

Sami Tuhkanen

Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä

Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja
niiden talteenotto



CLIMTECH

Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä

Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto

Sami Tuhkanen
VTT Prosessit



ISBN 951-38-5895-2 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5896-0 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © VTT 2002

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 4374

VTT Prosessit, Tekniikantie 4 C, PL 1606, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 6538

VTT Processer, Teknikvägen 4 C, PB 1606, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 6538

VTT Processes, Tekniikantie 4 C, P.O.Box 1606, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 6538

Toimitus Maini Manninen

Edita Oyj, Helsinki 2002

Tuhkanen, Sami. Jätehuollon merkitys Suomen kasviuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto [Mitigation of greenhouse gases from waste management in Finland Methane (CH₄) emissions from landfills and landfill gas recovery]. Espoo 2002. VTT Tiedotteita – Research Notes 2142. 46 s.

Avainsanat waste management, landfills, emissions, greenhouse gases, methane, reduction, recovery, First Order Decay method, Finland, costs

Tiivistelmä

Työssä arvioitiin Suomen kaatopaikkojen aiheuttamia metaanipäästöjä ns. FOD-menetelmällä (First Order Decay method), joka ottaa huomioon metaanin (CH₄) syntymisen aikakäyttäytymisen. Menetelmä kuvaa päästöjä huomattavasti realistisemmin kuin nykyisin käytössä oleva massatasemenetelmä varsinkin, kun kaatopaikalle menevissä jätemäärissä tapahtuu suuria muutoksia. Suomessa jätteiden kaatopaikkasijoitus on 1990-luvulla vähentynyt merkittävästi. FOD-menetelmän käyttöön tullaan siirtymään lähivuosina IPCC:n kansainvälisten laskentaohjeiden mukaisesti. Uuden arviointimenetelmän käyttöönotto vaatii kuitenkin monien epävarmojen tekijöiden arviointia. Tärkeimmät näistä ovat kaatopaikkasijoitettujen jätteiden määrän ja koostumuksen historian sekä eri jätejakeiden hajoamisnopeuksien arviointi.

Työn toinen päätavoite oli arvoida kaatopaikkakaasun talteenoton mahdollisuuksia Suomen kasviuonekaasupäästöjen vähentämisessä FOD-menetelmän avulla sekä talteenoton kustannustehokkuutta. Talteenotto on lisääntynyt Suomessa voimakkaasti viime vuosina lähinnä asetettujen säädösten ansiosta. Nykyisin energiakäyttöön menee noin puolet talteenotetusta kaasusta ja loput poltetaan soihdussa.

FOD-menetelmällä tehtyjen alustavien päästöarvioiden mukaan kaatopaikkojen CH₄-päästöt olisivat olleet vuonna 2000 noin vuoden 1990 tasolla, kun vastaavasti massatasemallin mukainen laskennallinen päästöjen vähenemä olisi ollut jopa noin 2,5 Tg CO₂-ekv. Vuoteen 2010 mennessä kaatopaikkojen CH₄-päästöt vähenisivät FOD-menetelmällä arvioituna vuoden 1990 tasolta noin 0,2–1,0 Tg CO₂-ekv. riippuen jätemäärien kehityksestä ja valitusta jätteiden hajoamisnopeudesta. FOD-menetelmän käyttöön siirtyminen aiheuttaa päästöjen vähennyspaineita muille sektoreille enimmäkseen jopa yli 2 Tg CO₂-ekv. enemmän kuin kansallisessa ilmastostrategiassa on arvioitu.

Jos kaatopaikkakaasun talteenottoa lisättäisiin noin kolminkertaiseksi nykytasosta, voitaisiin lisäksi saavuttaa noin 0,4–0,6 Tg CO₂-ekv. suuruinen päästövähennemä vuonna 2010. Pienillä kaatopaikoilla päästöjä voitaisiin vähentää normaalin talteenoton sijasta metaania hapettavalla pintakerrosratkaisulla, jonka avulla voitaisiin karkeasti arvioituna saavuttaa noin 0,1–0,2 Tg CO₂-ekv. päästövähennemä vuoteen 2010 mennessä.

Pidemmällä tulevaisuudessa kaatopaikkojen kaasuntuotanto tulee vähenemään, jolloin myös kaatopaikkakaasun talteenottopotentiaali pienenee jonkin verran. Kaatopaikkakaasun energiakäytön lisäämisellä saavutettava mahdollinen energiantuotannon CO₂-päästöjen vähenemä on melko pieni verrattuna metaanipäästöjen vähenemään.

Tehtyjen kustannusarvioiden mukaan kaatopaikkakaasun talteenotto on hyvin edullinen keino vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, kun verrataan sitä esim. kansallisen ilmastostrategian keskimääräisiin päästöjen vähentämiskustannuksiin (n. 30–60 €/t CO₂-ekv.). Jos talteenotettu kaasu poltetaan soihdussa, ovat päästöjen vähentämisen ominaiskustannukset keskimäärin noin 2,5–5,0 €/t CO₂-ekv. Jos talteenotettu kaasu hyödynnetään energiana, ovat kustannukset todennäköisesti alhaisempia ja joissakin tapauksissa jopa negatiivisia. Metaania hapettavien kaatopaikkojen pintakerrosratkaisujen kustannukset ovat myös varsin kohtuullisia.

Tuhkanen, Sami. Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto [Mitigation of greenhouse gases from waste management in Finland Methane (CH₄) emissions from landfills and landfill gas recovery]. Espoo 2002. VTT Tiedotteita – Research Notes 2142. 46 p.

Keywords waste management, landfills, emissions, greenhouse gases, methane, reduction, recovery, First Order Decay method, Finland, costs

Abstract

The main objective of this study was to estimate methane (CH₄) emissions from landfills in Finland with the IPCC First Order Decay (FOD) method which takes into account the time-dependency of waste degradation process. This method produces a emission profile which is more realistic than a profile produced with so-called mass balance method especially when there are large changes in the waste flows. Due to the IPCC Good Practice Guidelines the FOD method will be taken into use in the Finnish emissions inventories in the following years.

Another objective of this study was to estimate the role and cost-efficiency of landfill gas recovery in the mitigation of Finnish greenhouse gas emissions. Landfill gas recovery has become more common in the recent years mainly due to the new legislation.

According to preliminary estimates made with help of the FOD method the CH₄ emissions from landfills were in 2000 in the same level than in 1990 whereas according to the mass balance model the emissions would have decreased about 2,5 Tg CO₂ eq. in the same period. By 2010 the landfill emissions will decrease about 0,2–1,0 Tg CO₂ eq. from the 1990 level (FOD method). The change of the calculation method will cause about 2 Tg CO₂ eq. more demand for emission reductions in other sectors that it has been estimated in the Finnish Climate Strategy.

If the landfill gas recovery capacity will be tripled from the present level which means that about 50 biggest landfills would be equipped with recovery facilities the emissions would decrease in addition about 0,4–0,6 Tg CO₂ eq. by 2010. In longer term the methane generation in landfills will decrease somewhat due to decreasing disposal.

According to the cost estimates made in this study the landfill gas recovery is very cost-effective measure to reduce greenhouse gas emissions if it is compared to e.g. average emission reduction costs of Finnish Climate Strategy. If the recovered gas will be flared the specific emission reduction costs would be about 2,5–5,0 €/t CO₂ eq. If the recovered gas is used in energy production the costs are probably lower and in some cases even negative.

Alkusanat

Tässä julkaisussa esitellään Teknologian kehittämiskeskuksen (Tekes) Teknologia- ja ilmastonmuutos -ohjelman (Climtech) alaisen projektin "Jätteiden merkitys GHG-päästöjen vähentämisessä" osahankkeen "Kaatopaikkakaasut" tuloksia. Projektin muista osista, eli "Materiaali-kierrätys" ja "Jätteiden energiakäyttö", on julkaistu myös itsenäiset julkaisut. Kaikkien osaprojektien tulokset on esitelty laajennetussa tiivistelmässä. Tämän osaprojektin työhön ovat osallistuneet VTT Energiasta Sami Tuhkanen, Riitta Pipatti ja Taru Palosuo sekä Suomen ympäristökeskuksesta Jouko Petäjä, Tuula Rytönen, Tarja Siika-Aho, Juha-Heikki Tanskanen ja Matti Melanen.

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	5
Alkusanat.....	6
Symboli- ja lyhenneluettelo.....	9
1. Johdanto.....	11
2. Kaatopaikkojen metaanipäästöjen talteenotto.....	12
2.1 Kaatopaikkakaasun muodostuminen.....	12
2.2 Kaatopaikkakaasun talteenotto.....	12
2.3 Päästöjen vähentäminen kaatopaikan pintakerrosratkaisujen avulla.....	13
2.4 Kaatopaikkakaasun talteenotto Suomessa.....	13
3. Kaatopaikkojen metaanipäästöjen arviointimenetelmät.....	16
3.1 Menetelmän valinta.....	16
3.2 Päästöjen aikakäyttämisen huomioiva menetelmä (First Order Decay method, FOD).....	17
3.3 Massataseeseen perustuva menetelmä.....	18
3.3.1 Parametrien arvot Suomen päästöinventaaareissa.....	18
3.3.2 Päästöinventaarien tulokset 1990–1999.....	21
4. Jätteiden kaatopaikkasijoitus Suomessa.....	22
4.1 Kaatopaikkasijoituksen historian arviointi.....	22
4.2 Jättemäärien alueellinen jakaantuminen.....	25
4.3 Muiden päästöjen arvioinnissa tarvittavien parametrien arviointi.....	28
4.4 Jätteiden hajoamisnopeuden valinnan vaikutus päästöihin.....	28
5. Jätteiden kaatopaikkasijoituksen ja kaatopaikkakaasun talteenoton skenaariot.....	30
5.1 Kaatopaikkasijoitus eri skenaarioissa.....	30
5.2 Kaatopaikoilla syntyvän metaanin määrä eri skenaarioissa.....	31
5.3 Kaatopaikkakaasun talteenoton vaikutus päästöihin.....	33
5.3.1 Yleistä.....	33
5.3.2 Talteenoton vaikutus päästöihin eri skenaarioissa.....	34
5.3.3 Massatasemenetelmällä arvioidut päästöt eri skenaarioissa.....	37
5.4 Talteenottokapasiteetin lisätarve.....	37
5.5 Kaatopaikkakaasun energiakäyttö ja CO ₂ -päästöjen vähentäminen.....	39
5.6 Talteenoton kustannukset.....	40

5.7 Yhteenveto talteenotolla saavutettavasta kasvihuonekaasujen päästövähennyksestä ja sen kustannuksista	40
6. Yhteenveto ja pohdinnat	42
Lähdeluettelo	45

Symboli- ja lyhenneluettelo

A	normeeraustekijä, $A = (1 - e^{-k})/k$
BKT	Bruttokansantuote
CHP	Combined heat and power, sähkön ja lämmön yhteistuotanto
DOC(x)	biokemiallisesti hajoavan orgaanisen hiilen osuus jätteessä
DOC _F	kaatopaikkakaasuksi muuttuvan DOC:n osuus
F	hiilenä laskettavan metaanin osuus kaatopaikkakaasun sisältämästä hiilestä
FOD	First Order Decay (method), aikakäyttäytymisen huomioiva kaatopaikkojen metaanipäästöjen arviointimenetelmä
G _{CH₄} (t)	kaatopaikan jätekerroksissa syntyvän metaanin määrä vuonna t
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change, hallitusten välinen ilmastopaneeli
k	metaanin syntymisnopeus, $k = \ln 2 / t_{1/2}$, missä $t_{1/2}$ on jätejakeen puoliintumisaika
L ₀ (x)	metaanin tuottopotentiali
M(x)	vuonna x kaatopaikkasijoitettu jätemäärä
MCF(x)	kaatopaikan tyypistä riippuva korjaustekijä
OX	osuus metaanista, joka hapettuu kaatopaikan pintakerroksissa
R(t)	talteenotettu metaanimäärä vuonna t
SYKE	Suomen ympäristökeskus
t ₀	laskennan aloitusvuosi

1. Johdanto

Kaatopaikkojen metaanipäästöt muodostavat nykyisten arvioiden mukaan noin 2 % Suomen kasvihuonekaasupäästöistä. Jätteiden kaatopaikkasijoitus on 1990-luvulla vähentynyt merkittävästi, mikä on myös aiheuttanut laskennallisesti voimakkaan päästöjen alenemisen. Kaatopaikkojen metaanipäästöjä on Suomessa arvioitu nk. massatasemallilla, jossa oletetaan, että metaanipäästöt vapautuvat kokonaan saman vuoden aikana kun jäte tuodaan kaatopaikalle. Todellisuudessa jäte hajoaa kaatopaikan jätekerroksissa jopa vuosikymmeniä, jolloin myös päästöt jakaantuvat pitkälle aikavälille. Täten 1990-luvulla saavutettu päästöjen väheneminen on ollut merkittävästi pienempää kuin nykyisten arvioiden mukaan. Kaatopaikkojen päästöjen laskennassa ollaankin lähitulevaisuudessa siirtymässä päästöjen aikakäyttäjymisen huomioivaan menetelmään kansainvälisten laskentaohjeiden mukaisesti.

Jätehuollon päästöjä voidaan vähentää monilla eri keinoilla, joista kaatopaikkasijoituksen määrää vähentävien keinojen (esim. kierrätys, kompostointi, energiakäyttö) vaikutus näkyy kaatopaikan päästöissä hitaasti vuosien kuluessa. Jos kaatopaikan päästöjä halutaan rajoittaa nopeasti, ovat ainoat keinot kaatopaikkakaasun talteenotto tai metaania happetava kaatopaikan pintakerrosratkaisu.

Jätehuollon ratkaisujen merkitys kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä on suurempi kuin kaatopaikkojen päästöjen osuus näyttää. Esim. kierrätyspolttoaineiden ja kaatopaikkakaasun energiakäytöllä voidaan korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä, ja siten vähentää kaatopaikkapäästöjen lisäksi myös energiasektorin päästöjä. Jätehuollon kasvihuonekaasupäästöjä vähentävillä keinoilla on usein myös monia muita positiivisia ympäristövaikutuksia.

Tässä osaprojektissa on pyritty arvioimaan alustavasti Suomen kaatopaikkojen metaanipäästöjä aikakäyttäjymisen huomioivalla laskentamenetelmällä kolmen eri skenaarion avulla. Lisäksi esitetään arvioita kaatopaikkakaasun talteenoton mahdollisuuksista päästöjen vähentämisessä sekä sen kustannuksista. Muiden osaprojektien tuloksia esitellään lähteissä Turkulainen & Johansson (2001) ja Lohiniva et al. (2001).

2. Kaatopaikkojen metaanipäästöjen talteenotto

2.1 Kaatopaikkakaasun muodostuminen

Kaatopaikkakaasu on orgaanisesta jätteestä hapettomassa tilassa tapahtuvan hajoamisen tuloksena syntyvää kaasua, joka sisältää lähinnä metaania ja hiilidioksidia. Lisäksi se sisältää esim. vesihöyryä, typpeä, happea ja vetyä. Kaasussa on pieninä pitoisuuksina myös useita kloori- ja fluorihilivetyjä sekä rikkiyhdisteitä, jotka aiheuttavat biokaasulle ominaisen hajun (Pipatti et al. 1996; Väisänen 2001).

Kaasun muodostumiseen vaikuttavat eniten jätteen koostumus ja kaatopaikalla vallitsevat olosuhteet. Kaatopaikkakaasun muodostuminen on verrannollista jätteen sisältämän orgaanisesti hajoavan hiilen määrään. Jätteen koostumus vaikuttaa myös hajoamisnopeuteen, esim. biojätteet hajoavat huomattavasti nopeammin kuin puu. Kaatopaikkojen olosuhteista kaasun muodostumiseen vaikuttavat esim. jätekerroksen syvyys, jätteiden tiivistämis- ja peittämistavat, jätekerroksen kosteus ja lämpötila (Pipatti et al. 1996). Kaatopaikkakaasun lämpöarvo vaihtelee jonkin verran kaasun koostumuksen mukaan. Keskimäärin se on Suomessa noin 15 MJ/Nm^3 (N = normikuutiometri).

Pienillä ja matalilla kaatopaikoilla jätteen hajoaminen on usein aerobista, jolloin metaania ei juurikaan muodostu. Anaerobinen hajoamisprosessi toimii paremmin paksummissa jätekerroksissa tai kun kaatopaikka peitetään ja maisemoidaan. Myös jätteiden tiivistäminen edistää anaerobista hajoamista. Suomalaisilla kaatopaikoilla jätekerrosten lämpötila on keskimäärin noin $10\text{--}15 \text{ }^\circ\text{C}$, kun anaerobisen hajoamisen kannalta optimaalinen lämpötila on joko noin $35 \text{ }^\circ\text{C}$ tai noin $55 \text{ }^\circ\text{C}$. Täten kylmät ilmasto-olosuhteet hidastavat jätteen hajoamista (Pipatti et al. 1996; Väisänen 2001).

