas matalampi. Mustalipeän tuottaman kaasun metaanipitoisuus oli alhainen (16 %), mutta puhtaan CMC:n kanssa kaasun pitoisuus nousi 40 %:iin. Groverin ym. (1999) kokeessa mustalipeällä saatiin parhaillaan lähes 60 % metaanipitoisuus. Tulosten perusteella mustalipeän mädätys ei ole mielekäästä CMC:aa lisäämällä, mutta kuvaaja (Kuva 9) oli vielä hiukan nouseva, mikä kuvasti kasvavaa adaptoitumista.

Entsyymejä käytettäessä jokainen materiaali tuotti metaania (Taulukko 9), mikä kertoi niiden edistyneen selluloosan hajotusta. Tuloksissa oli ensimmäiseen kokeeseen verrattuna sellainen ero, että puhtaan CMC:n biokaasuntuotto oli alhaisempi. Mustalipeä- ja CMC-seoksien tuotot olivat tasaisia ja moninkertaisia mustalipeän ja puhtaan CMC:n yksittäisiin tuottoihin verrattuna.

Taulukko 9. Entsyymikokeessa saavutetut metaanipotentialit sekä ympäristökontrollin (800 ml) kokonaismetaanintuotto.

Jättemateriaali	ml CH ₄ /g VS	ml CH ₄ /g TS
Puhdas-CMC	77	99
Puhdas-CMC ja mustalipeä	292	554
Puhdas-CMC ja jätevesi	543	736
Tekninen-CMC	248	352
Tekninen-CMC ja mustalipeä	209	434
Tekninen-CMC ja jätevesi	444	665
Mustalipeä	63	230
Jätevesi	308	986
Ympäristö (800 ml)	198	406

Kuvaajan perusteella jäteveden orgaaninen aines hajosi nopeasti jo kahdessa päivässä, minkä jälkeen tuotto loppui (Kuva 10). Muita materiaaleja alhaisempi maksimi metaanipitoisuus (55 %) (Liite 6), joka saavutettiin vasta seitsemännen koepäivän kohdalla, oli seurausta alhaisemmasta kuormituksesta. Muilla materiaaleilla korkeimmat CH₄-pitoisuudet saavutettiin jo toisena koepäivänä. Entsyymit edistivät huomattavasti erityisesti jäteveden hajoamista, sillä erot ensimmäiseen kokeeseen olivat huomattavat. Hajotus oli lähes täydellistä kahdessa päivässä, jonka jälkeen kaasun tuotto loppui. Jukka Rintalan (2005, suull. tiedonanto) mukaan osa muodostuneesta kaasusta on voinut syntyä entsyymien omasta hajoamisesta. Varmistus tähän saataisiin käyttämällä inaktivoitujen entsyymien kontrollipulloa (Rintala 2005, suull. tiedonanto).



Kuva 10. Jättemateriaalien kumulatiivinen metaanintuotto entsyymikokeessa.

Jäteveden ja puhtaan CMC:n seoksessa kaasuntuotto oli korkeampaa kuin materiaaleilla erikseen. Samoin tapahtui myös mustalipeän ja CMC:n seoksilla, vaikka tekninen CMC tuottikin sen mustalipeäseosta enemmän metaania. Kaasuntuotto oli jätevesiseoksilla ensimmäiset viisi päivää nopeaa, minkä jälkeen tuotto on loppunut. Maksimi CH₄ pitoisuus saavutettiin muiden ohella kahdessa päivässä, ja samalla muodostui runsaasti kaasua. Teknisen CMC:n ja jäteveden seos tuotti myös paljon metaania (444 ml CH₄/g VS), vaikka yksittäisten materiaalin suhteena vähemmän kuin puhtaan CMC:n ja jäteveden seos (543 ml CH₄/g VS). Jo ensimmäisenä päivänä näiden kahden seoksen muodostuneet kaasutilavuudet olivat yli 1400 ml (Liite 7), jotka olivat koko koesarjan suurimmat ja kuvasivat nopeaa hajoamista kokeen alussa.

Mustalipeän ja puhtaan CMC:n seoksella metaanipitoisuus oli korkeimmillaan yli 60 % ja muista materiaaleista poiketen pitoisuus säilyi korkeana (yli 40 %) myös kokeen loppuun asti. Mustalipeän ja teknisen CMC:n yhdistelmässä materiaalien hajotus parantui, mutta ei niin selkeästi kuin puhtaan CMC:n seoksella. Yksittäisiin arvoihin verrattuna yhteiskäsittelyn tulos oli hieman oletettua parempi. Teknisen CMC-seoksen kumulatiivinen metaanintuottokäyrä vastasi puhtaan CMC-seoksen kuvaajaa, mutta metaanintuotto loppui teknisellä seoksella hiukan aikaisemmin. Metaanipitoisuus säilyi puhtaan CMC-seoksen tavoin korkeana myös kokeen lopussa, ja molemmilla seoksilla kumulatiivinen käyrä oli vielä lopussakin nouseva. Alin ja Srekrishnanin (2000) kokeessa glukoosi edisti mustalipeän hajotusta, sillä metaaniaktiviteetti nousi 50 päivässä 80 %, mutta ilman glukoosia metaania muodostui mustalipeästä vain 33 % (COD). Tehdyissä kokeissa CMC, tai tästä muodostunut glukoosi, toimi yhtäläisesti. Anaerobisella käsittelyllä saadaan yli puolet ligniinistä hajotettua, mutta mustalipeä olisi laimennettava ennen käsittelyä (Kortekaas ym. 1998).

Puhtaan CMC:n tulos oli huomattavasti ensimmäistä koetta heikompi, vaikka tässä käytettiin entsyymiä. Kuvaaja oli ensimmäiset kaksi päivää nouseva mutta tasoittui sen jälkeen nopeasti. Metaanipitoisuus oli toisena päivänä yli 65 %, mutta kaasun kokonaistilavuus oli vain 400 ml, joka oli neljäsosa parhaiten tuottaneista materiaaleista. Teknisellä CMC:lla hajoaminen oli alussa nopeaa ja suurin mitattu metaanipitoisuus (66 %) oli kokeen korkein ja kaasuntuottokin vain hiukan parhaimpia alhaisempi. Metaanipitoisuuksien keskiarvo teknisellä CMC:lla oli 41 %, mikä oli neljä prosenttia korkeampi kuin puhtaalla laadulla.

Aerobisissa olosuhteissa useaa sellulaasientsyymiä käytettäessä CMC:sta muodostui enemmän glukoosia, ja Imai ym. (2004) käyttivät kokeissaan lisäksi asetaattipuskuria (pH 4,8). Melanderin ja Vuorisen (2001) entsyymikäsittelyllä CMC:n DP arvo vaihteli 100-1 välillä alkuperäiseen DP arvoon 170 verrattuna. Suuremmat sellulaasientsyymien määrät ja pidempi inkubointiaika johtivat pienempiin molekyylipainoihin, ja tällöin glukoosi oli yleisin lopputuote. Käsittely suoritettiin 50 °C:ssa ja pH 5,5:ssa kaupallisilla sellulaasientsyymeillä, mutta myös hapellisissa olosuhteissa (Melander & Vuorinen 2001).

Mustalipeän metaanintuotto oli puhtaan CMC:n ohella kokeen heikoin. Metaanipitoisuuskäyrä nousi hitaammin, ja korkein arvo (63 %) saavutettiin päivä muiden jälkeen. Kokonaiskaasutilavuudeksi saatiin alussa yli 700 ml, kun se puhtaalla CMC:lla oli vain 400 ml. Metaanipitoisuuden keskiarvo (37 %) oli selvästi korkeampi kuin ensimmäisessä kokeessa (16 %), joten tässäkin voi olla kyse entsyymien omasta hajoamisesta. Ymppien erot olivat pienet, sillä kaasun korkein metaanipitoisuus molemmissa kokeissa oli noin 40 %, ja metaanin keskiarvopitoisuus ja kaasun kokonaistilavuus olivat samat. Korkein metaanipitoisuus ja biokaasutilavuus saavutettiin entsyymikokeessa nopeammin, mutta pitoisuuskvaajat olivat samanlaiset.

Entsyymikäsittelyissä on eroja, sillä Sonakyan ym. (2001) vehnänjyvien mikrobi- ja entsyymikäsittelyssä metaanin tuotto vaihteli useita kymmeniä prosentteja. Dijkermanin ym. (1997) tutkimuksessa anaerobisienien entsyymien hydrolyysi oli lähes täydellinen 200 tunnin kokeessa, ja kaupallisilla entsyymeillä lopputuotteesta 70 % oli glukoosia. Nämä anaerobiset entsyymit säilyttivät aktiivisuutensa pitkän aikaa, vaikka substraatti loppuikin, ja ligniinin määrä vaikutti suoraan syntyvien sokerien määrään (Dijkerman ym. 1997). Mountfortin ym. (1982) anaerobiset sienet hajottivat vain 53 % selluloosasta, mutta kolmoiskulttuurilla hajotus oli lähes täydellistä. Tulos johtui yhteiskulttuurin metanogeenien yhteistyöstä, joka poisti inhiboivat tuotteet (Mountfort ym. 1982). Siegertin ja Banksin kokeissa selluloosasta hajosi 66 %. Lisäksi he havaitsivat VFA:n inhiboivan karboksimeetylisellulaasin toimintaa (Siegert & Banks 2005), ja erityisesti propionaatin, jota syntyy paljon sellulolyttisistä aineista (Op Den Camp & Gijzen 1991; Hu ym. 2005).

Tehdyissä CMC-kokeissa ei käytetty rinnakkaisia näytteitä, vaikka Hansenin ym. (2004) mukaan metaanituottokykyä määritettäessä on tarvetta pitää ainakin kolmea rinnakkaista näytettä, sillä ympin ja substraatin heterogeenisyys ovat suuria. Koska kokeen tavoitteena oli selvittää CMC:n ja muiden tehdasalueen jätemateriaalien alustava biokaasupotentiaali, ei

rinnakkaisiin kokeisiin työmäärän ja ajanpuutteenkaan takia nähty tarvetta. Tulosten erot selittyivät osaltaan entsyymien vaikutuksella, mutta puhtaan CMC:n käyttäytyminen olisi syytä varmistaa lisäkokeilla.

7.3.2 Kuiva-aine (TS %), orgaaninen aines (VS %) ja pH

Lietteiden ominaisuuksia tarkasteltaessa kokeessa yksi havaitaan, että kuiva-aineen määrä laski orgaanisen aineksen hajotessa (Taulukko10). Arvojen perusteella eniten biokaasua tuottaneen puhtaan CMC:n kuiva-aine laski noin 12 %. Vähemmän olivat tasaisia eri materiaaleilla, mutta mustalipeän kuiva-aine vähennys oli pienin, joka oli seurausta suuresta ligniinipitoisuudesta ja hitaasta hajoamisesta. Orgaanisen aineksen hajotessa on orgaanisen aineksen määrä laskenut kaikissa näytteissä, mutta enemmän puhtaan CMC:n (16 %) ja myös teknisen CMC:n (14 %) näytteissä. Jätevesiseoksilla saatiin myös 14 % VS vähennys. Mustalipeänäytteiden pH oli korkea, joka toksisten yhdisteiden ohella on saanut aikaan inhibitiota mutta ei ylittänyt Groverin ym. (1999) mustalipeän mädätyksessä saatua 8,5 arvoa, mikä on hyvin myrkyllinen anaerobeille.

Taulukko 10. Ensimmäisen kokeen lietteiden ominaisuuksien alku (1)- ja loppuarvot (2).

Materiaali	TS (%) 1	TS (%) 2	VS (% TS) 1	VS (% TS) 2	pH 1	pH 2
Puhdas	2,95±0,02	2,61±0,02	52,51±0,22	44,17±0,13	7,62	7,58
Tekninen	2,82±0,03	2,57±0,00	52,68±0,32	45,12±0,07	7,54	7,64
Mustalipeä	2,98±0,01	2,76±0,02	49,29±0,39	43,86±0,61	8,38	7,81
Puhdas+mustalipeä	2,96±0,02	2,70±0,03	51,38±0,04	46,11±0,33	7,97	7,56
Tekninen+mustalipeä	3,02±0,02	2,70±0,01	50,89±0,48	44,41±0,14	8,09	7,71
Jätevesi	2,30±0,02	2,10±0,01	47,59±0,27	41,31±0,26	7,47	7,6
Puhdas+jätevesi	2,65±0,02	2,38±0,00	50,01±0,15	43,06±0,45	7,55	7,6
Tekninen+jätevesi	2,61±0,02	2,36±0,01	49,94±0,35	43,07±0,04	7,52	7,61
Ympäri	2,61±0,02	2,38±0,02	47,33±0,33	41,79±0,38	7,5	7,56

Entsyymikokeessa kuiva-aineiden muutos oli suurempaa. Kaikkien näytteiden kuiva-aineen vähennys oli yli 17 %, mutta eniten laski heikoiten biokaasua tuottanut puhdas CMC (21 %) (Taulukko 11). Tämän ja korkean metaanipitoisuuden perusteella voidaan olettaa mittauslaitteistovirhettä, jonka johdosta muodostuneen kaasun tilavuus jäi pieneksi. Puhtaan CMC:n jätevesi- ja mustalipeäseoksien TS vähennys olivat suuria ja yleisesti korkeampia kuin teknisen tuotteen vastaavilla. Myös mustalipeän arvo laski yli 17 %.

Mineralisoituminen oli tehokkainta puhtaan CMC:n ja jäteveden seoksella (18 %), mikä tuotti myös eniten biokaasua. Puhdas CMC (17 %) ja jätevesi (16 %) tulivat seuraavina. Suolaa sisältävien teknisen CMC:n näytteillä alku VS oli puhtaan laadun näytteitä matalampi, ja VS muutos oli myös pienempi. pH arvot olivat samanlaiset kuin ensimmäisessä kokeessa ja olivat Caon ja Tanin (2002) tulosten mukaiset. He pilkkoivat CMC:aa aerobioloissa endoglukanaasin ja sellulaasiseoksen avulla. Heidän mukaan lämpötilaoptimi näille entsyymeille olisi kuitenkin 45–60 °C. Käytetyn Primafast 200 entsyymin toiminta-alue on pH väli 4–6 ja lämpötila 40–60 °C (Kantelinen 2005, suull.tiedonanto), joten oltiin hiukan näitä alkaalisemmissa ja viileämmissä olosuhteissa. Koska biokaasua kuitenkin muodostui hyvin, ei olosuhteiden voi olettaa rajoittaneen hajotusta. Aklimoidulla lietteellä ja olosuhteiden säädöllä biokaasun tuotto voisi hiukan lisääntyä.

Taulukko 11. Entsyymikokeen lietteiden alku- (1) ja loppuominaisuudet (2).

Materiaali	TS (%) 1	TS (%) 2	VS (% TS) 1	VS (% TS) 2	pH 1	pH 2
Puhdas	3,19±0,03	2,53±0,00	56,81±0,11	47,33±0,19	7,42	7,53
Tekninen	3,23±0,04	2,63±0,01	55,16±0,20	47,02±0,02	7,45	7,57
Mustalipeä	3,28±0,02	2,71±0,00	52,34±0,43	45,37±0,41	8,14	7,7
Puhdas+mustalipeä	3,19±0,02	2,59±0,00	54,66±0,05	47,00±0,17	7,78	7,49
Tekninen+mustalipeä	3,18±0,01	2,64±0,00	53,67±0,10	46,79±0,23	7,79	7,62
Jätevesi	2,25±0,00	1,85±0,00	54,32±0,10	45,58±0,09	7,33	7,47
Puhdas+jätevesi	2,51±0,00	2,02±0,01	56,29±0,28	46,21±0,64	7,35	7,5
Tekninen+jätevesi	2,70±0,01	2,27±0,02	54,59±0,05	46,84±0,26	7,37	7,55
Ymppi	2,39±0,02	2,15±0,01	48,75±0,66	44,08±0,51	7,39	7,47

Kokeissa ei havaittu teknisen CMC:n suolapitoisuuden vaikuttavan inhiboivasti mädätysprosessiin. Tavanomaiset jätevesikultuurit eivät ole tottuneet käsittelemään yli 3–15 % suolavesiä (Kargi & Dincer 1996), jonka alle kokeen kuormituksella jäätii. Bashirin ja Matinin (2004) mukaan alle 1000 mg/l natriumpitoisuudet eivät ole toksisia, ja 5g/l natriumkonsentraatiot eivät inhiboi termofiilistä anaerobiprosessia (Kim ym. 2000). Nämä ovat korkeita pitoisuuksia, mutta myös äkilliset konsentraatiomuutokset johtavat systeemin toimimattomuuteen, ja biologinen hajotus laskee (Kargi & Dincer 1996). Teknisen CMC:n suolapitoisuus on korkeimmillaan 30 %, mutta kokeessa käytetyllä kuormituksella pitoisuus oli silti alhainen. Suola ei suoraan selitä teknisen CMC:n heikkoa biokaasutuottoa ensimmäisessä kokeessa, sillä entsyymikokeessa sen kaikilla seoksilla biokaasua syntyi paljon, ja suolapitoisuus inhiboisi myös entsyymejä. CMC:n valmistusreaktiossa muodostuvan natriumglykolaatin vaikutusta ei tarkasteltu.

Natriumsuolat ovat toksisia metanogeeneille, ja shokkivaikutusta adaptoitumattomalle lietteelle voi esiintyä 6–13 g/l pitoisuudessa (Feijoo ym. 1995; Bashir & Marin 2004). Kugelman ja McCarty (1965) sanovat, että kloridit ovat lähes myrkyttömiä metanogeenisille bakteereille, joten näin ollen natrium aiheuttaisi pääosan inhibiatiovaikutuksesta. Natriumyhdisteitä on myös mustalipeässä ja jätevedessä, mutta pitoisuudet ovat pieniä. Mustalipeän heikkoon metaanituottoon vaikuttaa enemmän suuri ligniinipitoisuus ja mahdollisesti muut bioperäiset toksiset aineet, kuten resiinit ja tanniinit. Metanogeenit pystyvät kuitenkin adaptoitumaan suuriin natriumpitoisuuksiin (Feijoo ym. 1995; Bashir & Marin 2004), mikä näkyi kasvavana biokaasuntuotona mustalipeänäytteillä kokeen lopussa. Jätevesi sisältää myös samoja yhdisteitä kuin mustalipeä, mutta sen seoksilla biokaasu muodostui heti kokeen alussa, joten helposti hajoavat hiilihydraatit olivat substraattina.

7.4 Johtopäätökset

CMC:aa anaerobisesti, ilman entsyymejä, käsiteltäessä vain kaksi materiaalia tuotti biokaasua ja lisäksi käsittelyaika oli pitkä. Vastaaviin kokeisiin verrattuna CMC-jätteen biokaasun tuotto ei vastannut puhtaan selluloosan metaanipotentialia, mutta oli yhtäläinen modifioidun selluloosan kanssa. Kokeessa ei käytetty rinnakkaisia näytteitä, ja koska kyse oli CMC-jätteestä, oli saadun tuloksen vaihteluraja suuri. Todellinen CMC:n metaanipotentiali saataisiin puhtaalla CMC-tuotteella ja aklimoidulla lietteellä.

Ensimmäistä ja entsyymikoetta vertailtaessa havaittiin, että entsyymikäsitely edisti ja nopeutti kaikkien materiaalien metaanintuottoa. Puhtaan CMC:n osalta arvot olivat ristiriitaiset, mutta vertailtaessa puhtaan CMC:n ja mustalipeäseoksen kumulatiivisia metaanintuottokäyriä ja metaanipitoisuuksia, havaittiin yhteneväisyyksiä. Entsyymikokeessa eri materiaalien metaanipitoisuudet olivat jo toisena päivänä korkeimmillaan, jonka jälkeen ne laskivat nopeasti. Ilman entsyymejä korkeimmat metaanipitoisuudet olivat alhaisemmat, ja ne saavutettiin vasta yli kymmenen vuorokauden jälkeen. Ilman entsyymejä suurimmat kaasun tuotot saavutettiin myös entsyymikokeen arvoja myöhemmin.

Erityisesti entsyymikokeessa materiaalien seokset tuottivat hyvin biokaasua. CMC- ja mustalipeäseoksien kaasuntuotto oli korkeampi, kuin niiden yksittäisten arvojen perusteella.

Mustalipeäjätteellä ja sen seoksilla hitaasti hajoavat ligniiniyhdisteet ja muut inhiboivat aineet hidastivat anaerobista prosessia, minkä myötä kaasun tuotto oli hidasta ja kasvoi muita seoksia myöhemmin, kun liete aklimoitui seoksiin. Kuitenkin tärkeä tulos oli se, että mustalipeän ligniiniä hajosi anaerobiprozessissa metaaniksi ja CO₂:ksi. Myös jäteveden ja CMC:n seoksilla entsyymien aikaansaama hajotus lisäsi huomattavasti biokaasuntuottoa. Osa näytteiden biokaasusta oli entsyymien hajoamisesta johtuvaa, mutta pienestä entsyymimäärästä johtuen, on tämän merkitys ollut kokonaisuudessaan vähäinen. Tämä hajoaminen lisäsi näytteiden kaasunmuodostumista, mutta entsyymit pääasiassa edistivät materiaalien pilkkoutumista, mikä näkyi entsyymikokeen tuloksista. Vaikka DS:n vaikutusta CMC:n hajoamiseen ei näillä jätemassoilla saatu selvitettyä, niin tulosten perusteella käytetty sellulaasiseos pilkkoi hyvin tätä karboksimeetyloitua selluloosajohdannaista.

Vertailtaessa puhdasta ja teknistä CMC:aa ei suuria eroja havaittu. Ensimmäisessä kokeessa vain puhtaan laadun näytteet tuottivat biokaasua, mutta entsyymikokeessa teknisen laadun seokset olivat lähes yhtä tuottoisia kuin puhtaan seokset. On ilmeistä, että epäedustava näyte, mittalaitteiston vika tai mittausvirhe antoi entsyymikokeessa todellisuutta alhaisemman tuloksen puhtaalle CMC:lle. Saatuja arvoja verrattaessa puhtaan CMC:n kumulatiivisen metaanintuoton odottaisi olevan hiukan teknistä laatua korkeampi, sillä mustalipeä- ja jätevesiseoksien trendi oli yhtenevä. Jätevedessä oli helpommin hajoavaa materiaalia, kun taas mustalipeän ligniinipohjainen massa hajosi hitaasti anaerobisissa oloissa. Puhtaan CMC:n metaanipitoisuuden keskiarvo pysyi molemmissa kokeissa samana, kun taas teknisellä laadulla se nousi selvästi entsyymikokeessa. Ensimmäisessä kokeessa tekninen CMC ei tuottanut lainkaan biokaasua, mutta entsyymien kanssa tuotto oli hyvä, joten suolan mahdollinen toksisuus ei selittänyt tätä eroa. Myös kirjallisuuden perusteella kokeessa käytetyllä kuormituksella ei suolan määrä ole aiheuttanut inhibitiota mikro-organismeille.

Kokeista saatuja tuloksia pitää tarkastella kriittisesti, sillä rinnakkaisia näytteitä ei käytetty ja erityisesti CMC-näytteiden osalta suuresti eroavat tulokset kuvasivat heterogeenisyyden vaikutusta näytemateriaaleissa, sillä käytettävä jätemäärä oli pieni. Saadut tulokset kertoivat kuitenkin CMC-jätteen soveltuvuudesta anaerobiseen käsittelyyn, kunhan viipymäaika on tarpeeksi pitkä. VS arvon perusteella CMC:aa mineralisoitui prosessin aikana, joten jätemäärä väheni. Muiden jätteiden osalta voidaan myös sanoa, että sopivissa olosuhteissa jopa mustalipeäkin hajoaa biokaasua tuottaen. Lisäkokeet ovat kuitenkin tarpeellisia, jotta

jättemateriaalien todellinen biokaasupotentiaali mädätyslaitosta ajatellen saadaan selvitettyä. Laitoksessa entsyymien käyttö ei mahdollisesti tule kysymykseen.

8. Aerobinen käsittely

8.1 Yleistä kompostoitumisesta

Kompostoituminen on kontrolloitu, biokemiallinen ja mikrobiologinen happea kuluttava (biooksidatiivinen) prosessi, jossa mikrobiyhteisö hajottaa orgaanista ainesta kosteissa, aerobisissa ja riittävän lämpöeristetyissä olosuhteissa, ja joka johtaa termofiilisen vaiheen kautta heterogeenisen orgaanisen materiaalin muuttumiseen homogeeniseksi (de Bertoldi ym. 1990). Sen lopputuotteena syntyy hiilidioksidia, vesihöyryä, stabiilia humusta, epäorgaanisia suoloja ja lämpöä (Golueke 1972; Lehtokari 1984; Epstein 1997; Day ym. 1998; Bari & Koenig 2001). Jos materiaalissa on paljon orgaanista ainesta, niin tilavuuden vähenemä on myös suuri (Golueke 1972). Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden lisäksi syntyy rikkivetyä ja ammoniakkia (Schink 1988). Kompostoituminen perustuu kompostimassan sisältämiin ja luonnosta siirtyviin mikrobeihin, joista muodostuu näihin oloihin soveltuva mikrobikanta (Lehtokari 1984). Kompostoitumisessa eliöt hajottavat orgaanista ainesta saadakseen niistä ravinteita ja energiaa omien solujen rakennusaineeksi ja aineenvaihdunnan polttoaineeksi. Kompostille on ominaista itselämpiviisy ilman ulkopuolista energiaa (Martikainen 1991), ja lämpötilan käyttäytyminen näkyy hyvin prosessin aikana (Lehtokari 1984).

Aerobinen orgaanisten aineiden katabolia johtaa mineralisaatioon, eli alkuperäiset yhdisteet muuttuvat hiilidioksidiksi ja vedeksi (Bernal ym. 1998; Kafkewitz & Togina 1998), ja epäorgaaninen aines jäljellä olevassa massassa suhteellisesti lisääntyy (Day ym. 1998). Orgaanisen aineksen hajotessa happi toimii terminaalisenä elektronien vastaanottajana hiilen hapettuessa (Schink 1988; Hänninen ym. 1992). Hapen tarpeessa on huomioitava, että sen liukeneminen veteen on vähäistä ja laskee lämpötilan noustessa (Kafkewitz & Togina 1998).

Kompostointi käsittelymuotona vähentää jätemassan tilavuutta ja painoa. Vesipitoisuus laskee, muodostuu stabiloitua prosessijäännöstä ja patogeenit inaktivoituvat. Jäännös on helpompi varastoida, kuljettaa ja päästä siitä eroon kuin alkuperäinen massa. Näin

kaatopaikalle kelpaamattomasta syntyy kelpaavaa, ja lopputuote vaihtelee aina ruokamullasta kaatopaikan pintaosiin soveltuvaksi humuspitoiseksi materiaaliksi (Finstein ym. 1986a; O'leary ym. 1990; Epstein 1997). Humusyhdisteillä on tärkeä arvo maan parannusaineena niiden rakenteesta ja hivenaineiden pidätyskyvystä johtuen (Whitney & Lynch 1996). Huono kompostin hoito johtaa hypoksiin kohtiin, jolloin syntyy hiilimonoksidia, sulfideja, ammoniakkia ja haihtuvia orgaanisia happoja (Beffa ym. 1996; Albers ym. 2003).

Kompostointi voidaan teknisenä prosessina jakaa panos- ja jatkuvatoimiseen prosessiin mutta myös avoimiin ja suljettuihin prosesseihin. Jatkuvatoimisessa kompostoinnissa eliöyhteisö muuttuu samanaikaisesti. Panosprosessissa tapahtuu suknessiota, jota ohjaa kompostimateriaalista vapautuva energia. Samalla myös pH, lämpötila ja kompostimassan ulkonäkö muuttuvat (Lehtokari 1984). Kypsymisvaiheessa esiintyy myös alkueläimiä ja pieneliöitä (Hänninen ym. 1992). Panosprosessissa olosuhteet ja ravitsemustilanne vaihtelevat mikrobien hajottaessa substraattia (Lehtokari 1984), sillä suknession eri tasot ovat samanaikaisesti olemassa. Avoimia kompostityyppejä ovat erilaiset aumat, kun taas reaktorikompostorit, kuten tunneli- ja rumpukompostorit, ovat suljettuja kompostimuotoja. Tunnelikompostoinnissa aktiivinen vaihe tapahtuu sisätiloissa ja jälkikypsyminen ulkona aumoissa. Aumakompostointi on yksinkertainen ratkaisu, joka vaatii vain vähän investointeja, mutta on ajallisesti hitaampi ja vie tunnelikompostointia enemmän tilaa (Golueke 1982). Suljettu systeemi estää kaasujen, lämmön, veden, ravinteiden ja mikrobien leviämisen (Miller 1991).

Kompostoinnin työvaiheita ovat materiaalien hankinta, massojen yhdistäminen, sekoitukset, massan vienti kypsymisvaiheeseen, tuotteen valmistus, varastointi ja loppusijoitus. Tukiainetta pitää myös käsitellä (Finstein ym. 1987a). Massan sekoituksilla säädetään kosteus ja ravinteet sekä taataan ilman saanti. Sekoitukset riippuvat kompostin rakenteen vahvuudesta, kosteudesta, lämpötilasta ja materiaalin biologisesta luonteesta (Golueke 1982). Muina toimenpiteinä voivat olla kompostin kierrätys, orgaanisen tai epäorgaanisen aineksen tai seosaineiden lisääminen (Finstein ym. 1986b). Kompostoinnin edistymistä seurataan eri indikaattorimittauksilla ja lopulta syntynyt kompostituote sijoitetaan hyötykäyttöön. Tavoitteena on prosessin tehokkuus, tuotteen tasalaatuisuus ja hygienisointi (Niemi 1991). Aumakompostoinnin laitteistostona peruskuormaaja on taloudellisesti hyvä ratkaisu, ja jos tuotetta ei myydä, lisäävät ylimääräiset mittaukset vain kustannuksia. Esi- ja jälkikäsitely ovat myös kalliita (Walsh ym.1990). Kompostoinnista saatavilla tuloilla voi vähentää

käsittelykustannuksia, joita muodostuu tukiaineen käytöstä, käännoistä ja välineistä (Alpert & Epstein 1982). Jätteen tilavuuden väheneminen, stabiilin aineen muodostus ja orgaanisen materiaalin palautus maataloudelle ovat olleet syytä kompostoinnin suosion kasvuun viime vuosikymmeninä (Bari & Koenig 2001).

