

Suomen metaani- ja dityppioksidipäästöjen rajoittamisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus

Riitta Pipatti

VTT Energia



ISBN 951-38-5116-8 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5117-6 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 1997

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

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

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

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

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

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

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

Kansikuva: Kaarina Takkunen ja Riitta Pipatti,
valokuvat Leena Aunela-Tapola, YTV:n arkisto, Timo Unhola ja Berit Korpilo

Tekninen toimitus Leena Ukoski

Pipatti, Riitta. Suomen metaani- ja dityppioksidipäästöjen rajoittamisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus [Potential and cost-effectiveness of reducing methane and nitrous oxide emissions in Finland]. Espoo 1997, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes 1835. 62 s. + liitt. 4 s.

UDK 351.777:547.211:661.98

Avainsanat greenhouse effect, exhaust gases, methane, nitrogen oxide, environmental effects, environmental protection

TIIVISTELMÄ

Kasvihuonekaasujen pitoisuudet ilmakehässä ovat lisääntymässä ihmisen toiminnan seurauksena. Ilmastopöytäkirja pyrkii estämään ihmisen toiminnan vaarallisen puuttumisen maapallon ilmastoon ja edellyttää osapuoliltaan, että ne inventoivat kasvihuonekaasupäästönsä ja ottavat toimissaan sopimuksen tavoitteet huomioon.

Tutkimuksessa arvioitiin kahden kasvihuonekaasun, metaanin ja dityppioksidin, ihmisen toiminnasta aiheutuvat päästöt Suomessa vuosina 1990 ja 1994, päästöjen kehitys vuoteen 2010 sekä päästöjen rajoittamisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus.

Metaanipäästöt vuosina 1990 ja 1994 olivat arvion mukaan noin 250 Gg/a. Päästöistä suurin osa on peräisin jätteiden kaatopaikkasijoituksesta; kotieläinten ruoansulatus on toinen merkittävä päästölähde. Kehitysarvion mukaan päästöt vähenevät vuoteen 2010 mennessä noin 230 Gg:aan/a mainituissa sektoreissa tapahtuvien volyyymi- ja rakennemuutosten myötä.

Metaanipäästöjen rajoittamisen mahdollisuudet ovat hyvät. Kaatopaikkakaasun talteenotolla voidaan saavuttaa lähes 30 prosentin vähennys kokonaispäästöissä vähäisillä tai jopa negatiivisilla kustannuksilla, mikäli kaasun energia voidaan hyödyntää tehokkaasti. Jätteiden kaatopaikkasijoituksen vähentäminen vaihtoehtoisien käsittelytekniikoiden, kuten jätteiden polton tai biologisen käsittelyn, avulla ja kierrätystä lisäämällä vähentää tulevaisuuden metaanipäästöjä. Metaanipäästöjen vähentämisen kustannustehokkuuden kannalta ko. toimenpiteet ovat kalliimpia kuin kaatopaikkakaasun talteenotto, mutta ne vähentävät myös muita kaatopaikkasijoituksen aiheuttamia ympäristövaikutuksista ja ovat siksi kannatettavia toimenpiteitä.

Kotieläinten ruoansulatuksen aiheuttamien metaanipäästöjen vähentämiseksi on esitetty toimenpiteitä, joiden mahdollisuudet Suomen oloissa tulisi selvittää tarkemmin. Lannan käsittelyn metaanipäästöt ovat Suomessa pienet ja päästöjen vähentämistoimenpiteiden kustannukset vähennettyä metaanitonnin kohti siksi suuret.

Dityppioksidipäästöt olivat arvion mukaan noin 19 Gg vuonna 1990 ja 18 Gg vuonna 1994. Merkittävimmät päästölähteet ovat maatalous, energiantuotanto, liikenne ja typpihapon valmistus. Päästöjen vähentyminen johtuu maatalouden

päästöjen vähentymisestä. Vuoteen 2010 päästöjen arvioidaan kasvavan lähes 30 prosenttia energiantuotannon ja liikenteen päästöjen lisääntymisen takia. Maatalouden päästöjen pienentymisen jatkuminen on arvioitu vähäiseksi ja typpihapon valmistuksen päästöjen on arvioitu säilyvän nykyisen suuruisina.

Dityppioksidipäästöjen vähentämisen mahdollisuuksia ei vielä täysin tunneta, ja vähennystoimenpiteet ovat vielä suurelta osin kokeiluasteella. Typpihapon valmistuksen päästöjä on esitetty voitavan vähentää 70 - 80 prosenttia kohtuullisin kustannuksin (jopa alle 1 000 mk/t N₂O). Myös leijupoltton päästöjen vähennysmahdollisuudet ovat lupaavat, mutta toimenpiteiden todellisesta tehokkuudesta ja kustannuksista laitoksissa ei ole tietoa. Liikenteessä katalysaattoriautojen yleistyminen ja katalysaattoreiden vanhentuminen lisäävät päästöjä eikä päästöjen vähentämiseksi ole vielä tarjolla teknistä ratkaisua.

Yhteensä typpihapon valmistukseen ja leijupolttoon kohdistuvilla toimenpiteillä arvioidaan Suomen vuoden 2010 päästöjä voitavan mahdollisesti vähentää jopa noin 20 - 30 prosenttia, jos uudet tekniikat saadaan kehitettyä myös laitoksissa laboratorioskokeissa saatuja tuloksia vastaaviksi. Arvioitu vähennyspotentiaali on samansuuruinen, kuin dityppioksidipäästöjen arvioitu kasvu.

IPCC on arvioinut, että metaanin pitoisuuksien vakiinnuttamiseksi ilmakehässä vuoden 1990 tasolle globaaleja päästöjä tulisi vähentää noin 8 prosenttia. Dityppioksidin ilmakehän pitoisuuksien vakiinnuttamiseksi samalle tasolle tarvittaisiin puolestaan yli 50 prosentin vähennys globaaleihin päästöihin. Suomen metaanipäästöjä on mahdollista vähentää enemmän kuin mainitut 8 prosenttia vähäisillä tai jopa negatiivisilla kustannuksilla. Dityppioksidipäästöjen osalta yli 50 prosentin vähennys ei tämän arvion mukaan ole mahdollinen teknisillä rajoitustoimenpiteillä.

Pipatti, Riitta. Suomen metaani- ja dityppioksidipäästöjen rajoittamisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus [Potential and cost-effectiveness of reducing methane and nitrous oxide emissions in Finland]. Espoo 1997, Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes 1835. 62 p. + app. 4 p.

UDC 351.777:547.211:661.98

Keywords greenhouse effect, exhaust gases, methane, nitrogen oxide, environmental effects, environmental protection

ABSTRACT

The atmospheric greenhouse gas concentrations are increasing and the growth is believed to be caused by human activities. The Framework Convention on Climate Change has as a goal to prevent dangerous anthropogenic interference with the climate of the Earth. Parties of the convention are required to make inventories of their greenhouse gas emissions and take the goal of the convention into consideration when establishing their climate policies.

In this study Finnish anthropogenic methane and nitrous oxide emissions for the years 1990, 1994 and 2010 have been estimated. The possibilities to reduce the emissions and the cost-effectiveness of the reduction measures have also been studied.

Methane emissions in 1990 and 1994 were estimated to be about 250 Gg/a. Most of the emissions come from landfills, enteric fermentation is another important emission source. The emissions are expected to decrease by the year 2010 to about 230 Gg CH₄/a due to volume and structural changes in the above mentioned emission sources.

The possibilities to reduce the methane emissions are estimated to be good. Using landfill gas recovery the total emissions could be reduced by almost 30 per cent with moderate costs. If the recovered gas can be used efficiently for energy the costs could even be negative. Reducing the amount of waste taken to the landfills by alternative treatments like combustion and biological treatment and increased recycling reduces potential future methane emissions. The cost effectiveness of these measures is less than that of landfill gas recovery. They do, however, reduce also other environmental impacts of landfilling and are therefore favourable.

Measures to reduce emissions from enteric fermentation are proposed but their effectiveness and costs in Finland are not known. Further research on this area is needed. Methane emissions from manure management in Finland are estimated to be low and the cost-effectiveness of the reduction measures is therefore poor.

Nitrous oxide emissions in Finland were estimated to be about 19 Gg in 1990 and about 18 Gg in 1994. The most important emission sources are agriculture, energy production, transportation and nitric acid production. The small decrease in the emissions is due to decreasing nitrogen fertilization in agriculture.

Nitrous oxide emissions are estimated to increase nearly 30 per cent by the year 2010. The growth is caused by increasing emissions in energy production and

transportation. Agricultural emissions are estimated to decrease somewhat and the emissions from nitric acid production to remain at the current level.

Emission reducing measures for nitrous oxide are not fully known and many of the measures are still at an experimental stage. Measures to reduce the emissions from nitric acid production by 70 - 80 per cent are put forward. The cost-effectiveness of the measures are estimated to be reasonable (even less than 1 000 FIM/ton N₂O). The possibilities to reduce the emissions from fluidized bed combustion by post-combustion measures are promising even if results from large scale applications are still lacking. The increasing use of catalytic converters and the ageing of the converters are increasing the emissions in the transportation sector. No technical measures to reduce the emissions are yet available.

A reduction of 20 to 30 per cent in the Finnish nitrous oxide emissions in 2010 is estimated to be possible if the described measures can be utilised by then. The estimated reduction potential is equal to the estimated growth in the emissions.

According to IPCC the stabilization of the atmospheric concentrations to the levels of 1990 would require a reduction of about 8 per cent in the methane emissions and a reduction of more than 50 per cent in the nitrous oxide emissions. In Finland the anthropogenic methane emissions can be reduced more than this amount with cost-effective measures. Technical measures which would reduce the nitrous oxide emissions with more than 50 per cent are not available, however.

ALKUSANAT

Metaani (CH₄) ja dityppioksidi (N₂O) ovat hiilidioksidin (CO₂) ohella merkittäviä kasvihuonekaasuja. Ilmastopöimöksessä kiinnitetään huomiota merkittävimpien kasvihuonekaasujen päästöihin ja niiden kehittymiseen sekä mahdollisuuksiin rajoittaa päästöjä. Tutkimuksessa ”Suomen metaani- ja dityppioksidipäästöjen rajoittamisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus” tarkennetaan ja päivitetään Suomen CH₄- ja N₂O-päästöarvioita, tarkastellaan päästöjen tulevaa kehitystä sekä mahdollisuuksia rajoittaa päästöjä. Lisäksi selvitetään päästöjen rajoitus-toimenpiteiden kustannustehokkuutta.