Jätteen muuttumista kaatopaikkakaasuksi kuvataan yksinkertaistetulla kaatopaikan hiilitaseella luvun 3.3.1 kuvassa 2.

2.2 Kaatopaikkakaasun talteenotto

Kaatopaikkasijoitettavien jätteiden aiheuttamia metaanipäästöjä voidaan vähentää kaatopaikkakaasun talteenotolla. Talteenottojärjestelmä koostuu jätekerrokseen asennettavista siivilämäisistä imukaivoista tai salaojaputkistosta. Imukaivot asennetaan pystyyn, kun taas salaojajärjestelmä perustuu vaakaputkistoihin. Myös näiden yhdistelmiä käytetään. Lisäksi järjestelmään kuuluu imuputkisto ja pumppaamo, jossa tehdään putkistoon ja kaivoihin tarvittava imu. Molemmat järjestelmät soveltuvat kaasun talteenottoon myös vielä käytössä olevalla kaatopaikalla (Väisänen 2001). Kaatopaikkakaasun talteenottoteknologioita on kuvattu tarkemmin esim. lähteessä Onk & Boom (1995).

Pumppaamosta kaasu johdetaan joko poltettavaksi soihdussa tai energiakäyttöön. Kaasu täytyy usein myös puhdistaa, varsinkin ennen energiakäyttöä (Pipatti et al. 1996). Hollannissa kaatopaikkakaasua on myös syötetty suoraan paikalliseen maakaasuverkkoon. Tällöin kaasusta täytyy kuitenkin erottaa hiilidioksidi ja epäpuhtaudet. Kaatopaikkakaasua käytetään myös liikennepolttoaineena esim. Ruotsissa.

Talteenoton tehokkuus riippuu luonnollisesti aloittamisajankohdasta. Monesti talteenotto aloitetaan vasta kaatopaikan sulkemisen jälkeen, jolloin suuri osa jätekerroksissa syntyvästä metaanista on jo päässyt ilmakehään. Tosin kaatopaikan toiminnan aikana aloitettu talteenotto on yleistymässä, jolloin tehokkuus paranee Kun talteenottojärjestelmä on otettu käyttöön, saadaan syntyvästä kaatopaikkakaasusta usein yli 70 % talteen.

2.3 Päästöjen vähentäminen kaatopaikan pintakerrosratkaisujen avulla

Kaatopaikkojen päästöjä voidaan vähentää myös biologisesti hapettavan pintakerroksen avulla. Metaanin tehokas hapettuminen pintakerroksessa perustuu aerobisiin bakteereihin. Tämäntyyppinen ratkaisu on teknisesti hyvin toimiva, mutta haasteena on kaatopaikoille asetetut vaatimukset pintakerroksen vedenläpäisevyydestä.

Ratkaisussa jätekerroksissa syntyvä kaasu johdetaan tiivistyskerroksen läpi kuivatuskerrokseen jakokaivon avulla. Tällöin koko pintakerroksen hapetuskapasiteetti voidaan hyödyntää tehokkaasti. Järjestelmä toimii painovoimaisesti, joten pumppausta ei tarvita. Järjestelmää testataan Suomessa Länsi-Uudenmaan jätehuolto Oy:n Koivusillan kaatopaikalla. Koetulosten mukaan metaani hapettuu hyvin tehokkaasti. Biologisesti hapettava pintakerros on kilpailukykyinen varsinkin pienillä kaatopaikoilla, joilla kaasuntuo- tinto on vähäistä tai metaanipitoisuudet ovat pieniä (Ettala & Väisänen 2001). Alustavasti tämäntyyppisen pintakerrosratkaisun aiheuttamiksi lisäkustannuksiksi on arvioitu noin 15–20 €/m² (Sarlin-Hydor Oy 2001).

2.4 Kaatopaikkakaasun talteenotto Suomessa

Kaatopaikkakaasun talteenottolaitoksia on asennettu vuoden 2001 syksyyn mennessä 16 kaatopaikalle (taulukko 1). Talteenotto on viime vuosina lisääntynyt voimakkaasti lähinnä lainsäädännön (VNp 861/1997 ja 1049/1999) ja ympäristöhaittojen ehkäisyn ansiosta. Talteenotettua kaatopaikkakaasua hyödynnetään energiana monilla eri tekniikoilla ja monissa eri käyttökohteissa. Säädösten mukaan kaasun talteenotto tulee pakolliseksi kaikilla kaatopaikoilla vuoden 2002 alusta lähtien, mutta käytännön toimeenpano tulee tapahtumaan hitaammin.

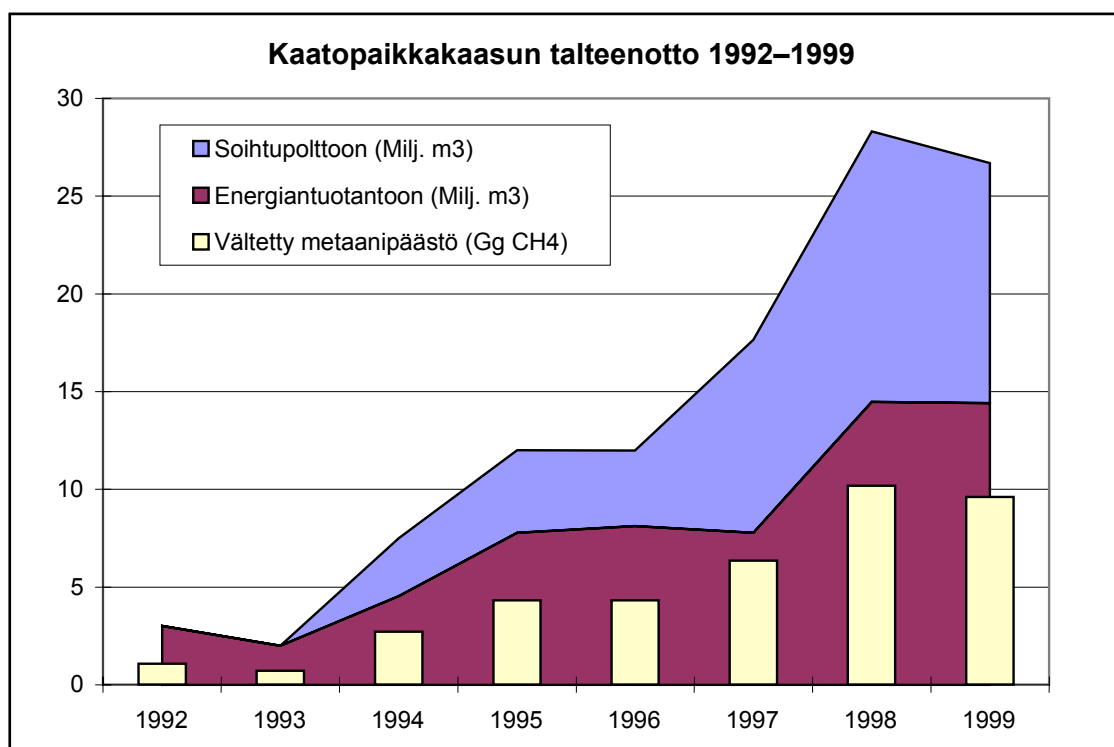
Taulukko 1. Kaatopaikkakaasun talteenottolaitokset Suomessa vuonna 2001 ja vuonna 1999 talteenotetun kaatopaikkakaasun määrä (Leinonen & Kuittinen 2000; Sarlin-Hydor Oy 2001).

Kaatopaikka	Aloitus	Pumppaamon mitoituskapa- siteetti, Nm ³ /h	Talteen- otto v. 1999, Mm ³	Sähkö- teho, kW	Lämpö- teho, kW	Soihtu- poltin	Hyödyntämista- pa tai -paikka
Vuosaari, Helsinki	1991	500	2,0		2 500	X	kaasukattila
Seutula, Vantaa	1994	500	3,4	450	2 450		kaasumoottori & kaasukattila
Kiertokapula, Hyvinkää	1994	500	2,9	80 (omak.)	2 000		kaasukattila & aggregaatti
Domargård, Porvoo	1996	400	1,2		2 400		kaasukattila
Ämmässuo, Espoo	1996	1 500	5,9			X	soihtu
Mankkaa, Espoo	1997	750	2,0			X	soihtu
Tarastejärvi, Tampere	1997	800	3,5	800 (omak.)	450 (omak.)		kaasumoottori, CHP
Rusko, Oulu	1997	1 000	4,3		4 000	X	Tehdas
Toikansuo, Lappeenranta	1998	500	0,9		1 500		Tehdas
Savio, Kerava	1998	500	0,6		1 500		kl-kattila
Asema, Lohja	2000	300				X	kl-kattila (tulossa)
Kontiosuo, Joensuu	2000	750			3 000	X	läheinen CHP- laitos
Hangassuo, Pori	2000	300				X	soihtu
Konkamäki, Simpele	2001	300			1 000		läheinen paperitehdas
Sammalsuo, Kouvola	2001	350				X	soihtu
Iisalmi	2001	250				X	soihtu

omak. = tuotettu sähkö ja lämpö hyödynnetään kaatopaikan alueella

Pumppaamon mitoituskapasiteetti voidaan muuntaa kaasuvirran tehoksi lämpöarvon (noin 4 kWh/Nm³) avulla, jolloin esim. 1 000 Nm³/h vastaa noin 4 MW:a. Kaasun lämpöarvo riippuu eniten sen metaanipitoisuudesta. Talteenotetun kaasun metaanipitoisuus on pumppaamoilla tehtyjen mittausten perusteella vaihdellut tyypillisesti välillä 45–55 til.-% (Leinonen & Kuittinen 2000).

Kaatopaikkakaasusta hyödynnettiin energiana 1990-luvun loppupuolella noin puolet ja loput poltettiin soihdussa (kuva 1). Vältetty metaanipäästö vastasi vuosina 1998–1999 noin 0,2 Tg CO₂-ekv., joka tämän työn päästöarvioiden mukaan vastaa noin 7–10 % syntyvästä metaanimäärästä (ks. luku 5.2).



Kuva 1. Kaatopaikkakaasun talteenotto vuosina 1992–1999 (Leinonen & Kuittinen 2000) ja talteenoton avulla vältetty metaanipäästö.

3. Kaatopaikkojen metaanipäästöjen arviointimenetelmät

3.1 Menetelmän valinta

Kaatopaikkojen metaanipäästöjen laskentaan on IPCC:n laskentaohjeiden (1997) mukaan voitu käyttää kahta eri menetelmää: massataseeseen perustuvaa mallia ja päästöjen aikakäyttämisen huomioonottavaa mallia (IPCC 1997). Suomessa päästöjen laskenta on viime vuosina toteutettu käyttämällä massatasemallia. Päästöjä on kuitenkin aiemmin arvioitu myös aikakäyttämisen huomioonottavalla mallilla (esim. YM 1997), mutta ilmastopöytäkirjalle ilmoitetut päästöluvut vuosilta 1990–1999 perustuvat massatase-malliin.

Massataseeseen perustuvan mallin heikkous on, ettei siinä oteta huomioon sitä, että metaani vapautuu kaatopaikalle tuodusta jätteestä vuosien mittaan. Siinä oletetaan, että jätteen koko metaanintuottopotentiaali vapautuu saman vuoden aikana, kun jäte tuodaan kaatopaikalle. Malli antaa vuotuisille päästöille kohtuullisen hyvän arvion, jos kaatopaikalle tuotava jätemäärä pysyy samansuuruisena.

Vuonna 2000 hyväksytyjen IPCC:n ns. hyvän arviointikäytännön ohjeissa (IPCC 2000), jotka täydentävät vuonna 1997 julkaistuja laskentaohjeita, kehoitetaan käyttämään päästöjen aikakäyttämisen huomioonottavaa mallia (First Order Decay (FOD) method), koska se kuvaa päästöjä realistisemmin varsinkin, jos kaatopaikkasijoituksessa on tapahtunut muutoksia. FOD-menetelmän käyttö vaatii kuitenkin tietoja kaatopaikkasijoituksen historiasta, jotka esim. Suomessa ovat hyvin puutteellisia. Jos historiatiedot puuttuvat, on ohjeiden mukaan *hyvää arviointikäytäntöä* arvioida jätemäärähistoria jollakin kansallisesti parhaaksi nähdyllä menetelmällä, jos kaatopaikat ovat merkittävä päästölähde (key source category). Suomen osalta nämä ehdot täyttyvät, joten tulevaisuudessa kaatopaikkojen metaanipäästöjen arvioinnissa on siirryttävä FOD-menetelmän käyttöön.

Kun arvioidaan päästöjä aikakäyttämisen huomioon ottavalla mallilla, tulevat päästöjen vähennystoimenpiteiden vaikutukset eri tavalla esille kuin massatasemallilla laskettaessa. Jos kaatopaikkasijoitettavaa jätemäärää vähennetään, massatasemallin mukaan päästöt vähenevät heti seuraavana vuonna koko vähennetyt jätemäärän edestä, vaikka todellisuudessa muutos päästöissä tapahtuu vasta vuosien tai vuosikymmenien kuluessa. Jos päästöihin halutaan todellisuudessa (ts. aikakäyttämisen huomioivan mallin mukaan) vaikuttaa hyvin nopeasti, ovat ainoat keinot kaatopaikkakaasun talteenoton lisääminen ja metaania hapettavien kaatopaikkojen pintakerrosratkaisujen käyttöönotto.

3.2 Päästöjen aikakäyttämisen huomioiva menetelmä (First Order Decay method, FOD)

FOD-menetelmä voidaan kuvata kahdella kaavalla. Vuonna t kaatopaikalla syntyvä metaanimäärä (Gg/a) voidaan arvioida kaavalla 1.

$$G_{CH_4}(t) = \sum_{x=t_0}^t \left[(A * k * M(x) * L_0(x)) * e^{-k(t-x)} \right] \quad (1)$$

missä

$G_{CH_4}(t)$ on kaatopaikan jätekerroksissa syntyvän metaanin määrä vuonna t (Gg/a)

t_0 on laskennan aloitusvuosi (esim. 1900)

A on summaamisen normeeraustekijä, $A = (1 - e^{-k})/k$

k on metaanin syntymisnopeus (1/a), vaihtelee jätejakeittain ($k = \ln 2 / t_{1/2}$, missä $t_{1/2}$ on jätejakeen puoliintumisaika)

$M(x)$ on vuonna x kaatopaikkasijoitettu jätemäärä

$L_0(x)$ on metaanin tuottopotentiaali, $L_0(x) = MCF(x) * DOC(x) * DOC_F * F * 16/12$ (Gg CH₄ / Gg jätettä)

missä

$MCF(x)$ on kaatopaikan tyyppistä riippuva korjaustekijä

$DOC(x)$ on biokemiallisesti hajoavan orgaanisen hiilen osuus jätteessä (Gg C/Gg jätettä)

DOC_F on kaatopaikkakaasuksi muuttuvan DOC:n osuus (paino-%)

F on hiilenä laskettavan metaanin osuus kaatopaikkakaasun sisältämästä hiilestä (g C(CH₄)/g C(kp-kaasu))

$16/12$ on konversiokerroin hiilestä metaaniksi (g CH₄/g C)

Metaanipäästö vuonna t (Gg/a) saadaan sijoittamalla kaavan 1 tulos kaavaan 2.

$$E_{CH_4}(t) = [G_{CH_4}(t) - R(t)] * (1 - OX) \quad (2)$$

missä

$R(t)$ on talteenotettu metaanimäärä vuonna t (Gg/a)

OX on osuus metaanista, joka hapettuu kaatopaikan pintakerroksissa.

3.3 Massataseeseen perustuva menetelmä

Massatasemallin mukaisesti vuoden t kaatopaikkasijoituksen metaanipäästöt lasketaan kaavalla 3 (tekijät selitetty edellä). Malli on siis muuten samantyyppinen kuin FOD-menetelmä, mutta eksponenttitekijä ja summaus ajan yli puuttuu.

$$E_{CH_4}(t) = [M(t) * L_0(t) - R(t)] * (1 - OX) \quad (3)$$

3.3.1 Parametrien arvot Suomen päästöinventaaressa

Taulukossa 2 on esitelty molempien menetelmien tekijässä L_0 esiintyvän tekijän MCF riippuvuus kaatopaikan täyttötavoista. Huonosti hoidetuilla kaatopaikoilla aerobisen hajoamisen osuus on suurempi kuin hoidetuilla, jolloin metaanintuotanto on pienempää. Tässä yhteydessä jätteiden käsittelyllä tarkoitetaan peittämistä, tiivistystä tai levitystä.

Taulukko 2. Kaatopaikan täyttötavan vaikutus metaanintuottoon (IPCC 1997).