Kiinteän jätteen biologisen esikäsittelyn edut kompostoimalla ovat: valuvesien alhainen pitoisuus ja niiden vähäinen käsittelyn tarve, pienempi jälkihoitovaihe sekä kaatopaikalle vietävän jätteen väheneminen ja kaatopaikkakaasun muodostumisen pienentyminen (Norbu ym. 2005). Jotta kompostointi olisi taloudellista ja käytännöllisesti mahdollista, on huolehdittava, että energia- ja käyttökulut ovat alhaiset, prosessiaika on tarpeeksi lyhyt ja syntyvä lopputuote on käyttökelpoista. Näistä syistä avoin kompostointi on yleisempi kuin suljettu systeemi. Suljetussa systeemissä on parempi ympäristökontrolli mutta suuremmat kulut (de Bertoldi ym. 1982). On tärkeää selvittää käyttöastetta rajoittavat tekijät, sillä suuri hyödyntämis/toiminta-aste vähentää kuluja, aikaa ja käsiteltävää materiaalia (Finstein ym. 1986a). Tiedottaminen julkisuuteen ja mahdollisista valituksista huolehtiminen kuuluvat myös toimintaan (Walsh ym. 1990).

8.2 Materiaalit

Kompostointiin meneviä materiaaliavirtoja ovat raaka-aine, lisäaineet sekä tukiaineet ja niiden kosteus ja ilma. Poistuvia virtoja ovat kompostituote, poistokaasut ja valumavesi. Tukiaine kuohkeuttaa ja kuivaa kompostia, ja lisäksi se tasapainottaa C/N suhdetta (Hänninen ym. 1992). Tukiaineen määrä riippuu kompostoitavasta materiaalista. Ilmastussa aumassa lietettä kompostoitessa tukiaineen määrää pidetään 1/2–1/3 tilavuussuhteena lietteen määrästä (Haug 1982). Käytännössä on kuitenkin havaittu, että biojätteelle ja lietteelle tukiainetta on syytä laittaa vähintäänkin 50 % kompostimassan tilavuudesta (Hänninen 2005, suull.tiedonanto).

Lisäaineet laskevat tilavuuspainoa ja helpottavat ilmastusta. Energialisäaineet lisäävät biohajoavaa materiaalia, kun taas tukiaine parantaa kompostimassan rakennetta lisäten kompostin ilmatilaa. Ideaali lisäaine on kuiva, biohajoava ja pienen tilavuuspainon omaava materiaali. Lisähyötynä on orgaanisen materiaalin tuoma energialisäys. Jos lisäaine on hienojakoinen, niin riittävää ilmatilaa ei synny (Haug 1993), vaikka tukiaine joka tapauksessa lisää massan tilavuutta. Tukiaineita ovat muun muassa puulastut, turve, valmis komposti ja

kumipalaset. Ligniini ja selluloosa ovat vaikeasti hajoavia aineita, joten olki hajoaa nopeasti, turve hitaammin ja kuori/puuhake heikoiten (Martikainen 1991). Lisäaine maksaa, ja sen varastointi vie tilaa, mutta kompostoinnin päätyttyä tukiaine voidaan kierrättää, joka vähentää kuluja (Finstein ym. 1986a).

Kompostoitaviksi materiaaleiksi sopivat lähes kaikki biohajoavat materiaalit, joista yleisimpiä ovat erilliskerätty biojäte, keittiöjäte ja muut biojätteet, kuten lietteet ja puutarha/maatalousjätteet. Materiaalin koostumus vaikuttaa hajoamisnopeuteen ja lisä- ja tukiaineen määrään. Hiilen tulisi olla helposti hajoavaa, sillä suuresta hiilimäärästä huolimatta prosessi ei etene, jos substraatin hajoaminen on hidasta (Razvi ym. 1989).

8.3 Biologinen hajoaminen

Hajoamisen ensivaiheessa hajoavat sokerit, tärkkelys ja rasvat, sekä muodostuu orgaanisia happoja, ja pH laskee tämän seurauksena. Optimaalisissa olosuhteissa happojen hajotus on tehokasta, ja pH kohoaa verraten nopeasti. Proteiinien pilkkomisen jälkeen hajotettavina aineina ovat vain kuituaineet (Beck-Friis ym. 2003). Mikrobit eivät pysty hajottamaan kuituaineita solun sisällä, joten niiden hajottamiseen vaaditaan entsyymejä (Anonyymi 1984), jotka tekevät kuituaineista liukoisia substraatteja. Substraatin hajotuksessa happi pitää saada sisälle soluun ja lopulta käyttää näiden liukoisten aineiden hajotukseen. Lisäksi happea pitää pystyä kuljettamaan myös partikkeleissa (Haug 1993).

Varsinkin kompostoitumisen alkuvaiheessa entsyymeillä on tärkeä tehtävä suurten molekyylien pilkkomisessa. Entsyymien ominainen pH ja lämpötilaoptimi vaikuttavat eri materiaalien hajotusnopeuteen (Alm ym. 1993). Mondinin ym. (2004) mukaan koko aktiivisen kompostointivaiheen aikana esiintyi korkeat proteaasi-, lipaasi- ja sellulaasientsyymien aktiviteetit. Tärkeimmät entsyymit ovat sellulaasit, jotka hajottavat selluloosaa; β -glukosidaasit, jotka hydrolysoivat glukosideja; sekä aminohydrolaasi, proteaasit ja ureaasit, jotka ovat mukana typen mineralisaatiossa. Fosfataasit ja arylsulfataasit poistavat fosfaattia ja sulfaattiryhmiä orgaanisista yhdisteistä (Mondini ym. 2004).

Hajotus etenee isosta molekyylikoosta pienempään, ja lopulta soluhengityksessä hiilidioksidi ja vesi vapautuvat ilmaan, ja osa hiilestä jää jäljellä olevaan orgaaniseen aineeseen ja

varastoituu bakteerien protoblasmaan. Jos monimutkaisten yhdisteiden hajotusketjun alkuosa puuttuu, niin loppukaan ei onnistu (Golueke 1972). Kompostoitumalla orgaanista ainesta ei saada kokonaan hajoamaan edes eri mikrobien yhteistyöllä. Lopputuloksena muodostuu aina myös humusjäännöstä. Substraatti mutta myös fyysiset tekijät vaikuttavat hajotukseen. Lignosellulyyttiset aineet sisältävät vain vähän tyypeä ja fosforia, joista on kompostissa usein pulaa. Vihreä kasvimassa, eläinten lanta ja proteiinipitoinen ruokajäte tuovat tarvittavat ravinteet, ja kompostoituminen kiihtyy (Whitney & Lynch 1996)

Orgaanisen materiaalin biohajoamiseen vaikuttavat useat tekijät, jotka kuitenkin voidaan sijoittaa kahteen kategoriaan: 1. tekijät, jotka määrittävät hajotettavan materiaalin saatavuuden ja pitoisuuden, tai mitkä vaikuttavat mikrobipopulaation kokoon ja aktiivisuuteen, sekä 2. tekijät, jotka suoraan kontrolloivat reaktiokinetiikkaa, kuten populaatiokoko, lämpötila ja kosteus (Hamoda ym. 1998). Kompostoituminen hidastuu, jos biohajoava-aines vähenee, lämpötila on liian matala tai korkea, sekä jos kosteuspitoisuus on alhainen. Riittämätön ilmatilavuus, alhainen happipitoisuus ja puute ravinteista ovat myös syitä hajotuksen hidastumiselle. Erilaiset toksiset aineet, sopimaton pH tai mikrobien puuttuminen inhiboivat myös kompostoitumista (Haug 1993). Pelkistävät sokerit, kuten selluloosan lopputuote glukoosi, inhiboivat suurina pitoisuuksina sellulolyttistä hajotusta (Stewart & Leatherwood 1976), mutta eivät välttämättä estä kompostoitumista.

8.4 Mikrobit ja patogeenit

Koska mikrobit hajottavat orgaanista ainesta, ovat ne päätekijä kompostoitumisessa. Mikrobeista tärkeimpiä ovat bakteerit ja sienet. Niillä on voimakas leviämiskyky, sillä niitä ja niiden itiöitä tai kestromuotoja on ympäristössä runsaasti, joten prosessi alkaa helposti (Martikainen 1991). Lisääntyminen on lämpötilasta riippuvaa, ja kullakin lajilla on optimi lämpötila, jossa sen lisääntyminen on voimakkainta. Ne kasvavat nopeasti käyttämällä proteiineja ja muita saatavilla olevia substraatteja ravinnoksi. Lisäksi bakteerit sietävät korkeita lämpötiloja (Miller 1991; Khalil ym. 2001). Sienillä on tärkeä tehtävä erityisesti ligniin ja selluloosan hajotuksessa, ja kypsymisvaiheessa ne ovat läsnä (Miller 1991). Niveljalkaisilla ja muilla hyönteisillä on kompostoitumisessa myös tärkeä rooli, sillä ne vaikuttavat kompostimullan mururakenteeseen (Martikainen 1991; Hänninen ym. 1992). Aktinomykeetit (sädesienet) hajottavat monimutkaisia orgaanisia polymeerejä ja ilmestyvät

kompostoinnin loppuvaiheessa (Miller 1991). Paikalliset mikrobit leviävät ja lisääntyvät nopeasti muutosten mukana. Mikrobiympin tuonti on tarpeellista vain, jos kyseessä on jokin erityismateriaali, mutta tällöin vaaditaan aikaa ennen kuin populaatio sopeutuu uusiin olosuhteisiin. Kompostointi on dynaaminen prosessi, jossa mikrobipopulaatioiden syntymät ja kuolemat seuraavat toisiaan prosessilämpötilan funktiona (Golueke 1972).

Mikrobien esiintyminen jaetaan lämpötilan mukaisesti kolmeen luokkaan: psykoofiilinen (20–25 °C), mesofiilinen (30–40 °C) ja termofiilinen (yli 45 °C) (Martikainen 1991). Ennen kompostoitumista jätteissä on kaikkien edellä mainittujen luokkien mikrobeja. Psykoofiilisten ja mesofiilisten mikrobien aktiiviaika kompostissa on kuitenkin lyhyt, sillä ne inaktivoituvat jo yli 50 °C asteen lämpötilassa, ja vain muutama on havaittu yli 62 °C lämpötilassa (Khalil ym. 2001).

Vesi on tärkeä kaikille eläville organismeille, sillä 90 % mikrobien solujen sisällöstä on vettä, ja myös niiden ravinto on vesiliukoista (Hänninen & Koivula 1996). Mikro-organismit lisääntyvät ja elävät vain vesiliuoksessa, joten partikkeleihin adheesivoimin kiinnittynyt vapaa vesi on niille sopiva elinympäristö (Anonyymi 1984). Jos kosteus laskee alle 30 %:n, mikrobien toiminta hidastuu. Respirometrisesti mitattu aktiivisuus kaksinkertaistuu lämpötilan noustessa kymmenen astetta (0–60 °C välillä), jolloin hajotusnopeus kasvaa (Martikainen 1991; Haug 1993). Kompostin lämpötila voi kuitenkin edelleen kohota aina 80 °C:een. Tällöin on vaarana, että materiaali palaa tuhkaksi. Respirometristen mittausten mukaan 55–60 °C on optimilämpötila mikrobeille, sillä respirometrisesti mitattu hajotusaktiivisuus on korkeimmillaan ja lämpötila tappaa myös suurimman osan taudinaiheuttaja- ja alkueliöistä (Martikainen 1991). Carlylen ja Normanin (1941) tutkimuksessa mikrobien lämpötilaeroista ja käyttäytymisestä 60 °C asteessa mikrobien määrässä tapahtui nopea pudotus ja yli 60 °C lämpötilassa vieläkin vakavampi tippuminen. Hännisen (2005, suull.tiedonanto) tutkimusten mukaan yli 60 °C:n jälkeen niin sanottujen hypertermofiilisten bakteerien määrät alkoivat kasvaa kompostissa. Kun kompostin lämpötila nousee yli 60 °C:n, niin mikrobit alkavat käyttää suuremmissa määrin hyväkseen kompostimassassa olevaa sidottua happea (Hänninen 2005, suull.tiedonanto).

Sienet viihtyvät mieluummin vähän happamammassa ympäristössä, mutta sädesienet elävät taas korkeissa pH arvoissa (Alexander 1977). 20–40 °C:ssa hiivat, homeet ja haponmuodostajabakteerit hajottavat eniten orgaanista-ainesta. Kun ravinteita on paljon, ovat

aktinomykeetit poissa, sillä ne ovat huonoja kilpailemaan (Beffa ym. 1996). 40–60 °C lämpötilassa termofiiliset bakteerit, sienet ja aktinomykeetit lisääntyvät ja mesofiiliset vähenevät (Finstein & Morris 1975). Aktinomykeetit sietävät paremmin korkeita lämpötiloja, mutta yli 60 °C:ssa nämä vähenevät ja hajotusmäärä laskee (Alm ym. 1993; Beffa ym. 1996). Termofiiliset bakteerit ja sienet lisääntyvät lämpötilan noustessa, mutta yli 70 °C lämpötilassa sienet vähenevät ja bakteerit ja aktinomykeetit tuottavat lämmön. 50–60 °C lämpötilassa termofiiliset sienet palaavat takaisin (Epstein 1997).

Bakteereihin kuuluvat aktinomykeetit käyttävät ravinnokseen selluloosayhdisteitä mutta hieman myös ligniiniyhdisteitä (Hänninen ym. 1992; Haug 1993). Aktinomykeettejä ovat *Micromonospora*-, *Streptomyces*- ja *Actinomyces*-lajit. Lisäksi *Thermoactinomyces*-laji on tärkeä hajottaja korkeissa lämpötiloissa (Alm ym. 1993). Sienistä kompostissa esiintyvät *Mucor*-, *Aspergillus*-, *Humicola*-, *Chaetomium*- ja *Torula*-lajit. Syvemmissä kompostin osissa sienien ja sädesienten toimintaa rajoittaa liian korkea lämpötila ja riittämätön happipitoisuus (Finstein & Morris 1975; Hänninen & Koivula 1996). Sienet hyötyvät lämpötilan, pH:n ja kosteuden vähenemisestä, jota tapahtuu prosessin edetessä (Alexander 1977), ja ne ovat aktiivisia selluloosan hajottajia 55 °C asti (Alm ym. 1993). Esimerkkinä sellulolyytin *Aspergillus fumigatus*, joka viihtyy 35–60 °C:ssa (Beffa ym. 1996). Kompostin bakteerilajeja ovat *Pseudomonas*-, *Serratia*-, *Achromobacter*-, *Flavobacter*-, *Streptococcus*- ja *Esherichia*-lajit (Hänninen ym. 1992).

Mikrobit saavat ravintoa sokerien, proteiinien, rasvojen, lignoselluloosan ja epäorgaanisten mineraalien seoksesta (Hänninen & Koivula 1996). Bakteerit, sienet ja aktinomykeetit käyttävät hiilen ja typen eri tavalla sekapopulaatiossa, sillä 5–10 % hiilestä käyttävät bakteerit, 15–30 % aktinomykeetit ja 30–40 % sienet. Bakteerit tarvitsevat typpeäkin vain puolet muihin mikrobeihin verrattuna, ja niiden hyökkäys proteiineihin vapauttaa typen mikrobipopulaatioille. Vapaiden proteiinien käytön jälkeen sienet ja aktinomykeetit ovat valmiina hajottamaan monimutkaisia hiilivedyt (Miller 1991). Sienet voivat lisääntyä voimakkaasti, kun selluloosasubstraattia on läsnä mutta eivät kuitenkaan pysy kulttuurissa kauan. Selluloosan hajottajat ovat monipuolisia organismeja, jotka eivät pelkäävät käyttä selluloosaa mutta säilyvät myös heterogeenisessä maapopulaatiossa, jossa selluloosa on vain yksi substraateista. Nämä bakteerit ovat kykeneviä käyttämään myös muita polysakkarideja ja hiilihydraatteja hyväkseen. Selluloosaa hajottavia bakteereja ovat *Pseudomonas*-,

Achromobacter-, *Bacillus*- (Fuller & Norman 1943; Alm ym. 1993) ja *Cytoghaga*-lajit (Hänninen ym. 1992).

Kompostoinnin aikana pyritään estämään alkuperäisen jätemassan sisältämien patogeenien kasvu ja tuhoamaan ne sekä estämään patogeenien paluu valmiiseen kompostiin (Finstein ym. 1987b). Jos mikrobien diversiteetti on suuri, hiilen saatavuus vaikeaa ja kosteus epäsuotuisa, estävät nämä patogeenien uudelleenkasvun (Soares ym. 1995). Koska taudinaiheuttajat ovat yleensä mesofiilisiä, niin lämpötilan nosto termofiiliselle alueelle riittää tuhoamaan nämä kuten myös rikkaruohot (Anonyymi 1984; Anonyymi 1991). Entsyymien denaturoiminen lämpötilan kasvun yhteydessä on yksi syy mikrobien kuolemaan (Haug 1993). Koska sienet ja aktinomykeetit ovat tärkeitä hajottajia, ei lämpötila saa kuitenkaan kohota pitkäksi aikaa yli niiden optimaalisen lämpötilan (35–55 °C) yläpuolelle (Alm ym. 1993). Kuitenkin sienet ja aktinomykeetit selviytyvät korkeistakin lämpötiloista muun muassa itiöitymällä toisin kuin patogeenit, joten Almin ym. vaatimusta ei voitane pitää tärkeänä (Hänninen 2005, suull. tiedonanto).

8.5 Metabolia ja prosessivaiheet

Kompostointi koostuu neljästä vaiheesta, joista lämpenemisvaiheessa (mesofiilinen, 15–40 °C) bakteerit, sienet ja aktinomykeetit hajottavat helposti käytettävissä olevat hiilipitoiset jätteet, ja samalla muodostuu lämpöä. Sokerisienien nopean kasvun ja itiöiden tuoton johdosta ne voittavat muut sienet kilpailussa (Alm ym. 1993). Lämpötila kohoaa termofiilisten bakteerien hajottaessa materiaalia, ja hapen käyttö on voimakasta ja haihtuvien aineiden väheneminen suurta, joten hajuhaittojakin voi ilmetä (Golueke 1972; Finstein ym. 1986b; Haug 1993). Tämä kestää vain muutamia päiviä. Lämpövaiheen pituus on joitakin viikkoja, jolloin lämpötilan laskiessa mesofiilisten mikrobien toiminta vilkastuu (Anonyymi 1991; Finstein ym. 1986a). Alle 30 °C:ssa ilmestyy uusia mesofiilisiä, jotka ravinnon vähyydestä johtuen eivät kuitenkaan ole samoja kuin kompostoinnin alkaessa (Alm ym. 1993). Jäähdytysvaiheessa on jäljellä edellisten vaiheiden bakteerimassaa ja vaikeasti hajoavaa kuituainetta, kuten selluloosaa, ligniiniä ja hemiselluloosaa. Substraatin ja veden vähentyessä lämmöntuotto laskee. Tämä on niin verikkaista, että lämpötilaa ei pystytä pitämään yllä tuuletukseen verrattuna ja massa jäähtyy (Finstein ym. 1986a). Jos lämpötilan lasku on

jyrkkä, voi tämä kuvastaa hypoksisia olosuhteita (Lehtokari 1984). Tämän vaiheen päätyttyä jäte on jo pitkälle hajonnutta, ja lopulta kypsymisvaiheessa muodostuu humusta.

Alussa tapahtuva viipymävaihe on yleistä panosprosessissa, kunnes mikrobiaktiiviteetti tuottaa lämpöä ja neutraloi matalan tai korkean pH:n (Smårs ym. 2002). Viipymävaihe on selitetty myös mikrobiallisena sukkessiona, mutta kestää kuitenkin aikansa ennen kuin siirtymä mesofiilisista termofiilisiin organismeihin tapahtuu (MacGregor ym. 1981; Haug 1993). Alussa mesofiilisten organismien kasvu stimuloi korkeampaa lämpötilaa. Kun biohajoava materiaali kulutetaan, alkaa lämpötila laskea. Koska korkeat lämpötilat lisäävät termofiilistä kasvua, malli toistuu kuumemmalla tasolla. Metabolia on vähäistä korkeissa lämpötiloissa, ja suuresta lämmön kerääntymisestä seuraa mikrobien itsesäätely (MacGregor ym. 1981).

8.6 Ravinteet ja partikkelikoko

Typpi on soluproteiinien, nukleiinihappojen ja koentsyymien tarvitsema ravinne ja rakennusaine. Lisäksi tarvitaan pieniä määriä hivenaineita fosforia, rikkiä, kaliumia, magnesiumia, kalsiumia, rautaa, kobolttia, mangaania ja kuparia (Martikainen 1991; Hänninen ym. 1992; Haug 1993). C/P-suhteen olisi oltava 70–150 (Martikainen 1991). Liukoisten suolojen suuret pitoisuudet kasvuympäristössä ovat haitallisia itäville siemenille ja kasvien kasvulle. Yleisesti kompostissa olevat liukoiset suolat ovat kaliumkloridi, natriumkloridi, erilaiset nitraatit, yhdisteet joissa on sulfaattia sekä kalsium-, magnesium- ja kaliumkarbonaatit. Ravinnepitoisuudeltaan rikkaat lähtöaineet, kuten eläinten lanta, johtavat muodostuvaan kompostiin, jossa on runsaasti näitä suoloja (Watson <http://ohioline.osu.edu/anr-fact/0015.html>, 10.11.2005). Kompostoitumisen edetessä suolat liukenevat valumavesiin ja vähenevät. Almin ym. (1993) mukaan sienet pystyvät kasvamaan korkeammassa suolapitoisuuksissa kuin bakteerit.

Pieni partikkelikoko lisää aineiden liukenemista, diffuusiomatkat ovat lyhyet ja kaasunvaihtopinta-alaa on paljon (Anonyymi 1984; Razvi ym. 1989). Massa voi kuitenkin painua kasaan, jolloin hapen saanti estyy. Suuremmalla partikkelikoolla on parempi ilmanvaihto, ja kosteuspitoisuus saa silloin olla korkeampi. Partikkelien sisään voi kuitenkin jäädä hypoksia osia (Anonyymi 1984). Hamoda ym. (1998) havaitsivat, että yhdyskuntajätettä kompostoitaessa 40 mm partikkelikoko lisäsi partikkelien välistä ilmatilaa siinä määrin, että hapen pääsy partikkeleihin oli helpompaa ja hajotus siten nopeampaa.

8.7 Typen kierto ja hiili/typpi -suhde

Mikrobit käyttävät energialähteenään jättemassan hiiltä, jonka aineenvaihduntatuotteet käytetään osittain soluseinien rakentamiseen. Osa hiilestä vapautuu hiilidioksidina ja osa jää kompostimassaan, jonka määrä samalla pienenee. Materiaaleista riippuen käyttökelpoisen hiilen määrä vaihtelee. Jos orgaanista hiiltä on paljon tarjolla, ja jos happi on rajoittavana tekijänä, toimivat muut hapetettavat yhdisteet terminaalisisinä vedyn vastaanottajina (Whitney & Lynch 1996), ja tällöin muodostuu muun muassa haihtuvia ja haisevia rasvahappoja. Typpi on tärkeä mikrobien proteiinituotannon ja lisääntymisen kannalta (Haug 1993; Norbu ym. 2005). Jätevesiliete, lanta ja vihreät kasvit sisältävät paljon typpeä. Hajotus hidastuu, jos typen määrä suhteessa hiilen määrään on pieni tai liian suuri. Mikrobit eivät myöskään kykene lisääntymään substraatin määrän vaatimalla tavalla, jos kompostimateriaalissa on liian vähän typpeä (Lehtokari 1984). Kun typpeä taas on liikaa, se vapautuu ammoniakkinä, joka on myrkyllinen monille mikrobipopulaatioille (Miller 1991) ja estää lisäksi biologisen nitrifikaation tapahtumisen (Alexander 1977; Hänninen ym. 1992). Käyttökelpoisena hiili/typpi-suhteena (C/N) pidetään 20–30, ja jos hiili on vaikeasti hajoavaa, niin silloin 50 on sopiva (Martikainen 1991).

Proteiinien hajotuksessa syntyy rakennusainetta mikrobeille ja typpi vaihtuu orgaanisesta muodosta epäorgaaniseen liukoiseen ammonium-muotoon (typen mineralisaatio). pH:n ollessa alhainen typpi on ammonium-muodossa (NH_4^+) mutta muuttuu haihtuvaksi ammoniakiksi (NH_3) korkeissa pH-arvoissa (Golueke 1982; Beck-Friis ym. 2003). Kompostoinnin alussa termofiiliseen vaiheeseen mentäessä pH nousee (Beck-Friis ym. 2003), ja tällöin voimakas ilmastus edistää ammoniakin haihduntaa, jota korkea lämpötila vielä nopeuttaa (Golueke 1972; Beck-Friis ym. 2003). Nitrifikaatiossa, joka tapahtuu vasta lämpötilan laskettua (Anonyymi 1984, Beck-Friis ym. 2003), bakteerit hapettavat ammoniakkia nitriitiksi (NO_2^-) ja edelleen nitraatiksi (NO_3^-). Nitrifikaation alkaminen kuvastaa kompostoitumisen onnistumista ja stabiiliutta (Finstein ym. 1987b). Lopulta denitrifikaatiossa osa bakteereista voi pelkistää nitraatin typpikaasuksi (Payne 1973; Alexander 1977; Whitney & Lynch 1996). Sienet ja bakteerit voivat pelkistää nitraatin myös takaisin ammoniakiksi (Payne 1973; Whitney & Lynch 1996).

Orgaanisen typen määrä lisääntyy mikrobimassan mukana, mutta lopulta hiili ei enää pysty ylläpitämään koko mikrobimäärää, ja lämpötila laskee tämän seurauksena. Mikrobien kuollessa osa kasvavasta orgaanisesta typestä muuttuu takaisin liukoiseen muotoon

(Anonyymi 1984). Ammoniakin kerääntyminen mesofiilisen ja termofiilisen siirtymävaiheen aikana perustuu samaan asiaan. Typpi kiertää systeemissä mikrobisolujen kuollessa ja edelleen otettaessa uudelleen käyttöön, mutta hiili vain vähenee (Hortwath ym. 1996). Lisäksi eräät mikrobit kykenevät sitomaan ilmakehän typpeä, mikä siten myös rikastuu kompostimassassa (Alexander 1977; Epstein 1997; Campbell ym. 1999). Typen mineralisaatio-immobilisaatio-denitrifaatio -kierto jatkuu niin kauan, kuin energiaa on saatavilla (Bishop & Godfrey 1983). Maaperän hypoksisissa olosuhteissa nitraatti voi toimia terminaalisenä elektroniakseptorina (Payne 1973), jolloin proteiinirikkaiden materiaalien lopputuotteina syntyy ammoniakkia, amiineja, hiilidioksidia, rikkivetyä ja orgaanisia happoja (Alexander 1977). Nämä olosuhteet voivat joskus ilmetä myös kompostissa.

Normaalisti kokonaistypen suhteellinen pitoisuus kasvaa kompostoinnin aikana, kun haihtuvien orgaanisten aineiden vähenemä nopeasta hajotuksesta johtuen on suurempi kuin ammoniakin poistuma (Haug 1993; Bernal ym. 1998; Norbu ym. 2005). Optimaali C/N-arvo raaka-alle jätteelle on 25:1–30:1, joka vaihtelee jätteen koostumuksesta riippuen (Golueke 1972; Finstein & Morris 1975; Shin ym. 1996; Hamoda ym. 1998). Paljon hitaasti hajoavaa ainesta sisältävillä jätteillä suhde saa olla 1:35–40, sillä hiilidioksidin muodostus kaventaa suhdetta (Finstein & Morris 1975; Hänninen ym. 1992; Haug 1993). Liian korkealla suhteella typpi immobilisoituu, ja siitä syntyy kilpailua (Barberis & Nappi 1996). Jos suhde on lopussa vielä korkea, on kompostointia jatkettava, sillä massa voi sitoa maaperän typen omaan käyttöön (Anonyymi 1991). Alle 12 C/N-arvo ilmaisee hyvää yhdyskuntajätekompostin kypsyyttä (Inglesias-Jiménez & Pérez-García 1992). C/N-suhteen säätäminen nopeuttaa prosessia, joten proteiinienkin hajotus paranee lisättäessä hiilipitoista materiaalia (Kubota & Nakasaki 1991).

8.8 Kosteus ja pH

Kompostimassa sisältää alkukosteuden, ja hajotuksen tuloksena muodostuu lisää vettä, josta osa tosin haihtuu vesihöyryinä. Kosteus on siten osittain myös biologisen toiminnan ja orgaanisen aineksen hajoamisen tulos (Epstein 1997). Vesi on elintärkeä mikrobien kasvulle, mutta jos kosteus täyttää massan ilmaaot, kaasujen vaihto estyy ja muodostuu hypoksiset olosuhteet (Golueke 1972; Martikainen 1991). Kosteus ei saa kyllästyä substraattia eikä täyttää ilmatilaa, sillä ilman diffuusio nesteeseen on hidasta (Finstein ym. 1987b; Haug 1993). Liiallinen kosteus estää kompostimassan aerobisen lämpiämisen, sillä komposti ei saa

tarpeeksi atmosfääristä happea, ja veden haihduttamiseen tarvitaan myös paljon energiaa. Vettä on kuitenkin lisättävä, jos kosteus laskee alle 45–50 %:n (Hänninen ym. 1992). Matalat lämpötilat hidastavat lisäksi biohajoamisen tehokkuutta. Kuivassa kompostissa ei ole vettä liuottamaan orgaanista ainesta, jota mikrobit käyttävät energiatarpeisiin (Hamoda ym. 1998). Kun kosteus ja tiheys ovat suuria, kompostin oma paino vaikuttaa vertikaaliseen ja vapaaseen ilmatilaan sekä permeabiliteettiin (Das & Keener 1996). Suuri lietemäärä tekee seoksen kosteaksi ja tiiviiksi, jolloin syntyy hypoksinen tila (Lahtinen 1984; Hänninen 2005, suull.tiedonanto).