Tutkimuksessa on tarvittu runsaasti erilaisia lähtötietoja, joita ei nykyisistä tilastoista löydy. Tietoja on saatu seuraavilta asiantuntijoilta, joita tekijä haluaa kiittää yhteistyöstä ja vaivannäöstä: Petri Väisänen (Sarlin-Hydor Oy), Sini Wallenius (maa- ja metsätalousministeriö), Berit Korpilo (Svenska lantbrukssällskapetens förbund), Pirjo Mälkiä (Maaseutukeskusten liitto), Arja Vuorinen (Joensuun yliopisto), Antero Nikander (Suomen ympäristökeskus), Anne-Marie Rosenlew (Suomen kotieläinjalostusosuuskunta), Kaija Eskelinen (maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus) ja Risto Ryyänen (Kemira Oy).

Tekijä haluaa kiittää myös tekn. toht. Ilkka Savolaista työn ohjauksesta ja tarkastuksesta.

Työn on rahoittanut ympäristöministeriö ja se on tehty ylitarkastaja Maija Pietarisen (elokuuhun 1996 asti), ylitarkastaja Pirkko Heikinheimon ja neuvottelevan virkamiehen Seppo Sarkkisen valvonnassa.

SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT.....	5
ALKUSANAT	7
SISÄLLYSLUETTELO.....	8
1 JOHDANTO	9
2 METAANIPÄÄSTÖT	11
2.1 YLEISTÄ	11
2.2 ENERGIA	11
2.3 TEOLLISUUSPROSESSIT	14
2.4 MAATALOUS	15
2.4.1 Kotieläinten ruoansulatuksen metaanipäästöt	15
2.4.2 Kotieläinten lannan metaanipäästöt	19
2.5 JÄTTEET	20
2.6 LUONNON METAANIPÄÄSTÖT	23
2.7 YHTEENVETO METAANIPÄÄSTÖISTÄ SUOMESSA VUOSINA 1990 JA 1994.....	24
3 DITYPPIOKSIDIPÄÄSTÖT	26
3.1 YLEISTÄ	26
3.2 ENERGIA	26
3.3 TEOLLISUUSPROSESSIT	28
3.4 MAATALOUSMAAN N ₂ O-PÄÄSTÖT	30
3.5 MUUT IHMISEN TOIMINNAN N ₂ O-PÄÄSTÖLÄHTEET.....	31
3.6 LUONNON N ₂ O-PÄÄSTÖT	33
3.7 YHTEENVETO N ₂ O-PÄÄSTÖISTÄ SUOMESSA.....	33
4 METAANI- JA DITYPPIOKSIDIPÄÄSTÖJEN ARVIOITU KEHITYS.....	36
4.1 PERUSSKENAARIOT	36
4.2 PÄÄSTÖJEN VÄHENTÄMISSKENAARIOT	38
4.2.1 CH ₄ -päästöjen vähentämisen mahdollisuudet ja kustannukset	38
4.2.2 CH ₄ -päästöjen vähentämisen kustannustehokkuus	47
4.2.3 N ₂ O-päästöjen vähentämisen mahdollisuudet ja kustannukset.....	49
4.2.4 N ₂ O-päästöjen vähentämisen kustannustehokkuus	52
5 TULOSTEN TARKASTELU	53
6 YHTEENVETO	56
LÄHTEET.....	58
LIITE	

1 JOHDANTO

Ilmakehän kasvihuonekaasujen pitoisuudet ovat kasvaneet merkittävästi sitten esiteollisen ajan: hiilidioksidipitoisuudet ovat kasvaneet noin 30 prosenttia, metaanipitoisuudet noin 145 prosenttia ja dityppioksidipitoisuudet noin 15 prosenttia. IPCC:n (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996a) mukaan pitoisuuksien kasvu johtuu suurelta osin ihmisen toiminnasta.

Kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kasvu ilmakehässä lämmittää ilmastoa, ja vuoteen 2100 maapallon keskilämpötilan arvioidaankin nousevan noin 2 °C. Suurin vaikutus ilmaston lämpenemiseen on hiilidioksidilla, mutta myös metaani- ja dityppioksidipitoisuuksien kasvamisella on suuri merkitys. Niiden vaikutus vuoden 2100 arvioituun lämpötilannousuun on noin 25 prosenttia hiilidioksidin arvioidusta vaikutuksesta.

Riossa 1992 solmitun ilmastosopimuksen tavoitteena on vakiinnuttaa kasvihuonekaasujen pitoisuudet ilmakehässä tasolle, joka estää ihmisen toiminnan aiheuttaman vaarallisen puuttumisen ilmastoon. Päästöjen rajoitustavoitteista ja -keinoista ei ole vielä sovittu. IPCC:n (1996a) mukaan ilmankehän pitoisuuksien vakiinnuttaminen nykytasolle vaatisi metaanin osalta noin 8 prosentin ja dityppioksidin osalta yli 50 prosentin vähennykset päästöihin.

Merkittävimmät ihmisen toimintaan liittyvät globaalit metaanilähteet ovat karjanhoito, fossiilisten polttoaineiden tuotanto (hiilikaivokset ja maakaasun tuotanto), kaatopaikat, riisinviljely ja biomassan poltto. Suomessa merkittävimmät lähteet ovat kaatopaikat ja karjanhoito, jotka yhdessä aiheuttavat yli 90 prosenttia päästöistä.

Merkittävin ihmisen toimintaan liittyvä dityppioksidilähde on maanviljelys: typpilannoitus lisää ja kiihdyttää maaperässä tapahtuvia denitrifikaatio- ja nitrifikaatioprosesseja, jotka tuottavat dityppioksidia väli- tai sivutuotteena. Myös adipiinihapon ja typpihapon valmistusprosessit aiheuttavat merkittäviä dityppioksidipäästöjä. Energiantuotannon ja liikenteen osuus päästöjen aiheuttajana on maailmanlaajuisesti pieni mutta kasvamassa. Suomessa maanviljelys aiheuttaa lähes puolet päästöistä, energiasektori noin kolmasosan ja typpihapon valmistus loput.

Tutkimuksessa esitetään arvio ihmisen toiminnan aiheuttamista metaani- ja dityppioksidipäästöistä Suomessa vuosina 1990 ja 1994 sekä arvio päästöjen kehityksestä vuoteen 2010 mennessä. Päästöt on arvioitu IPCC:n (1995) kansallisten kasvihuoneinventaarien laatimista varten julkaistuja ohjeita soveltamalla. IPCC:n (1995) ohjeita on kehitetty ja tarkennettu IPCC:n, OECD:n (Organisation for Economic Co-operation and Development) ja IEA:n (International Energy Agency) yhteisessä kehitysohjelmassa (IPCC 1996b). Kehitysohjelman työryhmien suositusten vaikutuksia Suomen CH₄- ja N₂O-päästöinventaareihin tarkastellaan sanallisesti.

Suomen metaani- ja dityppioksidipäästöt vuonna 1990 on inventoitu ja raportoitu aikaisemmin (Finland's National Report under the United Nations' Framework Convention on Climate Change 1995; Boström 1994; Pipatti 1994). Nyt laadittu

tarkennettu inventaari vuodelle 1990 poikkeaa osittain aikaisemmasta inventaarista. Poikkeamat johtuvat arviointimenetelmien kehittymisestä ja lähtötietojen tarkentumisesta.

Euroopan valtiot raportoivat ilmapäästönsä myös nk. CORINAIR-ohjelman (Joint EMEP/CORINAIR - The Atmospheric inventory for Europe) puitteissa. CORINAIR- ja IPCC-ohjeet eivät kaikilta osin ole yhteneväisiä, mm. luokitukset poikkeavat toisistaan. IPCC on luokitellut päästölähteet talouden osa-alueiden (toimialojen, sektoreiden) mukaan, kun CORINAIRissa luokitus perustuu paljolti päästölähteiden ominaisuuksiin ja käytettyyn teknologiaan. Liitteessä 1 esitetään IPCC:n ja CORINAIRin menetelmien pääluokat ja tarkastellaan menetelmien eroja yleisesti. Yksittäisten menetelmien ja päästökertoimien eroja sekä niiden vaikutuksia inventaareihin käsitellään tekstissä. Esitettävät CORINAIR-menetelmät ovat keväällä 1996 ilmestyneestä ohjekirjasta (McInnes1996).

Vaikka tutkimus keskittyy ihmisen toiminnan aiheuttamien päästöjen arviointiin, esitetään raportissa yhteenveto myös luonnon metaani- ja dityppioksidipäästöistä siltä osin kuin niitä on Suomessa arvioitu.

Päästöjen vähentämisen mahdollisuuksia ja kustannustehokkuutta arvioidaan IPCC:n (1996c) toisessa arviointiraportissa esitettyjen toimenpiteiden ja Alankomaissa tehtyjen kasvihuonekaasujen vähentämisen kustannustehokkuus-selvitysten (mm. Blok & de Jager 1994) perusteella. Kustannustietoa hankitaan kuitenkin ensisijaisesti kotimaisista selvityksistä.

2 METAANIPÄÄSTÖT

2.1 Yleistä

Metaani (CH_4) on kohtalaisen reaktiivinen kasvihuonekaasu, jonka elin aika ilmakehässä on 9 - 15 vuotta. Ilmakehän metaanipitoisuus on kasvanut viimeisten vuosikymmenten aikana nopeasti. Kasvunopeus on ollut noin prosentin vuodessa, ja kasvun uskotaan johtuvan ihmisen toiminnasta aiheutuvien päästöjen lisääntymisestä. 1990-luvun alussa kasvunopeus hidastui ja osittain pysähtyikin. Nyt pitoisuudet ovat taas kasvamassa, mutta kasvunopeus on ollut aikaisempaa pienempi. Syitä kasvunopeuden hidastumiseen ei tiedetä varmasti, ihmisen toiminnasta aiheutuneiden päästöjen ei kuitenkaan oleteta pienentyneen kyseisenä aikana (IPCC 1996a; Khalil & Rasmussen 1993; Lelieveld & Crutzen 1993).

Metaanipäästöt ilmakehään aiheutuvat suureksi osaksi bakteerien aikaansaamasta orgaanisen aineksen hajoamisesta hapettomissa (anaerobisissa) olosuhteissa. Luonnon kosteikot ovat orgaanisen aineksen hajoamisesta aiheutuneiden metaanipäästöjen pääasiällisin lähde, mutta hajoamista tapahtuu merkittävässä määrin myös riisinviljelyksessä, kaatopaikoilla, jätevedenkäsittelyssä ja märehäntöiden ruoansulatuksessa ja kotieläinten lannassa. Muita tärkeitä ihmisen toimintaan liittyviä metaanilähteitä ovat fossiiliset polttoaineet, maakaasu ja muut polttoaineet, joista aiheutuu päästöjä niin tuotannossa (hiilikaivokset, maakaasun tuotanto), kuljetuksessa (maakaasuputket) kuin poltossakin (etenkin biomassan poltto).