Kaatopaikan tyyppi	MCF
Jätteiden käsittely	1
Ei käsittelyä (> 5m jätettä)	0,8
Ei käsittelyä (< 5m jätettä)	0,4
Luokittelematon	0,6

Suomen päästöjen laskennassa on tähän asti oletettu, että puolet jätteestä on sijoitettu hoidetuille ja toinen puoli hoitamattomille (< 5 m) kaatopaikoille, jolloin MCF on keskimäärin 0,7. Käytännössä arvo muuttuu ajan kuluessa varsinkin, kun pieniä kaatopaikoja suljetaan ja jätteen käsittely keskittyy suurille hoidetuille kaatopaikoille, eli siis MCF lähestyy tulevaisuudessa arvoa 1. Täyttötavan vaikutus on joka tapauksessa melko huonosti tunnettu suure, johon liittyy paljon epävarmuutta.

Tämän työn aikana Suomen ympäristökeskuksessa on tehty arvio jätteiden sijoituksesta erilaisille kaatopaikoille vuosina 1992–1995 sekä 1997–1999. Tämän arvion mukaan hoitamattomille ja matalille kaatopaikoille on 1990-luvulla sijoitettu vain muutama prosentti jätemäärästä. Tämän arvion pohjalta tehty aikasarja MCF:lle on esitelty luvussa 5.

Biokemiallisissa prosesseissa hajoavan orgaanisen hiilen (Degradable Organic Carbon, DOC) osuus jätteessä vaihtelee jättejakeittain. Taulukossa 3 on esitetty Suomen päästöjen laskennassa käytetyt arvot. Yhdyskuntajätteen DOC-osuus on ollut keskimäärin noin 20 %.

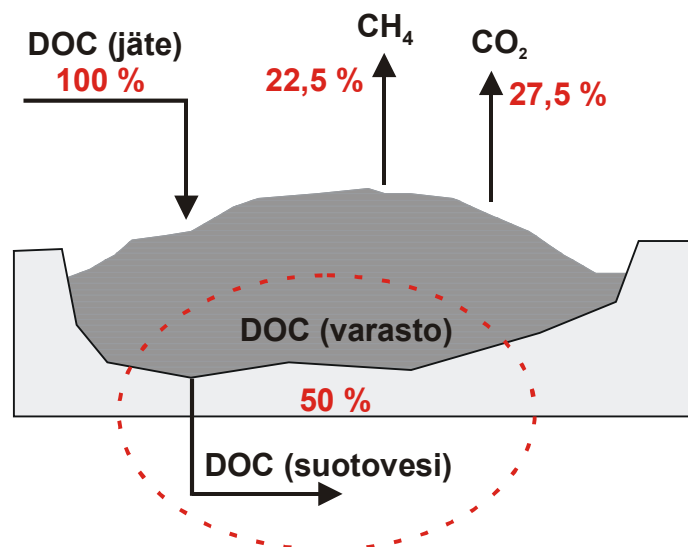
Taulukko 3. Eri jättejakeiden DOC-osuudet, p-% (Jouko Petäjä, SYKE).

	DOC-osuus (p-%)
Kiinteät jätteet	
-paperi	40 %
-pahvi ja kartonki	40 %
-nestepakkauskartonki	40 %
-puu, kuori	30 %
-vaatteet ja tekstiilit	40 %
-öljy ja rasva	16 %
-keittiöjäte	16 %
-pihajäte	16 %
-muu palava	10 %
-muovi, lasi, metalli, sähkölaitteet	0 %
-muu ei-palava	0 %
-siistausjätterejekti	10 %
-eloperäinen	16 %
-pastalietteet	10 %
-hiekkä, kalkki	0 %
-tuhka	0 %
-viherlipeä-, soodasakka, meesa	0 %
Teollisuuden lietteet ja jv-lietteet	
Metsäteollisuus (ka. määrästä)	
-jv-liete	45 %
-siistausliete	30 %
Muu teollisuus (ka. määrästä)	45 %
Yhdyskuntalietteet (ka. määrästä)	50 %
Sekalainen rakennusjäte (v. 1997)	7 %
-betoni ym. inertti aines	0 %
-asfaltti ym.	10 %

Kaatopaikkakaasuksi muuttuvan hiilen osuus (DOC_F) riippuu pääasiassa jätekerroksen lämpötilasta. On arvioitu, että tämä osuus olisi Suomen oloissa 50 p-%, joka on IPCC:n hyvän arviointikäytännön ohjeiden mukainen. Loput jätteen sisältämästä hiilestä varastoituu kaatopaikalle tai huuhtoutuu suotovesien mukana pois. Metaanin osuus kaatopaikkakaasussa (F) vaihtelee yleensä jonkin verran välillä 40–60 % ($gC(CH_4) / gC(kp-kaasu)$). Laskennassa käytetään yleisesti arvoa 50 %. Talteenotetun metaanin (R) määrä arvioidaan Suomessa biokaasuyhdistyksen tilastojen perusteella (esim. Leinonen & Kuittinen 2000).

Kaatopaikkojen pintakerroksissa tapahtuva metaanin hapettuminen (OX) on myös merkittävä tekijä, koska se vaikuttaa olennaisesti jätteistä vapautuvan metaanin määrään. IPCC:n (2000) mukaan voidaan olettaa, että 10 % metaanista hapettuu hoidetuilla kaatopaikoilla. Tätä arvoa on käytetty Suomen päästöinventaaressa. Hapettuminen on riippuvainen kaatopaikan pintarakenteista ja olosuhteista, joten sen tarkka arviointi on vaikeata.

Kuvassa 2 on esitetty yksinkertaistettu hoidetun kaatopaikan ($MCF = 1$) hiilitase em. parametrien mukaisesti. Kaatopaikalle tuotavan jätteen sisältämästä orgaanisesti hajoavasta hiilestä 50 % hajoaa tuottaen metaania ja hiilidioksidia ja loput 50 % varastoituu kaatopaikalle tai huuhtoutuu suotovesien mukana pois. Tämän huuhtouman osuus voidaan kuitenkin arvioida melko pieneksi.



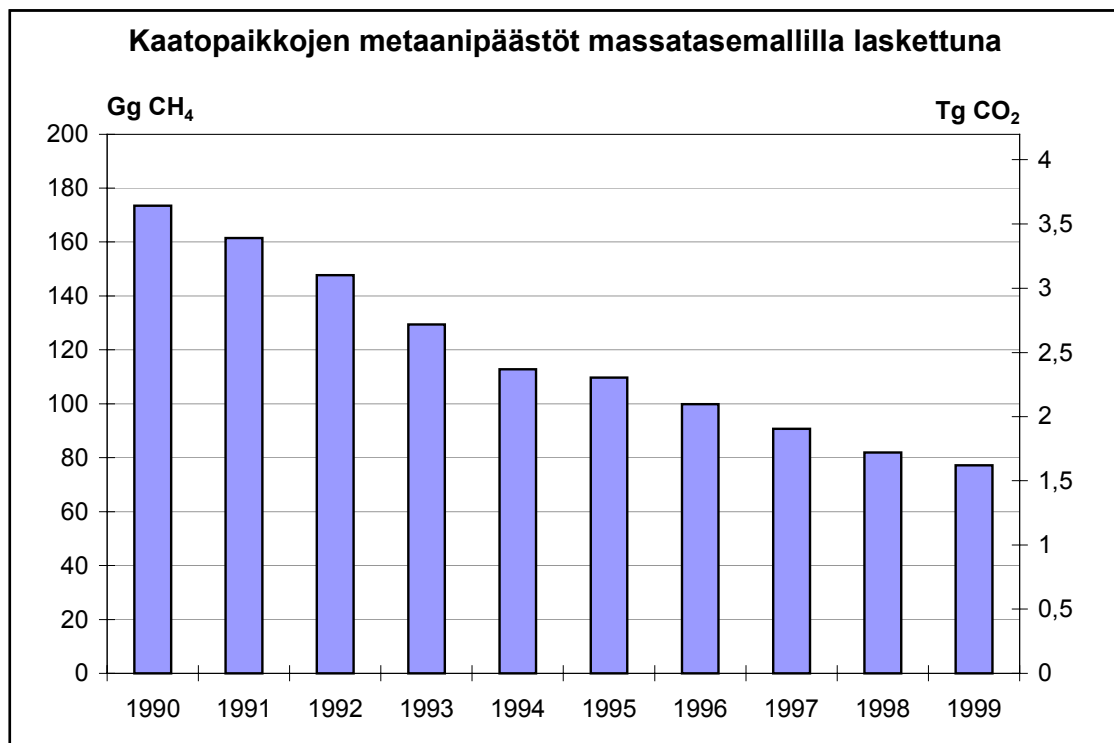
Kuva 2. Kaatopaikan yksinkertaistettu hiilitase. Prosenttiluvut kuvaavat orgaanisesti hajoavan hiilen (DOC) virtoja.

Hajoavasta orgaanisesta hiilestä (DOC) syntyy kuvan mukaan metaania $0,225 \text{ g C/g DOC} * 16/12 \text{ g CH}_4/\text{g C} = 0,3 \text{ g CH}_4/\text{g DOC}$. Syntyvä hiilidioksidi on biologista alkuperää, eli sen voidaan ajatella sitoutuvan uuden biomassan kasvuun, jolloin sitä ei tarvitse huomioida kasvihuonekaasujen päästöinventaarissa. Hoitamattomalla ja pienellä kaatopaikalla (MCF = 0,4) metaaniksi muuttuvan DOC:n osuus on huomattavasti pienempi (9 %), mutta tämäntyyppisiä kaatopaikkoja ei Suomessa juurikaan ole.

3.3.2 Päästöinventaarien tulokset 1990–1999

Kaatopaikkojen metaanipäästöjen kehitys 90-luvulla massatasemallilla laskettuna on esitetty kuvassa 3. Siitä nähdään, että päästöt ovat pudonneet alle puoleen vuoden 1990 tasosta. Tähän on syynä pääasiassa kaatopaikkasijoitettavan jätteen määrän väheneminen. Kaatopaikkakaasun talteenoton lisääntymisellä on ollut myös jonkin verran vaikutusta.

Todellisuudessa päästöjen väheneminen on kuitenkin ollut todennäköisesti paljon maltillisempaa, koska kaatopaikalle vietyjen jätteiden hajoaminen vie jopa vuosikymmeniä. FOD-menetelmää käytettäessä muutokset jätemäärissä näkyvät päästöissä paljon hitaammin kuin massatasemallissa.



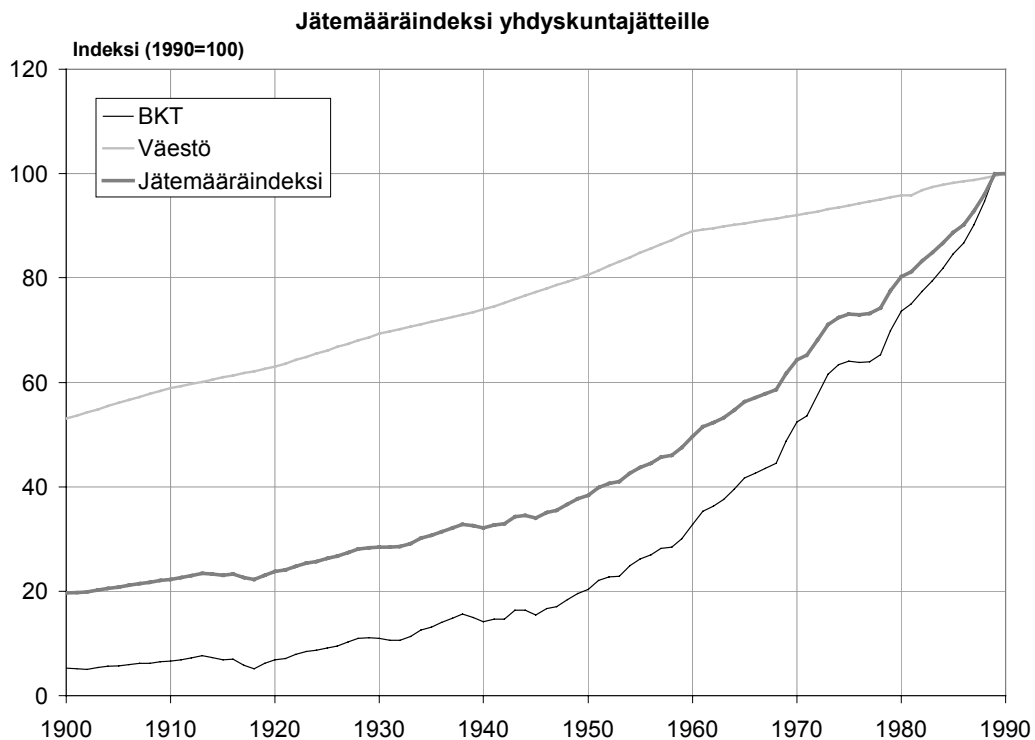
Kuva 3. Suomen kaatopaikkojen metaanipäästöt massatasemallilla laskettuna vuosina 1990–1999.

4. Jätteen kaatopaikkasijoitus Suomessa

4.1 Kaatopaikkasijoituksen historian arviointi

Aikakäyttämisen huomioivan metaanipäästöjen laskentamenetelmän käyttöä varten tarvitaan kaatopaikkasijoitukselle ja muille mallin parametreille myös historiatietoa, jotta voidaan arvioida aiemmin kaatopaikalle sijoitetuista jätteistä syntyvät metaanipäästöt. Lisäksi tarvitaan arviot kunkin jätejakeen hajoamisnopeudesta.

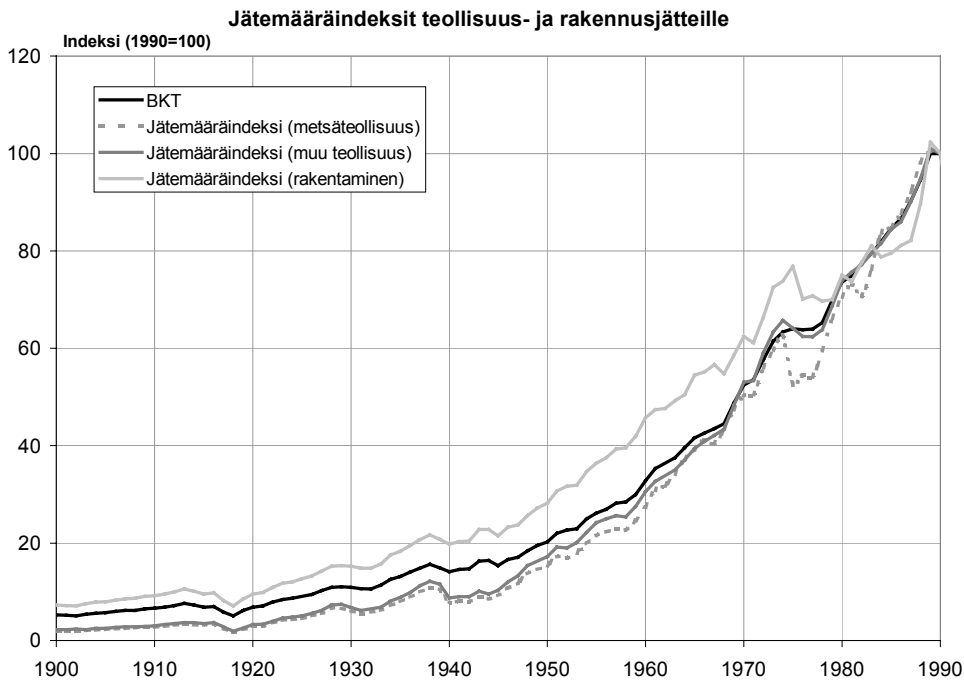
Jätekertymän (eli syntyvien jätteen määrän) historia vuosille 1900–89 arvioitiin tässä yhteydessä erilaisten indeksien ja vuoden 1990 jätekertymän avulla. Yhdyskuntajätteet ja -lietteet suhteutettiin BKT:n ja väestömäärän kehitysten painotettuun indeksiin (70 % * BKT + 30 % * väestömäärä). Tämän indeksin kehittyminen on esitelty kuvassa 4.



Kuva 4. Jättemääräindeksi yhdyskuntajätteille- ja lietteille.

Teollisuuden jätteen historia suhteutettiin volyymin kehitykseen seuraavasti (kuva 5):

- metsäteollisuuden kiinteät jätteet ja lietteet: metsäteollisuuden volyymin kehitys
- muun teollisuuden kiinteät jätteet ja lietteet: koko teollisuuden volyymin kehitys
- rakennus- ja purkujäte: rakentamisen volyymin kehitys.



Kuva 5. Teollisuus- ja rakennusjätteiden määräindeksit.