Kompostoitumisen alkuvaiheessa pH on alhainen. Happojen lisäksi hiilidioksidin kerääntyminen saattaa laskea pH:ta (Norbu ym. 2005), mutta tällä on kuitenkin hyvin marginaalinen merkitys. Alun viiveajan kesto riippuu pysyvän mikrobialisen aktiviteetin kyvystä muodostaa lämpöä. Toimivassa kompostissa mikrobit edelleen hajottavat hapot ravinnokseen ja lisäksi proteiinien hajotus nostaa pH:ta (Day ym. 1998; Beck-Friis ym. 2003; Norbu ym. 2005), joka voi nousta 8–9 tasolle (Hänninen ym. 1992). Kompostimassan kypsyessä käynnistyy nitrifikaatio, joka taas hiukan laskee pH:ta (Tiquia ym. 1998). Kompostissa on oma puskuri, sillä CO₂ heikkona happona ja NH₃ heikkona emäksenä puskuroivat prosessin pH-muutoksia (Hänninen ym. 1992). Mikrobeista sienet sietävät laajempaa pH väliä 5,5–8,0, kun taas bakteerien pH väli on kapeampi 6–7,5 (Golueke 1972).

8.9 Ilmastus

Aerobiset mikrobit tarvitsevat happea soluhengitykseen, joten suositus kompostin minimi happipitoisuudelle on 5 %:n (Schulze 1962; Parr ym. 1978; Willson ym. 1980) ja 10 %:n välillä (Suler & Finstein 1977). Tämä pitoisuus johtaa korkeaan lämpötilaan, joka edelleen pitää hapen saannin vähäisenä. Näissä erittäin korkeissa lämpötiloissa (yli 60 °C) kompostoituminen on hidasta atmosfäärisen hapen kulutuksella mitattuna ja lämpötila korkeampi kuin on tarpeen patogeenien tuhoamisen kannalta (Finstein ym. 1986a). Tuuletuksen tehtävänä on taata mikrobien hapensaanti mutta poistaa myös lämpöä ja kosteutta. Kuivatukseen ja lämpötilan säätämiseen tarvitaan selvästi enemmän ilmaa kuin hajotusta varten (Haug 1993). Veden haihtumisesta muodostuu 9/10 massan tuuletuksesta (MacGregor ym. 1981).

Pääasialliset ilmastusmuodot, jotka takaavat atmosfäärin hapen kompostoinnin aikana ovat: fyysinen massan sekoitus, luonnollinen konvektio ja pakotettu ilmastus (Kulcu & Yaldiz 2004). Hapeta pitää olla riittävästi, sillä CO₂ ja O₂ vaihto luonnollisessa konvektiossa perustuu kaasujen osapaineisiin (Anonyymi 1984). Martikaisen (1991) mukaan hapeta pitäisi olla vähintään 12 %, mutta liika ilma taas kuivattaa massaa. Maksimaalinen hapen kulutus tapahtuu noin 65 % kosteudessa, kun massan vapaan ilmatilan koko on 30 %, mutta kompostointitekniikka vaikuttaa tähän kosteusoptimiin. Tärkeimmät tekijät ovat huokoisuus, huokosten koot ja vapaa ilmatila (Epstein 1997). Tutkimuksien mukaan lämpö ja vesihöyry poistuvat parhaiten pakotetulla tuuletuksella. Imu-tuuletusta pidetään hyvänä sen hajuhaitan eston takia, mutta ohessa käytettävä biosuodin voi tiivistyä, jolloin se muuttuu itse hajulähteeksi. Lisäksi suodin vaatii tilaa (Finstein ym. 1986a).

Tuuletus kuivattaa massaa. Lähtömassan ominaisuudet vaikuttavat siihen, onko substraattia riittävästi vai vaikuttaako kuivuus kompostointiin (Finstein ym. 1986a). Mikrobit tarvitsevat hapeta, mutta ilma ei pääse massan alaosiin helpolla, joten happipitoisuus laskee. Citterion ym. (1987) kokeissa kompostimassan alaosissa oli kahden tunnin jälkeen puhalluksesta alle prosentti atmosfääristä hapeta, kun yläosissa tilanne oli hyvä. Ilmastuksella syntyy ilmakehän ja siten epätasainen tuuletus, joka näkyy lämpötila- ja kosteusprofiileista. Jotta kompostointi olisi tehokasta, pitää biologiset ja fyysiset olosuhteet olla tasaiset riittävän pitkän aikaa (Das & Keener 1996).

Aumoissa ilmastus tapahtuu luonnollisella ilmastuksella ja käännoissä. Luonnollinen ilmastus perustuu lämpimän ilman ylösnousemiseen ja kaasujen tiheyseroihin. Ilmastukseen vaikuttavat kaasujen tiheysero sisä- ja ulkoilmassa, massan partikkelikoko ja vapaan ilmatilan koko (Haug 1993). Aumassa painovoimainen ilmastus voi johtaa hapen riittämättömyyteen, jonka seurauksena hajoaminen muuttuu hypoksiseksi. Riittämätön ilmastuksen hallinta (ei lämpötilan palautekontrollia ja riittämätön ilman siirtokapasiteetti) johtaa liian korkeisiin lämpötiloihin, hapetettuihin tiloihin, hitaaseen hajoamiseen ja kuivumiseen (Finstein ym. 1986a). Reaktorikompostoinnissa hapen saanti on yleensä tasaista koko prosessin ajan (Hänninen ym. 1992). Tuuletus puhaltamalla aiheuttaa kuivumista, viilentää alaosia, ja lämpötila ja kosteus nousevat yläosissa aumaa. Imulla on vastakkaiset vaikutukset (Citterio ym. 1987). Käsittelyn tavoitteet ja kustannukset vaikuttavat valittavaan tuuletusmuotoon. Liiallinen tuuletus voi paradoksaalista kylläkin aiheuttaa kompostiin myös hypoksiaa kohtia (Hänninen 2005, suull. tiedonanto).

8.10 Lämpötila

Kompostin lämpötila muodostuu lämmön tuotosta (aerobisella hajotuksella), lämmön varastoinnista ja lämpöhäviöstä. Märkien substraattien pitää saavuttaa riittävä energiataso, jotta ylimääräinen vesi saadaan haihdutettua, kun taas luonnostaan kuivilla substraateilla suuri energiapitoisuus voi johtaa korkeisiin lämpötiloihin ja kuivumiseen (Haug 1993). Vähemmän energiapitoiset substraatit taas hidastavat korkeiden kompostilämpötilojen muodostumista (Miller 1991). Lämpöä poistuu säteilemällä, johtamalla, veden haihtumisella ja poistokaasujen mukana (Hänninen ym. 1992). Suurin osa lämmöstä vapautuu veden haihtumisen yhteydessä, kun taas lämmön johtohäviöt ovat pienet (MacGregor ym. 1981; Miller 1991). Lämmön kontrollointi tapahtuu kompostin kokoa ja muotoa säätelemällä ja on tehokkain systeemeissä, joissa se poistetaan lämpötilan palautteen mukaisesti ilmastuksella (de Bertoldi ym. 1982). Vesi huolehtii kompostimassassa lämmön varastoimisesta (Haug 1993).

Sekoituksen yhteydessä lämpö saadaan jakautumaan tasaisemmin (Miller 1991), mutta esimerkiksi pyöräkoneella sekoitettaessa voi syntyä paakkuja, jolloin lämpötila ei kohoa riittävästi ja voi syntyä hajuhaittoja (Anonyymi 1995). Koska lämpö ei leviä paakkujen sisälle, ei hygienisointi ole riittävää (Haug 1993). Materiaalin huokoisuus on päätekijä, jotta aerobiset olot säilytetään kompostissa, ja tämä vaikuttaa voimakkaasti lämmön vaihtuvuuteen eksotermisessä biologisessa hajoamisessa (Day ym. 1998). Nopea lämpötilan nousu syötön ja käynnön jälkeen indikoi aktiivisen mikrobipopulaation olemassaoloa, joka alkaa heti pilkkoa pienen partikkelikoon energiarikasta substraattia ja on siten helposti mikrobien käytössä. Kiinteän aineen vähenemällä on sama trendi kuin hiilidioksidin tuotolla, mutta sen päivittäiset vaihtelut ovat suurempia (Sundberg & Jönsson 2005).

Kompostoinnissa mesofiilinen ja termofiilinen vaihe ovat tärkeimmät. Golueke (1972) pitää mesofiilisiä mikrobeja jopa tehokkaampina hajottajina kuin termofiilisiä, mutta hygienisoinnin kannalta termofiilivaihe on olennainen. Mitä korkeampi lämpötila, sitä suurempi osa patogeeneistä kuolee, ja sitä nopeammin esikompostoitua materiaali on stabiloitu sekundäärisiä patogeenejä vastaan (Norbu ym. 2005). Lämpötilavälillä 0-20 °C hajotus on hidasta, joten lämmöntuottoa on vähemmän kuin pois karkaavaa lämpöä (Haug 1993). Alle 35 °C:ssa respirometrisesti mitattu hajotustehokkuus ja -nopeus kasvavat lämpötilan mukana mutta laskevat jälleen 30-35 °C välillä, jonka jälkeen pysyvät samana 55 °C asti. Tässä 35-55 °C välissä olevaa toiminta-aluetta ei kuitenkaan voida pitää organismien tärkeimpänä

toiminta-alueena eikä 55 °C mikrobien toiminnan optimilämpötilana. Lämpötilan edelleen noustessa kompostoitumisen tehokkuus ja nopeus nousevat. Hapenotto siirtyy enenemässä määrin kemiallisesti kompostimassaan sidottuun happeen (Hänninen 2005, suull.tiedonanto). Korkeissa lämpötiloissa osa mikrobeista valmistaa itiöitä muiden kuollessa (Golueke 1972; Hänninen ym. 1999). Pitää kuitenkin muistaa, että lämpötila vaihtelee kompostin eri osissa (Haug 1993), joten myös hajotusvaihe vaihtelee.

Mikrobien tuottama lämpö edistää mikrobien elinolosuhteita ja lämmöntuottoa (positiivinen palaute). Jos hapen saanti on tasaista ja lämmön poistuminen heikkoa, lämpötila nousee yhä korkeammalle ja lopulta lämmöntuotto laskee (Finstein ym. 1986a; Finstein ym. 1987c). Jätehuoltotarkoituksissa pyritään estämään tämä toinen romahdus, ja siksi lämpötilaa estetään ylittämästä 60 °C (Finstein ym. 1986a). Korkeissa lämpötiloissa hygienisointi on tehokasta, mutta vastaavasti tilavuuspainon muutos, lignosellulyyttisen materiaalin hajotus, C/N-suhteen muutos ja muut tavoitteet kärsivät (Suler & Finstein 1977). Myös hiilidioksidin tuotto on selvästi matalampi korkeissa lämpötiloissa kuin alle 60 °C:ssa (Rothbaum 1961).

Kompostoituminen, mikä johtaa kapeaan mikrobiyhteisöön, selittyy lämpötilan ja mikrobien lämmöntuoton vuorovaikutuksella. Kompostoituminen on spontaania, kun substraatin ja vesisisällön määrä on riittävä, massa sitoo riittävästi lämpöä, ja massa on huokoinen ilmakierron edistämiseksi. Turvaamalla mikrobikasvun kompostimassa menettää itse identiteettiään ja stabiloituu, joten lopulta lämmön tuotto loppuu ja massa viilenee (Finstein ym. 1986a).

Lämpöä muodostava aktiivisuus ei ole kovin herkkä hapen vaihtelulle, kun tietty lämpötilataso on saavutettu. Joten normaaleissa kompostiolosuhteissa lämpötila on merkittävämpi indikaattori kuin happipitoisuus. Lämmitysvaiheessa vaaditaan ilmastusta takaamaan happi aktiivisuuden lisäämiseksi, mutta tasaisen lämpötilan vaiheessa lämmön tuotto ja poistuma ovat yhtä suuret. Kun substraatin energia on käytetty loppuun, lämpötila laskee (Miller 1991). Lopussa kosteus onkin lämpötilaa tärkeämpi tekijä (Anonyymi 1995).

8.11 Kypsyys

Lämpötilan lasku on merkki kypsyudesta, mutta laskun ei saa johtua riittämättömän hapen määrästä tai kosteuden ja ilmastuksen vähydestä (Haug 1993). Jäähdyttyään kompostimassa

on mikrobiologisesti muun muassa patogeenien suhteen melko stabiilia mutta kypsää vasta pitkän maatumisvaiheen jälkeen, jolloin humusta muodostuu (Lehtokari 1984; Epstein 1997).

Kypsän kompostin väri on tumma, ja se tuoksu maalle, joka syntyy aktinomykeeteistä, joten substraattia on vielä jäljellä, kun tuoksu ensimmäisen kerran esiintyy (Golueke 1972). Fyysiset ominaisuudet, kuten väri, haju ja lämpötila, antavat tietoa hajoamisvaiheesta mutta vain vähän informaatiota kypsyystilasta. Tätä varten ovat kemialliset analyysit, kuten C/N-suhde, epäorgaanisen typen määrä, kationinvaihtokapasiteetti ja orgaanisen materiaalin humifioituminen (Bernal ym. 1998). Biologisia kypsyystestejä ovat muun muassa fytotoksisuus, typen mineralisaatio ja hengitystestit (Barberis & Nappi 1996).

Auto- ja heterotroofinen typen fiksaatio, nitrifikaatio, eksopolysakkaridien valmistus ja bakteerien humusyhdisteet lisääntyvät kypsymisvaiheessa (Beffa ym. 1996). Humusyhdisteiden lähtöaineina ovat ligniini, fenoliyhdisteet ja valkuaisaineet (Hänninen ym. 1992). Humusyhdisteitä ovat fulvohapot (fulvic acids, FA), humushapot (humic acids, HA) ja humiinit (Albers ym. 2003; Alm ym. 1993). Raa'assa kompostissa on paljon ammoniumtyyppiä, mutta nitriitti- ja nitraattitypen määrä kasvaa kypsymisen edetessä (Hänninen ym. 1992; Albers ym. 2003). Ligniinifraktio on vaikeasti hajoavaa, joten hiilidioksidin muodostus on vähäistä. Tästä johtuen yksittäistä parametria ei voida ottaa kompostin kypsyysindeksiksi (Goyal ym. 2005). Bernalin ym. (1998) kokeissa hitaasti hajoava olkijäte hidasti kompostin kypsymistä ja partikkelikoko oli myös haittana, joten vastaavanlaisille materiaaleille tarvitaan pidempi kypsymisaika.

Raa'alla kompostilla on voimakas hapen tarve ja suuri CO₂:n tuotanto, johtuen helposti hajoavan materiaalin hajotuksesta (Bernal ym. 1998). Märkä, raaka tuote lisää hypoksista hajotusta, jolloin syntyy haihtuvia ja haisevia aineita, kuten lyhytketjuisia rasvahappoja (Barberis & Nappi 1996; Hänninen 2006, suull. tiedonanto). Muurahaishappo (Hänninen 2006, suull. tiedonanto) ja etikkahappo, mutta mahdollisesti myös propioni- ja butyyrihappo aiheuttivat myös fytotoksisuutta DeVleeschauwerin ym. (1981) kokeissa. Nämä haihtuvat rasvahapot lisäävät raskasmetallien liukoisuutta maaperästä (Albers ym. 2003). On kuitenkin huomattava, että haihtuvat rasvahapot eivät kompostoitumisessa ole inhibitorisia prosessille samalla tavalla, kuin mitä ne ovat anaerobiselle hajoamiselle (Hänninen 2006, suull. tiedonanto). Patogeenit voivat palata takaisin kompostiin lähinnä kompostin huolimattomasta hoidosta johtuen, mutta valmiin kompostin vähäisestä substraatista ja muiden hajottajaeliöiden ekoloikeroiden valtaamisesta johtuen tämä on muutoin vaikeaa (Finstein ym.

1987b). Kokonais koliformit ja *Escherichia coli*-bakteerit kertovat kompostin hygienisyydestä (Soares ym. 1995).

9. Kompostointikokeet

9.1 Johdanto

CP Kelcon Ruotsin tehtaalla CMC-jätettä kompostoidaan aumoissa, joten tämän soveltumista kokeiltiin eri koejärjestelyin Suomen olosuhteissa. Leif Thorin (2005, suull.tiedonanto) kertoi, että 10 %:n CMC-pitoisuus on sopivin kompostointiin, sillä silloin ei muodostu pölyongelmaa. Lisäksi karboksimeetyyliselluloosa sitoo jätteestä muodostuvaa hajua. Prosessin käynyt vanha komposti sijoitettaessa auman päälle sitoo myös hajua ja tasaa hiukan lämpötilaa (Golueke 1982). Lisäksi CMC:aa on käytetty myös öljyisen maan kunnostamiseen, sillä se ei liukene öljyyn, vaan reagoi veden kanssa (Thorin 2005, suull.tiedonanto). Äänekoskella muodostuvat CMC-määrät ovat Ruotsin tehdasta suuremmat, ja kompostointi yksinkertaisena käsittelymuotona on ensi vaiheessa anaerobista käsittelyä helpompi toteuttaa. Läheiseltä tehdaskaatopaikalta löytyisi mahdollisesti myös tilat kompostoinnin aloittamiseksi.

Tarkempi jätteen soveltuvuus kompostointiin suoritettiin 220 litran pienkompostoreilla, mutta lisäksi tehtiin noin 2000 litran aumakomposti. VAPO Oy kiinnostui CMC-jätteen käytöstä korvaamaan turvetta tukiaineena jätevesilietettä kompostoitessa, sillä turpeen käyttö märkää lietettä kompostoitessa lisää huomattavasti kustannuksia. Tähän liittyen tehtiin 25m³ tunnelikompostointikoe. Kokeiden tarkoituksena oli tutkia CMC-jätteen soveltuvuutta kompostointiin ja massan reduktiota kompostoitumisen aikana. Pienkompostorikokeissa selvitettiin CMC-pitoisuuden ja eri laatuisten vaikutusta kompostoitumiseen sekä eri tukiaineiden soveltumista CMC-jätteen kompostointiin.

9.2 Materiaalit ja menetelmät

9.2.1 Materiaalit

CMC-jätettä muodostuu tehtaalla muun muassa lakaisujätteestä, mitä kerätään keräyslavoille. Keskuspölynimureihin imetään myös paljon jätettä. Kokeessa käytettiin anaerobisen käsittelykokeen ohella keskuspölynimurijätösäkkien puhdasta ja teknistä CMC-massaa. Kolmantena jättejakeena oli CMC-kuivurin kuivunutta tuotenappulaa, jonka raekoko oli moninkertainen jauhemaisiin pölynimurijätteisiin verrattuna, ja nappulat olivat lisäksi kovettuneita.

Tukiaineina käytettiin turvetta, kosteaa lehtipitoista haravointimassaa ja jättepuuhaketta. Pienkompostori- ja aumakokeissa käytetty biojäte oli pääasiassa Jyväskylältä kerättyä kotitalouksien ja ravintoloiden biomassaa, mutta hevosen lantaakin oli satunnaisesti mukana. Tunnelikompostoinnissa prosessoitiin Jämsän yhdyskuntajätevedenpuhdistamon lietettä ja tukiaineena oli turpeen lisäksi karkeaa kantomursketta. Nappulan kuiva-ainepitoisuus (TS %) oli selvästi pienempi kuin jauhemaisilla aineilla, mikä saattoi johtua nappulan kosteasta ytimestä (Taulukko 12). Teknisen tuotteen sisältämä suolan määrä näkyi myös pienempänä hehkutushäviönä (VS %), ja tämän vaikutusta kompostointiin myös tarkkailtiin.

Taulukko 12. Kompostikokeissa käytettyjen jättemateriaalien ominaisuudet. CMC-näytteiden (3 rinnakkaista) arvot ennen pienkompostointikoetta yksi, jätevesiliete ennen tunnelikompostointia ja muut (2 rinnakkaista) ennen toista pienkompostorikoetta.

Materiaali	TS (%)	VS (% TS)
CMC-puhdas	89,48±0,07	78,03±0,15
CMC-tekninen	91,08±0,08	70,29±0,01
CMC-nappula	71,13±1,10	78,75±0,99
Biojäte	28,68±2,88	-
Hake	78,20±1,27	-
Haravointijäte	26,18±1,96	-
Turve	36,53±2,46	-
Jätevesiliete	87,2	-
Kantomurske	-	-

9.2.2 Menetelmät

9.2.2.1 Pienkompostorikokeet

Kokeet tehtiin Jyväskylän yliopiston koehallissa Mustankorkea Oy:n jätteenkäsittelylaitoksella Jyväskylässä. Ensimmäinen koe suoritettiin 6.5.–20.7.2005 ja koe kaksi 25.7.–17.10.2005 välisenä aikana. Panosreaktoreina käytettiin 220 litran kannellisia Biolanin lämpökompostoreja, joita oli ensimmäisessä kokeessa kuusi kappaletta ja toisessa kokeessa neljä kappaletta (Kuva 11). Kompostoreissa oli lämpömittari, jonka avulla lämpötilan muutosta seurattiin. Koehallissa lämpötila oli kokeen ajan 20 ± 1 °C.



Kuva 11. Pienkompostorilaitteisto.

Kokeessa yksi käytettiin 1:1 tilavuussuhdetta biomassalle ja tukiaineelle. CMC-jäte laskettiin tukiaineeksi turpeen ohella. Kolmea CMC-jätetyyppiä käytettiin kutakin 10 % ja 20 %:n pitoisuuksina, ja loppu oli turvetta (Taulukko 13). Toinen osa (50 %) tilavuudesta oli biomassaa. Periaatteena oli pitää seoksen tilavuus jokaisessa kompostorissa samana, lisäksi kaikkien jätejakeiden määrät myös punnittiin elektronisella vaa'alla (AD-4326A). Lähtötilavuudet määritettiin noin 10 litran ämpäreillä ja 60–80 litran saaveilla. Ilmakierron turvaamiseksi kompostorien pohjalle lisättiin myös 15 litraa turvetta (10 % nappulaseoksessa 20 l). Rinnakkaisia koejärjestelyjä ei tehty.

Taulukko 13. Ensimmäisen pienkompostorikokeen lähtömassojen tilavuudet ja pitoisuudet. Kokonaistilavuus oli 220 l.

Kompostorit												
	10 % nappula		20 % nappula		10 % tekninen		20 % tekninen		10 % puhdas		20 % puhdas	
Materiaali	V/l	V/ %	V/l	V/ %	V/l	V/ %	V/l	V/ %	V/l	V/ %	V/l	V/ %
CMC	20	10	40	20	20	10	40	20	20	10	40	20
Turve	80	40	60	30	80	40	60	30	80	40	60	30
Biojäte	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50	100	50
Yhteensä	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100	200	100
Pohjaturve	20	-	15	-	15	-	15	-	15	-	15	-

Ensimmäisen kokeen perusteella päädyttiin kokeessa kaksi käyttämään pienempää CMC-pitoisuutta sekä eri tukiainemateriaaleja. Koejärjestelyt olivat samat kuin kokeessa yksi, mutta CMC-materiaaleiksi valittiin vain tekninen ja puhdas laatu, joiden pitoisuudet pidettiin noin 10 %:ssa. Vertailtavina tukiaineina olivat turve ja kuiva, noin 1–2 cm partikkelikokoinen, jättepuuhake (Ref-hake), jonka seassa oli hiukan muovisilppua (Taulukko 14). Jokaiseen kompostimassaan lisättiin vielä bio- ja haravointijätettä sekä kompostorin pohjalle 15 litraa haketta. Kokeen alussa kosteus pyrittiin säätämään ihanteelliseksi, joten materiaalien pitoisuudet määritettiin osaltaan kuiva-ainepitoisuuden mukaan. Kostean haravointijätteen tehtävänä oli juuri kosteuden lisääminen.

Taulukko 14. Toisen kokeen CMC-seosten tilavuudet ja pitoisuudet. Kokonaistilavuus oli 220 l, kun ylimääräinen osa poistettiin.

Kompostorit								
	tekninen ja hake		tekninen ja turve		puhdas ja hake		puhdas ja turve	
Materiaali	V/l	V/ %	V/l	V/ %	V/l	V/ %	V/l	V/ %
CMC	19	9,1	19	9,1	19	9,1	19	9,1
Lehtijäte	38	18,2	38	18,2	38	18,2	38	18,2
Turve/hake	38	18,2	38	18,2	38	18,2	38	18,2
Biojäte	114	54,5	114	54,5	114	54,5	114	54,5
Yhteensä	209	100	209	100	209	100	209	100
Pohjahake	15	-	15	-	15	-	15	-
Vähennys	4	-	4	-	4	-	4	-

Kokeiden koemateriaalit sekoitettiin saaveissa käsin ja lapiolla mahdollisimman homogeenisiksi. Ensin sekoitettiin tukiaineet ja sitten biojäte. Sekoitus paransi materiaalin

kuohkeutta, joten kaikki massa ei mahtunut kompostoreihin. Ylijäävä osa punnittiin ja vähennettiin massataseista. Pohjahakkeen/turpeen tilavuutta ei huomioitu erikseen lopputuloksissa.

Tärkeimpänä indikaattorina oli lämpötilan vaihtelu kompostoitumisen edetessä, mutta muita parametreja seurattiin näytteenoton avulla. Näytteet otettiin kokeen alussa, lopussa ja sekoitusten yhteydessä. Sekoitusten ajankohtaan vaikuttivat lämpötilan muutokset, mutta pyrittiin myös tasaisiin näytteenottojaksoihin. Näytteenottoa varten kompostoreista otettiin massa ulos niin tarkkaan, että vain pohjaturve/hake ja pieni osa kompostimateriaalia jäi kompostorin pohjalle. Nämäkin sekoitettiin kompostoreissaan. Massat sekoitettiin ilmapoksi käsin ja näytekauhalla saaveissa sekoittaen. Kokoomanäytteistä (2 rinnakkaista) määritettiin kuiva-aine (TS %) ja hehikutushäviö, eli orgaaninen aine (VS %) standardin (SFS 3008) mukaisesti. Ennen hehikutushäviön määrittämistä kuivatut näytteet jauhettiin yliopistolla leikkuumyllyllä (Retsch SM100) 10x10 mm sihdillä. Johtokyky mitattiin CDM210 Conductivity Meter-johtokykymittarilla ja pH määritettiin Merch pH-indicator -tikuilla Mustankorkean koehallin laboratoriossa (ei rinnakkaisia). Myöhemmin kokeen edetessä ja pH:n noustessa käytettiin myös Jyväskylän yliopiston elektronista pH-mittaria (Metrohm 744).

Koska tavoitteena oli määrittää kompostimassan reduktio (vähenemä) kompostoinnin aikana, kuuluivat näytteiden massat myös massatase-laskelmiin. Ensimmäisessä kokeessa jouduttiin osaan kompostoreista lisäämään biojätettä, joka huomioitiin laskuissa. Myös vettä lisättiin, mutta koska tulokset suhteutettiin myös kuiva-ainepitoisuuksiin, ei veden lisäystä huomioitu laskuissa. Pienkompostoreita ilmastettiin painovoimaisesti sekä kompostimassaa sekoittamalla.

9.2.2.2 Aumakompostointi

Ensimmäisen pienkompostorikokeen päätyttyä kaikkien kuuden kompostorin osittain kompostoituneet massat yhdistettiin aumaksi, johon lisättiin vastaavan suuruinen tilavuusosa lisämateriaalia tuoreista aineksista, kuitenkin siten, että Ref-haketta käytettiin tukiaineena. Näin auman kokonaistilavuus oli noin 2,3 m³ (Taulukko 15). Koe aloitettiin Mustankorkealla Jyväskylän yliopiston koeauma-alueella 27.7.2005 ja kompostoinnin kehittymistä seurattiin 17.10.2005 asti.

Materiaalien pitoisuudet pyrittiin pitämään ensimmäisen kokeen mukaisina. Kokeen yksi kokonaismassan CMC-pitoisuus oli 15 til- %, ja auman lähtötilanteen pitoisuudeksi saatiin noin 13 til- %. Auman massa ja tilavuus määritettiin kuten pienkompostorikokeissa. Uusi kompostimateriaali sekoitettiin koehallin pihassa lapiolla, jonka jälkeen se vietiin peräkärkykuljetuksena auman valmistuspaikalle. Lapiointivaiheessa satoi vettä, mikä nosti massan kosteutta. Auman alustana olevan betonilevyn päälle asetettiin aluksi pohjahake. Kompostimassasta tehtiin noin kolmen metrin pituinen ja 1,5 metrin levyinen auma, jolle korkeutta muodostui vajaa metri (Kuva 12). Tämän tuoreen massan päälle levitettiin tasaisesti ensimmäisessä kokeessa muodostunut massa.

Taulukko 15. Aumakompostissa käytettyjen materiaalien tilavuudet ja massat.

Materiaali	Tilavuus/l	Massa/kg
Uusi massa		
Biojäte	600	415
Hake	600	90
CMC-tekninen	90	66
CMC-puhdas	90	59,1
Pohjahake	-	82,3
Yhteensä:	1380	712
Koe I massa		
	978	529
Auma yhteensä	2358	1241

Aumakompostissa lämpötilaa tarkkailtiin samalla lämpömittarilla kuin pienkompostorikokeissa, noin 15 cm mittausvyvyydestä. Lämpötila mitattiin useasta eri kohdasta, joista laskettiin keskiarvo. Auman koko kuitenkin vaikutti epätasaisiin lämpötiloihin. Lämpötilan selkeästi laskiessa suoritettiin käännöt talikolla ja auman korkeutta säädettiin myös kahteen otteeseen. Aumassa oli painovoimainen ilmastus, ja aumaa ei katettu. Lämpötilan käyttäytyminen oli pääparametri, ja näytteitä otettiin vain kertaalleen pienkompostorikokeiden mukaisesti.



Kuva 12. Kompostiauma.

9.2.2.3 Tunnelikompostointi

Yhteistyössä CP Kelco Oy:n ja VAPO Oy:n kanssa suoritettiin koe Mustankorkean koetunnelireaktorissa 21.9.–12.10.2005 välisenä aikana. Materiaaleista tehtiin ennen koetta alustavat pitoisuuslaskelmat, jotta saavutettaisiin optimaaliset kosteusolosuhteet. VAPO Oy:n tutkija FK Seppo Järvinen oli vastaava prosessin hoitaja, joka organisoivat kokeen ja hoiti tunnelin toimintaa.