Seuraavissa kohdissa käydään läpi päästösektoreittain arvioidut ihmisen toiminnan aiheuttamat metaanipäästöt Suomessa vuosina 1990 ja 1994. Käytetyn päästöjenarviointimenetelmän perusteet esitetään ja mikäli menetelmä poikkeaa IPCC- tai CORINAIR-ohjeissa annetuista menetelmistä, esitetään merkittävimmät erot näihin.

2.2 Energia

Energiasektorin arvioidut päästöt ovat 14 - 15 Gg CH_4 vuonna 1990 ja 16 Gg CH_4 vuonna 1994 (taulukko 1). Annetut luvut eivät sisällä kansainvälisestä liikenteestä aiheutuvia päästöjä, jotka Suomen osalta ovat noin 1 Gg CH_4 kumpanakin vuonna. Energiantuotannon ja -kulutuksen metaanipäästöarviot vuodelta 1994 perustuvat Tilastokeskuksen ILMARI-mallilla tehtyihin laskelmiin (Grönfors 1996). Metaani-päästöjen laskentaa varten Ilmari-tietokannassa on päästökertoimet noin 250 erilaiselle kattilatyypille. Päästöjen vähentämiseksi asennettujen laitteiden vaikutus päästöihin on otettu huomioon päästökertoimissa. Päästökertoimet ovat suurelta osin Boströmin (1994) keräämiä ja perustuvat pääosin Suomessa ja Pohjoismaissa tehtyihin tutkimuksiin. Energiantuotannon ja -kulutuksen vuoden 1990 päästöarvio perustuu Boströmin (1994) laskelmiin, paitsi arvio tieliikenteen päästöistä.

Tieliikenteen päästöt on arvioitu VTT Yhdyskuntatekniikan LIISA95-päästömallilla (Mäkelä et al. 1996). LIISA95-mallilla voidaan arvioida Suomen tieliikenteen aiheuttamia vuosittaisia pakokaasupäästöjä (CO, HC, NO_x, hiukkaset, CH₄, N₂O, SO₂ ja CO₂) liikennesuoritietoihin tai kulutettuun polttoaineen määrään ja päästökertoimiin perustuen kunnittain, lääneittäin tai koko maan osalta.

Taulukko 1. Energiasektorin CH₄-päästöt Suomessa vuosina 1990 ja 1994 (Boström 1994; Grönfors 1996).

Päästöluokka	1990 Aikaisempi arvio	1990	1994
1 Energia	19,4	14,6*	16,4
1 A Poltto	19,2	14,4*	16,1
1 A 1 Energiantuotanto ja -muuntoteollisuus	1,3	1,3*	1,8
1 A 2 Teollisuus	1,8	1,8*	2,4
1 A 3 Liikenne	8,1	3,3*	3,1
1 A 4 Pienpoltto	8,0	8,0*	8,8
1 A 5 Muu	-	-	-
1 B Haihtumispäästöt poltto- aineista	0,2	0,2*	0,3
Kansainvälinen liikenne	1,2	1,2*	1,0

* Vuoden 1990 energiasektorin päästöjä ei ole päivitetty ILMARI-mallilla, joten annetut arvot perustuvat Boströmin (1994) arvioon. Tieliikenteen osalta on käytetty LIISA95-mallilla laskettuja päivitettyjä arvoja.

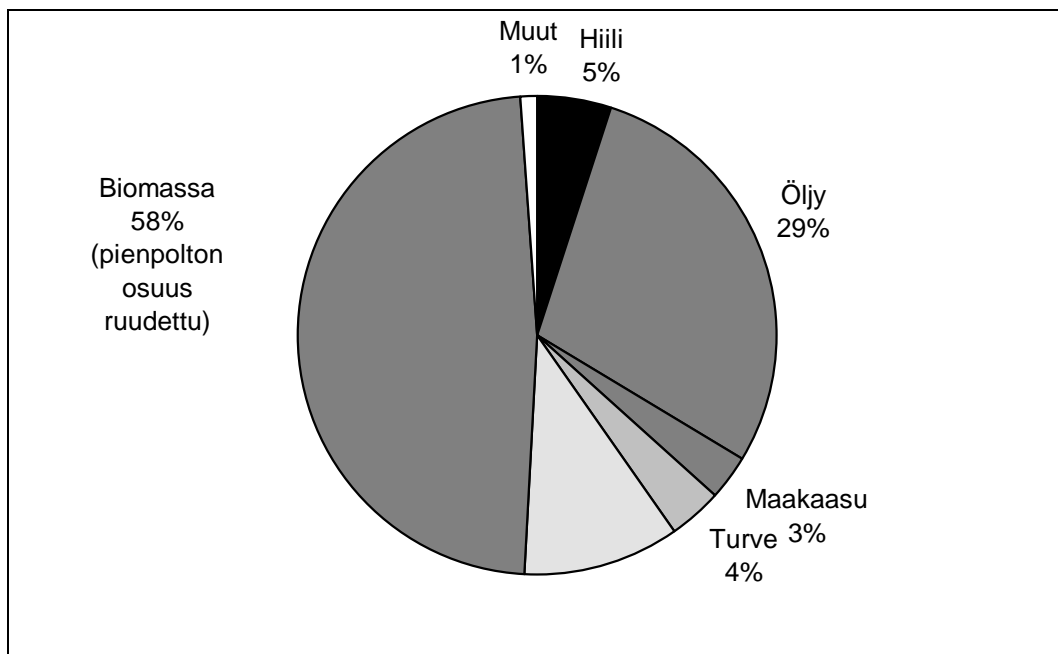
Poltossa metaania vapautuu epätäydellisen palamisen seurauksena. Yli puolet polton metaanipäästöistä on peräisin pienpoltosta, vaikka pienpolton osuus tuotetusta energiasta on vain noin 15 prosenttia. Polttoaineista biomassan poltto aiheuttaa yli puolet Suomen CH₄-päästöistä (ks. taulukko 2 ja kuva 1). Biomassan polton osuus Suomessa tuotetusta energiasta on noin 20 prosenttia.

Liikenteen osuus energiasektorin päästöistä on noin 19 prosenttia. Suurin osa päästöistä on peräisin tieliikenteestä. Kansainvälisen liikenteen päästöt ilmoitetaan IPCC:n ohjeiden mukaan omana ryhmänä, eikä näitä päästöjä ole sisällytetty energiasektorin kokonaispäästöihin. Kaikki arvioidut haihtumispäästöt ovat peräisin maakaasun jakelusta ja niiden osuus energiasektorin päästöistä on hyvin pieni.

Koska energiasektorin metaanipäästöarvot vuodelta 1990 ja 1994 perustuvat eri malleilla tehtyihin laskelmiin, ei päästöjen kehittymisestä saa oikeaa kuvaa. Taulukon 1 mukaan vuoden 1994 päästöt olisivat kasvaneet hieman. Kasvu saattaa kuitenkin olla näennäistä ja johtua lähtötietoihin tehdyistä täydennyksistä ja tarkennuksista.

Taulukko 2. Eri polttoaineilla tuotettu energia ja siitä aiheutuneet metaanipäästöt Suomessa vuonna 1994 (Grönfors 1996).

Polttoaine	Tuotettu energia PJ/a	CH ₄ -päästöt Gg/a
Hiili	199,7	0,8
Öljy	361,1	4,7
- Poltto- ja dieselöljyt	234,9	2,0
- Bensiini	82,8	1,9
- Lentopetroli	5,2	0,5
- Muut	38,2	0,3
Maakaasu	114,7	0,5
Turve	70,2	0,6
Biomassa	193,0	9,5
Muut	1,6	0,2
YHTEENSÄ	940,3	16,1



Kuva 1. Suomen energiantuotannon metaanipäästöjen jakauma polttoaineittain vuonna 1994. Biomassan eli pääasiassa puun pienpolto (osuus energiantuotannosta alle 3 prosenttia; osuus päästöistä yli 48 prosenttia) on merkittävin CH₄-päästöjen lähde.

Energiantuotannossa käytetyt polttoaineet, prosessit ja tekniikat ovat erilaisia eri puolilla maailmaa. Sekä IPCC että CORINAIR antavat eritasoisia ohjeita päästöjen arvioimiseksi riippuen käytettävissä olevien lähtötietojen tarkkuudesta. Ohjeissa annetaan esimerkkejä keskimääräisistä päästökertoimista tietyllä alueella. Tarkempien tietojen käyttöä suositellaan.

ILMARI- ja LIISA-malleissa käytetyt laskentamenetelmät ovat sopuinnussa sekä IPCC- että CORINAIR-menetelmien kanssa, vaikka kumpaakaan menetelmää tai niissä annettuja päästökertoimia ei ole käytetty suoraan. Luokituksessa on poikettu IPCC-ohjeista ilmoittamalla biomassan poltosta aiheutuvat päästöt kyseisessä energiantuotanto- tai loppukulutussektorissa. Myös energiaa omaan käyttöönsä tuottavien teollisuuslaitosten (autoproducers) päästöjä ei ole ilmoitettu IPCC-ohjeiden mukaisesti energianmuuntosektorissa vaan kyseisissä energian loppukulutussektoreissa. Käytäntö on sekä CORINAIRin että IPCC-ohjeiden kehitysohjelman suositusten mukainen.

Metaanipäästöjen mittauksia päästöinventaaareja varten ei Suomessa edellytetä, joten arviot ovat laskennallisia. Energiantuotannon päästöjen laskennassa käytetyt päästökertoimet ovat keskimäärin jonkin verran suuremmat kuin IPCC-ohjeissa annetut keskimääräiset päästökertoimet (Grönfors 1996). Tieliikenteen päästöjen arvioinnissa käytetyt päästökertoimet puolestaan ovat jonkin verran alhaisemmat kuin IPCC-ohjeissa ja CORINAIR-ohjekirjassa annetut oletuspäästökertoimet.

Päästöjen vähäisen merkityksen takia niihin liittyviä epävarmuuksia on arvioitu ainoastaan laadullisesti. ILMARI- että LIISA95-mallit kattavat kyseisen sektorin päästölähteet hyvin. Käytetyt päästökertoimet ovat karkeita ja perustuvat suppeaan tutkimusaineistoon, ja siksi arvion luotettavuus on kokonaisuutena alhainen.