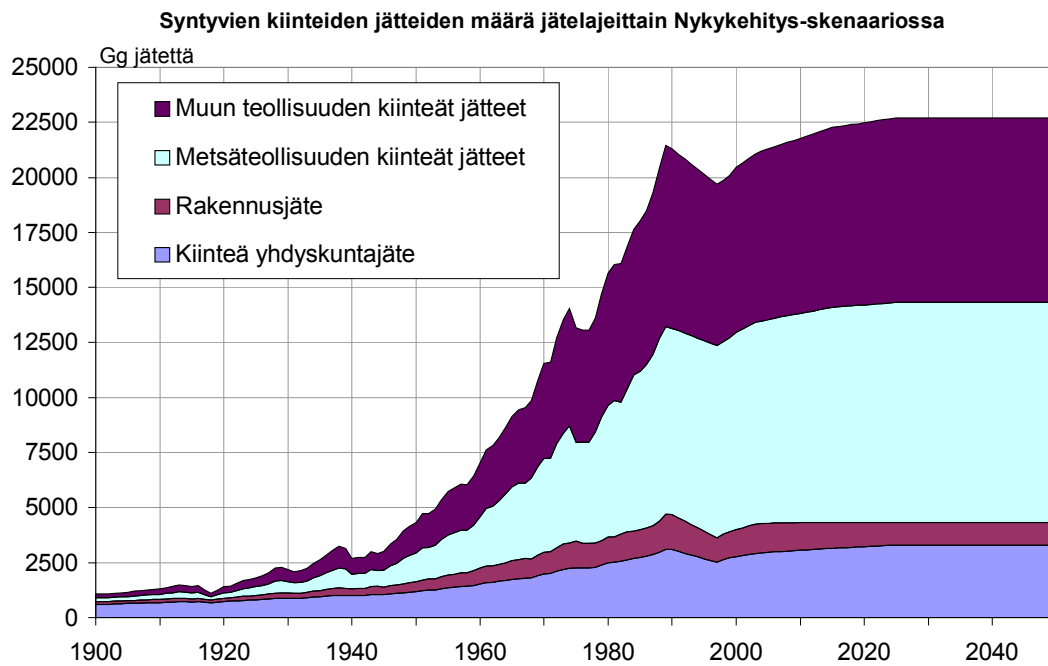
Jättemääräindeksien avulla arvioitu historia syntyvien jätteiden määrille on esitetty kuvassa 6. Tulevaisuuden osalta jättemäärät ovat seuraavissa kuvissa SYKEN Nykykehitysskenaarion mukaiset (Dahlbo et al. 2000). Vuodesta 2025 eteenpäin jättemäärien on oletettu pysyvän vakiona.

Jätekertymästä kaatopaikalle menevät osuudet arvioitiin hyvin karkeasti:

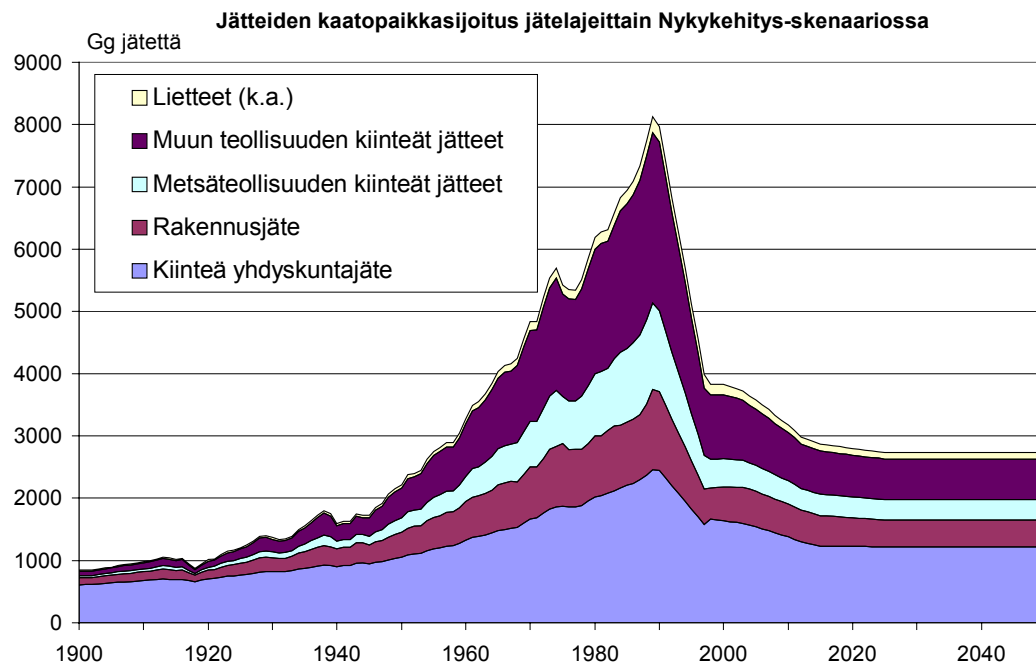
- Yhdyskunta- ja rakennusjäte: vuonna 1900 kaikki kaatopaikalle (100 %), josta lineaarinen kehitys vuoteen 1990, jolloin kaatopaikkasijoituksen osuus noin 80 %.
- Teollisuuden kiinteät jätteet: vuonna 1900 kaatopaikalle 20 %, josta lineaarinen kehitys vuoteen 1990, jolloin kaatopaikkasijoituksen osuus noin 16 %.

Vuodesta 1990 eteenpäin kaatopaikkasijoituksen määrät ovat SYKEN Nykykehitysskenaarion mukaiset ja vuodesta 2025 eteenpäin niiden on oletettu pysyvän vakiona.

Lietteiden osalta on arvioitu pelkästään kaatopaikkasijoituksen määrä, joka on siis suoraan verrannollinen em. indekseihin. Lietteiden kokonaiskertymästä ei ollut käytettävissä tietoja. Kiinteiden jätteiden ja lietteiden kaatopaikkasijoituksen kehittyminen käy ilmi kuvasta 7.

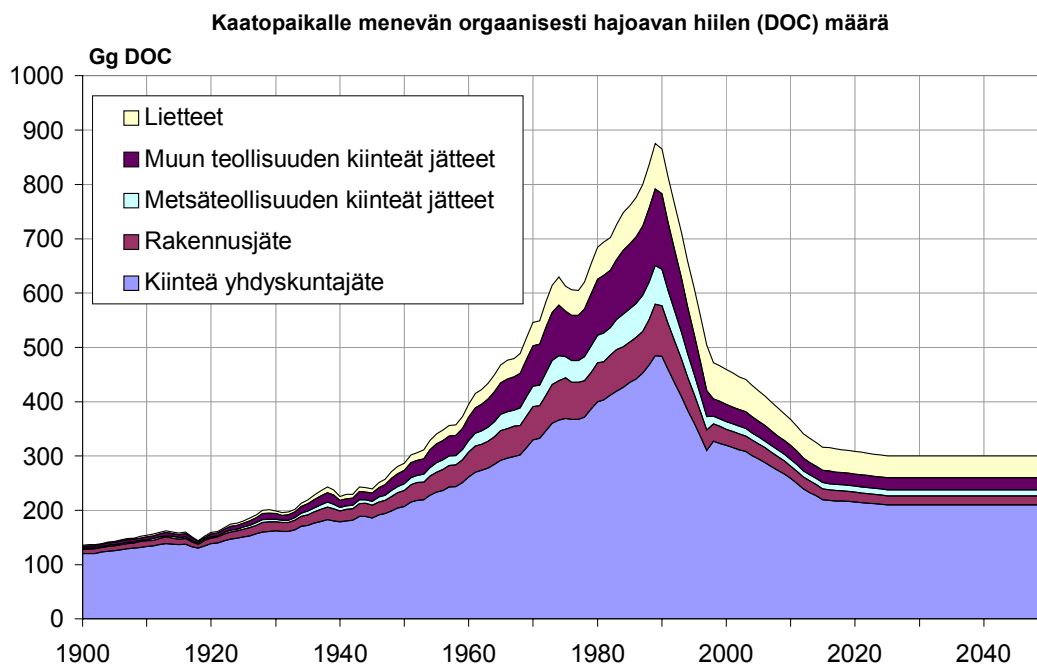


Kuva 6. Syntyvien jätteiden määrä vuosina 1900–2050. Vuoteen 1990 saakka kehitys perustuu jätemääräindekseihin ja vuodesta 2000 eteenpäin SYKEN Nykykehitys-skenaarioon.



Kuva 7. Kaatopaikkasijoituksen kehittyminen jätelajeittain vuosina 1900–2050.

Jätteen koostumuksen arvioitiin olevan aikavälillä 1900–89 sama kuin vuonna 1990, mikä ei käytännössä pidä täysin paikkaansa. Tarkempaa tietoa koostumuksesta ei kuitenkaan tässä vaiheessa ollut käytettävissä. Täten jätteen DOC-pitoisuus on vakio vuoteen 1990 saakka, jonka jälkeen jätteen koostumus on laskelmissa SYKEN Nykykehitysskenaarion mukainen. Kuvasta 8 nähdään, että DOC-määrän suhteen yhdyskuntajäte on näiden arvioiden mukaan ylivoimaisesti merkittävin. Teollisuus- ja rakennusjätteet sisältävät paljon inerttia materiaalia, joten niiden aiheuttamat päästöt jäävät pienemmiksi, vaikka jätteiden kokonaisvolyymi onkin suuri.



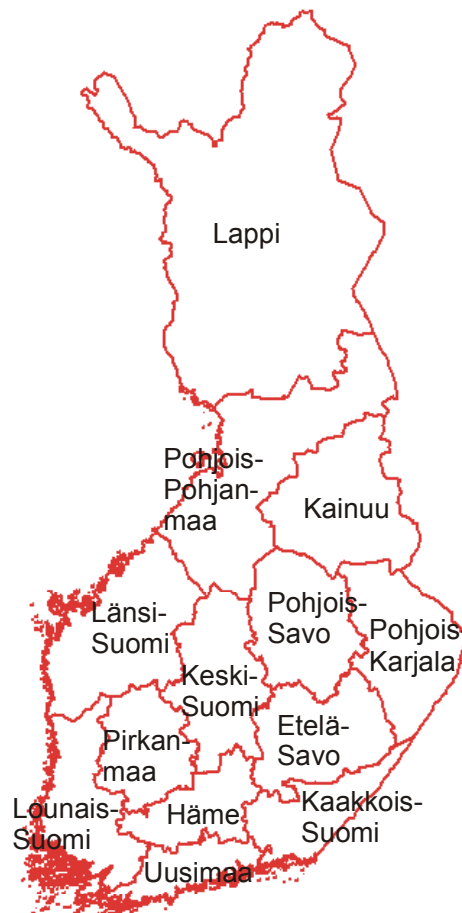
Kuva 8. Kaatopaikalle menevän orgaanisesti hajoavan hiilen määrän kehittyminen jätelajeittain.

4.2 Jättemäärien alueellinen jakaantuminen

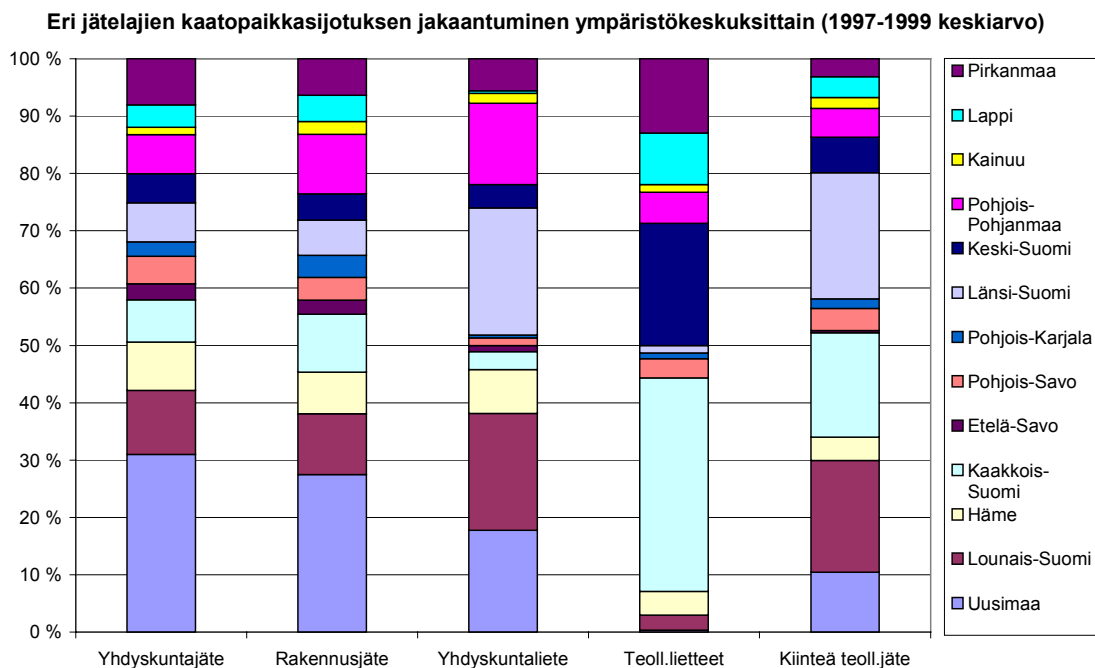
Jätteiden kaatopaikkasijoituksen alueellista jakaantumista arvioitiin jakamalla jättemäärät ympäristökeskuksittain. Tulokset on esitelty jätelajeittain kuvassa 10, josta havaitaan, että yhdyskuntajätteen kaatopaikkasijoitus keskittyy väkirikkaille alueille. Yhdyskuntalietteiden sijoitus näyttäisi olevan kiinni enemmänkin alueellisista jätehuoltokäytännöistä. Teollisuuden jätteiden osalta kaatopaikkasijoitus on keskittynyt merkittävimmille prosessiteollisuusalueille. Teollisuuden lietteiden kaatopaikkasijoitus on suurinta alueilla, joilla on paljon metsäteollisuutta.

Kaatopaikoille menevän hajoavan orgaanisen hiilen (DOC) määrän jakaantuminen alueittain on esitelty kuvassa 11. Arvion mukaan kolmen eteläisimmän ympäristökeskuksen (Uusimaa, Lounais-Suomi ja Kaakkois-Suomi) alueella oleville kaatopaikoille menee lähes puolet DOC:n määrästä. Metaanipäästöt ovat suoraan verrannollisia DOC:n määrään, joten päästöt ovat myös suurimmat näillä alueilla.

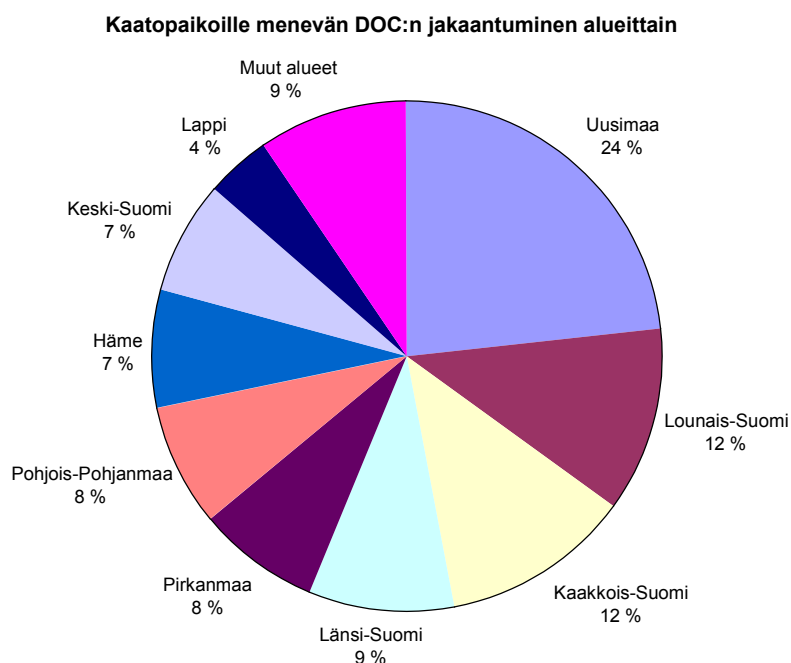
Alueelliset ympäristökeskukset



Kuva 9. Alueellisten ympäristökeskusten rajat.



Kuva 10. Eri jätelajien kaatopaikkasijoituksen jakaantuminen ympäristökeskuksittain.



Kuva 11. Kaatopaikoille menevän orgaanisesti hajoavan hiilen (DOC) määrän jakaantuminen ympäristökeskuksittain vuosina 1997–1999.

Alueellisia jätemäärätietoja ei tässä työssä käytetty päästöjen laskennassa tai kaatopaikkakakaasujen talteenoton arvioinnissa, koska alueellisia tai kaatopaikkakohtaisia tietoja oli käytössä vain joiltakin osin ja vain lyhyeltä ajanjaksolta.

4.3 Muiden päästöjen arvioinnissa tarvittavien parametrien arviointi

Parametrille MCF (eli kaatopaikan täyttötavan vaikutus päästöihin) arvioitiin kehitys olettamalla, että arvo vuosina 1900–1960 olisi keskimäärin 0,4 (hoitamaton matala kaatopaikka). Vuodesta 1960 arvo kasvaisi lineaarisesti arvoon 0,96 vuoteen 1990 mennessä. Suomen ympäristökeskuksen arvioiden perusteella MCF on 1990-luvun alkupuolella ollut noin 0,97–0,98 ja loppupuolella yli 0,99. Vuodesta 2002 eteenpäin on arvioitu, että kaikki jätteet menevät hyvin hoidetuille kaatopaikoille, jolloin $MCF = 1$.