Hake soveltuu hyvin lietteen kompostointiin, mutta sitä käytettäessä on huolehdittava, ettei massasta tule amorfista, jolloin ilmakierto vaikeutuu ilmarakojen täytyessä (Golueke 1982, Shea ym. 1982). Hakkeen 2–3 kertaista tilavuutta lietteeseen nähden on käytetty onnistuneesti lietekompostoinnissa, jolloin rakenne on säilynyt optimaalisena (Haug 1982). Tehdyn kokeen tavoitteena oli korvata puolet turpeesta CMC:lla, ja sopiva kantomurske määrä antaisi massalle riittävän rakenteen (Taulukko 16). Panoksen lähtökosteuden haluttiin olevan 65 %, jonka mukaisesti materiaalien massat laskettiin (Järvinen 2005). CMC-jätteenä käytettiin pääasiassa puhdasta laatua, mutta pieni osa oli myös teknistä CMC:aa.

Taulukko 16. Tunnelikompostipanoksen materiaalikoostumus (Järvinen 2005).

Materiaali	Massa/t	Tilavuusosuus m ³ /lietetonni
Liete	13,8	-
Kantomurska	8,1	2
Turve	0,9	0,22
CMC	2,3	0,22
Pohjahake	0,4	-
Yhteensä	25,5	

Kokeen alkua edeltävänä päivänä oli kantomurska, liete ja osa turpeesta jo alustavasti levitetty koehallin pihalle pediksi. Aloituspäivänä massa sekoitettiin pyöräkuormaajalla ja suursäikeissä oleva CMC-jäte valutettiin haarukkapiikeistä roikottamalla. Sekoitus piti alun perin tehdä Mustankorkean kompostilaitoksen sisällä sekoitusyksikössä, mutta tästä luovuttiin CMC:n pölyävyyden takia (Järvinen 2005). Sekoitus tehtiin lopulta koehallin pihassa, ja koska sää oli tuulinen, niin tämä lisäsi pölyhaittaa. Lisäksi märän lietteen liisteröityminen CMC:n ja muun materiaalin kanssa vaikeutti pyöräkoneen työskentelyä, ja samalla massa muuttui kokkareiseksi. Lopuksi massaan sekoitettiin loput turpeesta ja ennen tunneliin annostelua pohjahake lisättiin tunnelin pohjalle (Kuva 13). Oviluukun sulkemisen ja ilmakierron kytkemisen jälkeen prosessin etenemistä seurattiin tietokoneelta.



Kuva 13. Tunnelikompostointikoe.

Kompostointiaika oli kolme viikkoa, ja käännöt tehtiin pyöräkuormaajalla viikon välein, jolloin massa myös punnittiin. Käyntöjen yhteydessä otettiin myös näytteet kompostimassasta, että jätevedestä. Jätevesinäytteestä tutkittiin muun muassa CMC:n sisältämän suolamäärän muutoksia. Näytteet analysoitiin ENAS Oy toimesta Jyväskylässä.

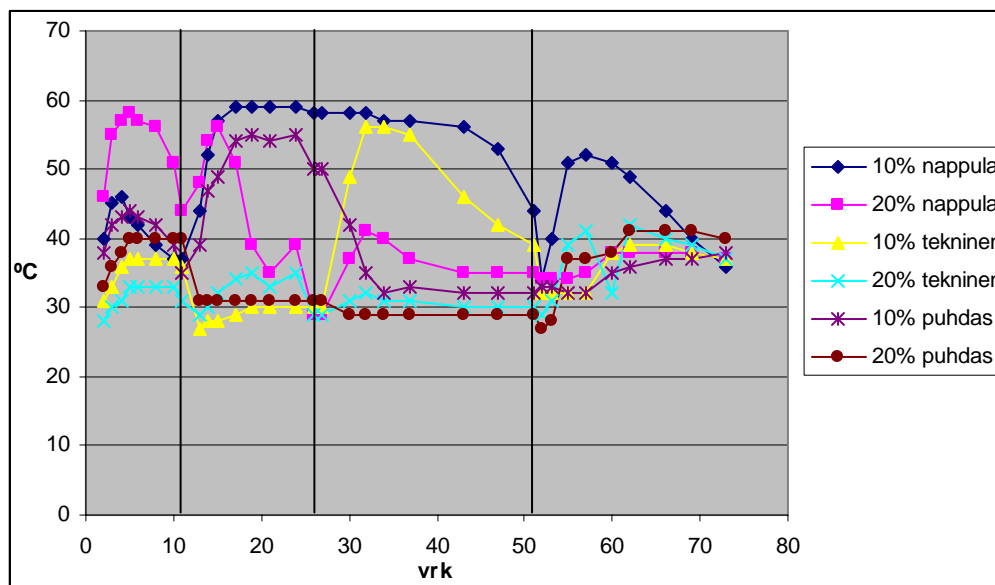
Ajoparametreina oli ensimmäisellä viikolla neljän tunnin hapetusvaihe, jota seurasi lämmitysvaihe. Lämmitysvaiheessa happipitoisuuden alaraja oli 13 % ja yläraja 17 %. Tällöin lämpötilan tulisi nousta 55 °C:een, jossa tapahtuu 48 tuntia kestävä hygienisointivaihe. Tässä vaiheessa hapen yläraja pidetään samana, mutta alaraja nostetaan 14 %:iin korkeamman hapenkulutuksen takia. Ylläpitovaihe jatkuu 52 °C:ssa sekoitukseen asti, ja happirajat pidetään entisellään. Sekoitusten jälkeen ylläpitovaihe jatkui. Ilmastuksella pyrittiin pitämään ilmamäärä samana koko tunnelivaiheen ajan, ja tuloilmapuhaltimen nopeutta säädettiin tarvittaessa (Järvinen 2005). Koetunneli oli yhteydessä biosuotimeen, jonka toiminta ei koeajon aikana muuttunut.

9.3 Tulokset ja niiden tarkastelu

9.3.1 Pienkompostorikokeet

9.3.1.1 Kompostoitumisprosessi ja lämpötila

Ensimmäisessä kokeessa lämpötilan kohoaminen halutulle 55 °C hygienisointitasolle oli vaihtelevaa, mutta suurin osa kompostoreista saavutti tämän tason ainakin väliaikaisesti (Kuva 14). Erityisesti 20 % CMC pitoisuuksilla prosessi oli ongelmallista hallita, ja syyksi epäiltiin alhaista kosteutta.



Kuva 14. Ensimmäisen pienkompostorikokeen lämpötilajakauma jaettuna sekoitusten välisiin jaksoihin.

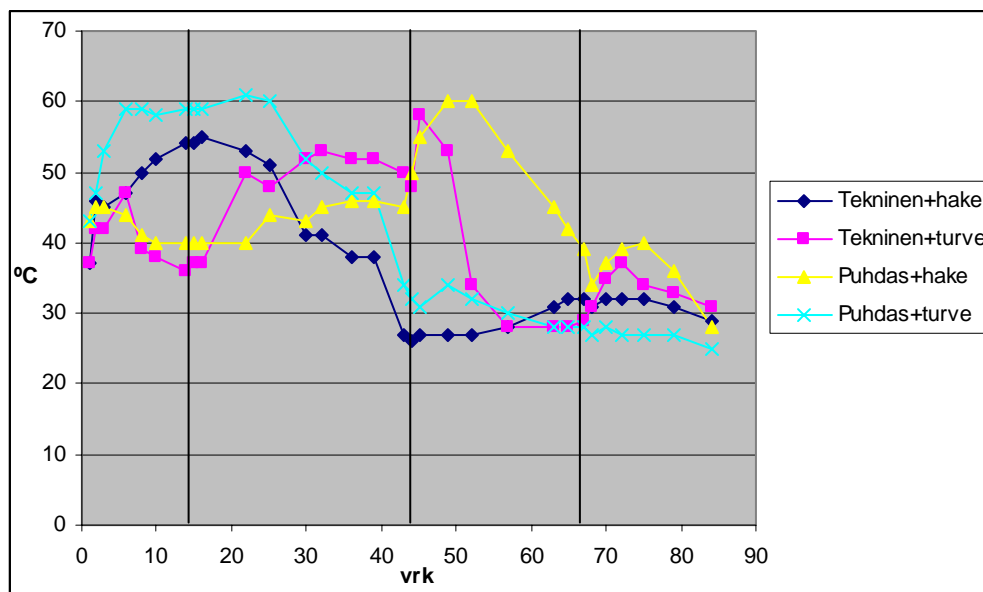
Kuvaaja on jaettu sekoitusten välisiin jaksoihin, ja siitä nähdään, että ensimmäisessä jaksossa, jossa kompostoitumisen pitäisi olla kiivaimmillaan, vain 20 % nappula-massa saavutti korkean lämpötilan. Massa lämpeni jokaisessa kompostorissa, mutta erityisesti tekniset- ja 20 % CMC-puhdasmassa jäivät alhaisiin lämpötiloihin. Syyksi epäiltiin liian kuivia olosuhteita, mikä oli havaittavissa korkeista TS-pitoisuuksista ja minimaalisesta tiivistymisvedestä kompostorien sisärakenteissa. Metaboliavesi edisti hiukan olosuhteita ja lämpötila kohosi, mutta vain nappulamassoilla alkukosteudet olivat riittävät (Taulukko 17). Tämän seurauksena 20 % tekniseen ja puhtaaseen massaan lisättiin 10 litraa vettä ja 10 % teknisen ja puhtaan massan sekaan 5 litraa vettä saaveissa sekoittaen. Samalla sekoitettiin nappulamassat. Veden lisääminen ja sekoitus nostivat kolmen massan lämpötilan yli 50 °C:een.

Toisen sekoituksen yhteydessä matalan lämpötilan kompostoreihin lisättiin 10 kg biomassaa (tuorepaino) kompostoitumisen edistämiseksi. 10 % nappula- ja 10 % puhdasmassoihin ei tehty toimenpiteitä. Erityisesti 10 %:n teknisen- ja myös 20 %:n nappulamassojen lämpötilat kohosivat lisäyksen johdosta, mutta muiden 20 %:n massojen lämpötilat pysyivät edelleen alhaisina. Kolmas sekoitus ja näytteidenotto tehtiin 10 %:n nappula ja teknisen massan lämpötilojen laskiessa. Neljännen jakson aikana 10 % nappulan lämpötila nousi uudelleen, mutta ensimmäistä kertaa myös 20 %:n puhtaan ja teknisen massan lämpötiloissa oli selvää

kohoamista. Mahdollinen mittausvirhe tai epäpuhtaus mittarissa aiheutti 60. koepäivän yksittäisen lämpötilan laskun 20 % teknisen massan kuvaajassa.

Kosteus pysyi 10 %:n nappulamassalla koko kokeen ajan tasaisena ja lämpötila oli korkea. Lämpötilannousu viimeisen sekoituksen jälkeen kertoi, että hapen tarve vastasi tarjontaa ja siitä, että biohajoavaa materiaalia oli vielä jäljellä. Veden- ja biomassan lisäykset 20 % nappulalla eivät edesauttaneet lämpötilan nousua. Vaikka nappulat eivät sido kosteutta kuten jauhemainen CMC ja tiivistyminen on vähäistä, on 20 % nappulalla loppukosteuden perusteella näin kuitenkin tapahtunut (Taulukko 19). Teknisen CMC:n 10 %:n CMC seoksella vasta veden ja biojätteen lisäyksen jälkeen lämpötila nousi korkealle, ja hidas lämpötilan lasku kuvasti luonnollista kompostoitumista. Lämpötila pysyi koko kokeen ajan alhaisena 20 % teknisen CMC-seoksessa, ja pääsyy tähän oli alhainen kosteuspitoisuus (60 %). Näin suuri CMC:n määrä teki massasta tiiviin, ja sekoituksessa syntyi lisäksi paakkuja CMC:n sitoessa tehokkaasti kosteutta. CMC:n 10 % puhdasta massaa ei sekoitettu 27 päivänä, ja lämpötila alkoi laskea. Kosteuspitoisuus 60 % oli kuitenkin tälle 10 % CMC-pitoisuudelle sopiva, joten tiivistyminen ja hapettomuus lienevät pääsyytä lämpötilan laskuun. Puhtaan massan 20 % pitoisuudella alkukosteus oli niin alhainen, että edes veden ja biomassan lisäykset eivät parantaneet olosuhteita riittävästi. Vasta viimeisen sekoituksen jälkeen lämpötila kohosi hiukan.

Toisessa kompostikokeessa massojen alkukosteudet olivat tasaisemmat ja lähes kaikki massat nousivat hygienisointilämpötilaan (Kuva 15). Teknisen CMC:n ja hakkeen kosteus pysyi kokeen alussa melko korkeana (noin 60 %), mutta toisessa sekoituksessa lämpötila laski, samalla kosteus oli laskenut 57 %:iin (Taulukko 20). Mahdollisesti alussa hake edisti ilman saantia ja metaboliavesi nosti kosteuden optimaaliseksi, ja lämpötila kohosi. Kokeen lopussa kompostimassa oli kuiva ja väriltään harmahtava, mutta epämiellyttävää hajua ei syntynyt.



Kuva 15. Toisen pienkompostorikokeen lämpötilajakauma jaettuna sekoitusten välisiin jaksoihin.

Teknisen CMC:n ja turpeen seoksen lämpötila nousi ensimmäisen sekoituksen jälkeen (kosteus 63 %), ja sekoitus edisti hapen saantia. Toisen sekoituksen jälkeen lämpötila laski nopeasti, mikä johtui mahdollisesti hapen puutteesta, sillä kosteus oli sopivalla tasolla (64 %). Lämpötila pysyi tätä ennen korkeana, mutta kuvaajan osoittama erittäin nopea lämpötilan lasku kuvasi kompostoitumisprosessin tehon laskua. Turve tukiaineena ei mahdollisesti päästänyt ilmaa virtaamaan yhtä tehokkaasti kuin hake, joten ilmastus ei ollut riittävää. Gean ym. (2005) 100 litran paperijätelietekompostoinnissa lämpötilan nopea tippuminen ilmastusongelmista johtuen kuvasti myös ilmastuksen ja hapen saannin tärkeyttä. Heidän kokeessaan selluloosa hajosi kuitenkin lähes 68 %:sti. Pohjamateriaali oli kokeen loputtua kuivaa ja haisi epämiellyttävälle, mutta kokonaisuudessa oli tummaa, kosteaa ja hajuhaittoja ei esiintynyt.

Puhtaan CMC:n ja hakkeen seoksella alkukosteus oli 58 %, ja lämpötila nousi vasta toisen sekoituksen jälkeen, jolloin kosteus oli riittävä (62 %). Hidas lämpötilan lasku johtui osaltaan biohajoavan massan vähenemisestä, mutta hapen saanti on voinut olla myös tärkeä tekijä. Kompostimassan pintalämpötilat olivat ensimmäisen sekoituksen jälkeen yli kymmenen astetta sisälämpötiloja korkeammat, ja sama oli havaittavissa myös viimeisen sekoituksen jälkeen. Nämä arvot kuvasivat painovoimaisen ilmastuksen tehottomuutta tiiviissä CMC-massoissa mutta tehokasta kompostoitumista kuohkeissa pintaosissa. Myös kuiva pohjahake oli sisäosia lämpimämpi, mutta muuten massa oli tummaa ja haisi vahvasti ammoniakille.

Puhtaan CMC:n ja turpeen kuvaaja seurasi täysin normaalin kompostoitumisen lämpötilakuvaajaa. Alussa tapahtui voimakas lämpenemisvaihe ja hygienisoituminen, eikä sekoitus vaikuttanut korkeisiin lämpötiloihin. Lämpövaiheessa lämpötila laski hiljalleen, jolloin sekoitukset nostivat vain hiukan aktiivisuutta. Lopulta lämpötila laski lähelle ympäristön lämpötilaa ja kypsymisvaihe alkoi, kun suuri osa biohajoavasta aineesta oli käytetty ravinnoksi. Kosteuspitoisuus pysyi koko prosessin ajan yli 60 %:ssa loppukosteuden ollessa 69 %. Viimeinen sekoitus ei enää nostanut massan lämpötilaa, joten se oli lähes kompostoitunutta. Hajuhaittoja ei tummasta kosteasta massasta seurannut.

Kaikissa kompostoreissa pintalämpötilat olivat korkeammat kuin sisälämpötilat. Erot olivat suurimmat heti sekoitusten jälkeen, mutta termofiilivaiheen korkeissa lämpötiloissa eroja ei ilmennyt. Pohjalämpötilat erosivat myös sisälämpötiloista, mutta nämä eivät olleet suuria. Kompostorien mitattu lämpötila muodostui kompostorin sisällä olevan putkiston ilman lämpötilasta, joten massan tilavuuden vähentyessä putkisto tulee massan alta näkyviin, ja tästä seuraa lämpöhäviötä. Tähän liittyen on kompostorien lämpötila-arvoihin, varsinkin kokeen lopussa, suhtauduttava kriittisesti. Massan vähentyessä sen lämmönpidätyskyky myös vähenee.

9.3.1.2 Massan ja tilavuuden reduktio kompostoitumisessa

Kompostimateriaaleista määritettiin massa- että tilavuusreduktio (Taulukot 17 ja 18). Laskelmissa huomioitiin lisätty biojäte ja otettujen näytteiden massat vähennettiin alkumassasta. Massoista määritettiin sekä märkä- että kuiva-aineen mukainen reduktio. Biojätteen kuiva-aineena käytettiin Taulukon 12 arvoa ja myös näytteiden massoissa huomioitiin TS(%)-pitoisuudet. Tilavuuksia tarkasteltiin vain alku- ja lopputilanteen mukaisesti. Kompostorien alkutilavuus oli 220 l, ja lopussa tilavuus määritettiin mittaamalla kompostorin sisäpinta-ala (23 dm^2) ja massan pinnan alenema (cm). Tämän määrittämisperiaatteen virheraja oli suuri, sillä pinta-alan mittaaminen ja keskimääräinen laskumatka ovat epätarkkoja määrittää. Toinen tapa olisi ollut tilavuuden mittaaminen saaveilla, mutta silloin komposti olisi ollut kuohkeampaa kuin kompostorissa ollessaan. Pohjaturve/hake sisältyvät kokonaismassaan ja -tilavuuteen.

Taulukko 17. Ensimmäisen kompostointikokeen massa- ja tilavuusvähenemät.

	Massan reduktio/kg (tuorepaino)	Reduktio m- % (tuorepaino)	Massan reduktio/ kg (TS)	Reduktio m- % (TS)	Tilavuus reduktio/ l	Reduktio til- %
10 % nappula	15,3	19	6,6	24	26,8	17
20 % nappula	10,7	11	7,1	20	29,9	13,6
10 % tekninen	7	7	10,8	24,8	34,5	15,7
20 % tekninen	-3,23	-3,1	12,9	23,5	41,4	18,8
10 % puhdas	2,3	2,8	8,3	22,4	36,8	16,7
20 % puhdas	2,7	2,7	17,3	29,4	43,7	19,9

Ensimmäisessä kokeessa lämpötilakäyrän perusteella parhaiten kompostoituneen 10 % CMC-nappulamassan tuorepaino reduktio oli suuri, ja myös 20 % nappulalla vähenemä oli yli 10 %. TS(%) reduktio oli kuitenkin kaikilla massoilla tasaista. Tilavuusreduktio oli 20 % materiaaleilla suurin, mikä kertoi osaltaan näiden tiivistymisestä. Toisaalta niiden TS massareduktiot olivat myös suurimmat. Kosteusvaihtelut olivat suuria, mutta laskennallisesti vettä poistui kompostoinnin aikana vain 10 %:n nappulaseoksesta.

Toisessa pienkompostorikokeessa tulosten vertailu oli selvästi helpompaa kuin ensimmäisessä kokeessa, sillä olosuhteet olivat paremmat, joka näkyi suoraan lämpötilaeroissa ja reduktioissa. Vähenemät olivat kaksinkertaiset ensimmäiseen kokeeseen verrattuna, vaikka kokeiden kesto oli lähes yhtäläinen. Tuorepainovähenemät olivat hakemassoilla selvästi suuremmat, mikä havaittiin myös kuiva-aine massoja tarkasteltaessa (Taulukko 18). Tilavuuksia vertailtaessa korkeimmat lämpötilat saavuttaneet puhtaan CMC:n seokset vähenivät eniten ja erityisesti puhtaan CMC ja turpeen seoksen 58 % reduktio oli suuri. Koska puulastujen hajoaminen kestää useita kuukausia ja niissä on myös fytotoksisia yhdisteitä ja vain vähän typpeä (Pudelski 1987), saatiin kokeen olosuhteet näiden suhteen optimaalisiksi, sillä inhibitiota ei esiintynyt.

Taulukko 18. Toisen kompostointikokeen massa- ja tilavuusvähenemät.

	Massan reduktio/kg (tuorepaino)	Reduktio m- % (tuorepaino)	Massan reduktio/ kg (TS)	Reduktio m- % (TS)	Tilavuus reduktio/ l	Reduktio til- %
tekninen +hake	53,3	49,5	23,3	48,9	57,5	26,2
tekninen +turve	34,6	33	17,5	41,1	71,3	32,4
puhdas +hake	41,3	42,4	21,4	52,8	80,5	36,6
puhdas +turve	32,5	32,5	16,9	44,5	128	58,2

9.3.1.3 Kuiva-aine (TS %), orgaaninen aines (VS %), johtokyky ja pH

Ensimmäisessä pienkompostorikokeessa VS pitoisuuden vähenemä oli 10 % CMC-nappula- ja puhdasmassalla noin 6 %, ja heikoimmat arvot saatiin 20 % puhtaan ja teknisen CMC:n massoille (Taulukko 19). Alussa pH oli kaikilla seoksilla alhainen, mikä oli seurausta aikaisemmin alkaneen biojätteen hajotuksen tuottamista hapoista sekä osaltaan myös happaman turpeen käytöstä. Kompostoitumisen aikana pH kuitenkin nousi. Huokoisuus vaikuttaa hapen ja hiilidioksidin vaihtoon, jolloin hiilidioksidia voi kertyä (Norbu ym. 2005), joka vaikuttaa taas pH arvoon, jonka vaihteluille erityisesti sienet ovat herkkiä (Giovannozzi-Sermanni 1987). Beck-Friisin ym. (2003) kokeissa heikoiten ilmastetussa kompostorissa pH pysyi pidempään alhaisena ja lämpötila oli myös matala. Samanlaiset tulokset esiintyivät tehdyn kokeen CMC-jätteillä. Propioni- ja butyrihappo, mutta erityisesti korkea etikkahappopitoisuus, ovat voineet alentaa pH:ta ja sitä kautta inhiboida prosessia, mikä havaittiin Maniosin ym. (1987) ja DeVleeschauwerin ym. (1981) kokeissa kotitalousjätteillä. Propionihapon vaikutus on havaittu myös Sundbergin ja Jönssonin (2005) ruokajättekokeessa, ja heidän mukaan pitkään kestävä alle 6 pH arvo kuvastaa ongelmia kompostoinnissa, muun muassa koska silloin muodostuu hajuja kompostin käsittelyissä.

Taulukko 19. Ensimmäisen pienkompostorikokeen massojen alku- (1) ja loppuarvot (2).

	TS (%) 1	TS (%) 2	VS(% TS) 1	VS(% TS) 2	pH 1	pH2	johtokyky 1 mS/cm	johtokyky 2 mS/cm
10 % nappula	34,75± 1,25	32,65± 1,71	83,37± 2,20	77,99± 0,21	4,7	6,5	1,29	2,58
20 % nappula	37,43± 0,76	32,76± 0,10	85,78± 1,44	84,18± 0,01	4,4	5	2,23	4,38
10 % tekninen	45,17± 1,60	35,21± 0,68	81,93± 0,31	79,23± 0,67	5,5	6,5	9,55	5,56
20 % tekninen	55,57± 6,27	39,30± 0,11	76,84± 0,99	75,45± 0,54	5,8	6,5	15,8	8,7
10 % puhdas	44,86± 4,24	35,89± 1,92	85,06± 1,31	79,98± 5,80	5,5	6,1	6	3,93
20 % puhdas	61,93± 0,28	42,58± 0,77	77,95± 0,02	77,06± 3,69	5,8	7	7,78	5,61

CMC-jätteen C/N-suhde oli korkea (625/1) (Järvinen 2005), ja vaikka CMC:aa käytettiin vain vähän, niin erityisesti 20 % kompostoreissa voidaan tyypeä olettaa olleen niukasti. Ammoniumtyyppiä oli vähän, sillä ammoniakkin hajua ei havaittu. Toisaalta ammoniakkin hajua esiintyy vasta korkeilla pH arvoilla. Paperijätettä kompostoitaessa on tyypeä lisättävä tai sekoitettava jäte ruokajätteen kanssa, sillä C/N-suhde on muuten liian korkea (Komilis 2006; Komilis & Ham 2006). Nie ym. (2004) myös huomasi, että CMC:n hajoaminen maaperässä lisääntyi erityisesti ureaa lisättäessä. Johtokyky oli teknisillä massoilla suolasta

johtuen alussa korkeampi, mutta arvot laskivat kompostoinnin aikana, kun suolat liukenivat veteen ja poistuivat. Nappuloiden hajoaminen nosti kokeen alun matalaa johtokyvyn arvoa.

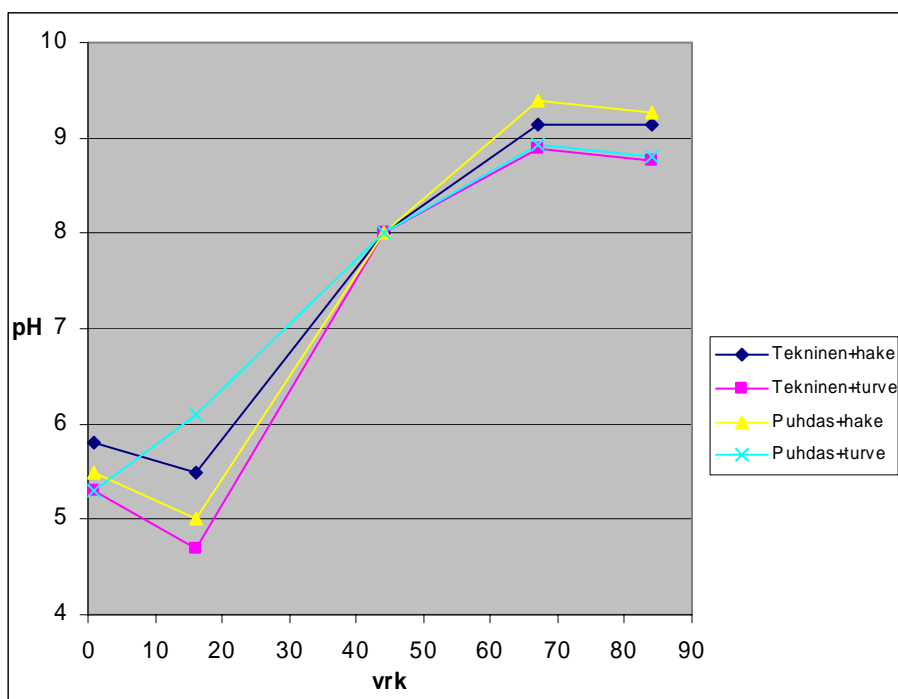
Taulukko 20. Toisen pienkompostorikokeen massojen alku- (1) ja loppuarvot (2).

	TS (%) 1	TS (%) 2	VS(% TS) 1	VS(% TS) 2	pH 1	pH2	johtokyky 1 mS/cm	johtokyky 2 mS/cm
Tekninen	42,35±	42,89±	80,07±	75,55±	5,8	9,15	7,44	6,25
+hake	1,88	0,03	2,89	0,17				
Tekninen	40,60±	35,70±	82,66±	78,84±	5,3	8,77	5,02	5,67
+turve	0,38	0,57	0,29	0,70				
Puhdas	41,53±	33,95±	84,50±	72,60±	5,5	9,27	3,81	4,41
+hake	3,21	0,91	0,06	1,42				
Puhdas	38,06±	31,27±	80,77±	69,01±	5,3	8,8	3,05	3,84
+turve	0,82	1,13	0,96	2,69				

Toisessa kokeessa VS-pitoisuus laski alkupitoisuuteen nähden puhtaan CMC:n ja hakkeen seoksella 14 % ja puhtaan CMC:n ja turpeen seoksella lähes 15 % (Taulukko 20). Selkeästi parempiin tuloksiin päästiin vihannesjätettä ja paperijätettä kompostoitaessa, jossa paperin massasta poistui 84 % (Verschut ym. 1996) ja jätepaperin, hakkeen ja ruokajätteen kompostoinnissa pakotetulla ilmastuksella 26 päivän aikana (Bari & Koenig 2001). VS-pitoisuuden lasku oli tasaista, mutta puhtaan CMC:n ja turpeen seos mineralisoitui enemmän heti kokeen alun korkeassa lämpötilassa ja puhtaan CMC:n ja hakkeen seos vasta kokeen lopussa. Johtokyvyn arvot olivat samanlaiset kuin ensimmäisessä kokeessa, ja vain teknisen CMC:n ja hakkeen seos kuivui hiukan, josta vettä poistui 32 kg, mutta muillakin poistuma oli yli 16 kg (ei esitetty). Suljetusta reaktorista haihtuminen onkin vähäisempää (Alm ym. 1993). Turvemassoilla veden vähenemä oli hiukan pienempi kuin hakeseoksilla.

Lantaa kompostoitaessa sellulaasientsyymit olivat aktiivisia koko koejakson ajan, ja 30 päivään mennessä suurin osa selluloosasta oli hajonnut (Godden & Penninckx 1987). Lanta sisältää myös ligniiniyhdisteitä, joita CMC:ssa ei ole, joten tähän verrattuna CMC on hajonnut tehdyssä kokeessa nopeasti. Khalilin ym. (2001) yhdyskuntajätekompostissa karboksimeetyylisellulaasi oli aktiivisempi kuin kiteellinen sellulaasi, ja molemmat olivat tehokkaimmillaan termofiilissä lämpötiloissa. Nopea selluloosan hajoaminen termofiilivaiheessa tapahtui myös Gean ym. (2005) paperijätelietteenkompostoinnissa. Samat tulokset näkyivät suurempina VS-arvon laskuina tehdyn kokeen termofiilivaiheissa. Kokeessa käytetty CMC:n pitoisuus oli alhainen muihin materiaaleihin verrattuna, joten saadut tulokset ovat voineet olla täysin CMC-jätteestä riippumattomia. Ensimmäisen ja toisen kokeen perusteella 10 % CMC-pitoisuus ei kuitenkaan häirinnyt kompostoitumista, ja varsinkin toisen kokeen tulokset kuvasivat onnistunutta kompostoitumista.