2.3 Teollisuusprosessit

IPCC-ohjeissa on annettu päästökertoimet koksen, sintterin, raakaraudan, kimröökien (carbon black), eteenin, dikloorietyleenin, styreenin ja metanolin valmistuksen metaanipäästöille. Ainoastaan koksen, raudan ja sintterin tuotannon päästöt on arvioitu. Muiden mainittujen prosessien päästöjen arvioidaan olevan merkitykseltään vähäiset (karkeasti arvioiden yhteensä alle 1 Gg CH₄/a).

Metaanipäästöt koksen raudan ja sintterin tuotannosta on laskettu IPCC:n oletuspäästökertoimia käyttäen. Koksen tuotantoluvut saatiin Energiatilastoista (Tilastokeskus 1995) ja raakaraudan ja sintterin tuotantoluvut valmistajilta (Fundia Wire Oy ja Rautaruukki Oy). Arvioidut päästöt annetaan taulukossa 3.

Taulukko 3. Arvio koksen, raakaraudan ja sintterin tuotannon metaanipäästöistä (Gg/a) Suomessa 1994.

Päästöluokka	1990	1994
Koksen valmistus	0,2	0,5
Sintterin valmistus	1,5	1,6
Raakaraudan valmistus	2,1	2,3
YHTEENSÄ	3,8	4,4

Teollisuuden metaanipäästöt ovat pienet (noin 4 Gg CH₄/a 1990 ja 1994) ja niiden osuus ihmisen toiminnan metaanipäästöistä Suomessa vain 1 - 2 prosenttia. Päästö-arvion luotettavuus on kuitenkin alhainen.

CORINAIR-ohjeiden mukaan suurten pistelähteiden päästöt tulisi arvioida ensi sijassa mittauksiin perustuen. Ohjeissa annetut menetelmät koksituotannon ja raudanvalmistuksen päästöjen arviointiin perustuvat yksityiskohtaisiin prosessitietoihin, mutta ovat metaanipäästöjen osalta vielä puutteelliset; mm. päästökertoimia on annettu vähän.

2.4 Maatalous

Maatalouden metaanipäästöt ovat peräisin pääasiassa kotieläinten ruoansulatuksesta ja lannasta. Ruoansulatus aiheuttaa suurimmat päästöt, lannan käsittelystä ja varastoinnista aiheutuvat päästöt ovat vähäisemmät (taulukko 4). Maatalouden kokonaispäästöt ovat lievästi vähenemässä ja vuonna 1994 noin 90 Gg CH₄/a.

Traktoreiden ja muiden maatalouskoneiden käytöstä ja maatilarakennusten lämmityksestä ja muusta energiankäytöstä aiheutuvat päästöt sisältyvät poltto-prosessien metaanipäästöarvioihin.

Maataloudella on myös epäsuoria vaikutuksia ilmakehän metaanipitoisuuteen. Maaperän mikrobit hapettavat metaania hiilidioksidiksi ja vedeksi, ja erittäin tehokas tämä prosessi on metsämaissa. Peltojen raivaamisen viljelykseen ja typpilannoitteiden käytön on todettu vähentävän maaperän metaaninottoa, ja paikallisesti voi viljelysmailla esiintyä jopa metaanipäästöjä. Suomessa viljelyksessä olevista turvemaista (suopelloista) on arvioitu vapautuvan metaania noin 0,8 Gg/a (Kuusisto et al. 1996, s. 184). Päästöt ovat merkityksettömän pienet verrattuna luonnontilaisten soiden metaanipäästöihin. Suopeltojen päästöjä ei ole lisätty yhteenvetotaulukkoon niihin liittyvien suurten epävarmuuksien takia.

2.4.1 Kotieläinten ruoansulatuksen metaanipäästöt

Kotieläinten ruoansulatuksesta aiheutuvat metaanipäästöt on arvioitu IPCC-ohjeiden antaman yksityiskohtaisen menetelmän (Tier 2) mukaan. Aikaisemmassa arviossa käytetty menetelmä (Pipatti 1994) on periaatteiltaan sama, mutta menetelmään ja lähtötietoihin on tehty joitakin tarkennuksia. Yksityiskohtainen menetelmä soveltuu ainoastaan nautakarjalle; muiden kotieläinten päästöt lasketaan ohjeissa annettuja keskimääräisiä päästökertoimia käyttäen.

Metaanin muodostumiseen vaikuttavat useat tekijät, eläintyyppi, eläimen ikä, kunto, paino ja energiankulutus sekä ruokinnan määrä ja laatu. Tehokkaalla ruokinnalla pystytään päästöjä tuotettua liha- tai maitokiloa kohti vähentämään, vaikka päästöt eläintä kohti kasvavatkin. IPCC-ohjeissa annettu menetelmä tarjoaa mahdollisuuden useimpien vaikuttavien tekijöiden huomioon ottamiseen päästöjä arvioitaessa.

Taulukko 4. Arvioidut maatalouden metaanipäästöt (Gg/a) Suomessa vuosina 1990 ja 1994.

	1990 Aikaisempi arvio	1990	1994
Kotieläinten ruoansulatus	83	90	83
- lypsylehmät	59	46	38
- muut lehmät	21	40	35
- siat	2	2	2
- lampaat	1	1	1
- hevoset	1	1	1
Kotieläinten lanta	11	11	10
- lypsylehmät	4	2	2
- muut lehmät	2	3	3
- siat	5	6	6
- lampaat	0,03	0,01	0,02
- hevoset	0,2	0,1	0,1
- siipikarja	0,08	0,4	0,3
YHTEENSÄ	94	101	93

Ruoansulatuksen metaanipäästöt eläintä ja vuotta kohti lasketaan kaavasta

$$M = GE \times Y_m \times 365 \times 0,018, \quad (1)$$

jossa M on metaanipäästö (kg) eläintä kohti vuodessa, GE on eläimen ruokinnassa saama bruttoenergia (MJ/päivä) ja Y_m kertoo, kuinka paljon energiaa ravinnon mukana saatua bruttoenergiayksikköä kohti poistuu metaanina. Ravinnon sisältämä bruttoenergia (GE) voidaan laskea joko rehun energiasisällöstä tai eläimen painon ja tuottavuuden (esimerkiksi päivittäisen painonlisäyksen ja maidontuotannon) funktiona. Kerroin 0,018 (1/55,65 MJ/kg CH₄) on muunnoskerroin, jolla metaanin mukana poistuva energia muutetaan kiloiksi.

Bruttoenergia (GE) saadaan kaavasta

$$GE = [(NE_m + NE_{feed} + NE_l + NE_p) / (NE/DE) + NE_g / (NE_g/DE)] / (DE\%/100), \quad (2)$$

jossa NE_m on eläimen senhetkisen tilan ylläpitoon, NE_{feed} laiduntamiseen, NE_l maidontuotantoon, NE_g painonlisäykseen ja NE_p raskauden ylläpitämiseen tarvittava päivittäinen nettoenergiamäärä (MJ/päivä). NE/DE on ylläpitoon, maidontuotantoon ja raskauteen kuluvan nettoenergiamäärän suhde kulutettuun sulavan energian määrään (DE) ja NE_g/DE vastaavasti painonlisäykseen kuluvan energiamäärän suhde kulutettuun sulavan energian määrään. $DE\%$ on rehun sulavuutta kuvaava tekijä (%). Koska Suomen nautaeläimiä ei käytetä veto- tai muuhun työhön maataloilla, on työtä kuvaava energiatermi jätetty pois kaavasta 2. Nettoenergiat lasketaan kaavoista

$$NE_m = 0,322 \times W^{0,75} \times a \quad (3)$$

$$NE_{feed} = 0,17 \times NE_m \quad (4)$$

$$NE_g = 4,18 \times (0,035 \times W^{0,75} \times WG^{1,119} + WG) \quad (5)$$

$$NE_l = 3,1 \times MP \quad (6)$$

$$NE_p = 0,02 \times W^{0,79}, \quad (7)$$

jossa W on eläimen paino (kg), WG päivittäinen painonlisäys (kg) ja MP on päivittäinen maidontuotanto (kg). Lypsylehmien perusenergiantarve (NE_m) on suurempi kuin muiden nautaeläinten ja yhtälön 3 kertoimena käytetään lukua 0,335. Laiduntamisen vaatima lisäenergia (NE_{feed}) lasketaan vain laidunkauden ajalta.

Kertoimelle Y_m on käytetty IPCC-ohjeissa annettua oletusarvoa 6 prosenttia, joka soveltuu hyvälaatuista ja hyvin tasapainotettua rehupohjaista ravintoa saaville eläimille.

Laskuissa käytetyt lähtötiedot on saatu maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksesta, maatilatilastollisesta vuosikirjasta (1995) ja kotieläintuotannon asiantuntijoilta (Berit Korpilo, Svenska landbrukssällskapens förbund; Pirjo Mälkiä, Maaseutukeskusten liitto; Anne-Marie Rosenlew, Suomen kotieläinjalostusosuuskunta, 13.3.1996). Laskuissa käytetyt nautaeläinten painot ja päivittäinen painonlisäys on annettu taulukossa 5.

Muut laskuissa käytetyt lähtöarvot ovat:

- laidunkauden pituus 120 päivää vuodessa
- rehun sulavuus 70 prosenttia
- lypsylehmien maidontuotanto vuonna 1990 on 5 547 kg ja 1994 5 869 kg; emo- ja imettäjälehmien maidontuotanto on 1 620 kg
- lypsylehmät ja emo- ja imettäjälehmät saavat 0,9 vasikkaa vuodessa.

Taulukko 5. Nautaeläinten keskimääräinen paino ja painonlisäys.

Kotieläinlaji	paino kg	painonlisäys kg/päivä
Lypsylehmät	500	0
Hiehot	400	0,6
Emo- ja imettäjälehmät	600	0
Sonnit yli 1 v	460	0,4
Vasikat alle 12 kk	150	0,8

Taulukossa 6 on annettu IPCC-ohjeiden mukaan arvioidut ja laskuissa käytetyt päästökertoimet (lypsylehmille ja emo- ja imettäjälehmille vuoden 1994 lähtötiedoilla lasketut päästökertoimet) sekä vertailun vuoksi IPCC- että CORINAIR-ohjeissa Länsi-Euroopalle annetut keskimääräiset päästökertoimet. CORINAIR-ohjeissa yksityiskohtaista menetelmää ei ole määritelty, vaan niissä kehoitetaan kansallisen asiantuntemuksen ja tietojen käyttöön tarkempien arvioiden tekemiseksi.

Taulukko 6. Suomen kotieläinten ruoansulatuksesta aiheutuvien metaanipäästöjen arvioinnissa käytetyt päästökertoimet sekä IPCC- ja CORINAIR-ohjeissa annetut oletuspäästökertoimet.