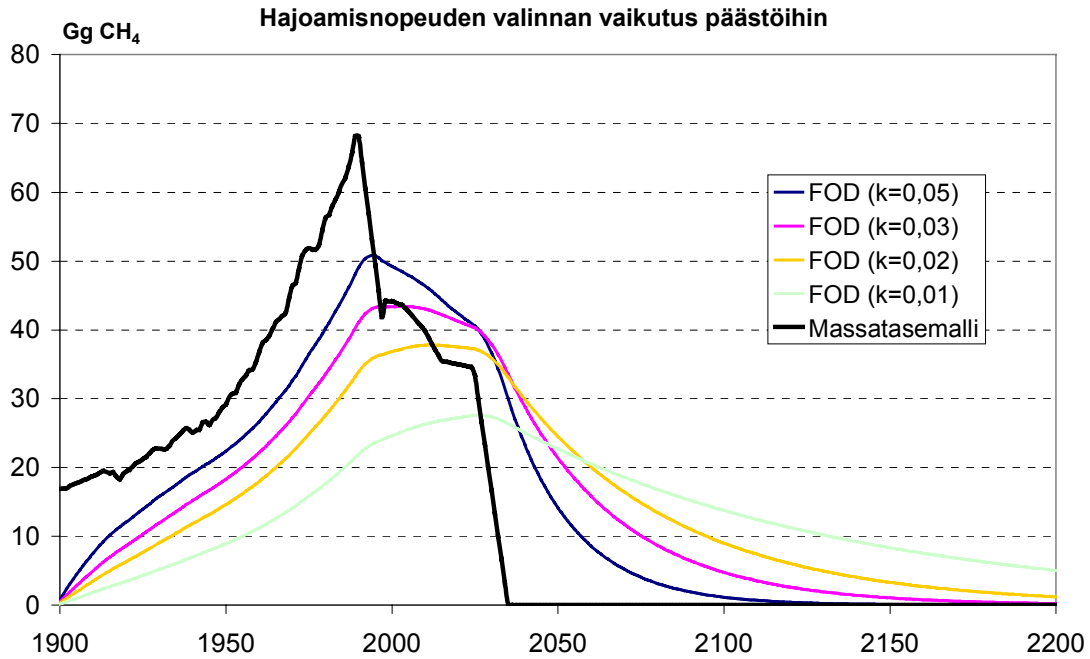
Päästöjen laskennassa jätemäärät on jaettu kolmeen eri luokkaan hajoamisnopeuden perusteella. Biojätteet ja lietteet arvioitiin nopeasti hajoaviksi ja loput orgaanisesti hajoavat jätteet hitaasti hajoaviksi. Näiden lisäksi ovat metaaninmuodostuksen suhteen inertit jätteet, kuten lasi, metalli jne.

Jätteiden hajoamisnopeuksina käytettiin IPCC:n (2000) oletusarvoja nopeasti hajoavalle $k = 0,2$ ja hitaasti hajoavalle $k = 0,03$. Puoliintumisaikoina nämä arvot ovat noin 3,5 vuotta ja noin 23 vuotta. Suomen olosuhteissa (alhaisempi keskilämpötila) hajoaminen on kuitenkin todennäköisesti hitaampaa kuin keskimäärin, joten herkkyytarkasteluna laskenta tehtiin myös kaksinkertaisilla puoliintumisajoilla, eli nopeasti hajoavalle jätteelle noin 7 vuotta ($k = 0,1$) ja hitaasti hajoavalle noin 46 vuotta ($k = 0,015$). Jatkossa k-arvojen arviointiin on kiinnitettävä erityistä huomiota, jotta saataisiin kansallisesti mahdollisimman hyviä päästöarvioita. Tämä vaatisi perusteellisia mittauksia, joiden tulokset tulisi julkaista viittauskelpoisena raporttina. Tulevissa inventaareissa tullaan ainakin aluksi käyttämään em. IPCC:n oletusarvoja.

4.4 Jätteiden hajoamisnopeuden valinnan vaikutus päästöihin

Eri jätteiden hajoamisnopeuksien (k-arvojen) valinta vaikuttaa merkittävästi FOD-menetelmän antamiin tuloksiin. Tätä tarkasteltiin esimerkinomaisesti laskemalla päästöt hitaasti hajoavan yhdyskuntajätteen osalta jätemääräskenaariolla, joka menee nolnaan vuonna 2030. Laskenta tehtiin pitkälle aikavälille 1900–2200, jotta nähtäisiin erot selvästi. Tulokset nähdään kuvasta 12.

Päästöjen integrointi ajan yli tuottaa saman tuloksen riippumatta mallista tai k-arvosta, mutta integrointiajan on oltava tarpeeksi pitkä. Tässä tapauksessa hitaimmalla hajoamisnopeudella $k = 0,01$ integraali poikkeaa noin 10 %, kun lasketaan aikavälillä 1900–2200. Muissa tapauksissa tarkkuus on alle 1 %, ja tapauksessa $k = 0,05$ jo noin 0,003 %.



Kuva 12. K-arvon valinnan vaikutus päästöihin FOD-menetelmässä (FOD = First Order Decay method). Kuvassa on esimerkinomaisesti laskettu päästöt hitaasti hajoavalle yhdyskuntajätteelle eri k-arvoilla.

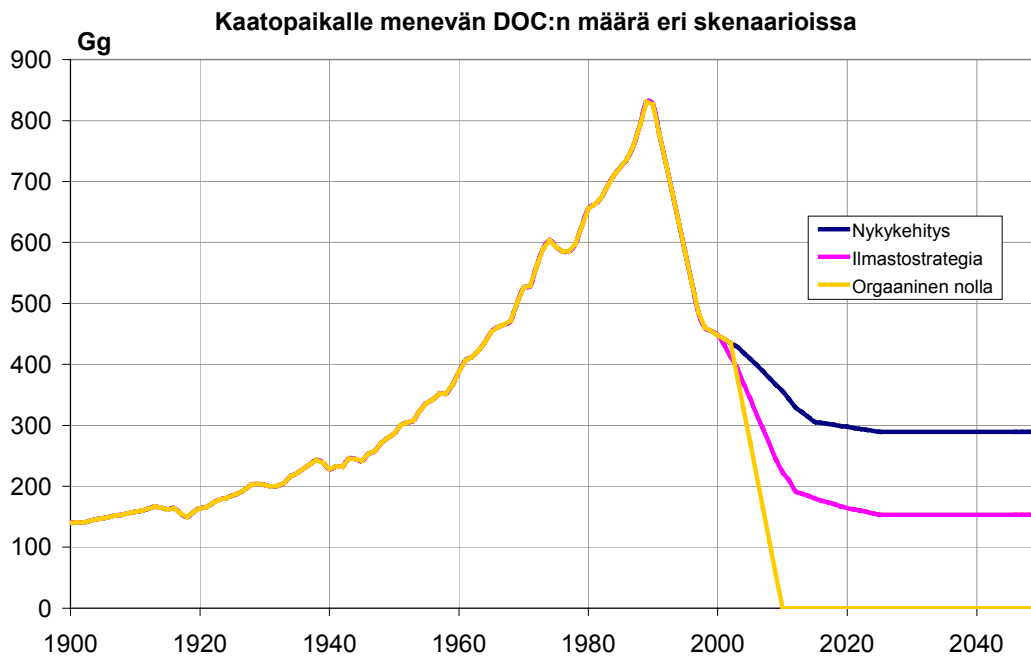
5. Jätteen kaatopaikkasijoituksen ja kaatopaikkakaasun talteenoton skenaariot

5.1 Kaatopaikkasijoitus eri skenaarioissa

Kaatopaikkojen metaanipäästöjen ja kaatopaikkakaasun talteenoton kehitystä tarkasteltiin kolmen eri skenaarion avulla:

- Nykykehitys-skenaario, joka kaatopaikalle menevien jätemäärien osalta vastaa SYKEn Nykykehitys-skenaariota.
- Ilmastostrategia-skenaario, joka kaatopaikalle menevien jätemäärien osalta vastaa SYKEn Rinnakkaispoltto/kaasutus-skenaariota.
- Orgaaninen nolla -skenaario v. 2010, jossa on oletettu, että orgaanisen jätteen kaatopaikkasijoitus loppuu kokonaan vuonna 2010. Kaatopaikkasijoituksen väheneminen Nykykehitys-skenaarioon verrattuna alkaa vuodesta 2002 ja kehittyy lineaarisesti vuoteen 2010.

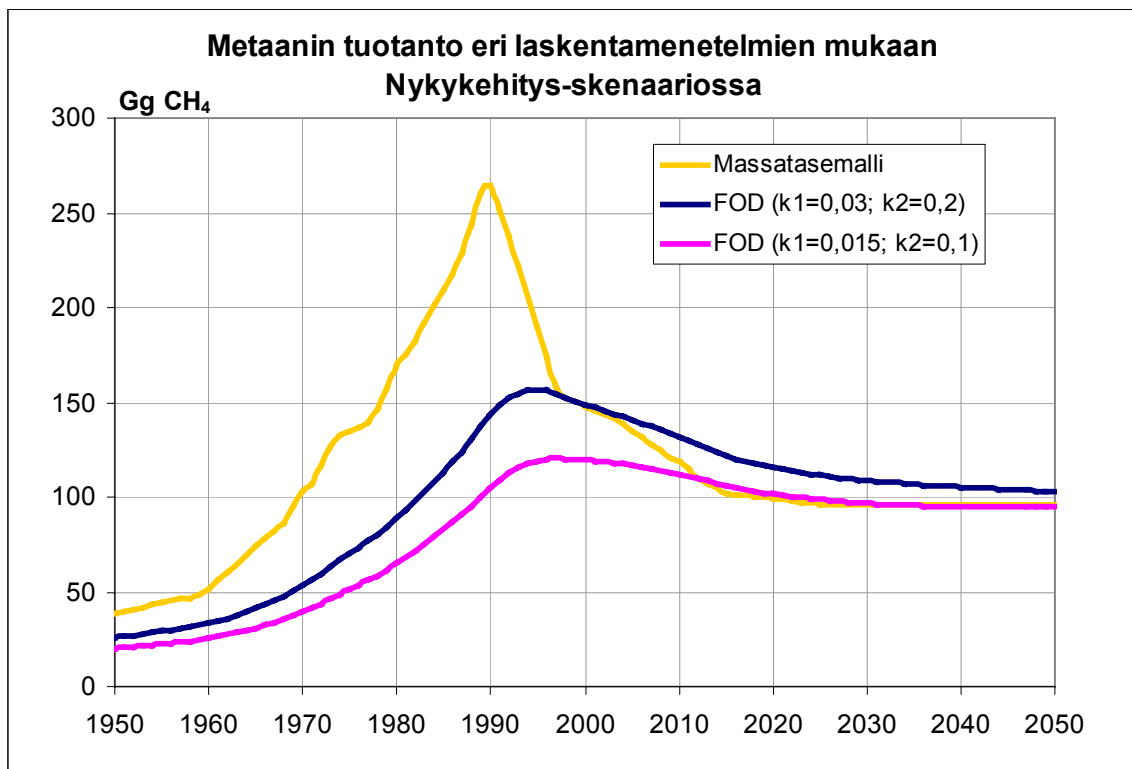
Kaatopaikalle menevän jätteen määrä orgaanisesti hajoavaksi hiileksi muutettuna on esitelty näiden skenaarioiden osalta kuvassa 13.



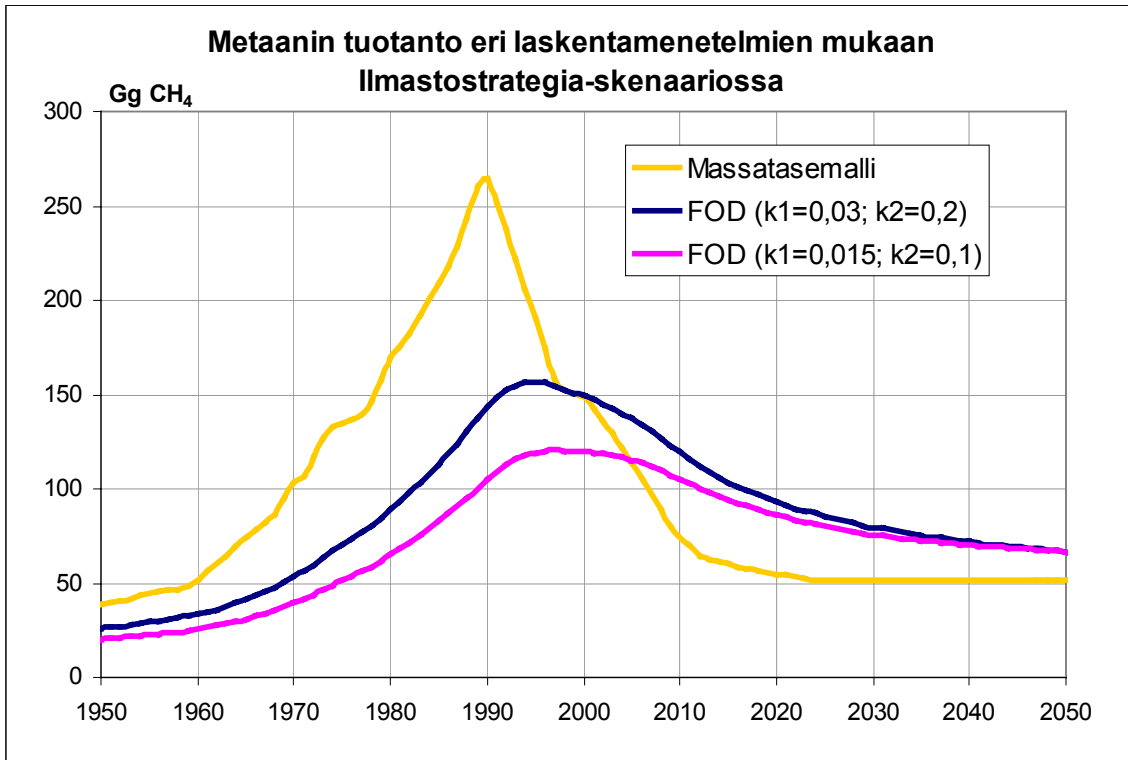
Kuva 13. Kaatopaikalle menevän orgaanisesti hajoavan hiilen määrä eri skenaarioissa vuosina 1900–2050.

5.2 Kaatopaikoilla syntyvän metaanin määrä eri skenaarioissa

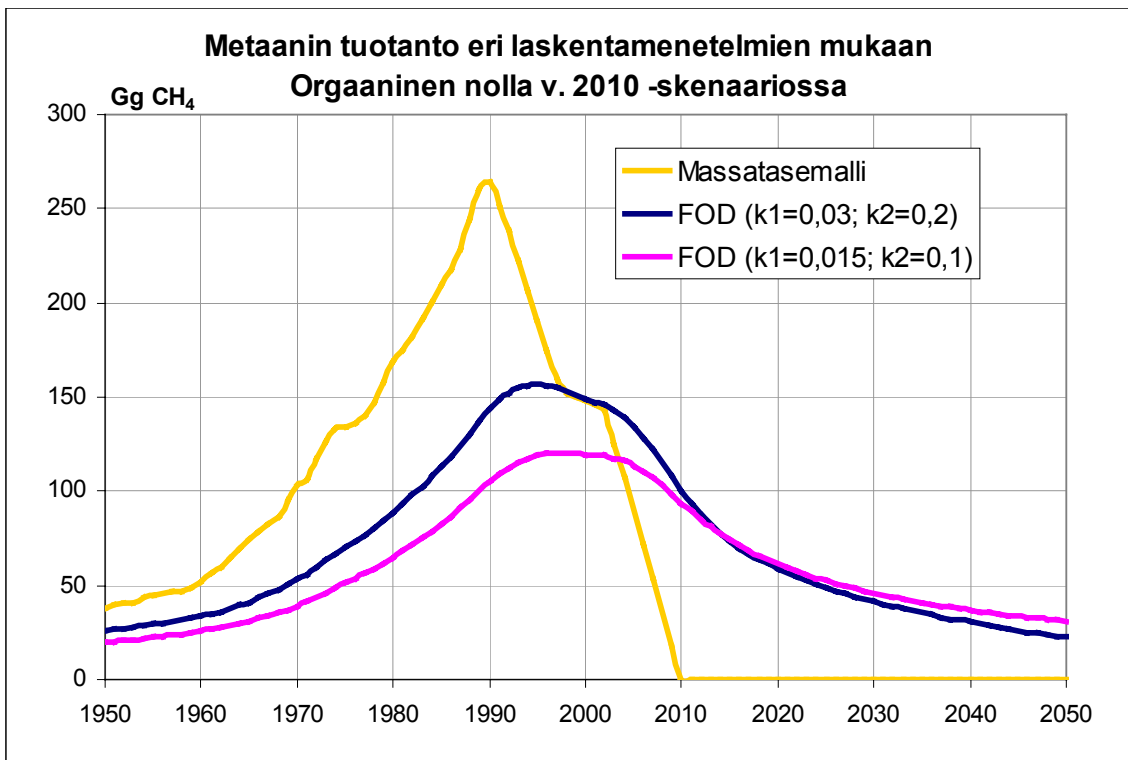
Kaatopaikoilla syntyvän metaanin määrä arvioitiin sekä FOD- että massatasemenetelmällä. FOD-menetelmässä käytettiin kahta eri hajoamisnopeutta sekä nopeasti että hitaasti hajoaville jätteille, jotta nähdään hajoamisnopeuden valinnan vaikutus syntyvän metaanin määriin. Laskenta tehtiin projektin aikana luodulla Excel-pohjaisella mallilla. Tulokset on esitelty kuvissa 14–16. Arviot koskevat siis jätekerroksissa syntyvän metaanin määrää, eikä niissä ole huomioitu kaatopaikkakaasun talteenottoa eikä metaanin hapettumista kaatopaikkojen pintakerroksissa. Kuvista nähdään selvästi massatase- ja FOD-menetelmän erot varsinkin, kun kaatopaikkasijoitettavat jätemäärät vähenyvät. Esimerkiksi Orgaaninen nolla v. 2010 -skenaariossa massatasemallin mukaisesti päästöt menevät nolnaan, kun orgaanisen jätteen kaatopaikkasijoitus loppuu, mutta todellisuudessa jätteen hajoaminen jatkuu vielä vuosikymmeniä, kuten FOD-menetelmä osoittaa. Kun jätteen hajoamisen arvioinnissa käytetään pidempiä puoliintumisaikoja, muutokset metaanin tuotannossa tapahtuvat vastaavasti hitaammin.