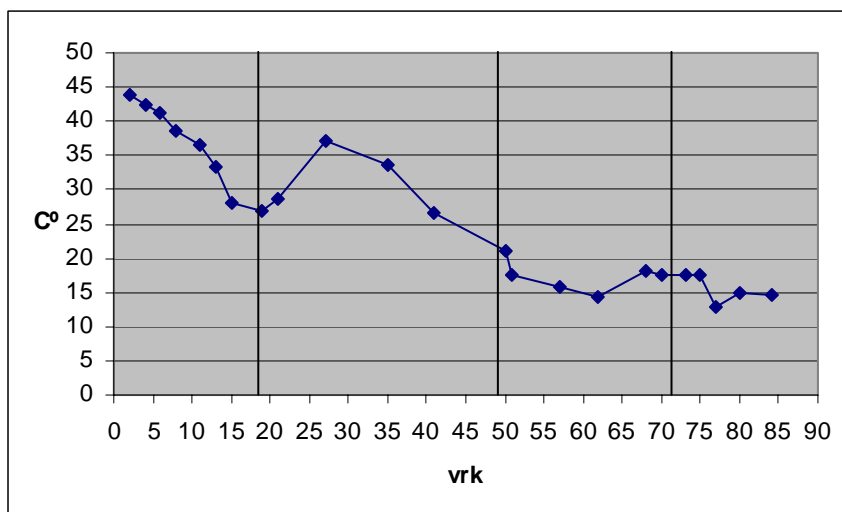
pH-käyrät olivat kaikilla materiaaleilla lähes identtiset ja ne ovat tyypillisiä kompostoinnille (Kuva 16). Loppuarvot olivat korkeat, mutta laskivat jo hiukan. Ajallisesti pH:n muutos oli kuitenkin hidasta. Korkea pH ja ammoniakin vapautuminen kuvasivat korkeaa ammoniumtyypen määrää, joten tyypeistä ei kokeessa ollut puutetta (Anonyymi 1984). Tulos erosi ensimmäisestä kokeesta, joten kokonaistyyppi on saattanut olla yksi vaikuttaneista tekijöistä. Oletus perustuu pH:n muutoksiin ja vapautuvaan ammoniakiin, sillä tarkempia tyyppimäärittelyksiä ei tehty.



Kuva 16. pH:n vaihtelu toisen pienkompostorikokeen aikana.

9.3.2 Aumakompostointi

Aumakompostin lämpötilan säätely oli vaikeaa (Kuva 17). Heti kompostin teon jälkeen lämpötila kohosi mutta laski sitten tasaisesti ensimmäiseen sekoitukseen asti, jolloin aumasta tehtiin hiukan leveämpi ja korkeampi. Sekoituksen yhteydessä havaittiin paha haju kompostin sisäosista, mikä oli merkinä tiivistymisestä. Lämpötila kohosi uudestaan, mutta alkoi jälleen laskea noin kahden viikon jälkeen sekoituksesta. Toisessa sekoituksessa aumaa korotettiin, mutta tämä ei vaikuttanut lämpötilaan, joka pysyi mittausjakson loppuun asti alhaisena.



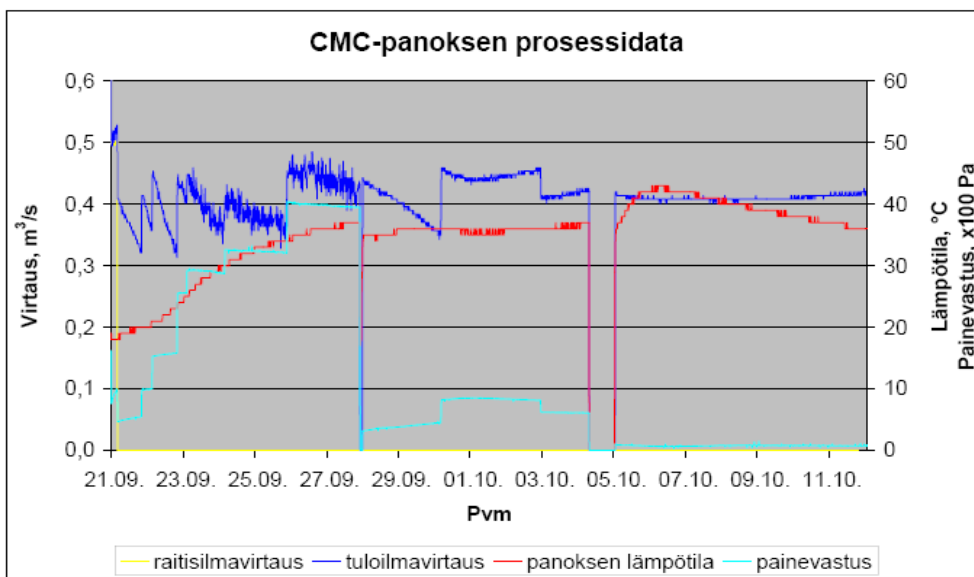
Kuva 17. Aumakompostin lämpötilajakauma sekoitusten välisiin jaksoihin jaettuna.

Lämpötilat on ilmoitettu keskiarvoina (2–4 mittausta) ja niiden hajonta oli suurta, sillä lämpötila vaihteli eri osissa kompostia. Mittauksissa havaittiin korkeammat lämpötilat auman yläosissa kuin alempana, ja toisaalta tuuli ja aurinko vaikuttivat tuloksiin. Myös syyssade ja kylmä ilma laskivat lämpötiloja, ja muutenkin hygienisointi on pienessä aumassa vaikeampaa (Anonyymi 1995). Aumasta otettiin vain yhdet näytteet, sillä voimakas lämpötilan lasku merkitsi epäsuotuisia kompostoitumisolosuhteita. Koetta tehdessä ei ollut tarkkaa tietoa Ruotsissa käytetystä auman koosta ja sekoitustiheydestä, joten tehty auma oli suoranaiseen vertailuun liian pieni. Auman tilannetta tarkastellaan uudelleen mahdollisesti keväällä, jolloin ympäristön lämpötila on suotuisampi. Aumakompostointi on aikaa vievä prosessi, joten keväällä lämpötilan kohottua ja oikean sekoitussyklin löydettyä voi kompostoituminen olla hyvinkin tehokasta.

9.3.3 Tunnelikompostointi

CMC:n kosteudensitomiskyky havaittiin kompostimassan tekovaiheessa, mutta varsinkin ensimmäisen viikon tulokset kertoivat massan olleen liian tiivistä kompostoitavaksi, jolloin ilma ei päässyt massan läpi. Lahtisen (1984) mukaan 50 % lietepitoisuus on liian suuri, sillä liika kosteus vaikeuttaa sekoittamista ja aiheuttaa hapettomuutta. Karkeahkon tukiaineen määrän tulee olla 40–50 % (Lahtinen 1984), jota tehdyssä kokeessa käytettiin, mutta CMC:n erikoisluonne tiivistä silti massaa. Hienojakoista tukiainetta saisi olla korkeintaan 10 % (Lahtinen 1984), mutta tämän arvioiminen määrän lietteen ja ennestään tuntemattoman hygroskooppisen CMC:n kanssa oli vaikeaa. Lähtökosteus oli 62,4 %, joka Zucconin ja de

Bertoldin (1987) mukaan on sopiva, joten liian märkää massa ei ollut. Painevastus nousi ensimmäisellä viikolla, kun tuloilmavirtaus pyrittiin pitämään 0,4 m³/s:ssa (Kuva 18). Toisella ja kolmannella viikolla painevastus oli pienempi, sillä tunnelin huomattiin vuotavan ilmaa ovisauman kohdalta (Järvinen 2005). Vaikka vuotokohta oli ennestään tiedossa, niin tämä voimakas vuoto kertoi kompostimassan tiivistymisestä ja siten kasvavasta painevastuksen määrästä.



Kuva 18. Tunnelikokeen prosessitiedot (Järvinen 2005).

Lämpötila oli korkeimmillaan 43 °C:ssa kolmannella viikolla, kun kahdella ensimmäisellä viikolla se oli ollut vain 37 °C. Hygienisointilämpötilaa ei kokeen aikana saavutettu, sillä tyhjennysvaiheessakin lämpötilaksi saatiin vain 36 °C. Verrattuna pienkompostorikokeisiin oli tässä tunnelikompostointikokeessa merkittävästi tehokkaampi ilmastus. Tehon lisäyksellä ei kuitenkaan näytä olevan positiivista vaikutusta lämpötilaan. CMC-jätteeseen verrattavalla paperijätteellä lämpötilannousu ei myöskään ollut riittävää, mutta käytetyn paperin määrä olikin moninkertainen CMC-jätteeseen verrattuna (Jeris & Regan 1973). Kompostoitumista kuitenkin tapahtui kokeen aikana, sillä pH nousi tasaisesti koko kokeen ajan ja myös vähenevä hiilidioksidin määrä kuvasi prosessin etenemistä (Taulukko 21) (Järvinen 2005). Kokeen loputtua pH oli 8,5, kun normaalisti kuohkealla lietemassalla pH kohoaa samoihin lukemiin jo ensimmäisellä viikolla. Koska kypsän kompostin hiilidioksidin tuotto on noin 2 mg C/g VS/d, täysin kypsää muodostunut komposti ei vielä kokeen loputtua ollut (Järvinen 2005, suull.tiedonanto). Saksalaisella Rottegrad-kypsyyskokeella saadut tulokset kuvasivat hyvin kypsää kompostituotetta (luokka V), sillä maksimilämpötila kokeen päätyttyä oli 23 °C,

kun eräs asetettu raja-arvo jälkikypsytyksen jälkeiselle massalle on 40–60 °C (luokat II-III) (Lehto & Ekholm 2001). Romantschukin (2004) opetusdiasarjassa kuitenkin nähdään, että eri tukiaineiden Rottegrad-testissä lämpötilat ovat myös alussa matalia, kunnes nousevat ja vasta sitten laskevat merkkinä riittävästä kypsytydestä.

Toisella ja kolmannella viikolla saadut negatiiviset arvot ovat voineet olla seurausta pyöräkoneen vaihdosta ja erilaisesta vaa'asta (Taulukko 21). Koska täytössä ja tyhjennyksessä punnitus tehtiin samalla koneella, olivat saadut kokonaistulokset todellisia. Seppo Järvinen (2005) lisäksi epäili, että todellinen orgaanisen aineksen häviö olisi ollut noin 20 %, sillä näytteenotto (2 rinnakkaista) paakkumaisesta, kittimäisestä massasta ei ollut edustavaa. Viikoittaiset kuiva-aineen ja orgaanisen aineen häviöt laskettiin vertaamalla viikon alku- ja lopputilannetta. Yhteensä-sarakkeessa ainemääriä verrattiin taas ensimmäisen viikon alun ainemääriin (Järvinen 2005). Hiili/typpi-suhteessa ei ollut suuria eroja, ja tämä kasvoi alussa, kun hiili mineralisoitui CO₂:na ja mikrobit käyttivät saatavilla olevan typen metaboliassaan sitoen sen siten massaansa (Witter & Lopez-Real 1987). Witterin ja Lopez-Realin (1987) pilot-kokeissa kuiva-ainehäviö lietemassalla oli vuodessa 60 %, josta puolet tapahtui ensimmäisen kuukauden aikana. Tähän verrattuna CMC-massan hajoaminen tunnelikompostorikokeessa oli hidasta. Myös Diazin ym. (1982) pyöräkoneella käännettävässä lietteen aumakompostoinnissa 42 % kuiva-aineesta poistui 31 vuorokauden aikana. Heidän kokeen perusteella pyöräkoneen käyttö ei sovellu lietemassan sekoittamiseen (Diaz ym. 1982), koska muodostuu paakkuja ja epätasainen massa (Higgins ym. 1982).

Taulukko 21. Koeajonpanoksen analyysitulokset tunneliin täytettäessä sekä 1, 2 ja 3 viikon kompostoinnin jälkeen (Järvinen 2005).

	täyttö	1 vko	2 vko	3 vko	yhteensä
pH	6,3	6,8	7,6	8,5	
johtokyky, mS/m	229	287	303	215	
kosteus, m-%	62,4	63,3	60,5	57,8	
tilavuuspaino, g/l	630	638	619	518	
tuhka, m-% k-a	39,2	32,4	35,0	36,8	
alitteen tuhka, m-% ka	-	-	40,9	40,5	
C/N-suhde	28	30	34	32	
Rottegrad, °C	-	-	25	23	
CO ₂ -tuotto, mg C/g VS/d	-	-	7,5	3,4	
kuiva-aineen häviö, m-%	-	19	-14	8	15
org. aineen häviö, m-%	-	10	-10	11	12

Kokeessa haluttiin määrittää myös tunnelista poistuvan jäteveden määrä ja sen koostumus (Taulukko 22). Valumaveden asteittainen lisääntyminen kuvasi kompostoitumisen etenemistä, kuten johtokyvyn ja pH:n muutokset. Ammonium-typen määrä kasvoi kompostoinnin alussa,

mikä oli seurausta proteiinien hajotuksesta. Nitriitti- ja nitraattityypen määrän lisääntyminen oli taas merkinä kypsymisestä (Hänninen ym. 1992; Albers ym. 2003). Kloridin määrä laski, vaikka arvot vaihtelivatkin suuresti. Normaaleihin tunnelikompostointivaluvesiin verrattaessa CMC:n aiheuttama suolan alkupitoisuus oli vain hiukan normaalia korkeampi (Järvinen 2005, suull.tiedonanto). Pitää kuitenkin huomioida kompostimassan sisältäneen pääasiassa puhdasta CMC:aa, jonka suolapitoisuus on pienempi. Myös johtokyky oli alussa suurempi, kuin yleisesti jätevesilietepanoksella (Järvinen 2005, suull.tiedonanto). Johtokyvyn lasku oli lineaarista koko prosessin aikana ja myös kiintoaine sekä BOD laskivat.

Taulukko 22. Tunnelikokeen valumaveden analyysitulokset (Järvinen 2005).

Analyysit	1vko	2vko	3vko
V/m ³	0,46	0,96	1,09
pH	6,7	7,7	8,5
johtokyky mS/m	1470	1380	1090
SO ₄ -S mg/l	1	590	10
NH ₄ -N mg/l	470	720	820
Cl mg/l	1300	58	380
N mg/l	580	740	1100
P mg/l	89	57	23
COD-Cr mg/l	87000	36800	18100
kiintoaine mg/l	8000	1600	410
BOD ₇ ATU mg/l	7250	2800	660

9.4 Johtopäätökset

Tärkeimmät CMC:n kompostoitumiseen vaikuttavat tekijät olivat kosteus, kompostimassan huokoisuus ja ilmastus. Ensimmäisessä kokeessa kosteus oli merkitsevin vaikuttaja kompostoinnin onnistumiseen, kun taas tunnelikompostoinnissa ja aumakompostoinnissa massoista muodostui liian tiiviitä. Kokeiden perusteella noin 65 % on optimi kosteuspitoisuus, mutta CMC:n määrä vaikuttaa tähän. Tiiviys ja paakkujen muodostuminen olivat 20 % massoilla ongelmana, ja niiden kompostointi oli hyvin vaikeaa. Ensimmäisessä kokeessa vasta viimeisen sekoituksen jälkeen, kun osa materiaalista oli hajonnut ja happea oli riittävästi, lämpötila alkoi kohota näissä massoissa. CMC sitoi voimakkaasti kosteutta, ja koska turve ei pysty säilyttämään riittävän kuohkeaa rakennetta, oli hapen saanti luonnollisella ilmastuksella tällöin riittämätöntä. Sekoituksia olisi tehtävä useammin ja samalla rikottava muodostuneet paakut. Nappulat sitoivat kosteutta vähemmän, ja massan käsittely ja prosessin optimointi oli niillä helpompaa. Ensimmäisen kokeen pitkäkestoinen korkean lämpötilan vaihe 10 % CMC-nappulamassalla oli koko koesarjan pisin.

Kompostointi on mahdollista 10 % CMC pitoisuudella, joka on havaittu myös Ruotsin tehtaalla. 20 % pitoisuus on kompostointiin liian korkea, sillä massasta muodostuu alussa kuiva ja kosteutta lisättäessä se taas tiivistyy ja hapen saanti vaikeutuu. Turpeen kanssa CMC muodostaa tasaisen amorfisen massan, joka tiivistyy helposti ja estää ilman virtaamisen. Tämä havaittiin erityisesti suurilla CMC-pitoisuuksilla ja tunnelikompostoinnissa. Ensimmäisessä kokeessa alhainen pH-arvo viittasi myös riittämättömään typen määrään, ja alun matala pH voi myös indikoida hajuyhdisteiden muodostumista. Toisessa pienkompostorikokeessa, jossa oli enemmän biojätettä, korkea pH ja vapautuvan ammoniakkin haju kuvasivat taas korkeampaa typpipitoisuutta. CMC:n korkea C/N-suhde näkyi osittain suurilla CMC pitoisuuksilla, mutta 10 %:n näytteissä biojätteen heterogeenisyydellä oli kuitenkin enemmän vaikutusta suhteen määrittämisessä.

Tukiaineita vertailtiin toisessa pienkompostorikokeessa käyttämällä 10 %:n CMC-pitoisuuksia. Lämpötilakuvaajien ja vähenemien perusteella olosuhteet olivat hyvät, koska kuivuus ei rajoittanut prosessia. Tässä kokeessa vaikutti enemmän ilmastus, sillä hapen puute näkyi nopeina lämpötilanlaskuina, mutta lämpötilannousuina sekoitusten jälkeen. Korkeat pintalämpötilat ja paha haju kuvasivat myös hapen puutetta eli hypoksisuutta kompostin sisäosissa. Lämpötilakuvaajien, mineralisoitumisen ja vähenemien perusteella kompostoituminen oli kaikissa massoissa kuitenkin tehokasta, vaikka kompostoitumisaika oli pienkompostorikokeeksi pitkä. Tulosten perusteella hake takasi paremman ilman saannin ja sen massareduktio oli suurempi kuin turpeella, mutta lämpötila- ja mineralisoitumisarvot olivat tukiaineilla kuitenkin ristikkäin. Näihin vaikutti myös CMC:n laatu, sillä erityisesti mineralisaatio oli puhtaalla CMC:lla korkea. Puhtaan CMC:n kompostoituminen oli tehokkaampaa kuin teknisellä CMC:lla, vaikka korkeammat lämpötilat eivät suoraan kuvanneet prosessin tehokkuutta. Lähes kolminkertainen VS:n lasku ja suuremmat tilavuusvähenemät tekniseen CMC:aan verrattuna kuitenkin puoltavat puhtaan CMC:n parempaa soveltumista kompostoitavaksi. Teknisen tuotteen suolapitoisuus erottui vain alun korkeina johtokyky arvoina, mutta suola poistui kaikissa kokeissa valuvesien mukana ja ei siten vaikuttanut prosessiin.

Pienkompostorikokeet perustuivat yhteen 6 x 1 kompostorin ja yhteen 4 x 1 kompostorin tuloksiin, ja erityisesti biojätteen määrän havaittiin vaikuttaneen lopputuloksiin. Kokoomanäytteet olivat kokeiden alussa verraten epähomogeenisia, mutta materiaalien kompostoitua nämä muuttuivat homogeenisimmiksi. Tarkempia tuloksia saisi, jos kokeet

suoritettaisiin usean rinnakkaisen kompostorin kokeena, jossa sekoitukset tapahtuvat lyhyin väliajoin. Siihen ei tässä ollut kuitenkaan edellytyksiä, sillä jo 6 x 2 ja 4 x 2 kompostoria olisi lisännyt työmäärää kaksinkertaiseksi. Lisäksi hiilidioksidin muodostumista, typpipitoisuuden muuttumista ja muita prosessin etenemistä mittaavia parametrejä olisi käytettävä. Saatujen CMC-pienkompostorikokeiden perusteella lämpötilan seuraamiseen ja painovoimaiseen ilmastukseen sekä sekoitukseen perustuva kompostoituminen oli toimivaa, vaikkakin hitaampaa kuin esimerkiksi pelkällä biojätteellä.

Aumakompostoinnissa CMC-pitoisuus oli liian korkea ja massa tiivistyi. Hypoksisuus havaittiin myös epämiellyttävänä hajuna, joten sekoitukset olisi tehtävä useammin ja käytettävä karkeaa tukiainetta. Auma kastui tekovaiheessa varsin perusteellisesti kaatosateen vaikutuksesta, jonka seurauksena lämpötila ei saavuttanut hygienisointitasoa. Tulokset eivät antaneet selvää kuvaa aumakompostoinnin onnistumisesta, sillä seossuhteet ja muut olosuhteet eivät olleet optimaalisia, ja koejakso oli aumakompostoinnille liian lyhyt.

CMC ei sovellu lietteen tunnelikompostointiin ilman riittävän tukevaa ja isorakeista tukiainetta. CMC ei siten pysty korvaamaan turvetta tukiaineena, sillä tiivis kittimäinen rakenne läpäisee huonosti ilmaa ja vaikeuttaa kompostoitumista. Kokeessa käytettiin 20 til- % CMC määrää lietetonna kohti, mikä oli liian korkea. Pienemmällä pitoisuudella rakenne olisi säilynyt paremmin, mutta silloin CMC:n käyttö turpeeseen nähden ei olisi ollut kustannustehokasta. Vaikka kokeessa käytettiin karkeaa kantomurskaa, muodosti CMC turpeen kanssa tiiviin paakkumaisen rakenteen, joka ei pyöräkoneella sekoitettaessa rikkoudu helposti. Voimakas pölyäminen oli toinen haittatekijä, mikä vaikutti erityisesti massan tekovaiheessa. Tulosten perusteella kolmen viikon aikana kompostoitumista kuitenkin tapahtui, mutta prosessi oli hidas ja lämpötilan nousu ei ollut riittävä.

10. Yhteenveto

Äänekosken CMC-tehtaan nykyinen jätehuolto on toimivaa ja kaipaa vain pieniä muutoksia. Vaikka kaatopaikalle sijoitettava jätemäärä on vähenevä, niin erilaisten lakien, direktiivien ja asetusten mukaan jätteestä pitää poistaa suurin osa biohajoavasta ja hyötykäyttöön kelpaavasta jätteestä. Sekajätteen sekaan päätyy liikaa hyötykäyttäjakeita, joten erityisesti teollisuuskuidun ja muovin keräystä pitää tehostaa. Suursäkkien kierrätyskokeilu on käytössä, mutta edelleen tarvitaan työntekijöiden mielipidettä ja ehdotuksia kierrätyksen tehostamiseksi. Kirkasta pakkaus- ja kutistekalvoa kierrätettäessä muodostuisi jopa tuloja, jos kaikki muovi kerättäisiin ja paalattaisiin. Suursäkkien käsittely sen sijaan on muovivastanottajille ongelmallista. Teollisuuskuidun hinta on alhainen, joten sen itsenäinen paalaaminen ei ole kannattavaa, kuten ei pahvinkaan. Metallijätteessä paalilangat on katkaistava tai puristettava pieneen tilaan, jonka jälkeen ne voidaan kerätä erillisiin laatikoihin. Metallijätteen sekoittuminen vähentää saatavia tuloja, sillä tehtaalla käytetyn happoteräksen hinta on korkea. Ongelmajätteiden käsittely aiheuttaa suurimmat kustannukset, mutta näissä säästäminen on rajoitettua. Ongelmajätteiden kerääminen ja pakkaaminen on hallittua, mutta merkinnät ja vastuut siirtoasiakirjan allekirjoittamisesta pitää sopia tarkemmin.

Kyselyn mukaan työntekijät halusivat selkeämpää merkintää eri jätepisteisiin sekä karttaa näiden sijainnista sijoitettavaksi eri puolille tehdasta. Sekajätteen nimeäminen kuivajätteeksi ja värikooditus eri jätelaaduille parantaisi myös järjestelmän toimivuutta, kuten M-Real Oyj:n tehtailla. Syntypistelajittelu ja jätteiden kuljetus eri puolille tehdasta aiheutti ylimääräistä työtä ja tyytymättömyyttä, mutta keräyspisteitä lisäämällä ja tiedottamalla työ helpottuisi. Keräystarhan rakentaminen ei tilanpuutteen takia ole mahdollista, ja se lisäisi myös jätteenkuljetusmatkoja. Tehdyn kyselyn perusteella jätehuoltokoulutukselle olisi tarvetta, sillä suuri osa vastaajista ei ollut saanut sitä mielestään riittävästi. Kyselyn vastausprosentti oli korkea ja monet parannusehdotukset ja mielipiteet heijastivat halukkuutta kehittää järjestelmää.

Biohajoavan jätteen kaatopaikkasijoittamisen vähentämistä lakimuutosten takia tutkittiin myös CMC:n soveltuvuutta anaerobiseen käsittelyyn ja kompostoitumiseen. Modifioituna selluloosana varsinkin puhdas CMC soveltui hyvin mädätykseen, vaikka tulokset olivat vaihtelevia. Biokaasuntuotto oli yhtäläinen vastaaville materiaaleille ja yhteiskäsittely tehdasalueen muiden jätemateriaalien kanssa lisäsi biokaasuntuottoa. Entsyymien vaikutus

hajotusnopeuteen oli suuri, sillä jokainen jättemateriaali tuotti entsyymikokeessa biokaasua. Puhdas CMC tuotti hieman teknistä tuotetta enemmän kaasua, mutta teknisen CMC:n korkeammalla suolapitoisuudella ei havaittu olleen inhiboivia vaikutuksia. CMC:n anaerobinen käsittely on hidaskäyttöprosessi, mutta Äänekoskella mahdollisesti rakentuvan biokaasulaitoksen viipymäajalla CMC:n hajoaminen on riittävää.

CMC sopii hyvin kompostoitavaksi muun muassa erilliskerätyn biojätteen kanssa, kunhan kompostoitava CMC:n määrä on sopivan alhainen. Kompostointikokeissa CMC:n kosteudensitomiskyky heikentää prosessia, jos CMC:aa käytetään liian paljon. Massat ovat tällöin kuivia tai muodostavat tiiviin kittimäisen rakenteen, jossa ilmavirtaus erityisesti pakotetulla ilmastuksella on heikkoa. CMC-pitoisuus 10 % on kompostointiin soveltuva, jonka lisäksi on huolehdittava riittävästä kosteudesta ja tuuletuksesta sekä typpipitoisen jätteen yhteiskäsittelystä. Tukiaineena turve muodosti tunnelikompostointikokeessa liian amorfisen rakenteen, joten materiaalin on oltava raekooltaan suurempaa. Saatujen tulosten perusteella puhtaan CMC:n hajoaminen on hiukan teknistä laatua tehokkaampaa, mikä näkyi suurempina väheneminä ja mineralisaationa. Ruotsin tehtaalla onnistuneesti käytetty aumakompostointi ei tehdyssä kokeessa toiminut, koska auma oli liian pieni. Tiivistyminen ja liian korkea CMC-pitoisuus olivat ilmastollisten olosuhteiden ohella suurimmat syyt kokeen epäonnistumiseen. Suurina pitoisuuksina CMC ei sovellu tunnelikompostointiin, sillä edelleen tiivistyminen ja paakkumainen massa, liian voimakkaan ilmastuksen lisäksi, hidastavat prosessia. Kompostoitumista kuitenkin tapahtui, mutta turpeen korvaajaksi CMC:sta ei tukiaineena ole tunnelikompostoinnissa, sillä kustannusten ohella CMC:n pölyäminen haittaa alkuvaiheen käsittelyä.

Osa CMC:ta saadaan jo nyt kierrätettyä tuotantoon. Uusi ympäristölupa ja lakimuutokset määrittävät tulevaisuudessa jäljelle jäävän CMC:n käsittelytavan. Anaerobinen käsittely on mahdollista, ja sen aloittamiseen vaikuttaa mahdollisesti rakennettavan biokaasulaitoksen valmistusaika ja halukkuus ottaa CMC-jätettä käsittelyyn. Mahdollisuutena on myös varojen sijoittaminen tähän laitokseen, jonka käyttö valmistuttuaan voi olla kustannustehokasta. CMC:n hidaskäyttökompostoituminen vaatii suuren kompostointikentän ja lisäksi tukiainevaraston, mitkä lisäävät kustannuksia. Kompostointi ulkopuolisen tahon toimesta on toinen ratkaisu. CMC-jätteen polttoa ei suositella sen suuren natriumkloridipitoisuuden takia. Jätteenpolto Äänevoiman laitoksessa ei uusien lakien mukaan liene mahdollista, koska se vaatii suuria investointeja.

11. Kiitokset

Kiitän turvallisuuspäällikkö Timo Liimataista laajan, mutta haastavan tutkimusaiheen tarjoamisesta, sekä Jyväskylän yliopiston professoria Kari Hännistä ja tutkijaa FM Hanna Pöyhöstä työn ohjauksesta sekä koejärjestelyissä ja mittauksissa avustamisesta. Lämpimät kiitokset myös koko CP Kelco Oy:n Äänekosken työntekijöille, ulkopuolisille urakoitsijoille ja VAPO Oy:n tutkijalle FK Seppo Järviselle. CP Kelco Oy:n väestä haluan erityisesti kiittää Pilot-laitoksen työkavereita ja kyselyssä avustanutta Kari Isoviitaa. Puhelinhaastatteleman ja tapaamani henkilöt antoivat tärkeää ajanmukaista informaatiota ja olivat hyvin ystävällisiä, vaikka olinkin heihin yhtenä yhteydessä. Kiitokset myös ystäväilleni Jukka Heiskaselle kyselylomakkeen viimeistelystä, Olli Kakkoselle työn tarkistuksesta ja Ullastiina Mahlamäelle työn tarkistuksesta ja piristävästä matkaseurasta gradunteon aikana elokuussa 2005. Lopuksi vielä kiitos perheelle, sukulaisille ja kaikille ystäväilleni tuesta, työn tarkistuksesta, kannustuksesta sekä rentouttavasta seurasta.