Kotieläinlaji	Päästökerroin kg eläin ⁻¹ a ⁻¹	
	Lasketut arvot	IPCC ja CORINAIR
Lypsylehmät*	96	100
Hiehot	60	48**
Emo- ja imettäjälehmät*	62	48**
Sonnit yli 1 v	55	48**
Vasikat alle 12 kk	38	48**
Siat	1,5	1,5
Lampaat	8	8
Hevoset	18	18

* vuoden 1994 maitotuotoksella laskettu arvo

** muut naudat

Metaanipäästöjen epävarmuusvälin selvittämiseksi seuraavien tekijöiden vaikutusta päästöihin arvioitiin: laidunkauden pituus, maidontuotanto, synnyttävien lypsy- ja emo- ja imettäjälehmien osuus (50 - 95 %) ja ruokinnan sulavuus (60 - 75 %). Ruokinnan sulavuudella ja maidontuotannolla oli suurin vaikutus päästöihin. Myös nautaeläinten oletuspainoja ja päivittäistä

painonlisäystä vaihdeltiin. Tarkastelun perusteella päästöarvioiden epävarmuus arvioitiin noin 20 prosentiksi eli arvion luotettavuutta voidaan pitää kohtalaisena.

2.4.2 Kotieläinten lannan metaanipäästöt

Lannan varastoinnin ja käsittelyn metaanipäästöihin vaikuttavat monet tekijät, kuten

- lannan määrä ja laatu, johon vaikuttavat mm. eläintyyppi, eläimen koko ja ruokinta,
- lannankäsittelymenetelmä; lietelannan päästöt ovat merkittävästi suuremmat kuin kuivikelannan
- ilmasto; lämpötila ja sademäärä vaikuttavat merkittävästi lannan metaanipäästöihin, lämmin ja kostea ilmasto lisäävät päästöjä.

IPCC-ohjeiden mukaisesti eläinlajikohtaiset (i) päästökertoimet lasketaan kaavasta

$$EF_i = VS_i \times 365 \text{ d/a} \times B_{oi} \times 0,67 \text{ kg/m}^3 \times \sum MCF_{jk} \times MS\%_{ijk}, \quad (8)$$

jossa EF_i on päästökerroin, VS_i lannan haihtuvien kiinteiden aineiden määrä (kg/d), B_{oi} maksimaalinen metaanintuotantokapasiteetti ($\text{m}^3/\text{kg VS}$), MCF_{jk} lannan käsittelyjärjestelmän vaikutusta metaanipäästöihin kuvaava kerroin (j = käsittelymenetelmä, k = ilmastovyöhyke) ja $MS\%_{ijk}$ prosenttiosuus eläintyyppin i lannasta, joka käsitellään tavalla j ilmastovyöhykkeessä k.

VS määritetään kaavasta

$$VS \text{ (kg k.a./d)} = GE \text{ (MJ/d)} \times 1 \text{ kg/18,45 MJ} \times (1 - DE\%/100) \times (1 - \text{tuhka}\%/100). \quad (9)$$

Lähtötiedot on määritetty kirjallisuuden (mm. Heinonen et al. 1992) ja suomalaisten asiantuntijoiden kanssa käytyjen keskustelujen perusteella. Tietoa Suomen nykyisestä lannankäsittelymenetelmistä on saatu mm. Antero Nikanderin (Suomen ympäristökeskus) ja Sini Walleniuksen (maa- ja metsätalousministeriö) UNECE:n puitteissa meneillään olevaa Euroopan maatalouden ammoniakkipäästöjen arviointityötä varten täyttämästä kyselystä. Aikaisempaan arvioon nähden tiedot ovat tarkempia ja vastaavat paremmin nykytilannetta.

Taulukossa 7 annetaan IPCC-ohjeiden mukaan arvioidut ja laskuissa käytetyt päästökertoimet sekä IPCC- että CORINAIR-ohjeissa annetut keskimääräiset päästökertoimet. CORINAIR-ohjeissa yksityiskohtaista menetelmää ei ole määritelty, vaan ohjeissa viitataan ainoastaan kansallisen asiantuntemuksen ja tietojen käyttöön tarkempien arvioiden tekemiseksi.

Taulukko 7. Suomen kotieläinten lannan varastoinnista ja käsittelystä aiheutuvien metaanipäästöjen arvioinnissa käytetyt päästökertoimet sekä IPCC- ja CORINAIR-ohjeissa annetut oletuspäästökertoimet.

Kotieläinlaji	Päästökerroin kg eläin ⁻¹ a ⁻¹	
	Lasketut arvot	IPCC ja CORINAIR*
Lypsylehmät	4,6	14
Muut lehmät	3,5	6
Siat	3,8	3**
Lampaat	0,19	0,19
Hevoset	1,39	1,39
Siipikarja	0,078	0,078

* Läntiselle Euroopalle, kylmän ilmastovyöhykkeen päästöt (vuotuinen keskilämpötila alle 15 °C)

** Ilmeisesti laskuvirhe, todellisen arvon tulisi olla 4.

Suomelle ja Länsi-Euroopalle määritettyjen päästökertoimien erot ovat suuret ja johtuvat eroista roduissa, ruokinnassa ja lannankäsittelyssä. Nautakarjarodut ovat Suomessa keskimäärin pienempiä ja ruokinnassa käytetään rehupohjaista ravintoa enemmän kuin Länsi-Euroopassa, mikä vähentää päästöjä. Gibbsin ja Woodburyn (1993) mukaan energiarikasta viljapohjaista ravintoa saavien nautojen lannasta aiheutuvat metaanipäästöt voivat olla kaksinkertaiset muuten samanlaisissa olosuhteissa elävien mutta karkeaa rehua syövien nautojen päästöihin verrattuna. Lannan käsittely lietteenä on vähäisempää Suomessa kuin Länsi-Euroopassa keskimäärin, mikä myös vähentää päästöjä.

Lannan metaanipäästöihin liittyvät epävarmuudet arvioitiin samansuuruisiksi kuin ruoansulatuksen päästöt ja arvion luotettavuutta pidetään kohtalaisena.

2.5 Jätteet

Jätteiden kaatopaikkasijoitus sekä jätevesien- ja lietteiden käsittely ja loppusijoitus aiheuttavat merkittävän osan ihmisen toiminnan metaanipäästöistä Suomessa. Jätteiden kaatopaikkasijoituksen ja jätevesien käsittelyn arvioitujen metaanipäästöjen olivat 126 Gg CH₄ vuonna 1990 ja 132 Gg CH₄ vuonna 1994 (ks. taulukko 8 ja kuva 2). Vuoden 1990 aikaisemman arvion ja nykyisen arvion päästöt on laskettu eri menetelmillä, joten arviot eivät ole vertailukelpoisia. Nykyisessä arvioissa myös jätekertymät on otettu huomioon laajemmin.

IPCC-ohjeiden mukaan päästöt voidaan arvioida joko ainetaselaskemiin perustuvan menetelmän tai ensimmäisen asteen dynaamisen mallin avulla. Ainetaseisiin perustuva malli ei ota päästöjen ajallista käyttäytymistä huomioon vaan antaa tuloksena tietynä vuonna kaatopaikalle viedyn jätteen metaanintuottopotentiaalin.

Taulukko 8. Metaanipäästöt kiinteiden (Gg CH₄/a) jätteiden ja lietteiden kaatopaikkasijoituksesta sekä jäteveden ja lietteiden käsittelystä vuosina 1990 ja 1994.

	1990 Aikaisempi arvio	1990	1994
Kaatopaikkasijoitus	105	116	125
- yhdyskuntajätteet	105	71	73
- teollisuuden jätteet	EA	15	16
- rakennustoiminnan jätteet	EA	8	10
- yhdyskuntalietteet	EA	4	5
- teollisuuden lietteet	EA	18	20
Jäteveden- ja lietteiden käsittely	34	10**	10**
- yhdyskunnat	7*	0,7	0,6
- teollisuus	27*	10**	10**
Kaatopaikkakaasun talteenotto	-	-	3
YHTEENSÄ	139	126	132
- kaatopaikkasijoitus	105	116	122
- jäteveden ja lietteiden käsittely	34*	10	10

* sisältää lietteiden kaatopaikkasijoituksesta aiheutuneet päästöt

** laskettu vuoden 1992 lähtötiedoilla

Metaanintuottopotentialiaali ilmoitetaan inventaareissa vuotuisena päästönä, vaikka se kuvaa inventaarivuonna viedyn jätteen seuraavina vuosikymmeninä aiheuttamia päästöjä.

Dynaamisella mallilla pyritään arvioimaan jätteiden kaatopaikkasijoituksesta aiheutuvia päästöjä ajan funktiona. Nykyisten päästöjen laskemiseksi tarvitaan tietoa jätteiden kaatopaikkasijoituksesta myös edeltävinä vuosikymmeninä. Koska tällaista tietoa ei ole kerätty, se on arvioitava, mikä heikentää lähtötiedon luotettavuutta.

Ainetase- ja dynaamisella mallilla arvioidut päästöt poikkeavat toisistaan merkittävästi, etenkin jos kaatopaikalle viedyissä jätemäärissä tapahtuu muutoksia. Ainetasemenetelmässä muutokset heijastuvat heti laskettuihin päästöihin, kun dynaaminen malli reagoi muutoksiin hitaasti, mikä vastaa todellista tilannetta paremmin.

Suomen kaatopaikkojen päästöjen arvioinnissa käytettiin aikaisemmassa arvioissa ainetaselaskelmiin perustuvaa menetelmää, nyt päästöt on arvioitu dynaamista mallia käyttäen. Aikaisemmassa arvioissa tarkasteltiin ainoastaan yhdyskuntajätteen kaatopaikkasijoituksen päästöjä, nyt arvioissa ovat mukana myös teollisuuden ja rakennustoiminnan jätteet. Vaikka kaatopaikkasijoituksen päästöt ovat kasvaneet, on kaatopaikoille vietyjen jätteiden määrä ja jätteiden sisältämä orgaaninen kuormitus vähentynyt viime vuosina. Arvioitu 1990-luvulle jatkunut jätemäärien kasvu näkyy kuitenkin kasvavina päästöinä useita vuosia eteenpäin.

Jätehuollon kasvihuonekaasupäästöjä on tarkasteltu VTT Energiassa tehdyissä aikaisemmissa tutkimuksissa (mm. Pipatti et al. 1996 a ja b) ja laskentamenetelmien tarkemmat kuvaukset löytyvät ko. viitteistä.