Kuva 14. Metaanin tuotanto kaatopaikkojen jätekerroksissa eri menetelmillä arvioituna Nykykehitys-skenaariossa. FOD-menetelmässä on käytetty eri hajoamisnopeuksia hitaasti hajoavalle (k_1) ja nopeasti hajoavalle (k_2) jätteelle (ks. luku 4.3).



Kuva 15. Metaanin tuotanto kaatopaikkojen jätekerroksissa eri menetelmillä arvioituna Ilmastostrategia-skenaariossa.



Kuva 16. Metaanin tuotanto kaatopaikkojen jätekerroksissa eri menetelmillä arvioituna Organinen nolla v. 2010 -skenaariossa.

Kuvista nähdään selvästi, että kun päästöjen laskennassa siirrytään massatasemallista FOD-menetelmään, 1990-luvulla tapahtunut laskennallinen päästövähennys pienenee merkittävästi. Päästöjä esitellään tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

5.3 Kaatopaikkakaasun talteenoton vaikutus päästöihin

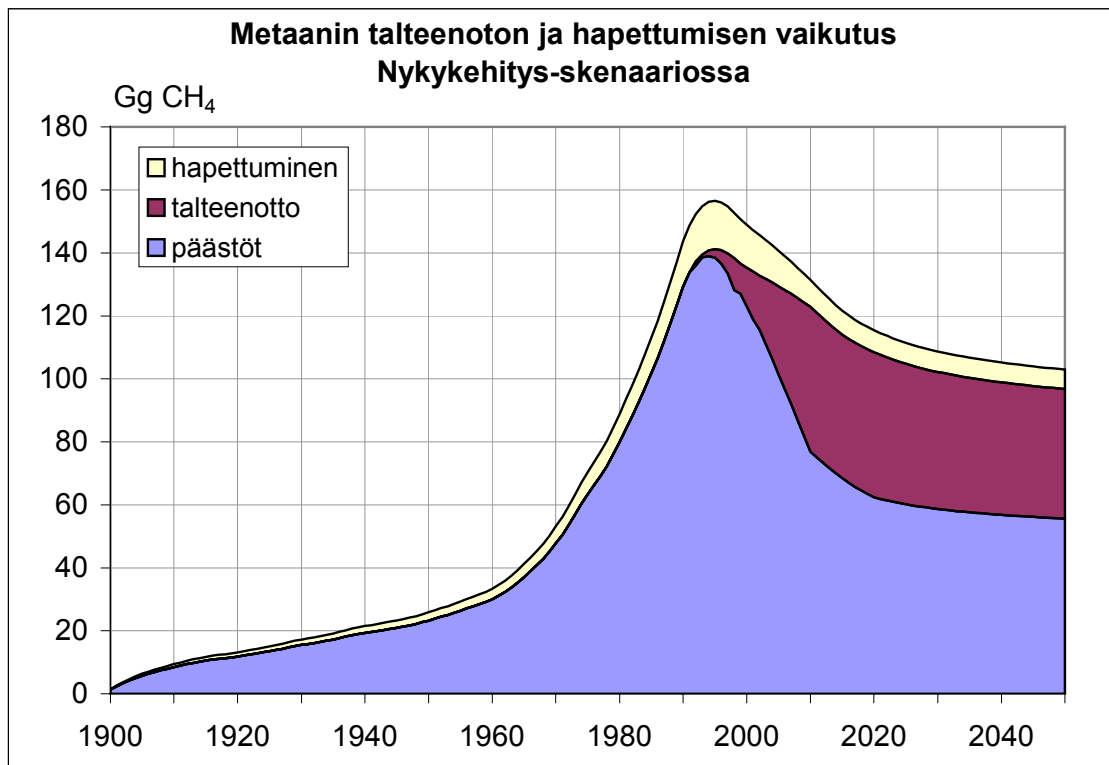
5.3.1 Yleistä

Kaatopaikkakaasun talteenoton vaikutusta metaanipäästöihin on arvioitu FOD-menetelmän avulla olettamalla, että talteenotto pysyy joko nykytasolla (taulukossa 1 mainitut laitokset) tai se lisääntyy vuoteen 2010 mennessä 35 %:iin ja vuoteen 2020 mennessä 40 %:iin syntyvästä metaanimäärästä. Käytännössä tämä tarkoittaisi, että talteenotto-kapasiteetti kolminkertaistuisi nykytasolta.

FOD-menetelmä soveltuu hyvin kaatopaikkakaasun talteenottopotentiaalien arviointiin, jos hajoamisnopeudet ja muut parametrit vastaavat todellisuutta. Ongelmana on juuri parametrien valinta, koska suomalaista tutkimustietoa esim. jätteiden hajoamisnopeudesta ei ole juurikaan saatavilla.

Talteenoton lisäksi jätekerroksissa syntyvän metaanin pääsyä ilmakehään vähentää kaatopaikkojen pintakerroksissa tapahtuva metaanin hapettuminen. Suomen päästölaskennassa on arvioitu, että hapettava määrä olisi 10 % syntyvästä metaanista. Jos kaatopaikalla on talteenottojärjestelmä, hapettava määrä on 10 % siitä metaanimäärästä, jota ei saada talteen, kuten luvun 3 kaavassa 2 osoitetaan.

Talteenoton ja hapettumisen vaikutus päästöihin nähdään kuvasta 17, jossa on esitelty Nykykehitys-skenaarion mukaiset metaanipäästöt, kun talteenottoa lisätään edellä mainitun mukaisesti.



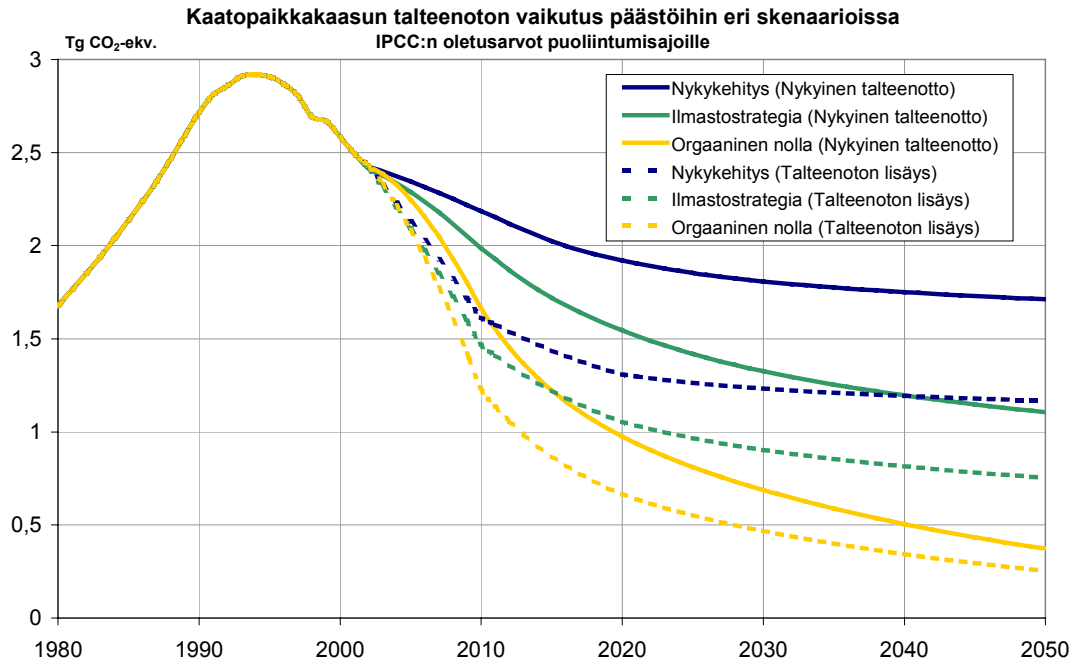
Kuva 17. Metaanin talteenoton ja hapettumisen vaikutus päästöihin Nykykehitys-skenaariossa. Laskennassa on käytetty IPCC:n oletusarvoja jätteiden hajoamisnopeudelle.

5.3.2 Talteenoton vaikutus päästöihin eri skenaarioissa

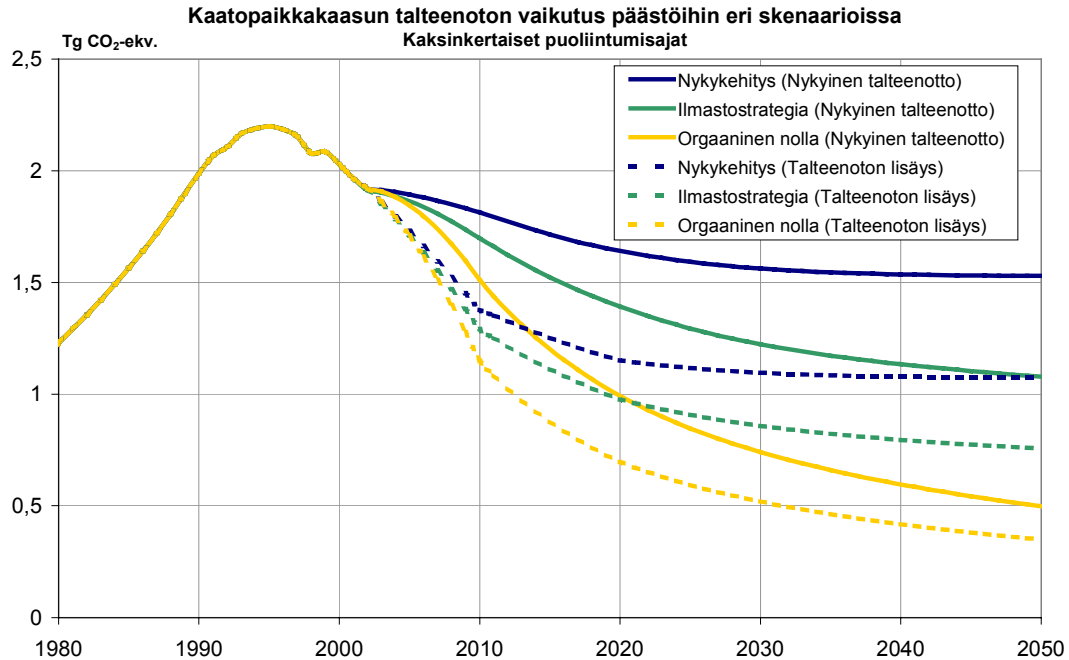
Talteenoton lisäämisen vaikutus päästöihin nähdään kuvista 18 ja 19. Niissä esitellään kaatopaikkojen metaanipäästöt (hiilidioksidiekvivalentiksi muutettuna) kaikissa kolmessa skenaarioissa sekä nykyisellä talteenottotasolla että talteenottoa lisääessä. Kuvassa 18 päästöjen ja talteenoton laskenta on tehty IPCC:n oletusarvioisilla puoliintumisajoilla (n. 3,5 ja 23 vuotta). Kuvassa 19 puolestaan on käytetty kaksinkertaisia puoliintumisaikoja (n. 7 ja 46 vuotta).

Kuvista nähdään, että jos talteenottokapasiteettia lisätään noin kolminkertaiseksi nykytasolta, vähenevät metaanipäästöt vuonna 2010 noin 0,4–0,6 Tg CO₂-ekv. skenaariosta ja käytetyistä hajoamisnopeuksista riippuen. Skenaarioittainen vaihtelu johtuu siitä, että potentiaalinen talteenottomäärä on suhteutettu metaanin tuotantomääriin. Täten kaatopaikkasijoituksen vähentyessä myös talteenottopotentiaali on ainakin pidemmällä tähtäimellä pienempi.

Käytettäessä pidempiä hajoamisaikoja päästöt muuttuvat hitaammin ja 1990-luvun huipputaso jää alemmaksi. Täten myös talteenottopotentiaali on jonkin verran pienempi. Tässä tapauksessa talteenoton vaikutus vuonna 2010 on eri skenaarioissa hyvin samalla tasolla, eli noin 0,4 Tg CO₂-ekv.



Kuva 18. Kaatopaikkojen metaanipäästöt eri skenaarioissa sekä nykyisellä kaatopaikkakaasun talteenottotasolla että talteenottoa lisättäessä. Laskennassa on käytetty IPCC:n oletusarvoja jätteen hajoamisnopeuksille.



Kuva 19. Kaatopaikkojen metaanipäästöt eri skenaarioissa sekä nykyisellä kaatopaikkakaasun talteenottotasolla että talteenottoa lisättäessä. Laskennassa on käytetty kaksinkertaisia arvoja jätteen hajoamisnopeuksille IPCC:n oletusarvoihin nähden.

Orgaaninen nolla -skenaariossa talteenottopotentiali luonnollisesti pienenee eniten ajan kuluessa, koska metaania tuottavan jätteen sijoitus lopetetaan tässä skenaariossa vuonna 2010. Täten talteenotettu metaanimäärä on kokonaan peräisin ennen vuotta 2010 sijoitetusta jätteestä.

Yhteenveto eri skenaarioiden päästöistä eri talteenottomäärillä vuosina 2010, 2020 ja 2030 on esitelty taulukoissa 4 ja 5.

Orgaaninen nolla -skenaariossa talteenottopotentiali luonnollisesti pienenee eniten ajan kuluessa, koska metaania tuottavan jätteen sijoitus lopetetaan tässä skenaariossa vuonna 2010. Täten talteenotettu metaanimäärä on kokonaan peräisin ennen vuotta 2010 sijoitetusta jätteestä.

Yhteenveto eri skenaarioiden päästöistä eri talteenottomäärillä vuosina 2010, 2020 ja 2030 on esitelty taulukoissa 4 ja 5.

Taulukko 4. Yhteenveto kaatopaikkojen metaanipäästöistä (CO₂-ekvivalenttina) eri skenaarioissa ja eri talteenottotasoilla (IPCC:n oletusarvot puoliintumisajoille).

Skenaario	Nykykehitys Tg CO ₂ -ekv.		Ilmastostrategia Tg CO ₂ -ekv.		Orgaaninen nolla Tg CO ₂ -ekv.	
	Nykyinen	Lisäys	Nykyinen	Lisäys	Nykyinen	Lisäys
1990	2,7					
2000	2,6					
2010	2,2	1,6	2,0	1,5	1,7	1,2
2020	1,9	1,3	1,5	1,1	1,0	0,7
2030	1,8	1,2	1,3	0,9	0,7	0,5

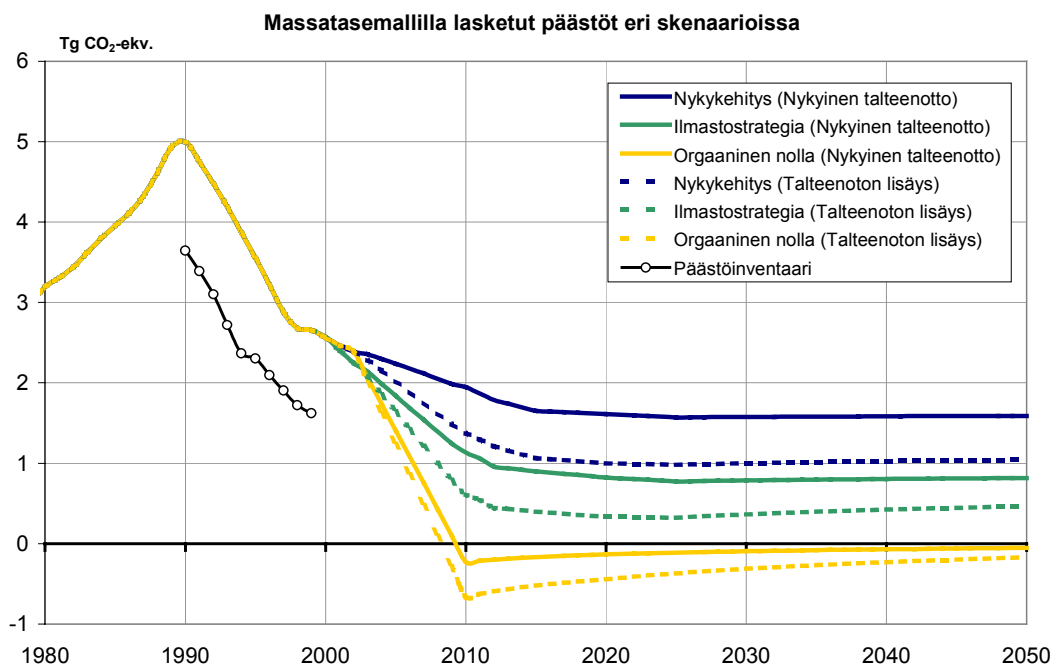
Taulukko 5. Yhteenveto kaatopaikkojen metaanipäästöistä (CO₂-ekvivalenttina) eri skenaarioissa ja eri talteenottotasoilla (kaksinkertaiset puoliintumisajat).