Kirjallisuusluettelo

Albers, M., Helle, M., Varpula, T., Itävaara, M., Kapanen, A. & Vikman, M. 2003: Kompostointiprosessit. Monitorointi ja ohjaus. VTT tiedotteita- research notes 2207. Otamedia Oy, Espoo 2003.

Alexander, M. 1977: Introduction to Soil Microbiology. 2 painos. – 467 s., John Wiley & Sons, New York, U.S.A.

Ali, M. & Sreerikshnan, T.R. 2000: Anaerobic treatment of agricultural residue based pulp and paper mill effluents for AOX and COD reduction. – Process Biochem. 36(1-2):25-29.

Alm, G., Eriksson, G., Ljunggren, H., Palmstjerna, I. & Tiberg, N. 1993: Kompostointikirja. – 110 s., Hanpring Oy, Hanko.

Alpert, J.E. & Epstein, E. 1982: Composting industrial wastes. – Teoksessa: Goldstein, J. (toim.): Composting. Theory and practice for city, industry and farm. BioCycle magazine. J.G. Press, Emmaus, Pa., 258 s.

Ammary, B.Y. 2004: Nutrients requirements in biological industrial wastewater treatment. – Afr. J. Biotechnol. 3(4):236-238.

Angelidaki, I. & Ahring, B.K. 2000: Methods for increasing the biogas potential from the recalcitrant organic matter contained in manure. – Water Sci. Technol. 41(3):189-194.

Anhava, J., Ekholm, E., Ikäheimo, E., Koskela, K., Kurvi, M. & Walavaara, M. 2001: Jätehuollon ja materiaalikierrätyksen teknologiat ja niiden kehittämistarpeet. Teknologiaakatsaus 102/2001. – 45 s., Helsinki.

Anonyymi 1975a: Neuvoston direktiivi 75/439/ETY jäteöljyhuollosta. – <http://europa.eu.int/eur-lex/fi/index.html>, 15.11.2005.

Anonyymi 1975b: Neuvoston direktiivi 75/442/ETY jätteistä. – <http://europa.eu.int/eur-lex/fi/index.html>, 11.11.2005.

Anonyymi 1984: Kompostointitekniikka. – Teoksessa: Paatero, J., Kallio, H., Kiiskinen, S., Lehtokari, M. & Viikari, P. (toim.): Kompostointitekniikka. INSKO, Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus. 35 painos. Insinööritieto Oy, Helsinki.

Anonyymi 1988: A Aqualon Cellulose Gum. Sodium Carboxymethylcellulose. Physical and chemical properties. Aqualon, 31 s.

Anonyymi 1989: N:o 744/1989, Kemikaalilaki. – <http://www.finlex.fi>, 18.5.2005.

Anonyymi 1991: Compost. Warmer Factsheet. Warmer Bulletin 29.5.1991. 4 s.

Anonyymi 1993a: N:o 1072/1993, Jätelaki. – <http://www.finlex.fi>, 18.5.2005.

Anonyymi 1993b: N:o 1390/1993, Jäteasetus. Ympäristöministeriö – <http://www.finlex.fi>, 18.5.2005.

Anonyymi 1994: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 94/62/EY pakkauksista ja pakkausjätteistä. – <http://europa.eu.int/eur-lex/fi/index.html>, 11.11.2005.

Anonyymi 1995: Biosolids composting. A Special Publication. Prepared by Task Force on Biosolids Composting. – 187 s. Water Environmental Federation, Alexandria, U.S.A.

Anonyymi 1996: N:o 659/1996, Valtioneuvoston päätös ongelmajätteistä annettavista tiedoista sekä ongelmajätteiden pakkaamisesta ja merkinnästä. – <http://www.finlex.fi>, 18.5.2005.

Anonyymi 1997a: Ympäristölupa. Metsa Specialty Chemicals Oy. Päätös 16.12.1997. Keski – Suomen Ympäristökeskus.

Anonyymi 1997b: Eco-Efficiency in Small to Medium Enterprises. APEC. – <http://www.actetsme.org/archive/eco-efficiency/eco-efficiency.html>, 15.11.2005.

Anonyymi 1997c: N:o 101/1997, Valtioneuvoston päätös öljyjätehuollosta. – <http://www.finlex.fi>, 18.5.2005.

Anonyymi 1997d: N:o 1191/1997, Valtioneuvoston päätös öljyjättemaksuina kertyvien varojen käytöstä öljyjätehuoltoon. – <http://www.finlex.fi>, 13.11.2005.

Anonyymi 1997e: N:o 962/1997, Valtioneuvoston päätös pakkauksista ja pakkausjätteistä. – <http://www.finlex.fi>, 19.7.2005.

Anonyymi 1997f: N:o 861/1997, Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista. – <http://www.finlex.fi>, 18.5.2005.

Anonyymi 1998a: N:o 883/1998, Valtioneuvoston päätös keräyspaperin talteenotosta ja hyödyntämisestä. – <http://www.finlex.fi>, 18.5.2005.

Anonyymi 1998b: Environmental fate and safety of CMC. Akzo Nobel.

Anonyymi 1999a: Neuvoston direktiivi 1999/31/EY kaatopaikoista. – <http://europa.eu.int/eur-lex/fi/index.html>, 14.10.2005.

Anonyymi 1999b: N:o 1049/1999, Valtioneuvoston päätös kaatopaikoista annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamisesta. – <http://www.finlex.fi>, 12.11.2005.

Anonyymi 2000a: N:o 86/2000, Ympäristönsuojelulaki. – <http://www.finlex.fi>, 19.5.2005.

Anonyymi 2000b: N:o 169/2000, Ympäristönsuojeluasetus. – <http://www.finlex.fi>, 19.5.2005.

Anonyymi 2000c: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2000/76/EY jätteenpoltosta. – <http://europa.eu.int/eur-lex/fi/index.html>, 14.10.2005.

Anonyymi 2001a: Valtakunnallinen tarkistettu jättesuunnitelma vuoteen 2005. Ympäristöministeriö. – <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=5016&lan=fi>, 17.05.2005.

Anonyymi 2001b: Our Future, Our Choice. Proposal presented by the Commission of the European Communities for a decision of the European Parliament and of the Council laying down the Community Environment Action Programme 2001–2010. Commissions of the European Communities, Brussels. – <http://www.europa.eu.int/eur-lex/en/index.html>, 12.11.2005.

Anonyymi 2003a: Preparing a Waste Management Plan. A methodological guidance note. – 53 s. European Topic Centre on Waste and Material Flows. European Commission, Environment DG. – http://europa.eu.int/comm/environment/waste/plans/pdf/wasteguide_final.pdf, 16.6.2005.

Anonyymi 2003b: Lindström Oy, Asiakastiedote 3/2003.

Anonyymi 2003c: Euroopan neuvoston ja parlamentin direktiivi 2002/96/EY, annettu 27 päivänä tammikuuta 2003, sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta. – <http://europa.eu.int/eur-lex/fi/index.html>, 11.12.2005.

Anonyymi 2003d: Information Sheet: Anaerobic digestion. Warmer Bulletin. – Journal for Sustainable waste management. s.11-13.

Anonyymi 2004a: Ympäristölupahakemus. Noviant Oy, Äänekosken tehdas. 22.12.2004.

Anonyymi 2004b: Kansallinen strategia biohajoavan jätteen kaatopaikkakäsittelyn vähentämisestä. Ympäristöministeriö. <http://www.ymparisto.fi>, 19.5.2005.

Anonyymi 2004c: Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/12/EY pakkauksista ja pakkausjätteestä annetun direktiivin 94/62/EY muuttamisesta. – <http://europa.eu.int/eur-lex/fi/index.html>, 15.11.2005.

Anonyymi 2004d: Ongelmajätteiden varastointi, paikka kaikille ja kaikki paikoilleen. Ekokemin ohje 4/04, Painotalo Auranen, Forssa.

Anonyymi 2004 e: N:o 852/2004, Valtioneuvoston asetus sähkö- ja elektroniikkalaiteromusta. – <http://www.finlex.fi>, 12.11.2005.

Anonyymi 2004f: Käytettyjen voiteluöljyjen A&Ö, kerää joka tippa hyötykäyttöön. Ekokemin ohje 3/04, Painotalo Auranen, Forssa.

Anonyymi 2005a: Ympäristölupa. M-real Oyj:n Äänekosken tehdasalueen teollisuusjätteiden käsittelyalue. Päätös 30.3.2005. Keski-Suomen ympäristökeskus.

Anonyymi 2005b: Ongelmajätteiden lajittelu, avain turvalliseen työskentelyyn. Ekokemin ohje 4/05, Painotalo Auranen, Forssa.

Anonyymi 2005c: Ongelmajätteiden merkitseminen, oikein tiedoin turvalliseen käsittelyyn. Ekokemin ohje 2/05, Painotalo Auranen, Forssa.

Anonyymi 2005d: Ongelmajätteiden kuljettaminen, turvallisesti tiellä. Ekokemin ohje 3/05, Painotalo Auranen, Forssa.

- Barberis, R. & Nappi, P 1996: Evaluation of compost stability. – Teoksessa: Bertoldi, M. de, Sequi, P. Lemmes, B. & Papi, T. (toim.): The science of composting. Part I. Blackie Academic & Professional, London, U.K., ss. 175-184.
- Bari, Q.H. & Koenig, A. 2001: Effect of air recirculation and reuse on composting of organic solid waste. – *Resource, Conservation and Recycling*. 33: 93-111.
- Bashir, B.H. & Matin, A. 2004: Sodium toxicity control by the use of magnesium in an anaerobic reactor. – *J. Appl. Environ. Mgt.* 8(1):17-21.
- Beck-Friis, B., Smårs, S, Jönsson, H., Eklind, Y. & Kirchmann, H. 2003: Composting of source-separated household organics at different oxygen levels: gaining an understanding of the emission dynamics. – *Compost Sci. Util.* 11:41-50.
- Beffa, T., Blanc, M., Marilley, L., Lott Fischer, J., Lyon, P-F. & Aragno, M. 1996: Taxonomic and metabolic microbial diversity during composting. – Teoksessa: Bertoldi, M. de, Sequi, P. Lemmes, B. & Papi, T. (toim.): The science of composting. Part I. Blackie Academic & Professional, London, U.K., ss. 149-161.
- Bernal, M.P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M.A. & Cegarra, J. 1998: Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. – *Bioresour. Technol.* 63:91-99.
- Bertoldi, M. de, Vallini, G., Pera, A. & Zucconi, F. 1982: Comparison of three windrow compost systems. – *BioCycle* 23(2):45-48.
- Bertoldi, M. de, Civillini, M. & Comi, G. 1990: MSW compost standards in the European community. – *BioCycle* 31(8):60-62.
- Bishop, P.L. & Godfrey, C. 1983: Nitrogen transformations during sludge composting. – *BioCycle*. 24(4):34-39.
- Boekema, R.H.A. 2003a: What are enzymes? Noviant Proprietary Information. 6 s.
- Boekema, R.H.A. 2003b: Biostability of carboxymethyl celluloses (CMCs). Noviant Proprietary Report. 29 s.
- Borneman, W.S., Akin, D.E. & van Eseltine, W.P. 1986: Effect of Phenolic Monomers on Ruminant Bacteria. – *Appl. Environ. Microbiol.* 52(6):1331-1339.
- Bouallagui, H., Touhami, Y., Ben Cheikh., R. & Hamdi, M. 2005: Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. – *Process Biochem.* 40(3-4):989-995.
- Buzzini, A.P. & Pires, E.C. 2002: Cellulose pulp mill effluent treatment in an upflow anaerobic sludge blanket reactor. – *Process Biochem.* 38(5):707-713.
- Campbell, N.A., Reece, J.B. & Mitchell, L.G. 1999: *Biology* 5. painos. – 1175s., Addison-Wesley Longman, Menlo Park, U.S.A.

Cao, Y. & Tan, H. 2002: Effects of cellulase on the modification of cellulose. – *Carbohydr Res.* 337(14):1291-1296.

Carlyle, R.E. & Norman, A.G. 1941: Microbial thermogenesis in the decomposition of plant materials. Part II. Factors involved. – *J. Bacteriol.* 41:699-724.

Cecchi, F. & Battistoni, P. 2002: Use of hydrolysis products of the OFMSW for biological nutrient removal in wastewater treatment plants. – Teoksessa: Mata-Alvarez, J. (toim.) 2003: *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes.* IWA Publishing, London, U.K., ss. 229-264.

Chaplin, M. 2005: *Water Structure and Behavior.* London South Bank University. – <http://www.lsbu.ac.uk/water/index.html>, 11.12.2005.

Citterio, B., Civilini, M., Rutili, A., Pera, A. & Bertoldi, M. de (1987): Control of a composting process in bioreactor by monitoring chemical and microbial parameters. – Teoksessa: Bertoldi, M. de, Ferranti, M.P., L'Hermite, P. & Zucconi, F. (toim.): *Compost: Production, Quality and Use.* Commission of the European communities. Elsevier Applied Science. ss. 633-642.

Clarck, J. 2003: Introduction SCI, Workshop sponsored by Marks and Spencer and the Green Chemistry Network 28 April 2003. London, U.K. – <http://www.chemsoc.org/networks/gcn/industry.htm>, 15.12.2005.

Clarkson, W.W. & Wiao, W. 2000: Bench-scale anaerobic bioconversion of newsprint and office paper. – *Water Sci. Technol.* 41(3):93-100.

Cohen, A., Schagerlöf, H., Nilsson, C., Melander, C., Tjerneld, F. & Gorton, L. 2004: Liquid chromatography – mass spectrometry analysis of enzyme-hydrolysed carbocymethylcellulose for investigation of enzyme selectivity and substituent pattern. – *J Chromatogr A.* 1029(1-2): 87-95.

Coldberg, P.J. 1988: Anaerobic microbial degradation of cellulose, lignin, oligolignols, and monoaromatic lignin derivatives. – Teoksessa: Zehnder, A.J.B. (toim.): *Biology of Anaerobic Microorganisms.* John Wiley & Sons, Inc, New York, U.S.A., ss. 333-372.

Dammert, T. 1994: *Materiaalien kierrätys ja kierrätystoiminnan logistiikka.* Julkaisusarja C 263/koneensuunnittelu. – 40s., Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, Konesuunnittelun laboratorio, Otaniemi, Lahti.

Day, M., Krzymien, M., Shaw, K., Zaremba, L., Wilson, W., Botden, C. & Thomas, B. 1998: An investigation of the chemical and physical changes occurring during commercial composting. – *Compost Sci. Util.* 6(2):1065-657.

Das, K. & Keener, H.M. 1996: Process control based on dynamic properties in composting: Moisture and compaction considerations. – Teoksessa: Bertoldi, M. de, Sequi, P. Lemmes, B. ja Papi, T. (toim.): *The science of composting. Part I.* Blackie Academic & Professional, London, U.K., ss. 116-125.

- De Baere, L. 2000: Anaerobic digestion of solid waste: State-of-the-art. – *Water Sci. Technol.* 41(3):283-290.
- DeVleeschauwer, D., Verdonck, O. & Van Assche, P. 1981: Phytotoxicity of refuse compost. – *BioCycle* 22(1):44-46.
- Diaz, L.F., Golueke, C.G., Lafrenz, D. & Chaser, B. 1982: Composting combined refuse and sewage sludge. – Teoksessa: Goldstein, J. (toim.): *Composting. Theory and practice for city, industry and farm.* BioCycle magazine. J.G. Press, Emmaus, 258 s.
- Dijkerman, R., Bhansing, D.C.P., Op den Camp, H.J.M., van der Drift, C. & Vogels, G.D. 1997: Degradation of structural polysaccharides by the plant cell-wall degrading enzyme system from anaerobic fungi: An application study. – *Enzyme Microb. Technol.* 21(2):130-136.
- Dolfing, J. 1988: Acetogenesis. – Teoksessa: Zehnder, A.J.B. (toim.): *Biology of Anaerobic Microorganisms.* John Wiley & Sons, Inc, New York, U.S.A., ss. 417-468.
- ECN –Biomass: Phyllis, database for biomass and waste. Energy research Centre of the Netherlands – <http://www.ecn.nl/phyllis>, 16.11.2005.
- Epstein, E. 1997: *The Science of Composting.* – 487s., Technomic Publishing Company, Lancaster, U.S.A., 487s.
- Eriksson, T., Borjesson, J. & Tjerneld, F. 2002: Mechanism of surfactant effect in enzymatic hydrolysis of lignocellulose. – *Enzyme Microbiol. Technol.* 31(3):353-364.
- Feijoo, G., Soto, M. Méndez, R. & Lema, J.M. 1995: Sodium inhibition in the anaerobic digestion process: Antagonism and adaptation phenomena. – *Enzyme Microb. Technol.* 17(2): 180-188.
- Finstein, M.S. & Morris, M.L. 1975: Microbiology of municipal solid waste composting. – *Adv. Appl. Microbiol.* 19:113-151.
- Finstein, M.S., Miller, F.C. & Strom, P.F. 1986a: Waste treatment composting as a controlled system. – Teoksessa: Rehm, H.-J. & Reed, G. (toim.): *Biotechnology, Vol. 8 Microbial Degradations.* VCH, New York, U.S.A., ss. 363-398.
- Finstein, M.S., Miller, F.C., Hogan, J.A. & Strom, P.F. 1986b: Composting process design criteria. Part I - Feed Conditioning. – *BioCycle* 8:38-43.
- Finstein, M.S., Miller, F.C., Hogan, J.A. & Strom, P.F. 1987a: Analysis of EPA guidance on composting sludge. Part IV - Facility Design and Operation. – *BioCycle* 4:56-61.
- Finstein, M.S., Miller, F.C., Hogan, J.A. & Strom, P.F. 1987b: Analysis of EPA guidance on composting sludge. Part II - Biological Process Control. – *BioCycle* 2:42-47.
- Finstein, M.S., Miller, F.C., Hogan, J.A. & Strom, P.F. 1987c: Analysis of EPA guidance on composting sludge. Part I - Biological Heat Generation and Temperature. – *Biocycle* 1:20-26.

- Fox, M. & Noike, T. 2004: Wet oxidation pretreatment for the increase in anaerobic biodegradability of newspaper waste. – *Bioresour. Technol.* 91(3):273-281.
- Fuller, W.H. & Norman, A.G. 1943: Cellulose decomposition by aerobic mesophilic bacteria from soil. – *Journal paper of the Iowa Agricultural Experimental Station, Ames, Project 591.* ss. 273-280.
- Garcia, V., Pongrácz, E. & Keisti, R. 2004: Waste minimization in the chemical industry: From theory to practice. Teoksessa: Pongrácz, E. (toim.): *Proceedings of the Waste Minimization and Resources Use Optimization Conference, June 10th 2004, University of Oulu, Oulu University Press, Finland.*, ss.93-106.
- Garsia-Heras, J.L. 2002: Reactor sizing, process kinetics and modelling of anaerobic digestion of complex wastes. – Teoksessa: Mata-Alvarez, J. (toim.) 2003: *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes.* IWA Publishing, London, U.K., ss. 21-62.
- Gascoigne, J.L. & Ogilvie, S.M. 1995: Recycling waste materials: Opportunities and barriers. – Teoksessa: Hester, R.E. & Harrison, R.M. (toim.): *Waste Treatment and Disposal. Issues in Environmental Science and Technology 3.* The Royal Society of Chemistry, Letchworth, U.K., ss. 91-114.
- Gea, T., Artola, A. & Sánchez, A. 2005: Composting of de-inking sludge from the recycled paper manufacturing industry. – *Bioresour Technol.* 96(10):1161-1167.
- Ginkel, C.G. van & Gayton, S. 1996: The biodegradability and nontoxicity of carboxymethyl cellulose (DS 0,7) and intermediates. – *Environ. Toxicol. Chem.* 15(3):270-274.
- Giovannozzi-Sermanni, G.1987: Lignin metabolism in the soils amended with compost. – Teoksessa: Bertoldi, M. de, Ferranti, M.P., L'Hermite, P. & Zucconi, F (toim.): *Compost: Production, Quality and Use.* Commission of the European communities. Elsevier Applied Science. 853 s.
- Godden, B. & Penninckx, M.1987: Biochemistry of manure composting, lignin biotransformation and humification. – Teoksessa: Bertoldi, M. de, Ferranti, M.P., L'Hermite, P. & Zucconi, F (toim.): *Compost: Production, Quality and Use.* Commission of the European communities. Elsevier Applied Science. 853 s.
- Golueke, C.G. 1972: *Composting, A Study of the Process and its Principles.* – 110s., Rodale Press Inc., Pennsylvania, U.S.A.
- Golueke, C.G. 1982: Selection and adaptation of a compost system. – Teoksessa: Goldstein, J. (toim.): *Composting. Theory and practice for city, industry and farm.* BioCycle magazine. J.G. Press, Emmaus, 258 s.
- Goyal, S., Dhull, S.K. & Kapoor, K.K. 2005: Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. – *Bioresour. Technol.* 96(14):1584-1591.

- Grover, R., Marwaha, S.S. & Kennedy, J.F. 1999: Studies on the use of an anaerobic baffled reactor for the continuous anaerobic digestion of pulp and paper mill black liquors. – *Process Biochem.* 34(6-7):653-657.
- Grönroos, A., Pirkkonen, P. & Ruppert, O. 2004: Ultrasonic depolymerization of aqueous carboxymethylcellulose. *Ultrasoni Sonochem.* 11(1):9-12.
- Hamoda, M.F., Abu Qdais, H.A. & Newham, J. 1998: Evaluation of municipal solid waste composting kinetics. – *Resources, Conservation and Recycling* 23(4):209-223.
- Hansen, T.L., Schmidt, J.E., Angelidaki, I., Marca, E., Jansen, J.I.C., Mosbæk, H. & Christensen, T.H. 2004: Method for determination of methane potentials of solid organic waste. – *Waste Manag.* 24 (2004)393-400.
- Haug, R.T. 1982: *Sludge composting: A discussion of engineering principles.* – Teoksessa: Golstein, J. (toim.): *Composting. Theory and practice for city, industry and farm.* BioCycle magazine. J.G. Press, Emmaus, 258 s.
- Haug, R.T. 1993: *The Practical Handbook of Compost Engineering.* – 717 s., Lewis Publishers, Boca Raton, U.S.A.
- Helanto, P. 1993: *Kierrätys 2000- elinkeinoelämän uudet haasteet.* – 143 s., MH-Konsultit Oy, Espoo.
- Hietanen, L. 2001: *Jätteiden määrät ja käsittely vuonna 2000.* VTT Energian raportteja ENE1/35/2001. Espoo. – <http://www.vtt.fi>, 32 s. 14.7.2005.
- Higgins, A.J., Kasper, V. Jr., Derr, D.A., Singley, M.E. & Singh, A. 1982: *Mixing systems for sludge composting.* – Teoksessa: Goldstein, J. (toim.): *Composting. Theory and practice for city, industry and farm.* BioCycle magazine. J.G. Press. Emmaus, Pa., 258 s.
- Hobson, P.N. & Wheatley, A.D. 1993: *Anaerobic digestion. Modern theory and practice.* – 269 s., Elsevier Applied Science, London, U.K.
- Hogland, W. & Stenis, J. 2000: *Assessment and system analysis of industrial waste management.* – *Waste Manage.* 20(7):537-543.
- Holmlund, K. & Parviainen, K. 1999: *Evaporation of black liquor.* – Teoksessa: Gullichsen, J. & Fogelholm, C.-J. (toim.): *Papermaking Science and Technology.* Vol. 6B. Fabet, Helsinki, ss. 35-93.
- Hortwath, W.R., Elliott, L.F., Churchill, D.B. & Minshew, H.F. 1996: *Processes regulating grass straw composting.* – Teoksessa: Bertoldi, M. de, Sequi, P. Lemmes, B. & Papi, T. (toim.): *The science of composting. Part I.* Blackie Academic & Professional, London, U.K., ss. 627-636.
- Hu, Z.-H., Yu, H.-Q. & Zhu, R.-F. 2005: *Influence of particle size and pH on anaerobic degradation of cellulose by ruminal microbes.* – *Int. Biodeterior. Biodegradation* 55(3):233-238.

Hänninen, K., Huotari, H. & Malinen, H. 1992: Kompostoinnin biotekniikka ja laitteet. VTT tiedotteita 1371. Poltto- ja lämpötekniikan laboratorio. – 81 s., Espoo.

Hänninen, K. & Koivula, N. 1996: Uusiokäyttöön kerätyn nestepakkauskartongin biovahingoittuminen. Tutkimusselostus ENE 32/T0002/96. VTT Energia. – 49 s., Jyväskylä.

Hänninen, K., Koivula, N., Miikki, V. & Tolvanen, O. 1999: Erilliskerätyn biojätteen aumakompostointi Mustankorkealla Jyväskylässä. Jyväskylän yliopiston biologian laitoksen tiedonantoja 69. – 56 s., Jyväskylä.

Hänninen, K. & Leinonen, S. 1996: Biometanointi. Loppuraportti. VTT Energia. – 51 s., Jyväskylä.

Iivonen, S., Ruuskanen, J., Väntti, K. & Savolainen, T. 1990: Jätehuoltosuunnitelmanenettely jätehuollon kehittämisessä. – 144 s., Ympäristöministeriö, Ympäristönsuojeluosasto. Valtion painatuskeskus, Kampin Valtimo, Helsinki.

Ilomäki, M. 1999: Materiaalitehostamisen ja jätteen synnyn ehkäisyn mahdollisuudet PKT-yrityksissä -yritysten näkökulma. Suomen Ympäristö 369. – 118 s., Pirkanmaan Ympäristökeskus, Hakapaino, Helsinki.

Imai, M., Ikari, K. & Suzuki, I. 2004: High performance hydrolysis of cellulose using mixed cellulase species and ultrasonication pretreatment. – Biochem. Eng. J.17(2):79-83.

Inglesias-Jiménez, E. & Pérez-García, V. 1992: Determination of maturity indices for city refuse composts. – Agric. Ecosyst. Environ. 38(4):331-343.

Jeris, J.S. & Regan, R.W. 1973: A controlling environmental parameters for optimal composting. – Compost Sci.14(1):10-15, 14(3):16-22. (ref. Corominas, E., Perestelo, F., Perez, M.L. ja Falconi, M.A. : Microorganisms and environmental factors in composting or agricultural waste of the Canary Islands. – Teoksessa: Bertoldi, M. de, Ferranti, M.P., L'Hermite, P. & Zucconi, F (toim.): Compost: Production, Quality and Use. Commission of the European communities. Elsevier Applied Science. 853 s.)

Järvinen, S. 2005: CMC-jätteen kompostointikoe koelaitoksella syys-lokakuussa 2005. – 6 s., koeajoraportti. VAPO Oy.

Jäteverotyöryhmä 1999: Valtiovarainministeriön työryhmä muistioita 7/99. – Valtiovarainministeriö. Helsinki. (ref. Ilomäki 1999)

Kargi, F. & Dincer, A.R. 1996: Effect of salt concentration on biological treatment of saline wastewater by fed-batch operation. – Enzyme Microb. Technol. 19(7):529-537.

Kato, S., Haruta, S., Zong, J. C., Ishii, M. & Igarashi, Y. 2004: Effective cellulose degradation by a mixed-culture system composed of a cellulolytic *Clostridium* and aerobic non-cellulolytic bacteria. – FEMS Microbiol. Ecol. 51(1):133-142.

Kautto, P. & Melanen, M. 2004: How does industry respond to waste policy instrument – Finnish experiences. – Journal of Cleaner Production 12(1):1-11.

- Kafkewitz, D. & Togina, M. 1998: *Microbes in the Muc: A Look into the Anaerobic World*. – Teoksessa: Lewandowski, G.A. & DeFilipi, L.L (toim.): *Biological Treatment of Hazardous Wastes*. John Wiley & Sons, New York, U.S.A., ss. 327-357.
- Kemianteollisuus 2005 (päivitetty): Ala numeroin -toimialaraportti. – <http://www.chemind.fi>, 15.12.2005.
- Kerr, J.A. 1994: *Strengths of chemical bonds*. – Teoksessa: Lide, D.R. (toim.): *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. 75. painos. CRC Press, Boca Raton, U.S.A. s.9–51.
- Ketola, R. 2004: Paketo Oy. – www.paketo.com, 12.12.2005.
- Khalil, A.I., Beheary, M.S. & Salem, E.M. 2001: Monitoring of microbial populations and their cellulolytic activities during the composting of municipal solid wastes. – *World J. Microbiol. Biotechnol.* 17(2):155-161.
- Kim, S., Kim, D.H. & S.-H., Hyun 2000: Effect of particle size and sodium ion concentration on anaerobic thermophilic food waste digestion. – *Water Sci. Technol.* 41(3):67-73.
- Komilis, D. 2006: A kinetic analysis of solid waste composting at optimal conditions. – *Waste Manag.* 26(1):82-91.
- Komilis, D.P. & Ham, R.K. 2006: Waste dioxide and ammonia emissions during composting of mixed paper, yard and food waste. – *Waste Manag.* 26(1):62-70.
- Kortekaas, S., Vidal, G., Yan-Ling, H., Lettinga, G. & Field, J.A. 1998: Anaerobic-aerobic treatment of toxic pulping black liquor with upfront effluent recirculation. – *J. Ferment. Bioeng.* 86(1):97-110.
- Koster, I.W. 1989: *Toxicity in anaerobic digestion with emphasis on the effect of ammonia, sulphide and long-chain fatty acids on methanogenesis*. – Ph.D.Thesis, Wageningen Agricultural University. (ref.) Salminen, E. & Rintala, J. 2002: Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste – a review. – *Bioresour. Technol.* 83(1):13-26.
- Kubota, H. & Nakasaki, K. 1991: Accelerated thermophilic composting of garbage. – *BioCycle* 6:66-68.
- Kugelman, I.J. & McCarty, P.L. 1965: "Cation toxicity and stimulation in anaerobic waste treatment. I. Sludge feed studies." – *J Water Pollut Control Fed.* 37:97-116. (ref. Bashir & Matin 2004)
- Kulcu, R. & Yaldiz, O. 2004: Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes. – *Bioresour. Technol.* 93(1):49-57.
- Lahtinen, P. 1984: *Yhdyskuntalietteen aumakompostointi*. – Teoksessa: Paatero, J., Kallio, H., Kiiskinen, S., Lehtokari, M. & Viikari, P. (toim.): *Kompostointiteknikka*. INSKO, Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus. 35 painos. Insinöörיתיeto Oy.
- Lahtinen, M. & Boekema, R.H.A. 2003: *Biostability of Celflow in paint*. Noviant Proprietary Report, November 3.2003.