Dynaamisessa mallissa tarvitaan tietoja kaatopaikalle viedyistä jätemääristä pitkältä ajalta. Tätä tietoa ei Suomessa ole kerätty ja nykyisetkin arviot kaatopaikoille viedyistä jätemääristä ovat karkeat. Päästöjen absoluuttisen tason määrittämisessä dynaaminen malli ei siksi ole ainetaselaskuihin perustuvaa mallia tarkempi. Päästöjen kehitystä se kuvaa kuitenkin paremmin, mikäli arvioidut jätemääriä tapahtuneet muutokset ovat suuruusluokaltaan oikeat. Suomen kaatopaikoille vietyjen jätemäärien historiatietoja on arvioitu väestömäärän, bruttokansantuotteen ja teollisuustuotannon yms. funktiona.

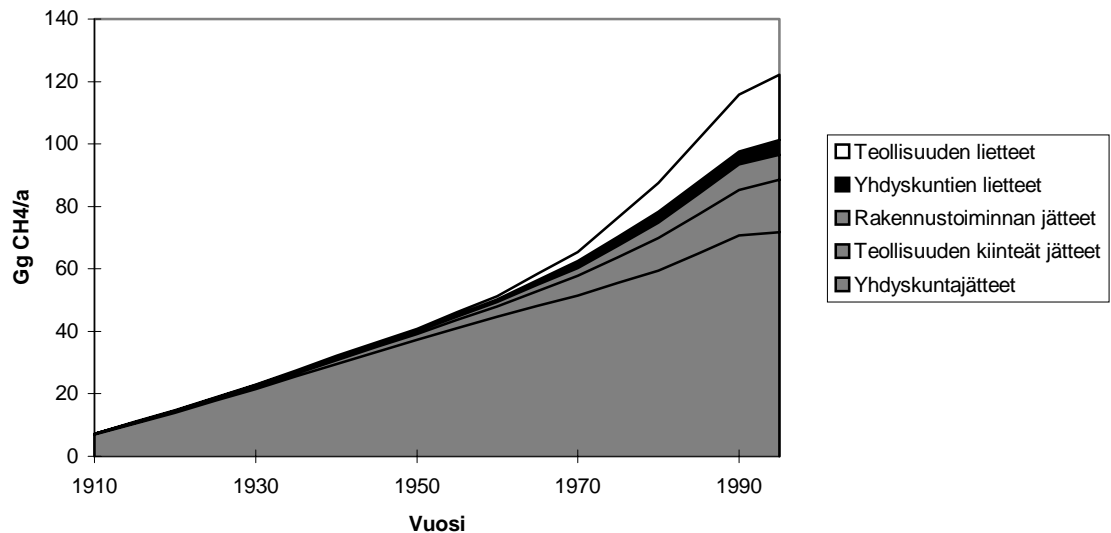
Kaatopaikkasijoituksen arvioinnissa tarvitaan tietoa jätteiden sisältämästä hajoavan orgaanisen hiilen (DOC - Degradable Organic Carbon) määrästä sekä arvio siitä, kuinka paljon tästä todella hajoaa. IPCC-ohjeissa hajoamiselle annettua oletusarvoa, 77:ää prosenttia, pidettiin liian suurena Suomen oloihin ja laskuissa käytettiin pienempää arvoa (35 %), jota on perusteltu seuraavilla tekijöillä:

- Suomessa kaatopaikat ovat keskimäärin pieniä ja niiden täyttösyvyys on pieni, mikä pienentää päästöjä (aerobisen vyöhykkeen osuus kaatopaikan tilavuudesta on suuri ja olosuhteet hapettomassa vyöhykkeessä eivät hajoamisen kannalta muodostu optimaalisiksi)
- kylmä ilmasto; suurilla kaatopaikoilla ulkoilman lämpötilan vaikutus päästöihin on tutkimusten mukaan vähäinen, pienillä kaatopaikoilla tilanne on toinen.

Kaatopaikkojen pintakerroksissa voi tapahtua metaanin hapettumista hiilidioksidiksi. Tutkimustulokset hapettumisen määrästä vaihtelevat paljon: useissa ulkomaisissa tutkimuksissa on arvioitu, että noin 10 prosenttia muodostuvasta metaanista hapettuisi kaatopaikan pintakerroksissa. Hapettumisen vaikutus päästöihin on tässä työssä sisällytetty käytettyyn päästökertoimeen (42 kg CH₄/t jätettä). Ko. päästökerroin on määritetty yhdyskuntajätteen arvioidusta keskimääräisestä koostumuksesta Suomessa (Jätehuollon neuvottelukunta 1992; Pipatti 1996b).

Kaatopaikkakaasun talteenotto on Suomessa ollut vähäistä. Vuonna 1994 aloitettiin kaasun talteenotto kolmella kaatopaikalla: Vuosaaren ja Seutulän suljetuilla kaatopaikoilla ja Kiertokapulän vielä jätteitä vastaanottavalla kaatopaikalla Hyvinkäällä. Vuonna 1994 talteenotetun kaasun määräksi arvioitiin noin 3 Gg CH₄ (Väisänen 1996).

Suomen kaatopaikkojen metaanipäästöjen (ilman talteenottoa) arvioitu kehittyminen on annettu kuvassa 2 päästösektoreittain.



Kuva 2. Jätteiden kaatopaikkasijoituksesta aiheutuvien metaanipäästöjen dynaamisella mallilla arvioitu kehittyminen Suomessa vuosisadan alusta nykyaikaan.

Jätevedenkäsittelyn päästöjen arviointiin käytetty menetelmä perustuu myös periaatteiltaan IPCC-ohjeisiin. Menetelmä on vielä puutteellinen ja IPCC-ohjeiden kehitysohjelman suosituksia on harkinnan mukaan sovellettu päästöarviossa. Päästöarvio (ks. taulukko 8) sisältää sekä yhdyskuntien että teollisuuden jäteveden että lietteiden käsittelyn päästöt. Lietteiden kaatopaikkasijoituksen päästöt oli aikaisemmassa arviossa ilmoitettu jätevesipäästöjen yhteydessä. Nyt ne sisältyvät kaatopaikkasijoituksen päästöihin.

Arviot kaatopaikkojen ja jätevedenkäsittelyn metaanipäästöistä ovat epävarmat. Puutteelliset tiedot jätemääristä ja koostumuksesta sekä vaihtelevat käsittelyolosuhteet aiheuttavat virhettä laskuihin. Kaatopaikkojen päästöjen arvioinnissa käytetyt menetelmät kehittyvät koko ajan, mutta päästöarvioiden luotettavuuden parantamiseksi tarvitaan myös lisää mittaustietoa kaatopaikoilla tapahtuvista prosesseista erilaisissa olosuhteissa sekä tietoa sinne viedyn jätteen koostumuksesta.

2.6 Luonnon metaanipäästöt

Suomaisen ilmakehänmuutosten tutkimusohjelmassa (SILMU) on esitetty arvioita luonnon metaanipäästöistä Suomessa (Kanninen 1992; Kuusisto et al. 1996). Suurimmat metaanipäästöt tulevat luonnontilaisilta ja ojitetuilta soilta. Luonnontilaiset suot ovat tavallisesti metaanilähteitä ja hiilidioksidinieluja. Soiden ojittaminen pienentää metaanipäästöjä ja, jos puusto suolla kehittyy ojituksen jälkeen hyvin, voivat päästöt loppua kokonaan. Yleisimmin metaanipäästö vähenee muttei täysin tyrehdy. Soiden ojitus vaikuttaa myös muiden kasvihuonekaasujen päästöihin, N₂O-päästöt kasvavat ja CO₂-päästöt voivat joko kasvaa tai vähentyä ojituksen myötä (Kuusisto et al. 1996, s. 188 - 189; Laine et al. 1996).

Vesistöjen hapettomissa osissa muodostuu orgaanisen aineksen hajotessa metaania. Metaanin tuottonopeuteen vaikuttavat hajoavan aineen laatu ja määrä sekä olosuhteet vesistössä. Muodostunut metaani voi liueta veteen ja hapettua hiilidioksidiksi vesistön hapellisissa osissa. Mikäli metaania muodostuu paljon, kuplii osa kaasusta pinnalle ja vapautuu ilmakehään. Vesistöistä mitatut metaanipäästöt antavat viitteitä siitä, että päästöt ainakin joissakin tapauksissa ovat korkeita. Suomen vesistöjen ranta-alueiden metaanipäästöt saattavat olla kymmeniä prosentteja soiden tuottamasta metaanimäärästä (Kuusisto et al. 1996, s. 190 - 191). Tutkimustulokset vesistöjen metaanipäästöistä ovat vielä alustavia eikä vesistöjen kokonaismetaanipäästöjä pystytä niiden perusteella arvioimaan riittävällä tarkkuudella.

Metaanipäästöjä on mitattu myös tekoaltaista; arvioidut kasvukauden päästöt Lokan altaalla ovat 20 - 120 g CH₄/m² (Kuusisto et al. 1996, s. 190). Kun tekoaltaiden pinta-ala Suomessa on noin 630 km², merkitsisi tämä 13 - 75 Gg:n vuotuisia metaanipäästöjä arvioituna pelkästään kasvukauden päästöjen perusteella. Vuotoksen altaan rakentaminen lisäisi metaanipäästöjä noin 5 - 28 Gg vuodessa. Tekoaltaat saattavat siis merkittävästi lisätä ihmisen toiminnan metaanipäästöjä Suomessa.

2.7 Yhteenveto metaanipäästöistä Suomessa vuosina 1990 ja 1994

Yhteenveto arvioiduista Suomen metaanipäästöistä vuosina 1990 ja 1994 on esitetty taulukossa 9. Päästöt on annettu IPCC-luokituksen mukaan, paitsi että biomassan poltosta aiheutuvia päästöjä ei ole ilmoitettu omassa luokassaan (1 A 6, ks. liite 1, taulukko 1.1) vaan asianmukaisissa energiantuotanto- ja kulutusluokissa IPCC:n ohjeiden kehitysohjelman suositusten mukaan.

Suomessa merkittävimmät ihmisen toimintaan liittyvät päästölähteet ovat kaatopaikat ja jätevedenkäsittely sekä karjatalous. Energiantuotannon ja teollisuuden merkitys on vähäisempi. Tekoaltaiden päästöt puuttuvat taulukosta mutta voivat olla merkittävät, mikäli alustavat arviot päästöjen suuruudesta pitävät paikkansa.