Skenaario	Nykykehitys Tg CO ₂ -ekv.		Ilmastostrategia Tg CO ₂ -ekv.		Orgaaninen nolla Tg CO ₂ -ekv.	
	Nykyinen	Lisäys	Nykyinen	Lisäys	Nykyinen	Lisäys
1990	2,0					
2000	2,0					
2010	1,8	1,4	1,7	1,3	1,5	1,1
2020	1,6	1,2	1,4	1,0	1,0	0,7
2030	1,6	1,1	1,2	0,9	0,7	0,5

5.3.3 Massatasemenetelmällä arvioidut päästöt eri skenaarioissa

Kuvassa 20 on esitelty päästöt laskettuna massatasemallilla. Talteenottomäärä on kuitenkin arvioitu FOD-menetelmällä samoin kuin edellä, koska massatasemalli ei sovellu talteenottopotentiaalien arviointiin. Kuvaan on lisätty myös virallisen päästöinventaarin tulokset. Arvioidut päästöt poikkeavat päästöinventaarin luvuista, koska tässä työssä on käytetty tuoreempia arvioita kaatopaikan hoitotavan vaikutuksista päästöihin (inventaarissa 1990-luvulla MCF on 0,7 ja tämän työn arvioissa 0,96–0,99). Inventaarin vuosien 1994–1995 välistä päästökäyrän ”pykälää” ei tämän työn arvioissa esiinny, koska jätemäärinä käytettiin Dahlbon (et al. 2000) esittämiä lukuja vuosille 1990 ja 1997–1999, joista vuosien 1991–1996 jätemäärät interpoloitiin lineaarisesti.

Kuvasta nähdään, että massatasemalli ei sovellu päästöjen arviointiin, jos jätemäärissä tapahtuu merkittäviä muutoksia. Jos jätettä ei enää viedä kaatopaikalle ja vanhoista jätteistä vapautuvaa kaatopaikkakaasua otetaan talteen, saadaan massatasemallilla tulokseksi jopa negatiivisia päästöjä, kuten Orgaaninen nolla -skenaariossa tapahtuu.



Kuva 20. Massatasemallilla arvioidut kaatopaikkojen metaanipäästöt eri skenaarioissa.

5.4 Talteenottokapasiteetin lisätarve

FOD-menetelmällä arvioidut talteenottomäärät voidaan muuttaa energia- ja tilavuusyksiköiksi käyttämällä apuna seuraavia tietoja ja oletuksia:

- kaatopaikkakaasussa metaania 50 til.-%
- metaanin tiheys: 0,72 kg/Nm³ (normikuutiometri)
- kaatopaikkakaasun lämpöarvo 15 MJ/Nm³.

Talteenotetun kaatopaikkakaasun määrät primaarienergiana (PJ) ja tilavuusyksikköinä (Mm³) on esitelty taulukoissa 6 ja 7. Esitettyjen lukujen perusteella voidaan karkeasti arvioida, kuinka paljon uutta talteenottokapasiteettia tarvitaan, jotta saavutettaisiin talteenoton lisäysskenaarioiden luvut vuonna 2010. Biokaasutilastojen (Leinonen & Kuitinen 2000) avulla arvioituna talteenottolaitosten tuotanto nimelliskapasiteettiin verrattuna (todellinen talteenotto per kapasiteetti 8 000 h/a käyttöajalla) on ollut 1990-luvun loppupuolella välillä 50–75 %. Jos oletetaan, että tulevaisuudessa tämä suhde olisi 75 %, niin vuoteen 2010 mennessä Nykykehitys-skenaarioissa tarvittaisiin noin 11 000–14 000 Nm³/h uutta talteenottokapasiteettia. Ilmastostrategia-skenaariossa vastaava määrä olisi 10 000–13 000 Nm³/h ja Orgaaninen nolla -skenaariossa noin 9 000–11 000 Nm³/h. Käytännössä tämä tarkoittaisi noin 30 uuden talteenottojärjestelmän asentamista, jolloin noin 50 suurinta kaatopaikkaa olisi kaasun talteenoton piirissä. Vuoden 2001 syksyllä asennettu talteenottokapasiteetti tulee olemaan yhteensä noin 8 000 Nm³/h (16 kaatopaikkaa).

Taulukko 6. Yhteenvedo talteenotetun kaatopaikkakaasun määristä eri skenaarioissa energiayksiköissä ja suluisissa tilavuusyksiköissä. (IPCC:n oletusarvot puoliintumisajoille).

Skenaario	Nykykehitys PJ (Mm ³)		Ilmastostrategia PJ (Mm ³)		Orgaaninen nolla PJ (Mm ³)	
	Nykyinen	Lisäys	Nykyinen	Lisäys	Nykyinen	Lisäys
1995	0,12 (8)					
2000	0,55 (34)					
2010	0,70 (44)	2,04 (128)	0,64 (40)	1,86 (116)	0,53 (33)	1,56 (97)
2020	0,62 (38)	2,05 (128)	0,50 (31)	1,65 (103)	0,31 (20)	1,04 (65)
2030	0,58 (36)	1,93 (121)	0,42 (27)	1,42 (89)	0,22 (14)	0,74 (46)

Taulukko 7. Yhteenveto talteenotetun kaatopaikkakaasun määristä eri skenaarioissa energiayksiköissä ja suluisissa tilavuusyksiköissä (kaksinkertaiset puoliintumisajat).

Skenaario	Nykykehitys PJ (Mm ³)		Ilmastostrategia PJ (Mm ³)		Orgaaninen nolla PJ (Mm ³)	
	Nykyinen	Lisäys	Nykyinen	Lisäys	Nykyinen	Lisäys
1995	0,12 (8)					
2000	0,55 (34)					
2010	0,72 (45)	1,75 (109)	0,68 (42)	1,63 (102)	0,60 (38)	1,45 (91)
2020	0,65 (41)	1,80 (113)	0,55 (35)	1,53 (96)	0,40 (25)	1,09 (68)
2030	0,62 (39)	1,72 (107)	0,49 (30)	1,35 (84)	0,30 (18)	0,82 (51)

5.5 Kaatopaikkakaasun energiakäyttö ja CO₂-päästöjen vähentäminen

Vuonna 1999 kaatopaikoilta talteenotetusta kaasusta hyödynnettiin energiana noin puolet ja loput poltettiin soihdussa. Energiakäyttömahdollisuudet ovat tapauskohtaisia, kuten taulukosta 1 käy ilmi. Kaatopaikat sijaitsevat usein kaukana energian käyttökohteista, mutta joissakin tapauksessa kaasua siirretään jopa kilometrien päähän hyödynnettäväksi. Nykyisin ongelmana on alhainen sähkön hinta.

Jos talteenottoa lisättäisiin edellä kuvatus mukaisesti ja jos uusien talteenottolaitosten kaasusta voitaisiin hyödyntää energiana 75 %, tulisi energiakäyttöön lisää kaatopaikkakaasua noin 0,6–1 PJ vuoteen 2010 mennessä skenaariosta ja valituista hajoamisnopeuksista riippuen. Jos koko tästä määrästä tuotettaisiin sähköä kaasumoottorissa ($\eta = 38\%$), olisi sähköntuotanto noin 65–105 GWh/a. Tätä sähkömäärää vastaava hiilidioksidipäästöjen vähenemä olisi noin 13–20 Gg CO₂, jos oletetaan että korvataan keskimääräistä sähköntuotantoa (n. 200 g CO₂/kWh). Jos oletetaan, että korvataan hiililauhdetta, olisi vastaava päästövähennys noin 55–90 Gg CO₂. Jos koko energiakäyttöön tulevalle kaasumäärälle korvattaisiin kevyttä polttoöljyä CHP- tai lämmöntuotannossa, saataisiin päästövähennäksi noin 45–75 Gg CO₂.

5.6 Talteenoton kustannukset

Talteenottojärjestelmän (keräilyjärjestelmä ja pumppaamo), joka on mitoitettu teholle 350–500 Nm³/h, investointikustannukset ovat tyypillisesti suuruudeltaan 0,4 milj. €. Kustannukset tosin vaihtelevat jonkin verran tapauskohtaisesti. Soihtupolttimen investointikustannus on noin 0,1 milj. €. Talteenottolaitoksen käyttökustannukset muodostuvat pumppaamon sähkönkulutuksesta (noin 11–45 kW) ja kunnossapidosta, ja ne ovat noin 0,7 snt/Nm³ kaasua.

Näiden kustannustietojen perusteella voidaan karkeasti arvioida talteenottoinvestointien kokonaiskustannukset, kun talteenottoa lisätään nykytasolta em. skenaariolaskelmien mukaisesti (eli vuonna 2010 noin 35 % syntyvästä kaasusta talteen). Kokonaiskustannuksiksi saadaan noin 120–170 €/Nm³/a, kun käytetään laskennassa 5 %:n reaalikorkoa, 20 vuoden pitoaikaa ja 8 000 tunnin vuotuista käyttöaikaa. Täten Nykykehitys-skenaariossa lisäinvestointien vuosikustannukset olisivat noin 1,3–2,4 milj. €/a. Vastaavasti Ilmastostrategia- ja Orgaaninen nolla” -skenaarioissa kustannukset olisivat hieman alhaisemmat pienemmän talteenottomäärän takia.

Jos lasketaan kustannus tuotettua kaatopaikkakaasua kohti energiakäyttöä ajatellen, saadaan polttoaineen hinnaksi noin 3,4–4,5 €/MWh, jos talteenottolaitos toimii täydellä teholla. Energiana hyödyntämisen kustannukset riippuvat luonnollisesti hyödyntämistekniikasta. Tässä yhteydessä energiana hyödyntämisen kustannukset arvioidaan pelkkää sähköä tuottavalle kaasumoottorille, jonka investointikustannus on noin 900 €/kW sähkötehoa, käyttökustannukset 1,1 snt/kWh tuotettua sähköä ja käyttöaika 8 000 h/a. Tuotetun sähkön hinnaksi saadaan näillä oletuksilla (20 a, 5 %) ja em. polttoainehinnalla alle 3,5 snt/kWh. Kaatopaikkakaasun käytön lisääntymistä sähköntuotannossa ovat hidastaneet mm. alhainen sähkön markkinahinta ja ongelmat pienten voimalaitosten verkkoonliittymiskustannuksissa.

5.7 Yhteenveto talteenotolla saavutettavasta kasvihuonekaasujen päästövähennyksestä ja sen kustannuksista

Kaatopaikkakaasun talteenotolla saavutettava päästövähennys muodostuu suurimmaksi osaksi talteenotetusta metaanista. Jos kaasu käytetään energiana, voidaan sillä mahdollisesti korvata fossiilisten polttoaineiden käyttöä, jolloin voidaan saavuttaa pieni lisävähennys.

Skenaariolaskelmien perusteella talteenotolla saavutettava päästövähennys vuonna 2010 olisi noin 0,4–0,6 Tg CO₂-ekv. ja jos talteenotetusta metaanista 75 % hyödynnetään energiana korvaamalla kevyen polttoöljyn käyttöä saavutettaisiin lisäksi noin

0,05 Tg CO₂-ekv. päästövähennys. Kaatopaikkakaasun energiakäytöllä vältettävät CO₂-päästöt ovat kuitenkin tapauskohtaisia, joten niitä ei ole huomioitu luvun 5 kuvissa ja taulukoissa.

Päästöjen vähentämiskustannukset on arvioitu vain talteenotolle ja soihtupoltolle, koska energiana hyödyntämisen kokonaiskustannusvaikutusten arviointia ei voi tehdä kovinkaan suoraviivaisesti. Tuotettu energia korvaa jotain toista energiamuotoa, jolloin syntyy myös jonkin verran säästöä tämän energiamuodon käytössä. Joka tapauksessa kaatopaikkakaasun talteenotto ja energiana hyödyntäminen on arvioitu hyvin edulliseksi keinoksi vähentää kasvihuonekaasupäästöjä Suomessa (esim. Lehtilä & Tuhkanen 1999). Päästöjen vähentämiskustannukset voivat joissain tapauksissa olla jopa negatiivisia.

Talteenoton vuosikustannuksiksi Nykykehitys-skenaariossa arvioitiin edellä noin 1,3–2,4 milj. €, joita tarvittavien soihtupolttimien aiheuttamat kustannukset nostavat noin 20 %, jolloin päädytään noin 1,7–2,9 miljoonaan euroon vuodessa, jos oletetaan, että kaikki talteenotettu kaasu poltetaan soihdussa. Nykykehitys-skenaarion 0,6 Tg CO₂-ekv. päästövähennys voitaisiin tämän arvion mukaan saavuttaa keskimäärin 2,5–5,0 €/t CO₂-ekv. ominaiskustannuksilla. Tämä kustannustaso on moniin muihin päästövähennyskeinoihin verrattuna erittäin alhainen.

Edellä mainittua suuremman päästövähennysvaikutuksen saavuttaminen vaatisi talteenottojärjestelmien asentamista entistä pienemmille kaatopaikoille, joilla kaasun tuotanto voi olla vähäistä tai kaasun metaanipitoisuus on alhainen. Luonnollisesti tämä nostaa kustannuksia talteenotettua metaanimäärää kohden. Pienimmillä kaatopaikoilla (alle 5 ha) järkevin vaihtoehto olisi todennäköisesti kohdassa 2.4 kuvatun metaania hapettavan kaatopaikan pintakerrosratkaisun käyttöönotto. Esimerkiksi hoidetulla 2 hehtaarin kaatopaikalla, jonka täyttösyvyys olisi noin 5 m (jätettä arviolta noin 30–50 Gg) aiheutuu ajan yli lasketuna yhteensä noin 2–3 Gg:n metaanipäästö. Jos pintakerrosratkaisulla (kokonaiskustannus 20 €/m²) saadaan hapetettua puolet tästä metaanimäärästä, olisi päästöjen vähentämiskustannus hyvin karkeasti arvioituna noin 15–20 €/t CO₂-ekv. Tämän ratkaisun kokonaispotentialiaali päästöjen vähentämisessä lienee vuoteen 2010 mennessä noin 0,1–0,2 Tg CO₂-ekv. (noin 10 % kaatopaikkojen päästöistä).

6. Yhteenveto ja pohdinnat

Työssä arvioitiin Suomen kaatopaikkojen aiheuttamia metaanipäästöjä aikavälillä 1900–2050 nk. FOD-menetelmällä (First Order Decay method), joka ottaa huomioon metaanin syntymisen aikakäyttäytymisen. Tähän asti kaatopaikkojen päästöt on pääasiassa arvioitu nk. massatasemenetelmällä, mutta IPCC:n *hyvän arviointikäytännön ohjeiden* mukaan päästöjen laskennassa on siirryttävä FOD-menetelmän käyttöön. FOD-menetelmä kuvaa päästöjä huomattavasti realistisemmin kuin massatasemenetelmä varsinkin, kun kaatopaikalle menevissä jätemäärissä tapahtuu suuria muutoksia. Menetelmän käyttöön siirrytään näillä näkymin vuoden 2001 päästöjä inventoitaessa. Tämän työn toinen päätavoite oli arvoida FOD-menetelmän avulla kaatopaikkakaasun talteenoton mahdollisuuksia Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä sekä arvioida talteenoton kustannustehokkuutta.