- Lay, J., Li, Y., Noike, T., Endo, J. & Ishimoto, S. 1997: Analysis of environmental factors affecting methane production from high-solids organic waste. – *Water Sci. Technol.* 36(6-7):493-500.
- Lehto, T & Ekholm, E. 2001: Suomalaisen kompostointilaitosten toimivuus ja tehostaminen. 1. Väiliraportti. Jaakko Pöyry Infra. Maa ja vesi. – www.jly.fi/komplait_A.pdf, 17.11.2005.
- Lehtokari, M. 1984: Kompostoinnin biotekniset perusteet. – Teoksessa: Paatero, J., Kallio, H., Kiiskinen, S., Lehtokari, M. & Viikari, P. (toim.): Kompostointitekniikka. INSKO, Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus. 35 painos. Insinööritieto Oy.
- Lettenmeier, M. 1994: Roskapuhetta. Jäteneuvonnan käsikirja. – 280 s., Ympäristöministeriö, vesi- ja ympäristöhallitus ja rakennusalan Kustantajat, Gummerus, Jyväskylä.
- Liu, H.W., Walter, H.K., Vogt, G.M., Vogt, H.S. & Holbein, B.E. 2002: Steam pressure disruption of municipal solid waste enhances anaerobic digestion kinetics and biogas yield. – *Biotechnol. Bioeng.* 77(2):121-130.
- Lynch, J.M. 1987: Lignocellulolyses in composts. – Teoksessa: Bertoldi, M. de, Ferranti, M.P., L'Hermite, P. & Zucconi, F (toim.): *Compost: Production, Quality and Use*. Commission of the European communities. Elsevier Applied Science. 853 s.
- MacGregor, S.T., Miller, F.C., Psarianos, K.M. & Finstein, M.S. 1981: Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature. – *Appl. Environ. Microbiol.* 41(6):1321-1330.
- Madigan, M.T., Martinenko, J.M. & Parker, J. 2003: Brock biology of microorganisms. 10. painos. – 1019 s., Prentice Hall International, New Jersey, U.S.A.
- Manios, V.I., Tsikalas, P.E. & Siminis, H.I. 1987: Phytotoxicity of olive tree leaf compost. – Teoksessa: Bertoldi, M. de, Ferranti, M.P., L'Hermite, P. & Zucconi, F (toim.): *Compost: Production, Quality and Use*. Commission of the European communities. Elsevier Applied Science. 853 s.
- Martikainen, E. 1991: Kompostointi biologisena prosessina. Jätevesilietteen kompostointiseminaari Jyväskylässä 12-13.3.1991 – 8s.
- Mata-Alvarez, J., Macé, S. & Llabrés, P. 2000: Anaerobic digestion of organic solid wastes. An overview of research achievements and perspectives. – *Bioresour. Technol.* 74 (1):3-16.
- Mata-Alvarez, J. 2002: Fundamentals of the anaerobic digestion process. – Teoksessa: Mata-Alvarez, J. (toim.) 2003: *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*. IWA Publishing, London, U.K., ss. 1-20.
- McGinnis, G.D., Wilson, W.W. & Mullen, C.E. 1983: Biomass pre-treatment with water and high-pressure oxygen. The wet oxidation process. – *Ind. Eng. Chem. Res.* 22(2):352-357.

- McInerney, M.J. 1988: Anaerobic hydrolysis and fermentation of fats and proteins. – Teoksessa: Zehnder, A.J.B. (toim.): Biology of Anaerobic Microorganisms. John Wiley & Sons, Inc, New York, U.S.A., ss. 373-416.
- Melander, M. & Vuorinen, T. 2001: Determination of the degree of polymerisation of carboxymethyl cellulose by size exclusion chromatography. – Carbohydr. Polym. 46(3):227-233.
- Miller, F.C. 1991: Biodegradation of solid wastes by composting. – Teoksessa: Martin, A.M. (toim.): Biological Degradation of Wastes. Elsevier Applied Science, London, U.K., ss.1-30.
- Miyamoto, K. (toim.) 1997: Renewable biological systems for alternative sustainable energy production. FAO Agricultural Services Bulletin – 128 s. – <http://www.fao.org>, 20.11.2005.
- Mondini, C., Fornasier, F. & Sinicco, T. 2004: Enzymatic activity as a parameter for the characterization of the composting process. – Soil Biol. Biochem. 36(10):1587-1594.
- Mountfort, D.O., Asher, R.A. & Bauchop, T. 1982: Fermentation of cellulose to methane and carbon dioxide by a rumen anaerobic fungus in a triculture with *Methanobrevibacter sp.* strain RA1 and *Methanosarcina barkeri*. – Appl. Environ. Microbiol. 44(1):128-134.
- Nie, H., Liu, M., Zhan, F. & Guo, M. 2004: Factors on the preparation of carboxymethylcellulose hydrogel and its degradation behavior in soil. – Carbohydr. Polym. 58(2):185-189.
- Niemi, T. 1991: Kompostoinnin kehittyvä teknologia. Ympäristö & Teknologia. 1:33-36.
- Norbu, T., Visvanathan, C. & Basnayake, B. 2005: Pretreatment of municipal solid waste prior to landfilling. – Waste Manag. 25(10):997-1003.
- O'leary, P.R., Walsh, P. & Razvi, A.S. 1990: Composting and the waste management plan. Waste Age 2 1990. Waste Age Composting Course. Waste Recyclers Council. A Council of the National Solid Wastes Management Association, Washington, U.S.A.
- Op Den Camp, H.J.M. & Gijzen, H.J. 1991: The Rudad -process for enhanced degradation of solid organic waste materials. – Teoksessa: Martin, A.M. (toim.): Biological Degradation of Wastes. Elsevier Applied Science, London, U.K., ss. 287-306.
- Oremland, R.S. 1988: Biogeochemistry of methanogenic bacteria. – Teoksessa: Zehnder, A.J.B. (toim.): Biology of Anaerobic Microorganisms. John Wiley & Sons, New York, U.S.A., ss. 641-706.
- Owens, J.M. & Chynoweth, D.P. 1993: Biochemical methane potential of municipal solid waste (MSW) components. – Water Sci. Technol. 27(2):1-14. (ref. Liu ym. 2002)
- Paperinkeräys Oy 2005: Toimiston lajittelu. Paperinkeräys – yhtiöt Oy. – <http://www.paperinkerays.fi/186>, 17.9.2005.
- Parr, J.F., Epstein, E., & Wilson, G.B 1978: Composting Sewage Sludge for Land Application. – Agric. Environ. 4(2):123-137. (ref. Finstein ym. 1986a)

- Parsiala, A. 1996: Jätehuoltoselvitys. Metsä-Serla Chemicals Oy.
- Payne, W.J. 1973: Reduction of nitrogenous oxides by microorganisms. – *Bacteriol Rev* 37(4):409-452.
- Pietikäinen, H. 1985: Karboksimeetyyliselluloosan valmistus ja käyttö. – *Kemia-Kemi*, 4:353-355.
- Pongrácz, E. 2002: Re-defining the Concepts of Waste and Waste Management: Evolving the Theory of Waste Management. – Ph.D. thesis. University of Oulu, Department of Process and Environmental Engineering, 2002, 168s. – <http://herkules.oulu.fi/isbn9514268210/>, 15.12.2005.
- Pudelski, T. 1987: Horticultural use of compost. – Teoksessa: Bertoldi, M. de, Ferranti, M.P., L'Hermite, P. & Zucconi, F. (toim.): *Compost: Production, Quality and use*. Commission of the European communities. Elsevier Applied Science. 853 s.
- PYR 2005: Pakkausalan ympäristörekisteri PYR Oy. – <http://www.pyr.fi/index.htm>, 1.11.2005.
- Pöyhönen, P., Lampinen, A. & Hänninen, K. 2004: Mapping biogas potential in Finland. – Teoksessa: Swaai, W.P.M. van, Fjällström, T. & Grassi, A. (toim.): *The Second World Biomass Conference Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Volume 2*. Proceeding of the world conference, 10.-14.5.2004, Rome, Italy, ss. 1794-1797.
- Razvi, A.S., O'leary, P.R. & Walsh, P. 1989: Basic principles of composting. Waste age 20-21 (6-12, 1-3). Waste Age Composting Course. Waste Recyclers Council. A Council of the National Solid Wastes Management Association, Washington, U.S.A.
- Reese, E.T., Siu, R.G.H. & Levinson, G.S. 1950: The biological degradation of soluble cellulose derivatives and its relationship to the mechanism of cellulose hydrolysis. – *J Bacteriol.* 59(4):485-497.
- Riistama, K., Laitinen, J. & Vuori, M.(toim) 2003: Suomen kemianteollisuus. – 272 s., Chemas Oy, Helsinki.
- Rilling, N., Arndt, M. & Stegmann, R. 1996: Anaerobic Fermentation of biowaste at high total solids content – experiences with ATF-System. – Teoksessa: Hansen, J.A. (toim.): *Management of Urban Biodegradable Wastes*. James & James, London, U.K., ss. 172-180.
- Romantschuk, M. 2004: Prosessin hallinta kompostoinnissa. Helsingin yliopiston ympäristöekologian laitos. Power-point diasarja. – http://websrv2.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/Kaynnissa/Streams/fi/Dokumenttia/rkisto/Viestinta_ja_aktivointi/Seminaarit/2004/25-5-2004/6-1/Prosessin_hallinta.pdf, 17.11.2005.
- Rothbaum, H.P. 1961: Heat output of thermophiles occurring on wool. – *J. Bacteriol.* 81:165-171.

- Sanders, W.T.M., Geerink, M., Zeeman, G. & Lettinga, G. 1999: Anaerobic digestion of solid waste II. – *Water Sci. Technol.* 41(3):17-24.
- Sanders, W.T.M., Veeken, A.H.M., Zeeman, G. & van Lier, J.B. 2002: Analysis and optimisation of the anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste. – Teoksessa: Mata-Alvarez, J. (toim.) 2003: *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*. IWA Publishing, London, U.K., ss. 63-90.
- Schink, B. 1988: Principles and limits of anaerobic degradation: environmental and technological aspects. – Teoksessa: Zehnder, A.J.B. (toim.): *Biology of Anaerobic Microorganisms*. John Wiley & Sons Inc, New York, U.S.A., ss. 771-846.
- Schulze, K.L. 1962: Continuous thermophilic composting. – *Appl. Microbiol.* 10(2):108-122.
- Shea, T.G., Braswell, J. & Coker, C.S. 1982: Bulking agent selection in sludge compost facility design. – Teoksessa: Goldstein, J. (toim.): *Composting. Theory and practice for city, industry and farm*. BioCycle magazine. J.G. Press; Emmaus, Pa., 258 s.
- Shin, H.-S., Jeong, Y.-K. & Hwang, E.-J. 1996: C/N ratio effect on degradation of cellulose in composting of food waste and paper. – Teoksessa: Hansen, J.A. (toim.): *Management of Urban Biodegradable Wastes*. James & James Ltd, London, U.K., ss. 218-227.
- Sieger, C.H.N., Kroon, A.G.M., Batelaan, J.G. & van Ginkel, C.G. 1995: Biodegradation of carboxymethyl celluloses by *Agrobacterium* CM-1. – *Carbohydr. Polym.* 27(2):137-143.
- Siegert, I. & Banks, C. 2005: The effect of volatile fatty acid additions on the anaerobic digestion of cellulose and glucose in batch reactors. – *Process Biochem.* 40(11):3412-3418.
- Sjöström, E. 1993: *Wood chemistry: fundamentals and applications*. 2. painos. – 293 s. Academic Press, San Diego, U.S.A.
- Skrifvars, B.-J. & Hupa, M. 2002: Tuhka kuonaantuminen, likaantuminen ja korroosio. – Teoksessa: Raiko, R., Saastamoinen, J., Hupa, M. & Kurki-Suonio, I. (toim.): *Poltto ja palaminen*. 2. täyd. painos. International Flame Research Foundation – Suomen kansallinen osasto. Teknillistieteelliset akatemit. Helsinki, Gummerus, Jyväskylä., ss. 269-299.
- Smith, P.H. & Mah, R.A. 1966: Kinetics of acetate metabolism during sludge digestion. – *Appl. Microbiol.* 14(3):368-371
- Smårs, S., Gustafsson, L., Beck-Friis, B. & Jönsson, H. 2002: Improvement of the composting time for household waste during an initial low pH phase by mesophilic temperature control. – *Bioresour. Technol.* 84(3):237-241.
- Soares, H.M., Cárdenas, B., Weir, D. & Switzenbaum, M.S. 1995: Evaluating pathogen regrowth in biosolids compost. – *BioCycle* 36(6):70.
- Sonakya, V., Raizada, N. & Kalia, V.C. 2001: Microbial and enzymatic improvement of anaerobic digestion of waste biomass. – *Biotechnol. Lett.* 23(18):1463-1466.

Song, H., Clarke, W.P. & Blackall, L.L. 2005: Concurrent microscopic observations and activity measurements of cellulose hydrolyzing and methanogenic populations during the batch anaerobic digestion of crystalline cellulose. – *Biotechnol Bioeng.* 91(3):369-378.

Stelzer, G.I. & Klug, E.D. 1980: Carboxymethylcellulose. – Teoksessa: Davidson, R.L. (toim.): *Handbook of Water Soluble Gums and Resins*, New York, U.S.A. ss.

Stewart, B.J. & Leatherwood, J.M. 1976: Derepressed synthesis of cellulose by *Cellulomonas*. – *J. Bacteriol.* 128(2): 609-615.

Suler, D.J & Finstein, M.S. 1977: Effect of temperature, aeration, and moisture on CO₂ formation in bench-scale, continuously thermophilic composting of solid waste. – *Appl. Environ. Microbiol.* 33(2):345-350.

Sundberg, C. & Jönsson, H. 2005: Process inhibition due to organic acids in fed-batch composting of food waste – influence of starting culture. – *Biodegradation* 16(3):205-213.

Teollisuus- ja työnantajat, TT 1996: Teollisuus ja tuottajan vastuu jätehuollossa - suuntaviivoja. – 12 s., Teollisuuden ja työnantajan keskusliitto, Ympäristösuojeluvaliokunta, tuottajanvastuu-työryhmä, Helsinki.

Tiedje, J.M. 1988: Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium. – Teoksessa: Zehnder, A.J.B. (toim.): *Biology of Anaerobic Microorganisms*. John Wiley & Sons Inc, New York, U.S.A., ss. 179-244.

Tiirikkala, A. 2002: Ikikukat kukkivat tunkiolla jatkossakin. Luuppi -tutkivan journalismin portaali. Jyväskylän yliopisto. – www.jyu.fi/viesti/verkkotuotanto/tutkiva/jutut/ikikukat.shtml, 13.10.2005.

Tilastokeskus 2004: Jätteiden kertymät ja käsittely 2003. – http://www.tilastokeskus.fi/til/jate/2003/jate_2003_2004-12-21_tau_001.html, 1.11.2005.

Tiquia, S.M, Tam, N.F.Y. & Hodgkiss, I.J. 1998: Changes in chemical properties during composting of spent pig litter at different moisture contents. – *Agric., Ecosyst. Environ.* 67(1):79-89.

Vakkilainen, E. 1999: Chemical recovery. – Teoksessa: Gullichsen, J. & Fogelholm, C.-J. (toim.): *Papermaking Science and Technology*. Vol. 6B. Fabet, Helsinki, ss. 6-34.

Vandevivere, P., De Baere, L. & Verstraete, W. 2002: Types of anaerobic digester for solid wastes. – Teoksessa: Mata-Alvarez, J. (toim.) 2003: *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes*. IWA Publishing, London, U.K., ss. 111-140.

Veeken, A., Kalyuzhnyi, S. Scharff, H. & Hamelers, B. 2000: Effect of pH and VFA on hydrolysis of organic solid waste. – *J. Environ. Eng.* 126(12):1076-1081.

Verschut, C., Tno-Me, T.D. & Brethouwer, V. 1996: Composting of a mixture of VFG waste and used paper diapers. – Teoksessa: Bertoldi, M. de, Sequi, P. Lemmes, B. & Papi, T. (toim.): *The science of composting. Part I*. Blackie Academic & Professional, London, U.K., ss. 612-626.

- Vesanen, K. (2004): Sellun korvaaminen osittain kierrätyspaperilla teknisen CMC:n valmistuksessa. Noviant työtilaus WO-2738.
- Vidal, G. & Diez, M.C. 2005: Methanogenic toxicity and continuous anaerobic treatment of wood processing effluents. – *J. Environ. Manage.* 74(4):317-325.
- Vidal, G., Videla, S. & Diez, M.C. 2001: Molecular weight distribution of Pinus radiata kraft mill wastewater treated by anaerobic digestion. – *Bioresour. Technol.* 77(2):183-191.
- Vogels, G.D, Keltjens, J.T. & van der Drift, C. 1988: Biochemistry of methane production. – Teoksessa: Zehnder, A.J.B. (toim.): *Biology of Anaerobic Microorganisms*. John Wiley & Sons Inc, New York, U.S.A., ss. 707-770.
- Walsh, P., Razvi, A.S. & O'leary, P.R. 1990: Operating a compost facility. Waste Age 1 1990. Composting Course. Waste Recyclers Council. A Council of the National Solid Wastes Management Association, Washington, U.S.A.
- Wang, L.-S., Zhang, Y.-Z., Yang, H. & Gao, P.-J. 2004: Quantitative estimate of the effect of cellulase components during degradation of cotton fibers. – *Carbohydr. Res.* 339(4):819-824.
- Wang, N.S. 2005: Experiment No. 4. Cellulose Degradation. Biochemical Engineering Laboratory. Spring 2005, University of Maryland. – www.glue.umd.edu/~nsw/Welcome.html, 12.12.2005.
- Watson, M.E.: Testing Compost. Extension FactSheet. The Ohio State University extension. – <http://ohioline.osu.edu/anr-fact/0015.html>, 10.11.2005.
- Wellinger, A. 1999: Process design of agricultural digesters. – <http://homepage2.nifty.com/biogas/cnt/refdoc/whrefdoc/d14prdg.pdf>, 28 s., 20.11.2005.
- Whitney, P.J. & Lynch, J.M. 1996: The importance of lignocellulosic compounds in composting. – Teoksessa: Bertoldi, M. de, Sequi, P. Lemmes, B. & Papi, T. (toim.): *The science of composting. Part I*. Blackie Academic & Professional, London, U.K., ss. 531-541
- Widdel, F. 1988: Microbiology and ecology of sulfate- and sulfur-reducing bacteria. – Teoksessa: Zehnder, A.J.B. (toim.): *Biology of Anaerobic Microorganisms*. John Wiley & Sons Inc, New York, U.S.A., ss. 469-586.
- Willson, G.B., Parr, J.F., Epstein, E., Marsh, P.B., Chaney, R.L., Colacicco, D., Burge, W.D., Sikora, L.J., Tester, C.F. & Hornick, S. 1980: Manual for Composting Sewage Sludge by the Beltsville Aerated-Pile Method, U.S. Dept. Agrie./U.S EPA-600/8-80-022, Cincinnati, Ohio. (ref. Finstein ym. 1986a)
- Winqvist 2000: Ympäristöajattelu valttia myös vuokratekstiileissä. Tiedote. Lindström Oy. – www.lindstromgroup.com, 15.11.2005.
- Wirick, M.G. 1974: Aerobic biodegradation of carboxymethylcellulose. – *J Water Pollut Control Fed.* 46(3):512-521.

Witter, E. & Lopez- Real, J.M. 1987: Monitoring the composting process using parameters of compost stability. – Teoksessa: Bertoldi, M. de, Ferranti, M.P., L'Hermite, P. & Zucconi, F (toim.): Compost: Production, Quality and Use. Commission of the European communities. Elsevier Applied Science. 853 s.

Yang, Y., Tsukahara, K., Yagishita, T. & Sawayama, S. 2004: Performance of a fixed-bed reactor packed with carbon felt during anaerobic digestion of cellulose. – *Bioresour Technol.* 94(2):197-201.

Yli-Kaupilla, H. & Niemi, A 2003: Keski-Suomen alueellisen jätehuoltosuunnitelman tarkistus. Monistesarja 56. – 266s., Keski-Suomen Ympäristökeskus, Jyväskylä.

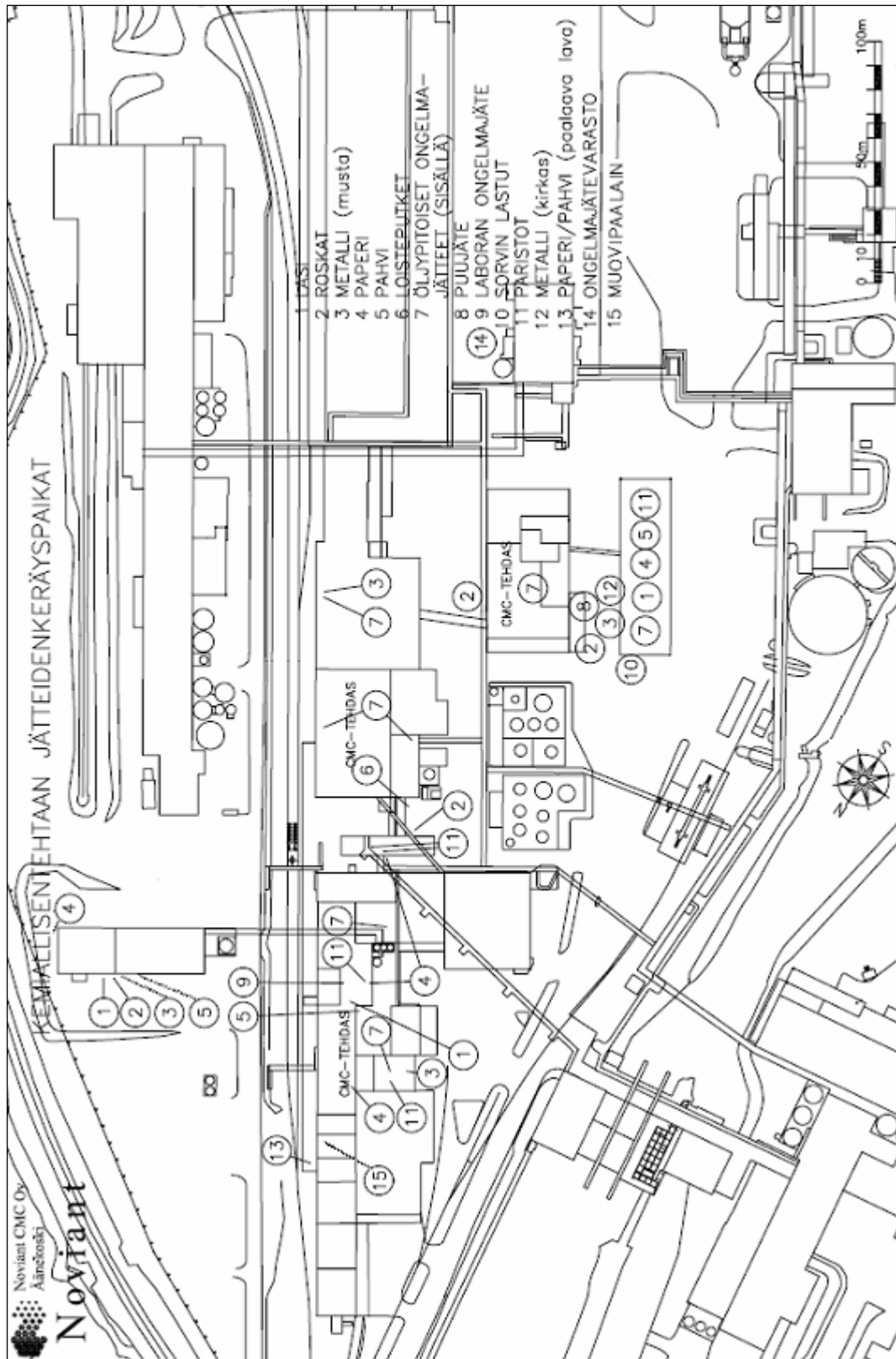
Zehnder, A.J.B. 1988: Geochemistry and biogeochemistry of anaerobic habitats. – Teoksessa: Zehnder, A.J.B. (toim.): *Biology of Anaerobic Microorganisms*. John Wiley & Sons Inc, New York, U.S.A., ss. 1-38.

Zhang, Y.-H.P. & Lynd, L.R. 2004: Toward an aggregated understanding of enzymatic hydrolysis of cellulose: Noncomplexed cellulase systems. Wiley InterScience – www.interscience.wiley.com, 29.11.2005.

Zinder, S.H. 1984: Microbiology of anaerobic conversion of organic wastes to methane: recent developments. – *ASM News* 50:294-298. (ref. Dolfig 1988)

Zucconi, M. & Bertoldi, M. de 1987: Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. – Teoksessa: Bertoldi, M. de, Ferranti, M.P., L'Hermite, P. & Zucconi, F (toim.): Compost: Production, Quality and Use. Commission of the European communities. Elsevier Applied Science. 853 s.

Liite1. Jätejakeiden keräyspistekartta



KYSELY CP KELCON JÄTEHUOLLOSTA

Jyväskylän yliopiston ja CP Kelco Oy:n toteuttama pro gradu-tutkielma tarkastelee Äänekosken CMC-tehtaan jätehuoltosuunnitelman nykytilaa ja sen kehittämismahdollisuuksia. *Tutkimuksessa ei keskitytä henkilökunnan jätehuoltotuntemukseen, vaan se tarkastelee osastojen syntypaikkalajittelua ja kunkin työntekijän tehtäviä koskevaa jätehuoltoa.* Mielenpito on tärkeä, sen avulla jätehuollon toimivuutta ja tehokkuutta voidaan parantaa. Samalla kehitetään tulevaa jätehuoltosuunnitelmaa.

Kysely tulee palauttaa tutkielman laatijalle 29.04.2005 mennessä. Mikäli teillä on kysyttävää tai haluatte kommentoida asiaan liittyen, ottakaa yhteyttä. Tutkielman tekijä toimii Pilotin tiloissa.

Kiitos vastauksistanne!

Kari Kirjavainen
044-3461899
kmmkirjav@cc.jyu.fi

Rastita mielestäsi sopivin vaihtoehto. Mikäli kysymys ei koske toimenkuvaasi, rastita sille varattu vaihtoehto.

1) Tiedättekö eri jätejakeiden keräyspisteiden sijainnin?

	Kyllä	Ei	Ei osaa sanoa	Ei kuulu toimenkuvaan
Sekajäte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
CMC-jäte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Paperi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pahvi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lasi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Metalli	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Puu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ongelmajäte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muovi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu jäte, mikä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Tulisiko keräyspisteiden sijaintia mielestänne muuttaa? _____

2) Onko teitä opastettu jätteiden keräyspistelajittelussa?

Kyllä	Ei	Ei osaa sanoa
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

3) Onko jätekeräyspisteiden määrä riittävä, kun tarkastelussa ovat seuraavat jätelajit?

	Kyllä	Ei	Ei osaa sanoa	Ei kuulu toimenkuvaan
Sekajäte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
CMC-jäte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Paperi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pahvi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lasi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Metalli	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Puu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ongelmajäte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muovi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu jäte, mikä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

4) Onko keräyspisteiden paikat ja niiden tiedot merkitty riittävän selkeästi?

	Kyllä	Ei	Ei osaa sanoa	Ei kuulu toimenkuvaan
Sekajäte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
CMC-jäte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Paperi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pahvi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lasi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Metalli	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Puu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ongelmajäte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muovi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu jäte, mikä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Jos ei, niin miten keräyspisteet tulisi mielestänne merkitä?

5) Onko jätejakeiden sijoittamisessa oikeisiin keräyspisteisiin ollut epäselvyyksiä?

Kyllä	Ei	Ei osaa sanoa
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Jos kyllä, niin millaisia _____

6) Oletteko havainneet muita ongelmia jätejakeiden keräyksessä, kun tarkastelussa ovat seuraavat jätejakeet?

	Kyllä	Ei	Ei osaa sanoa	Ei kuulu toimenkuvaan
Sekajäte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
CMC-jäte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Paperi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Pahvi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Lasi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Metalli	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Puu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ongelmajäte	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muovi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Muu jäte, mikä?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Jos kyllä, niin minkälaisia ongelmia? _____

7) Aiheuttaako kierrätys ylimääräistä työtä?

Kyllä	Ei	Ei osaa sanoa
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Jos kyllä, niin miten? _____

8) Minkä jätelajin keräyksessä ja kierrätyksessä olisi mielestänne eniten kehitettävää, kun kyseessä ovat seuraavat jätelajit? Rastita **kolme** tärkeintä!

Sekajäte	<input type="radio"/>
CMC-jäte	<input type="radio"/>
Paperi	<input type="radio"/>
Pahvi	<input type="radio"/>
Lasi	<input type="radio"/>
Metalli	<input type="radio"/>
Puu	<input type="radio"/>
Ongelmajäte	<input type="radio"/>
Muovi	<input type="radio"/>
Muu jäte, mikä?	<input type="radio"/>

Mahdolliset perustelut? _____

9) Onko jätehuoltoon liittyvää koulutusta ollut riittävästi?

Kyllä	Ei	Ei osaa sanoa
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10) Olisitko valmis osallistumaan jätehuoltokoulutukseen, mikäli määrää lisättäisiin?

Kyllä	Ei	Ei osaa sanoa
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Mitä aiheita koulutuksessa tulisi käsitellä?

Henkilötiedot: Rastita sopivin vaihtoehto.