Luonnontilaiset ja ojitetut suot ovat merkittävimmät luonnon lähteet. Luonnon lähteiden aiheuttamat päästöt ovat noin kolminkertaiset ihmisen toiminnan aiheuttamiin päästöihin nähden. Kangasmetsien maaperässä olevat mikrobit hapettavat ilmakehän metaania hiilidioksidiksi ja toimivat siten metaaninieluinä. Metsien nieluvaikutus on kuitenkin arvioitu pieneksi soiden päästöihin verrattuna. Vesistöjen merkitys metaanilähteenä on arvioitu suureksi, mutta määrällisiä arvioita päästöistä ei vielä pystytä riittävällä tarkkuudella antamaan. Vaikka vuoden 1994 luontoperäisten päästöjen arviot on taulukossa 9 annettu yhtenä numeroarvona, liittyy niihin kuitenkin huomattava epävarmuusväli.

Taulukko 9. Arvioidut Suomen metaanipäästöt (Gg CH₄/a) vuosina 1990 ja 1994. Taulukossa on esitetty myös aikaisemmin arvioidut Suomen maaraportin (Boström 1994; Pipatti 1994; Finland's National Report under the United Nation's Framework Convention on Climate Change 1995) mukaiset päästöt vuodelle 1990. Esitetyt energiansektorin päästöt on arvioitu Tilastokeskuksen ILMARI-mallilla (Grönfors 1996) ja luonnon päästöt perustuvat Suomalaisen ilmakehänmuutosten tutkimusohjelman (SILMUn) tuloksiin (Kanninen 1992 ja Kuusisto et al. 1996).

Päästöluokka	1990 Aikaisempi arvio	1990	1994
1 Energia	19	15*	16
1 A Poltto	19	14*	16
1 A 1 Energiantuotanto ja -muuntoteollisuus	1	1*	2
1 A 2 Teollisuus	2	2*	2
1 A 3 Liikenne	8	3*	3
1 A 4 Pienpoltto	8	8*	10
1 A 5 Muu	-	-	-
1 B Haihtumispäästöt poltto-ai- neista	0,2	0,2	0,3
2 Teollisuusprosessit	EA	4	4
4 Maatalous	94	101	93
6 Jätteet	139	126	132
Kansainvälinen ilmailu ja laiva- liikenne	1	1	1
IHMISEN TOIMINTA YHTEENSÄ	253	246	246
Kangasmaat	-20...-100		-30
Luonnontilaiset suot	60...2000		700
Ojitetut suot	?		150
Vesistöt	40...150		?
LUONTO YHTEENSÄ	80...2050		820
KAIKKI YHTEENSÄ	330...2300		1070

* Vuoden 1990 energiansektorin päästöjä ei ole päivitetty ILMARI-mallilla, joten annetut arvot perustuvat aikaisempaan arvioon. Tieliikenteen osalta on käytetty LIISA95-mallilla laskettuja päivitettyjä arvoja.

EA = ei arvioitu

3 DITYYPPIOKSIDIPÄÄSTÖT

3.1 Yleistä

Dityppioksidi (N_2O , typpioksiduuli, ilokaasu) on suhteellisen pysyvä kasvihuonekaasu, jonka poistuminen ilmakehästä on hidasta; dityppioksidin elinikä ilmakehässä on noin 120 vuotta. Ilmakehän dityppioksidipitoisuudet ovat kasvaneet esteellisestä ajasta nykypäivään noin 15 prosenttia ja viime vuosikymmenten aikana kasvunopeus on ollut noin 0,1 - 0,3 prosenttia vuodessa. Kasvun uskotaan olevan ihmisen toiminnan aiheuttamaa, vaikkakaan kaikkia dityppioksidin päästölähteitä ei tunneta hyvin.

Eniten dityppioksidia poistuu ilmakehästä stratosfäärissä, missä se hajoaa auriongon valon vaikutuksesta. Hajoamisprosessissa muodostuu typen oksideja (NO_x), jotka osallistuvat otsonia tuhoaviin reaktioihin stratosfäärissä. Dityppioksidi on stratosfäärin typen oksidien pääasiallinen lähde.

Dityppioksidilla on useita sekä luonnon että ihmisen toimintaan liittyviä päästölähteitä. Merkittävin päästölähde on maaperä, jossa nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosesseissa syntyy sivu- tai välituotteena dityppioksidia. Maaperän mikrobitoiminnan ja typpikuormituksen lisääminen kasvattaa päästöjä. Ihmisen toiminnan merkittävin dityppioksidipäästölähde on maanviljelys: viljelysmaiden muokkaaminen kiihdyttää niissä tapahtuvia prosesseja ja typpilannoitus lisää typen määrää maaperässä. Maanviljelyksen aiheuttamat dityppioksidipäästöt ovat merkittävät erityisesti trooppisissa, missä lämmin ilmasto vilkastuttaa mikrobitoimintaa.

Eräät teollisuusprosessit (adiipiini- ja typpihapon valmistus) aiheuttavat myös merkittäviä päästöjä. Energiantuotannon ja -kulutuksen päästöjen osuus kokonaispäästöistä on vielä pieni, mutta se kasvaa nopeasti: uusia päästölähteitä ovat eräät kehittyneet polttotekniikat ja autojen katalyysaattorit.

Arvio Suomen ihmisen toiminnan aiheuttamista dityppioksidipäästöistä vuosina 1990 ja 1990 esitetään seuraavissa alakohdissa. Päästöjen luokittelussa ja arvioinnissa on seurattu IPCC-ohjeita. Mikäli CORINAIR-ohjeissa on poikkeamia IPCC-ohjeisiin nähden, niitä käsitellään tekstissä. Luonnon päästöistä esitetään lyhyt yhteenveto kokonaiskuvan saamiseksi.

3.2 Energia

Energiasektorin arvioidut päästöt ovat noin 3 Gg N_2O vuonna 1990 ja noin 5 Gg N_2O vuonna 1994 (taulukko 10). Päästöarviot vuodelta 1994 perustuvat Tilastokeskuksen ILMARI-mallilla tehtyihin laskelmiin (Grönfors 1996) ja vuodelta 1990 tieliikenteen päästöjä lukuun ottamatta Boströmin (1994) laskelmiin. Tieliiikenteen päästöt on arvioitu VTT Yhdyskuntatekniikan LIISA95-päästömallilla (Mäkelä et al. 1996). Malleja on kuvattu tarkemmin kohdassa 2.1, missä käsitellään energiantuotannon ja -kulutuksen metaanipäästöjä.

Taulukko 10. Energiasektorin N₂O-päästöt Suomessa vuosina 1990 ja 1994 (Boström 1994; Grönfors 1996; Mäkelä et al. 1996).

Päästöluokka	1990 Aikaisempi arvio	1990	1994
1 Energia	7,6	3,2*	4,5
1 A Poltto	7,6	3,2*	4,5
1 A 1 Energiantuotanto ja -muuntoteollisuus	0,8	0,8*	1,3
1 A 2 Teollisuus	0,8	0,8*	1,2
1 A 3 Liikenne	5,2	0,9*	1,2
1 A 4 Pienpoltto	0,7	0,7*	0,9
Kansainvälinen liikenne	1,2	1,2*	0,9

* Vuoden 1990 energiasektorin päästöjä ei ole päivitetty ILMARI-mallilla, joten annetut arvot perustuvat Boströmin (1994) arvioon. Tieliikenteen osalta on kuitenkin käytetty LIISA95-mallilla laskettuja päivitettyjä arvoja (Mäkelä et al. 1996).

Useimpien polttoprosessien N₂O-päästöt ovat pienet. Poikkeuksena on leijupoltto, jossa N₂O-päästöt ovat merkittäviä. Myös eräiden NO-vähennysmenetelmien yhteydessä, kuten urean lisäyksessä, saattaa syntyä merkittäviä N₂O-päästöjä. Leijupoltossa N₂O:n muodostumiseen vaikuttavat ratkaisevasti käytetty polttoaine ja poltto-olosuhteet, etenkin lämpötila ja ilmakerroin. Henkilöautojen katalysaattorit, ja etenkin paljon käytetyt katalysaattorit, tuottavat huomattavasti enemmän dityppioksidia kuin ilman katalysaattoria olevat autot (Kilpinen 1995).

Energiasektorin päästöjen osuus dityppioksidipäästöistä on Suomessa suuri, arviolta neljäsnes - kolmannes ihmisen toiminnan N₂O-päästöistä. Globaalisti energiasektorin osuuden ihmisen toiminnan N₂O-päästöistä on arvioitu olevan noin 15 prosenttia (Houghton et al. 1996).

Liikenteen osuus energiasektorin N₂O-päästöistä on noin 27 prosenttia. Suurin osa (0,8 Gg N₂O vuonna 1994) päästöistä on peräisin tieliikenteestä. Tieliikenteen päästöistä suurin osa on peräisin henkilöautoliikenteestä. Katalysaattorilla varustetun auton N₂O-päästöt on oletettu kymmenen kertaa suuremmiksi kuin ilman katalysaattoria olevan auton. Käytetyt päästökertoimet ovat: henkilöauto ilman katalysaattoria 0,005 g N₂O/km ja katalysaattorilla varustettu auto 0,05 g N₂O/km.

Liikenteen päästöjen arvioinnissa käytetyt päästökertoimet ovat samat kuin sekä IPCC:n että CORINAIRin ohjeissa annetut oletuspäästökertoimet. IPCC:n ohjeissa annetaan mainittujen oletuspäästökertoimien lisäksi uutta mittaustietoa tieliikenteen N₂O-päästöistä. Euroopan oloihin soveltuvat tulokset perustuvat de Soeten (1989) mittauksiin. De Soete on antanut päästökertoimet erikseen uusilla ja vanhentuneilla katalysaattoreilla varustetuille henkilöautoille. Ilman katalysaattoria olevan henkilöauton N₂O-päästöt ovat de Soeten mukaan 0,005 - 0,02 g N₂O/km, uudella katalysaattorilla varustetun auton 0,037 - 0,106 g N₂O/km ja

vanhentuneella katalysaattorilla varustetun 0,162 - 0,221 g N₂O/km. De Soeten päästökertoimilla lasketut vuoden 1994 tieliikenteen päästöt ovat 1,4 - 2,2 Gg N₂O eli noin kaksinkertaiset LIISA95-mallin tuloksiin nähden.

Koska energiasektorin N₂O-päästöarviot vuodelta 1990 ja 1994 perustuvat eri malleilla tehtyihin laskelmiin, ei päästöjen kehittymisestä saa oikeaa kuvaa. Tieliikenteen N₂O-päästöt ovat joka tapauksessa kasvaneet noin 30 prosenttia (Mäkelä et al. 1996).