Uuden arviointimenetelmän käyttöönotto vaatii kuitenkin monien epävarmojen tekijöiden arviointia. Tärkeimmät näistä ovat kaatopaikkasijoitettujen jätteiden määrän ja koostumuksen historian sekä eri jätelajien hajoamisnopeuksien arviointi. Jättemääriä on tilastoitu vasta 1990-luvulla, joten historia täytyy arvioida esim. erityyppisten indikaattorien avulla. Tässä työssä jättemäärähistorian arviointi perustui lähinnä väestömäärän ja kansantalouden kehittymiseen. Päästöjä arvioidessa jätelajien hajoamisnopeuksina käytettiin sekä IPCC:n oletusarvoja että pidempiä aikavakioita, koska Suomen olosuhteissa jätteiden hajoaminen on todennäköisesti hitaampaa kuin keskimäärin. Näistä aikavakioista ei ole saatavilla Suomen kaatopaikkoja koskevaa tutkimustietoa, joten tulevaisuuden päästöinventaaareissa tullaan ainakin aluksi käyttämään IPCC:n oletusarvoja.

Kaatopaikkojen metaanipäästöjen laskentaan liittyviä taustaoletuksia tarkennettiin tämän työn aikana Suomen ympäristökeskuksessa varsinkin kaatopaikkojen täyttötavan vaikutuksen osalta (parametri MCF, ks. luku 3). Uusien arvioiden mukaan Suomen kaatopaikoilla on tehty jätteiden tiivistämistä ja muita hoitotoimenpiteitä laajemmin kuin aiempien karkeiden arvioiden mukaan. Tämän uuden arvion perusteella 1990-luvun päästöt olisivat noin 35 % suuremmat kuin aiempien arvioiden mukaan.

Kaatopaikalle sijoitettavien jätteiden määrä on 1990-luvulla vähentynyt merkittävästi. Kaikissa tarkastelluissa vaihtoehdoissa jätteiden kaatopaikkasijoitus vähenee tulevaisuudessa edelleenkin. Metaanipäästöjen kannalta tärkein jätelaji on yhdyskuntajäte, joka sisältää muihin jätelajeihin verrattuna paljon orgaanisesti hajoavaa hiiltä.

Myös kaatopaikkakaasun talteenotto on lisääntynyt Suomessa voimakkaasti viime vuosina. Syynä tähän ovat lähinnä asetetut säädökset. Talteenoton lisääntyminen tulee todennäköisesti vielä jatkumaan, koska kaatopaikkasijoitus keskittyy suurille kaatopaikoille, joilla kaasun talteenotto on taloudellisempaa. Säästösten mukaan talteenotettu

kaasu tulee mahdollisuuksien mukaan hyödyntää, mikä käytännössä tarkoittaa kaasun energiakäyttöä. Nykyisin energiakäyttöön menee noin puolet talteenotetusta kaasusta.

FOD-menetelmällä tehtyjen alustavien päästöarvioiden mukaan kaatopaikkojen metaanipäästöt olisivat olleet vuonna 2000 noin vuoden 1990 tasolla, kun vastaavasti massatasemallin mukainen laskennallinen päästöjen vähenemä olisi ollut jopa noin 2,5 Tg CO₂-ekv. Vuoteen 2010 mennessä päästöt vähenisivät FOD-menetelmällä arvioituna Nykykehitys-skenaariossa noin 0,2–0,5 Tg CO₂-ekv., Ilmastostrategia-skenaariossa noin 0,3–0,7 Tg CO₂-ekv. ja ”Orgaaninen nolla-skenaariossa noin 0,5–1,0 Tg CO₂-ekv. riippuen valitusta jätteiden hajoamisnopeudesta. Nämä päästövähennykset perustuvat ainoastaan jätemäärien vähenemiseen.

FOD-menetelmän käyttöön siirtyminen kaatopaikkojen metaanipäästöjen laskennassa aiheuttaa päästöjen vähennyspaineita muille sektoreille jonkin verran enemmän kuin kansallisessa ilmastostrategiassa (ks. esim. KTM 2001) on arvioitu. Vuoteen 2010 mennessä saavutettava päästövähennys voi FOD-menetelmällä arvioituna olla jopa 2,5 Tg CO₂-ekv. pienempi kuin massatasemenetelmällä arvioitu laskennallinen päästövähennys. Tämän eron rahallinen merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä voi olla useita kymmeniä miljoonia euroja vuodessa.

Jos kaatopaikkakaasun talteenottoa lisätään noin kolminkertaiseksi nykytasolta, voitaisiin edellisten lisäksi saavuttaa noin 0,4–0,6 Tg CO₂-ekv. suuruinen päästövähennys vuoteen 2010 mennessä. Käytännössä tämä tarkoittaisi, että kaasua otettaisiin talteen noin 50 suurimmalta kaatopaikalta. Suurempienkin päästövähennyksien saavuttaminen on teknisesti mahdollista, mutta kustannukset nousevat sitä mukaa mitä pienemmiltä kaatopaikoilta kaasua otetaan talteen. Pienillä kaatopaikoilla päästöjä voitaisiin vähentää normaalin talteenoton sijasta metaania hapettavalla pintakerrosratkaisulla, jonka avulla voitaisiin karkeasti arvioituna saavuttaa noin 0,1–0,2 Tg CO₂-ekv. päästövähennys vuoteen 2010 mennessä. Teoreettisena maksimipotentiaalina talteenotolla ja pintakerrosratkaisulla saavutettavana päästövähennyksenä voitaneen pitää noin 70 % syntyvästä kaasumäärästä, joka vuonna 2010 vastaisi enimmillään 1,5 Tg CO₂-ekv. Pidemmällä tulevaisuudessa kaatopaikkojen metaanintuotanto vähenee, jolloin myös kaatopaikkakaasun talteenottopotentiaali pienenee jonkin verran. Kaatopaikkakaasun energiakäytön lisäämisellä saavutettava mahdollinen energiantuotannon CO₂-päästöjen vähenemä on melko pieni (luokkaa 0,05 Tg CO₂-ekv.) verrattuna kaatopaikkojen metaanipäästöjen vähenemään.

Tehtyjen kustannusarvioiden mukaan kaatopaikkakaasun talteenotto on hyvin edullinen keino vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, kun verrataan sitä esim. kansallisen ilmastostrategian keskimääräisiin päästöjen vähentämiskustannuksiin (suorat kustannukset ilman veroja n. 30–60 €/t CO₂-ekv., ks. Kempfi et al. 2001 ja KTM 2001). Jos tal-

teenotettu kaasu poltetaan soihdussa, ovat päästöjen vähentämisen ominaiskustannukset keskimäärin noin 2,5–5,0 €/t CO₂-ekv. Jos talteenotettu kaasu hyödynnetään energiana, voidaan päästä joissakin tapauksissa negatiivisiin päästöjen vähentämiskustannuksiin, eli hankkeet voivat olla liiketaloudellisesti kannattavia. Pienten kaatopaikkojen pintakerrosratkaisujen kustannus olisi vähennettyjä päästöjä kohden karkeasti arvioituna noin 15–20 €/t CO₂-ekv., joten tämäkin toimenpide näyttäisi kustannuksiltaan varsin kohtuulliselta.

Lähdeluettelo

Dahlbo, H., Petäjä, J., Jouttijärvi, T., Melanen, M., Tanskanen, J.-H., Koskela, S. & Pylkkö, T. 2000. Jätesektorin mahdollisuudet kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 100 s. (Suomen ympäristökeskuksen moniste 197.)

Ettala, M. & Väisänen, P. 2001. Kaatopaikkakaasun biologista käsittelyä tutkittiin pintatiivistetyillä jätepenkereillä. Ekokem-palvelu, EkoAsiaa 1/01. S. 18–20.

IPCC. 2000. Good practice guidance and uncertainty management in national greenhouse gas inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/gpgaum.htm>

IPCC. 1997. Greenhouse gas inventory: reference manual – revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Vol. 3. Bracknell: The intergovernmental panel on climate change. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>

Kemppi, H., Lehtilä, A. & Perrels, A. 2001. Suomen kansallisen ilmasto-ohjelman taloudelliset vaikutukset. Helsinki: Valtion taloudellinen tutkimuskeskus. 130 s. (VATT tutkimuksia 75.) <http://www.vatt.fi/julkaisut/t/t75.pdf>

KTM. 2001. Kasvihuonekaasujen vähentämistarpeet ja mahdollisuudet Suomessa – kansallisen ilmastostrategian taustaraportti. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö. (Julkaisuja 4/2001.) <http://www.vn.fi/ktm/ilmasto/Taustaraportti.pdf>

Lehtilä, A. & Tuhkanen, S. 1999. Integrated cost-effectiveness analysis of greenhouse gas emission abatement: The case of Finland. Espoo: Technical Research Centre of Finland. 145 s. + liitt. 15 s. (VTT Publications 374.) ISBN 951-38-5357-8. <URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/publications/1999/P374.pdf>>

Leinonen, S. & Kuittinen, V. 2000. Suomen biokaasulaitosrekisteri III. Tiedot vuosilta 1997–99. Joensuu: Joensuun yliopisto. (Karjalan tutkimuslaitoksen monisteita 7/2000). <http://www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus/sblr3.pdf>

Lohiniva, E., Sipilä, K., Mäkinen, T. & Hietanen, L. 2001. Jätteiden energiakäytön vaikutukset GHG-päästöihin. Espoo: VTT Energia (Tutkimusselostus ENE1/48/2001).

Oonk, J. & Boom, A. 1995. Landfill gas formation, recovery and emissions. Apeldoorn, NLD: TNO Institute of Environmental and Energy Technology. 103 s. + liitt. (TNO report R95-203.)

Pipatti, R. Hänninen, K., Vesterinen, R., Wihersaari, M. & Savolainen, I. 1996. Jätteiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 85 s. (VTT Julkaisuja 811.) ISBN 951-38-4520-6

Sarlin-Hydor Oy. 2001. Kaatopaikkakaasun talteenottoa käsittelevä esite ”Nyt on monta hyvää syytä kerätä kaatopaikkojen biokaasua”.

Turkulainen, T. & Johansson, A. 2001. Jätteiden vaikutus kasvihuonekaasupäästöissä. Osahanke B: Materiaalikierrätys ja jätteiden materiaalivirtojen kehitys. VTT Kemiantekniikka. Dno 215-01/KET17.

Valtioneuvoston päätös 861/1997 ja 1049/1999.

Väisänen, P. 2001. Biokaasun talteenotto kaatopaikoilta. Biokaasukeskus ry.
<http://www.kolumbus.fi/suomen.biokaasukeskus/kaatis.html>

YM. 1997. Finland's second report under the framework convention on climate change. 63 s. <http://www.unfccc.int/resource/docs/natc/finnc2.pdf>

Tekijä(t) Tuhkanen, Sami			
Nimeke Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto			
Tiivistelmä <p>Työssä arvioitiin Suomen kaatopaikkojen aiheuttamia metaanipäästöjä ns. FOD-menetelmällä (First Order Decay method), joka ottaa huomioon metaanin (CH₄) syntymisen aikakäyttäytymisen. Menetelmä kuvaa päästöjä huomattavasti realistisemmin kuin nykyisin käytössä oleva massatasemenetelmä varsinkin, kun kaatopaikalle menevissä jätemäärissä tapahtuu suuria muutoksia. FOD-menetelmän käyttöön tullaan siirtymään lähivuosina IPCC:n kansainvälisten laskentaohjeiden mukaisesti. Työn toinen päätavoite oli arvoida kaatopaikkakaasun talteenoton mahdollisuuksia Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä sekä talteenoton kustannustehokkuutta.</p> <p>FOD-menetelmällä tehtyjen alustavien päästöarvioiden mukaan kaatopaikkojen CH₄-päästöt olisivat olleet vuonna 2000 noin vuoden 1990 tasolla, kun vastaavasti massatasemallin mukainen laskennallinen päästöjen vähenemä olisi ollut jopa noin 2,5 Tg CO₂-ekv. FOD-menetelmän käyttöön siirtyminen aiheuttaa päästöjen vähennyspaineita muille sektoreille jopa yli 2 Tg CO₂-ekv. enemmän kuin kansallisessa ilmastostrategiassa on arvioitu.</p> <p>Jos kaatopaikkakaasun talteenottoa lisättäisiin noin kolminkertaiseksi nykytasolta, eli noin 50 suurimmalle kaatopaikalle, voitaisiin lisäksi saavuttaa noin 0,4–0,6 Tg CO₂-ekv. suuruinen päästövähennemä vuoteen 2010 mennessä. Tehtyjen kustannusarvioiden mukaan kaatopaikkakaasun talteenotto on hyvin edullinen keino vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, kun verrataan sitä esim. kansallisen ilmastostrategian keskimääräisiin päästöjen vähentämiskustannuksiin.</p>			
Avainsanat waste management, landfills, emissions, greenhouse gases, methane, reduction, recovery, First Order Decay method, Finland, costs			
Toimintayksikkö VTT Prosessit, Tekniikantie 4 C, PL 1606, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5895-2 (nid.) 951-38-5896-0 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Projektinumero N1SU00339/ 65 CL/OHJAUS	
Julkaisu-aika Toukokuu 2002	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 46 s.	Hinta A
Projektin nimi Jätteiden merkitys GHG-päästöjen vähentämisessä – osahanke ”Kaatopaikkakaasut”		Toimeksiantaja(t) Tekes (Climtech-ohjelma)	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	



Author(s) Tuhkanen, Sami			
Title Mitigation of greenhouse gases from waste management in Finland Methane (CH₄) emissions from landfills and landfill gas recovery			
Abstract <p>The main objective of this study was to estimate methane (CH₄) emissions from landfills in Finland with the IPCC First Order Decay (FOD) method which takes into account the time-dependency of waste degradation process. This method produces a emission profile which is more realistic than a profile produced with so-called mass balance method especially when there are large changes in the waste flows. Due to the IPCC Good Practice Guidelines the FOD method will be taken into use in the Finnish emissions inventories in the following years. Another objective of this study was to estimate the role and cost-efficiency of landfill gas recovery in the mitigation of Finnish greenhouse gas emissions.</p> <p>According to preliminary estimates made with help of the FOD method the CH₄ emissions from landfills were in 2000 in the same level than in 1990 whereas according to the mass balance model the emissions would have decreased about 2,5 Tg CO₂ eq. in the same period. The change of the calculation method will cause about 2 Tg CO₂ eq. more demand for emission reductions in other sectors that it has been estimated in the Finnish Climate Strategy.</p> <p>If the landfill gas recovery capacity will be tripled from the present level which means that about 50 biggest landfills would be equipped with recovery facilities the emissions would decrease in addition about 0,4–0,6 Tg CO₂ eq. by 2010. The cost estimates made in this study show that the landfill gas recovery is very cost-effective measure to reduce greenhouse gas emissions if it is compared to e.g. average emission reduction costs of Finnish Climate Strategy.</p>			
Keywords waste management, landfills, emissions, greenhouse gases, methane, reduction, recovery, First Order Decay method, Finland, costs			
Activity unit VTT Processes, Tekniikantie 4 C, P.O.Box 1606, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-5895-2 (soft back ed.) 951-38-5896-0 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Project number N1SU00339/ 65 CL/OHJAUS	
Date May 2002	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 46 p.	Price A
Name of project Mitigation of greenhouse gases from waste management – subproject "Landfill gases"		Commissioned by National Technology Agency of Finland (Climtech programme)	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	

YK:n ilmastopöytäkirjalle vuosittain raportoitavien kaatopaikoilta vapautuvien metaanipäästöjen arvioinnissa siirrytään lähivuosina hallitusten välisen ilmastopaneelin (IPCC) laskentaohjeiden mukaisesti käyttämään menetelmää, joka huomioi paremmin jätteiden hajoamisprosessien aika-käyttäytymisen kuin nykyisin päästölaskennassa yleisesti käytetty massatase menetelmä. Tässä työssä arvioitiin laskentamenetelmän muutoksesta aiheutuvia vaikutuksia. Jätehuollon päästöjen aikasarjan muuttuminen vaikuttaa saatujen tulosten perusteella Suomen kokonaiskasvihuonekaasupäästöihin siten, että tulevaisuudessa muilla sektoreilla joudutaan tekemään jonkin verran enemmän päästöjä vähentäviä toimenpiteitä kuin kansallisessa ilmastostrategiassa on arvioitu.

Työn toinen päätavoite oli arvoida kaatopaikkakaasun talteenoton mahdollisuuksia Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä sekä talteenoton kustannustehokkuutta. Jos kaatopaikkakaasun talteenottoa lisättäisiin noin kolminkertaiseksi nykytasolta, eli noin 50 suurimmalle kaatopaikalle, vähenisivät jätehuollon kasvihuonekaasupäästöt tämän ansiosta noin neljänneksellä nykyiseen verrattuna. Tehtyjen kustannusarvioiden mukaan kaatopaikkakaasun talteenotto on hyvin edullinen keino vähentää kasvihuonekaasupäästöjä, kun sen kustannuksia verrataan esim. kansallisen ilmastostrategian keskimääräisiin päästöjen vähentämiskustannuksiin.

Tätä julkaisua myy VTT TIETOPALVELU PL 2000 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	Denna publikation säljs av VTT INFORMATIONSTJÄNST PB 2000 02044 VTT Tel. (09) 456 4404 Fax (09) 456 4374	This publication is available from VTT INFORMATION SERVICE P.O.Box 2000 FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. + 358 9 456 4404 Fax + 358 9 456 4374
---	---	---