	Mies	Nainen
Sukupuoli	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

	18–26	27–35	36–44	45–53	yli 54
Ikä	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Osasto	
Tuotanto	<input type="radio"/>
Kunnossapito	<input type="radio"/>
Tuotekehitys/teknologia	<input type="radio"/>
Laadunvalvonta	<input type="radio"/>
Muu	<input type="radio"/>

Toimipiste/rakennus	
3-linja	<input type="radio"/>
4-linja	<input type="radio"/>
6-linja	<input type="radio"/>
Konekorjaamon rakennus	<input type="radio"/>
Tuotevaraston rakennus	<input type="radio"/>
Laboratorio+T & K tilat	<input type="radio"/>
Konttoritilat	<input type="radio"/>
Vanha pää/päivävuoro	<input type="radio"/>
Tislaamo+säkitys rakennus	<input type="radio"/>
Pilot	<input type="radio"/>

Koulutus	
Peruskoulu	<input type="radio"/>
Ammattikoulu	<input type="radio"/>
Lukio	<input type="radio"/>
II asteen tutkinto	<input type="radio"/>
Ylempi korkeakoulututkinto	<input type="radio"/>

Mahdolliset parannusehdotukset jätehuollon toimivuuteen?

Liite 3. Syntyvien jättejakeiden keräyspistesuunnitelma, hyötykäyttö ja loppusijoitus

Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
Tislaamo+säkitys	Kuivajäte	Kuivajäteroskikset/lavat	Isot kuivajätelavat	Tehdaskaatopaikka
	CMC-jäte (alipainoiset säkit)	Kiertää linjalla		Sisäinen kierto tehtaalla
	CMC-jäte (keskuspölynimuri)	Suursäkit		Varastointi/kompostointi/mädätys
	Paperijäte	Sanomalehtilaatikko	Paperinkeräyslaatikot	Hyötykäyttö UPM Kaipola
	Paperisäkit (teollisuuskuitu)	Paperisäkkilava	Paperipuristin (sekoitusasema)	Hyötykäyttö Corenso Varkaus
	Metallijäte	Metallijäteastiat	Isot metallijätelavat	Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Puujäte		Iso puujätelava	Energiäkäyttö Äänevoima
	Ongelmajäte (kiint.öljyjäte)	Kiint.öljyjen laatikko		Ongelmajätelaitos
	Muovijäte	Muovijätelava	Paalain sekoitusasema/(6-linja)	Hyötykäyttö muovivastaanottajat

Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
6-linja	Kuivajäte	Kuivajäteroskikset/lavat	Isot kuivajätelavat	Tehdaskaatopaikka
	CMC-jäte (nappula)	Suursäkit		Sisäinen kierto tehtaalla/kompostointi/mädätys
	CMC-jäte (keskuspölynimuri)	Suursäkit		Varastointi/kompostointi/mädätys
	Paperijäte	Konttori- ja sanomalehtilaatikot	Paperinkeräyslaatikot	Hyötykäyttö Tissue Mänttä ja UPM Kaipola
	Pahvijäte (kääreetsellurullista)	Pahvikeräyslava/kontti	(Paalain 6-linja)	Hyötykäyttö Corenso Pori
	Pahvijäte (hylsy)	Hylsylaatikko	Iso hylsylava/paperipuristin	Hyötykäyttö Corenso Varkaus
	Metallijäte	Metallijäteastiat	Isot metallijätelavat	Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Metallijäte (paalilangat)	Kiertävät paalilankalaatikot		Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Metallijäte (Alumiini, Happoteräs)	Metallijäteastiat	Erikoismetallikeräyslaatikot	Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Puujäte		Iso puujätelava	Energiäkäyttö Äänevoima
	Ongelmajäte (kiint.öljyjäte)	Kiint.öljyjen laatikko		Ongelmajätelaitos
	Ongelmajäte (paristot)	Paristolaatikko	Ongelmajätevarasto	Ongelmajätelaitos
	Muovi/ongelmajäte (NaMCA-säkit)			Kierrätys toimittajalle
	Sellujäte (arkit)	Sellujätelava/CMC-jätelavat		Kierto 4-linjan syöttöön/kompostointi/mädätys

Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
4-linja	Kuivajäte	Kuivajäteroskikset/lavat	Isot kuivajätelavat	Tehdaskaatopaikka
	CMC-jäte	CMC-jätelavat	Iso CMC-lava	Kompostointi/mädätys
	CMC-jäte (keskuspölynimuri)	Suursäkit		Varastointi/kompostointi/mädätys
	Paperijäte	Konttori- ja sanomalehtilaatikat	Paperinkeräyslaatikat	Hyötykäyttö Tissue Mänttä ja UPM Kaipola
	Paperisäkit (teollisuuskuitu)	Paperisäkkilava	Paperipuristin (sekoitusasema)	Hyötykäyttö Corenso Varkaus
	Metallijäte	Metallijäteastiat	Isot metallijätelavat	Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Metallijäte (paalilangat)	Kiertävät paalilankalaatikat		Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Metallijäte (Alumiini, Happoteräs)	Metallijäteastiat	Erikoismetallikeräyslaatikat	Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Puujäte		Iso puujätelava	Energiakäyttö Äänevoima
	Ongelmajäte (kiint.öljyjäte)	Kiint.öljyjen laatikko		Ongelmajätelaitos
	Ongelmajäte (paristot)	Paristokeräysastia 3/4-valvomo	Ongelmajätevarasto	Ongelmajätelaitos
	Muovijäte	Muovijätelava	Muovipaalin (sekoitusasema)	Hyötykäyttö muovivastaanottajat
	Muovijäte (suursäkit)	Kontit		Sisäinen kierrätys tehtaalla
	Muovijäte (vialliset suursäkit)		Muovipaalin (sekoitusasema)	Hyötykäyttö muovivastaanottajat
	Sellujäte (arkit)	Sellujätelava/CMC-jätelavat		Kierto 4-linjan syöttöön/kompostointi/mädätys
	Kemikaalikontit			Pesu, kierrätys toimittajille

Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
3-linja	Kuivajäte	Kuivajäteroskikset/lavat	Isot kuivajätelavat	Tehdaskaatopaikka
	CMC-jäte (nappula)	Suursäkit		Sisäinen kierto tehtaalla/kompostointi/mädätys
	CMC-jäte (keskuspölynimuri)	Suursäkit		Varastointi/kompostointi/mädätys
	Paperijäte (valvomo)	Konttori- ja sanomalehtilaatikat	Paperinkeräyslaatikat	Hyötykäyttö Tissue Mänttä ja UPM Kaipola
	Paperisäkit (teollisuuskuitu)	Paperisäkkilava	Paperipuristin (sekoitusasema)	Hyötykäyttö Corenso Varkaus
	Pahvijäte (stear.pakkaukset)	Pahvirullakko/kontti	(Paalain 6-linja)	Hyötykäyttö Corenso Pori
	Metallijäte	Metallijäteastiat	Isot metallijätelavat	Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Metallijäte (paalilangat)	Kiertävät paalilankalaatikat	Isot metallijätelavat	Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Metallijäte (Alumiini, Happoteräs)	Metallijäteastiat	Erikoismetallikeräyslaatikat	Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Puujäte		Iso puujätelava	Energiakäyttö Äänevoima
	Ongelmajäte (kiint.öljyjäte)	Kiint.öljyjen laatikko		Ongelmajätelaitos
	Ongelmajäte (paristot)	Paristokeräysastia 3/4-valvomo	Ongelmajätevarasto	Ongelmajätelaitos
	Sellujäte (arkit)	Sellujätelava/CMC-jätelavat		Kierto 4-linjan syöttöön/kompostointi/mädätys
	Kemikaalikontit			Pesu, kierrätys toimittajille

Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
Sekoitusasema	Kuivajäte	Kuivajäteroskikset/lavat	Isot kuivajätelavat	Tehdaskaatopaikka
	CMC-jäte (lakaisujäte)	Kuivajätessaavit/lava	Iso CMC-lava	Kompostointi/mädätys
	Paperisäkit (teollisuuskuitu)	Paperisäkkilava	Paperipuristin (sekoitusasema)	Hyötykäyttö Corenso Varkaus
	Pahvijäte (pakkauspahvi)	Pahvirullakot/kontit	(Paalain 6-linja)	Hyötykäyttö Corenso Pori
	Pahvijäte (lavojen aluset)	Oma keräyslava alusille		Kierrätys säkitykseen (4-linja)
	Metallijäte	Metallijäteastiat	Isot metallilavat	Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Puujäte		Iso puujätelava	Energiakäyttö Äänevoima
	Muovijäte (pakkaus- ja kutistemuovi)		Muovipaalain (sekoitusasema)	Hyötykäyttö muovivastaanottajat
	Muovijäte (suursäkit)	Kontit		Sisäinen kierrätys tehtaalla
	Muovijäte (vialliset suursäkit)		Muovipaalain (sekoitusasema)	Hyötykäyttö muovivastaanottajat

Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
Uusi tuotevarasto	Kuivajäte	Kuivajäteroskikset/lavat	Isot kuivajätelavat	Tehdaskaatopaikka
	CMC-jäte (rikkinäiset tuotesäkit)	CMC-jätelavat	Iso CMC-lava	Kompostointi/mädätys
	Paperijäte	Konttori- ja sanomalehtilaatikat	Paperikeräyslaatikat	Hyötykäyttö Tissue Mänttä ja UPM Kaipola
	Paperisäkit	Paperisäkkilavat	Paperipuristin (sekoitusasema)	Hyötykäyttö Corenso Varkaus
	Pahvijäte (pakkauspahvi)	Pahvirullakot/kontit	(Paalain 6-linja)	Hyötykäyttö Corenso Pori
	Metallijäte	Metallijäteastia	Isot metallilavat	Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Puujäte	Puujätelaatikko	Iso puujätelava	Energiakäyttö Äänevoima
	Muovijäte	Muovijätelavat/muovikuristetelineet	Paalain sekoitusasema/(6-linja)	Hyötykäyttö muovivastaanottajat

Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
Tislaamo+säkitys	Kuivajäte	Kuivajäteroskikset/lavat	Isot kuivajätelavat	Tehdaskaatopaikka
	CMC-jäte (alipainoiset säkit)	Kiertää linjalla		Sisäinen kierto tehtaalla
	CMC-jäte (keskuspölynimuri)	Suursäkit		Varastointi/kompostointi/mädätys
	Paperijäte	Sanomalehtilaatikko	Paperinkeräyslaatikat	Hyötykäyttö UPM Kaipola
	Paperisäkit (teollisuuskuitu)	Paperisäkkilava	Paperipuristin (sekoitusasema)	Hyötykäyttö Corenso Varkaus
	Metallijäte	Metallijäteastiat	Isot metallijätelavat	Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Puujäte		Iso puujätelava	Energiakäyttö Äänevoima
	Ongelmajäte (kiint.öljyjäte)	Kiint.öljyjen laatikko		Ongelmajätelaitos
	Muovijäte	Muovijätelava	Paalain sekoitusasema/(6-linja)	Hyötykäyttö muovivastaanottajat

Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
Pilot	Kuivajäte	Kuivajäteroskikset/lavat	Isot kuivajätelavat	Tehdaskaatopaikka
	CMC-jäte	Pieni keräyslava	Iso CMC-lava	Kompostointi/mädätys
	Paperijäte	Konttori- ja sanomalehtilaatikat	Paperinkeräyslaatikat	Hyötykäyttö Tissue Mänttä ja UPM Kaipola
	Paperijäte (silppurijäte)		Paperinkeräyslaatikat	Hyötykäyttö Tissue Mänttä
	Paperijäte (valk.paperi paperipuoli)	Paperinkeräyslaatikko		Hyötykäyttö Tissue Mänttä
	Pahvijäte	Pahvirullakko/kontit	(Paalain 6-linja)	Hyötykäyttö Corenso Pori
	Pahvijäte (paperihylsy paperipuoli)	Hylsylaatikko	Iso hylsylava/Paperipuristin	Hyötykäyttö Corenso Varkaus
	Lasijäte	Lasikeräysämpäri	Lasikeräyslaatikko	Hyötykäyttö Forssa/Riihimäki
	Metallijäte	Metallijäteastia	Isot metallijätelavat	Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Puujäte		Iso puujätelava	Energiäkäyttö Äänevoima
	Ongelmajäte (paristot)	Paristolaatikko	Ongelmajätevarasto	Ongelmajätelaitos
	Ongelmajäte (kemikaalit)	Erillinen haku (metallikontit)		Ongelmajätelaitos
	Muovijäte	Pieni keräyslava	Muovipaalain (sekoitusasema)	Hyötykäyttö muovivastaanottajat
	Sellujäte (jauhettu/arkit)	Pieni keräyslava/hylsylaatikko	Iso CMC-lava/Iso hylsylava	Kompostointi/mädätys/Corenso Varkaus

Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
Laboratorio	Kuivajäte	Kuivajäteroskikset/lavat	Isot kuivajätelavat	Tehdaskaatopaikka
	CMC-jäte	CMC-pölynimuri		Sisäinen kierto tehtaalla
	Paperijäte	Konttori- ja sanomalehtilaatikat	Paperinkeräyslaatikat	Hyötykäyttö Tissue Mänttä ja UPM Kaipola
	Pahvijäte	Pahvirullakko/kontit	(Paalain 6-linja)	Hyötykäyttö Corenso Pori
	Lasijäte	Lasijäteämpärit	Lasikeräyslaatikko	Hyötykäyttö Forssa/Riihimäki
	Ongelmajäte (kemikaalit)	Kemikaalivarasto EKOBX		Ongelmajätelaitos
	Ongelmajäte (paristot)	Paristoämpäri	Ongelmajätevarasto	Ongelmajätelaitos
	Muovijäte	Muovijäteroskis/muovikuristeteline	Muovipaalain (sekoitusasema)	Hyötykäyttö muovivastaanottajat

Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
Kunnossapito	Ongelmajäte (loisteputket)		Loisteputkikeräyspiste	Ongelmajätelaitos
	Ongelmajäte (öljyt)	Öljytynnyrit	Konekorjaamo/ongelmajätevarasto	Ongelmajätelaitos
	Metallijäte (kaapelit)			Hyötykäyttö metalliteollisuus

Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
Konttoritilat	Kuivajäte	Kuivajäteroskikset/lavat	Isot kuivajätelavat	Tehdaskaatopaikka
	Paperijäte	Konttori- ja sanomalehtilaatikat	Paperinkeräyslaatikat	Hyötykäyttö Tissue Mänttä ja UPM Kaipola
	Paperijäte (tuhottava paperi)		Paperinkeräyslaatikko	Hyötykäyttö Tissue Mänttä/poltto
	Paperijäte (silppurijäte)		Paperinkeräyslaatikat	Hyötykäyttö Tissue Mänttä
	Pahvijäte	Postitushuone/pahvirullakko	(Paalain 6-linja)	Hyötykäyttö Corenso Pori
	Ongelmajäte (paristot)	Paristoämpäri	Ongelmajätevarasto	Ongelmajätelaitos
	ATK-jäte/SE-romu		ATK-varastohuone	Hyötykäyttö/Ongelmajätelaitos
	ATK -jäte (värikasetit)	Postitushuone		Hyötykäyttö Keski-Suomen Toimistomaailma
	Muovijäte (muovisilppu PVC)	Muovisilppuri	Sekajäte	Tehdaskaatopaikka

Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
Konekorjaamo	Kuivajäte	Kuivajäteroskikset/lavat	Isot kuivajätelavat	Tehdaskaatopaikka
	Paperijäte	Konttori- ja sanomalehtilaatikat	Paperinkeräyslaatikat	Hyötykäyttö Tissue Mänttä ja UPM Kaipola
	Paperijäte (silppurijäte)		Paperinkeräyslaatikat	Hyötykäyttö Tissue Mänttä
	Pahvijäte	Pahvirullakko/kontti	(Paalain 6-linja)	Hyötykäyttö Corenso Pori
	Lasijäte		Lasikeräyslaatikko	Hyötykäyttö Forssa/Riihimäki/tehdaskaatopaikka
	Metallijäte	Metallijäteastiat	Isot metallijätelavat	Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Metallijäte (Alumiini, Happoteräs)	Metallijäteastiat	Erikoismetallikeräyslaatikat	Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Puujäte		Iso puujätelava	Energiakäyttö Äänevoima
	Ongelmajäte (aerosolipullot)		Aerosolijätetynnyri	Ongelmajätelaitos
	Ongelmajäte (kiint.öljyjäte)	Kiint.öljyjen laatikko		Ongelmajätelaitos
	Ongelmajäte (öljyt, leikkuuneste)	Jäteöljytynnyrit	Jäteöljykontit/ongelmajätevarasto	Hyötykäyttö ja ongelmajätelaitos
	Ongelmajäte (paristot)		Ongelmajätevarasto	Ongelmajätelaitos
	Ongelmajäte (muut, esim akut)		Ongelmajätevarasto	Ongelmajätelaitos

Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
Vanhapää	Kuivajäte	Kuivajäteroskikset/lavat	Isot kuivajätelavat	Tehdaskaatopaikka
	Puujäte		Iso puujätelava	Energiakäyttö Äänevoima
	Muovijäte (suursäkit)	Muovijätelavat	Muovipaalain (sekoitusasema)	Hyötykäyttö muovivastaanottajat
	Kemikaalikontit			Pesu, kierrätys toimittajille

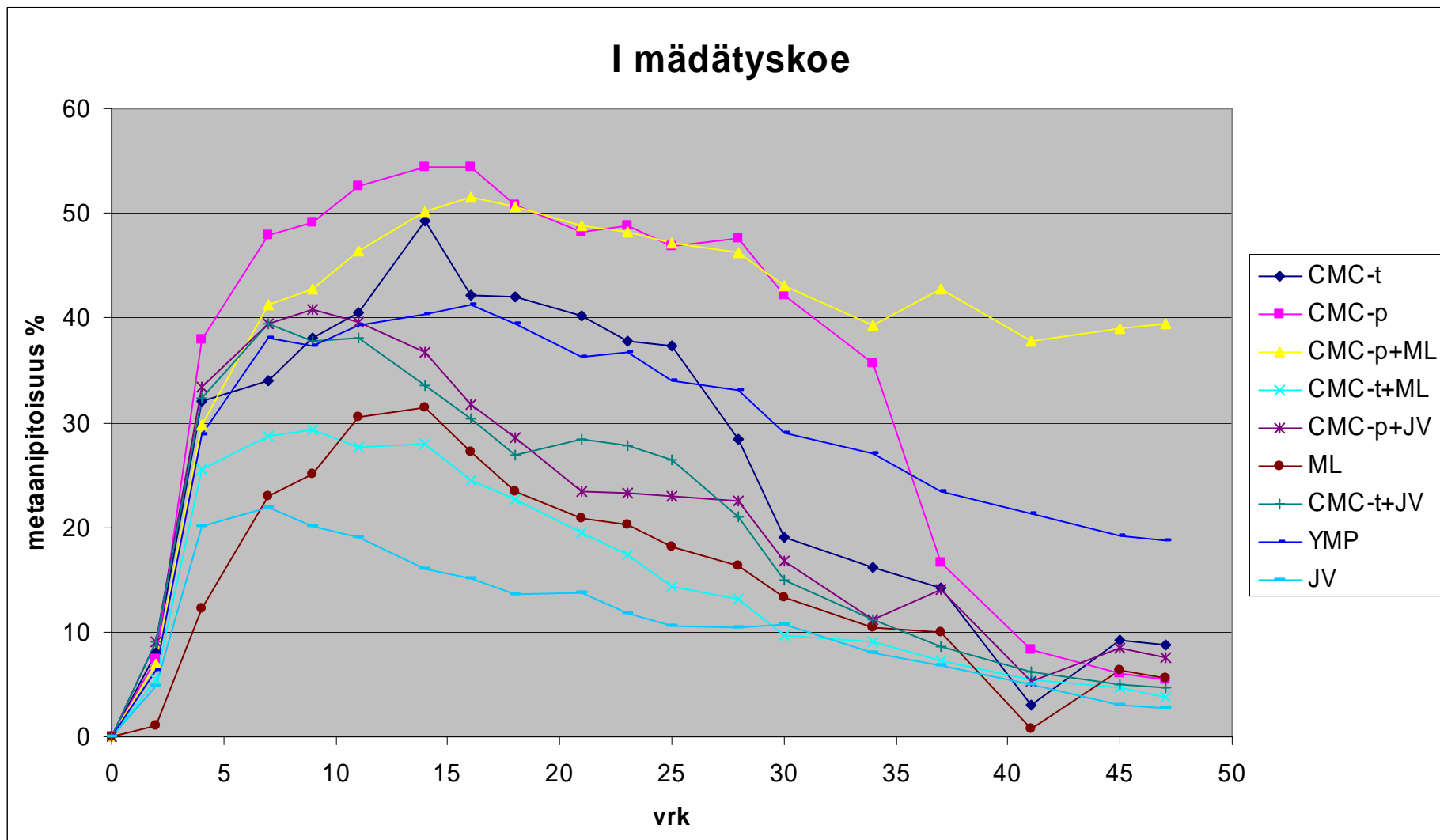
Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
Vanhanpään varasto	Kuivajäte	Kuivajäteroskis	Isot kuivajätelavat	Tehdaskaatopaikka
	CMC-jäte (lakaisujäte)	Pieni CMC-roskis	Iso CMC-lava	Kompostointi/mädätys
	Muovijäte		Muovipaalain (sekoitusasema)	Hyötykäyttö muovivastaanottajat
	Puujäte		Iso puujätelava	Energiakäyttö Äänevoima

Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
Korjaamotukikohdat (vanhapää, 3- ja 4-linja)	Kuivajäte	Kuivajäteroskis	Isot kuivajätelavat	Tehdaskaatopaikka
	Metallijäte	Metallijäteastiat	Isot metallijätelavat	Hyötykäyttö metalliteollisuus
	Ongelmajäte (kiint.öljyjäte)	Kiint.öljyjen laatikko		Ongelmajätelaitos
	Ongelmajäte (aerosolipullot)	Arosolijätelaatikko		Ongelmajätelaitos
	Ongelmajäte (viperiöljyliinat)	(3-4 linja) Keräyssulo		Lindström kierrätys + ongelmajätelaitos

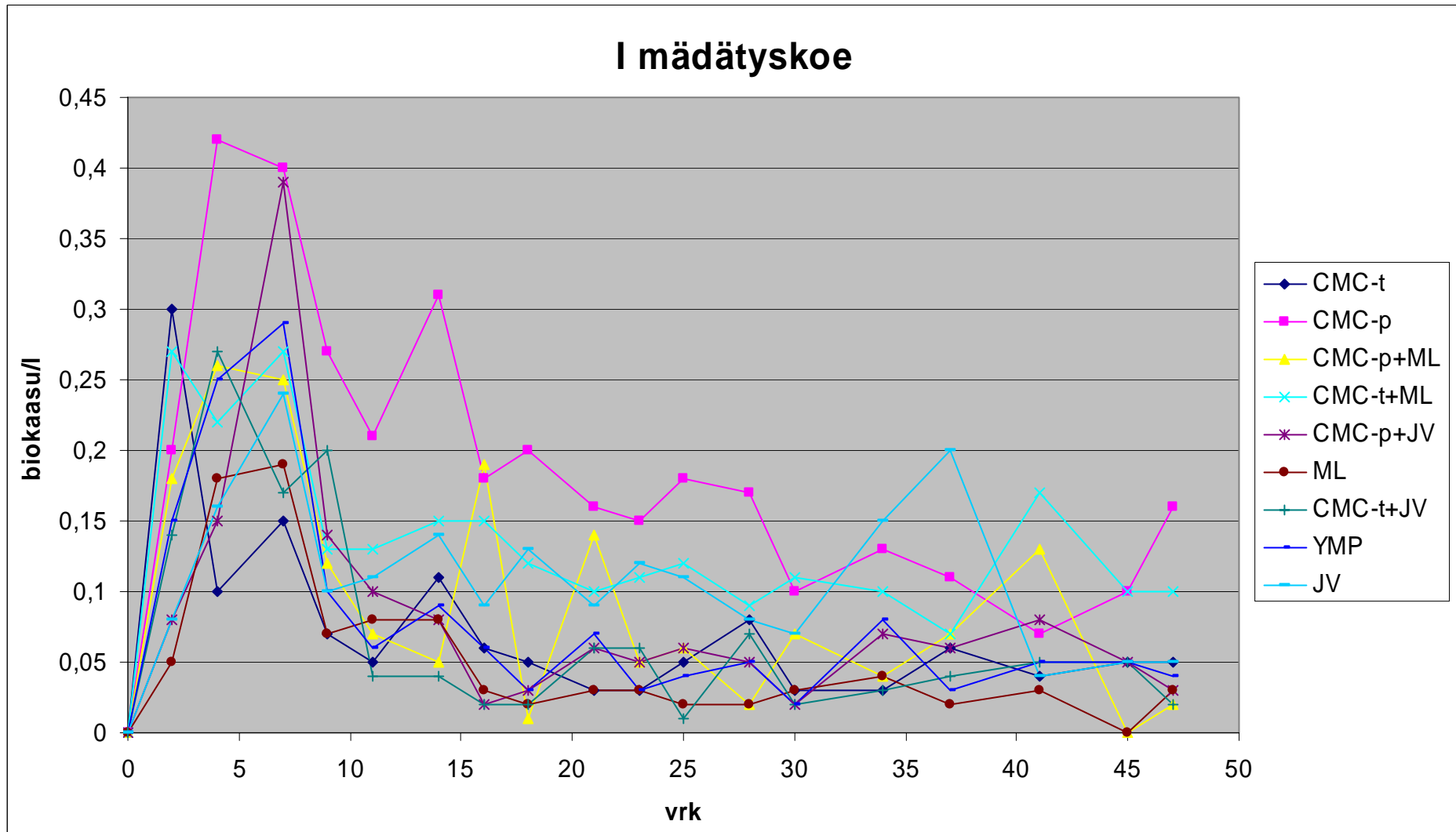
Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppupisteet
Koko tehdasalue	Biojäte	Valvomot ja kahvihuoneet	Keräysastiat eri paikoissa	Kompostointi/mädätys
	Ongelmajäte (elektroniiikkaromu)		Konttorin ATK-varasto	Hyötykäyttö ja ongelmajätelaitos

Prosessi/toimintorakennus	Jätelajit	Keräyspisteet (sisällä)	Isot keräyspisteet	Loppusijoitus
Kemikaalipurkupaikka	Kuivajäte	Kuivajäteroskikset/lavat	Isot kuivajätelavat	Tehdaskaatopaikka
	Ong.jäte (suoja-asut pesty)	Sekajäteroskis	Isot sekajätelavat	Tehdaskaatopaikka

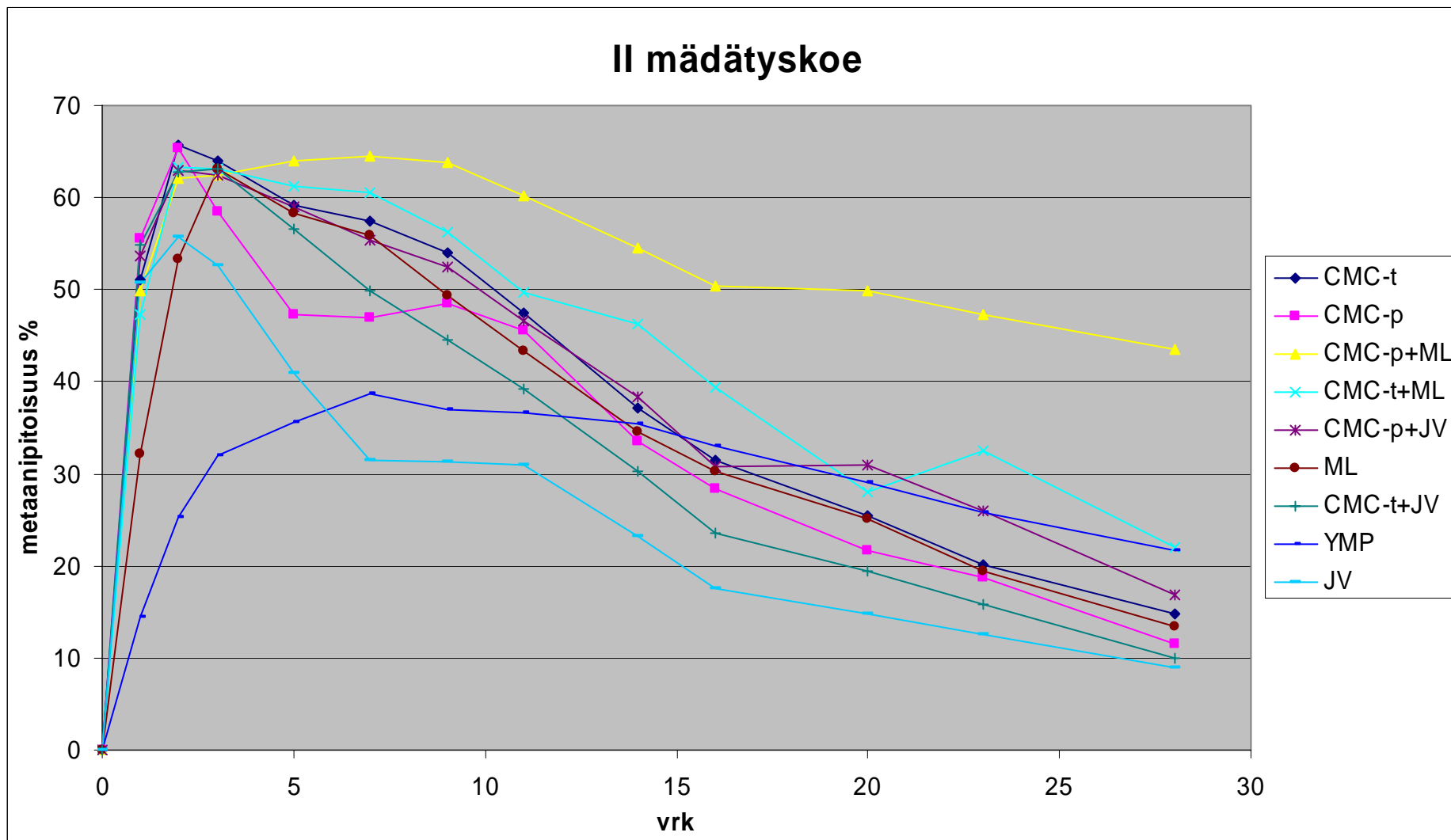
Liite 4. Ensimmäisen mädätyskokeen metaanipitoisuuskuvaaja



Liite 5. Ensimmäisen mädätyskokeen biokaasun tilavuuskuvaaja



Liite 6. Entsyymimädätyskokeen metaanipitoisuuskuvaaja



Liite 7. Entsyymimädätyskokeen biokaasun tilavuuskuvaaja