Arviot energiasektorin päästöistä ovat sekä IPCC- että CORINAIR-luokitusten mukaiset. ILMARI-mallissa käytetyt leijupolton päästökertoimet ovat jonkin verran pienemmät kuin IPCC-ohjeiden kehitysohjelmassa annetut keskimääräiset päästökertoimet (Grönfors 1996). Käytettyjen päästökerrointen katsotaan soveltuvan paremmin Suomen päästöjen laskentaan, sillä leijupolton tuntemuksen ja siihen liittyvän tutkimuksen taso on Suomessa korkea. Tieliikenteen päästöjen arvioinnissa käytetyt päästökertoimet ovat samat kuin IPCC-ohjeissa ja CORINAIR-ohjekirjassa annetut oletuspäästökertoimet.

Energiasektorin N₂O-päästöihin vaikuttavat monet tekijät, joita kaikkia ei ole otettu tai pystytty ottamaan huomioon päästökertoimia määritettäessä. Voimalaitosten kohdalla tarvittaisiin lisää tietoa toimivien laitosten todellisista päästöistä. Liikenteen osalta uusien ja käytettyjen katalysaattoriautojen päästöt tulisi voida laskea erikseen, etenkin Suomessa, missä katalysaattoriautojen osuus nykyisestä autokannasta on tällä hetkellä vielä pieni mutta lisääntyy nopeasti. Päästökertoimiin liittyvien epävarmuuksien takia muuten kattavan arvion luotettavuus on kokonaisuutena alhainen.

3.3 Teollisuusprosessit

Adiipiinihapon ja typpihapon valmistusprosessit ovat merkittäviä dityppioksidin päästölähteitä. Suomessa mainituista hapoista valmistetaan ainoastaan typpihappoa. Typpihapon tuotantomäärät vuonna 1990 (551 Gg) olivat jonkin verran suuremmat kuin vuonna 1994 (461 Gg).

Typpihapon valmistusprosessissa ammoniakkia hapetetaan typpidioksidiksi, joka veden kanssa muodostaa typpihappoa. Ammoniakin hapetusprosessi on kaksivaiheinen; ensin ammoniakki hapettuu typpimonoksidiksi (NO), joka hapetetaan edelleen typpidioksidiksi (NO₂). Ammoniakin hapetuksen ensimmäisessä vaiheessa voi muodostua myös molekylaarista typpeä ja dityppioksidia sivureaktioissa.

Typpihapon valmistusprosessit luokitellaan valmistuksessa käytetyn paineen mukaan matalapaineprosesseihin (1 - 3 bar), keskipaineprosesseihin (4 - 6 bar) ja korkeapaineprosesseihin (7 - 11 bar). Hapetus ja imeytysvaihe voidaan suorittaa joko samassa (yksipainelaitos) tai eri paineessa (kaksivaihelaitos). Valmistusprosessi vaikuttaa päästöjen suuruuteen. Suomessa typpihappoa valmistetaan yksivaiheisella keskipaineprosesilla Siilinjärvellä ja Uudessakaupungissa.

IPCC-ohjeissa on typpihapon valmistuksen N₂O-päästöjen arviointia varten annettu vaihteluväli 2 - 9 g N₂O/kg HNO₃. IPCC-ohjeiden kehitysohjelman suosituksissa painotetaan päästöjen riippuvuutta käytetystä tekniikasta ja suositellaan mitaustulosten käyttämistä päästöjä arvioitaessa. Päästökertoimille annettua vaihteluväliä on täydennetty Norsk Hydron määrittämällä päästökertoimilla (ks. taulukko 11).

CORINAIRin mukaan noin 1,5 prosenttia hapetuksessa käytetystä ammoniakista muuntuu dityppioksidiksi. Nykyaikaisen tehtaan ammoniakkikulutukseksi annetaan noin 282 kg NH₃/Mg HNO₃. Näiden tietojen mukaan typpihapon valmistuksessa muodostuisi noin 11 g N₂O/kg HNO₃. CORINAIRin antamat päästökertoimet ovat kuitenkin paljon pienemmät, oletusarvo 0,8 g N₂O/kg HNO₃ (vaihteluväli 1 - 79 g N₂O/kg HNO₃). Vaihteluväli perustuu CORINAIR90 inventaariin. CORINAIR ei poikkeuksellisesti pidä päästöinventaareja varten tehtyjä mittauksia tarpeellisina.

Oonk (1996) on esittänyt Hollannissa tehtyihin mittauksiin perustuen päästökertoinväliksi 8 - 12,5 g N₂O/kg HNO₃.

Taulukko 11. Eri lähteistä koottuja päästökertoimia ja niiden avulla lasketut N₂O-päästöt typpihapon valmistuksesta Suomessa vuosina 1990 ja 1994.

Lähde:	Päästökerroin tai vaihteluväli g N ₂ O/kg HNO ₃	Suomen päästöt 1990 Gg N ₂ O/a	Suomen päästöt 1994 Gg N ₂ O/a
IPCC 1995	2 - 9	1,1 - 5,0	0,9 - 4,1
IPCC 1996b (Norsk Hydro):			
- nykyaikainen, integroitu tehdas	< 2	< 1,1	< 0,9
- matalapaineprosessi	4 - 5	2,2 - 2,7	1,8 - 2,3
- keskipaineprosessi	6 - 7,5	3,3 - 4,1	2,8 - 3,5
CORINAIR 1996:			
- muodostuu prosessissa	11	6,1	5,1
- oletusarvo	0,8	0,4	0,4
- 1990 inventaarin vaihteluväli	1 - 79	0,5 - 43,5	0,5 - 36,4
Oonk 1996	8 - 12,5	4,4 - 6,9	3,7 - 5,8

Taulukossa 11 on esitetty eri päästökertoimilla lasketut typpihapon valmistuksen N₂O-päästöt Suomessa vuosina 1990 ja 1994. Aikaisemmassa vuoden 1990 inventaarissa on käytetty oletusarvona IPCC-ohjeiden päästökertoimelle antaman vaihteluvälin keskiarvoa, jolloin päästöt vuosina 1990 ja 1994 olisivat olleet keskimäärin 3 Gg N₂O/a. Tätä arvoa on käytetty myös tässä inventaarissa. IPCC-kehitysohjelman suositusten mukaan päästöt olisivat keskimäärin jonkin verran suuremmat, noin 4 Gg N₂O vuonna 1990 ja noin 3 Gg N₂O vuonna 1994. CORINAIR-oletusarvo päästökertoimelle antaa merkittävästi pienemmät päästöt, noin 0,4 Gg N₂O ko. vuosille.

3.4 Maatalousmaan N₂O-päästöt

Maatalousmaat ovat tärkeitä päästölähteitä ja nieluja useille kasvihuonekaasuille, kuten hiilidioksidille, metaanille ja dityppioksidille. Dityppioksidia vapautuu maaperästä mikrobitoiminnan aiheuttamana nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosesseissa. Näiden prosessien voimakkuuteen ja N₂O:n muodostumiseen ja vapautumiseen vaikuttavat monet tekijät yhdessä (typen määrä ja laatu, pH, kosteus, lämpötila, mikrobikanta, muiden ravinteiden pitoisuudet jne.). Yksittäisten tekijöiden vaikutusta N₂O-päästöihin on ollut vaikea osoittaa, mutta yleisesti ollaan sitä mieltä, että typpikuormituksen kasvattaminen lisää päästöjä.

IPCC-ohjeiden mukaan maanviljelysmaan N₂O-päästöjen arvioinnissa tulee ottaa huomioon lisääntyneestä typpikuormituksesta aiheutuvat päästöt. Typpikuormitusta aiheuttavat väkilannoitus, lannan ja lietteiden levittäminen pelloille, satojännöksen muokkaaminen maahan sekä biologinen typensidonta.

IPCC:n kehitysohjelman suositusten mukaan maatalouden N₂O-päästöjen arvioinnissa tulisi seurata maataloudesta peräisin olevaa typpikiertoa ja ottaa huomioon myös maatalouden epäsuora vaikutus päästöihin. Mm. maatalouden ammoniakkipäästöjen aiheuttama typpilaskeuma lisää maaperän typpikuormitusta ja siten N₂O-päästöjä.

CORINAIR-ohjekirjassa ei ole käsitelty maatalousmaan N₂O-päästöjä, vaan siinä viitataan IPCC-ohjeisiin päästöjen arvioimiseksi.

Suomen maatalousmaan dityppioksidipäästöt on arvioitu IPCC-ohjeiden mukaan. IPCC:n kehitysohjelman suositukset on otettu huomioon siten, että lannoituksen maan typpikuormitusta lisäävästä vaikutuksesta on vähennetty ammoniakkinä ilmaan haihtuvan typen osuus.

IPCC-ohjeissa on annettu kolme sarjaa päästökertoimia. Jokaisessa sarjassa on päästökerroin alhaisen, keskimääräisen tai korkean päästöarvion laskemiseksi. Suomen päästöt on laskettu ainoastaan Mosierin (1994) arvioon perustuvan päästökerroinsarjan arvoilla IPCC:n kehitysohjelman suositusten mukaan. Taulukossa 12 annetut arvot on laskettu keskimääräistä päästötasoa vastaavalla päästökertoimella (1,25 % typpikuormituksesta pääsee ilmaan N₂O:na). Päästöjen vaihteluväli (0,25 - 2,25 % typpikuormituksesta pääsee ilmaan N₂O:na) on annettu ainoastaan typpikuormituksen aiheuttamien kokonaispäästöjen osalta.

IPCC-ohjeissa kehoitetaan laskemaan typpikuormitus kolmen vuoden keskimääräisiä arvoja käyttäen, jotteivät poikkeukselliset arvot inventaarivuonna vääristäisi päästöjä. Suomessa kyseisten vuosien päästöt eivät paljon poikkea toisistaan, käytettiin sitten vuosittaisia arvoja tai kolmen vuoden keskiarvoja. Taulukon 12 arvot on laskettu kolmen vuoden keskiarvoista vuoden 1990 aikaisempaa arviota lukuun ottamatta.

Taulukko 12. Maatalousmaan N₂O-päästöt Suomessa vuosina 1990 ja 1994.

Päästölähde	1990 Aikaisempi arvio Gg N ₂ O	1990 Gg N ₂ O	1994 Gg N ₂ O
Väkilannoitteet	4,1	4,2	3,3
Lannan levitys	1,8	0,7	0,6
Lietteiden levitys	0,1	0,04	0,03
Niittojäännös	EA	0,4	0,4
Palkokasvit*	0,04	0,03	0,08
Typpikuormitus yhteensä	6,0 (0,8 - 13,1)	5,4 (1,1 - 9,6)	4,4 (0,9 - 7,9)
Viljelysmaat/suopellot	5,7	4	4
Yhteensä	11,7 (6,5 - 18,8)	9,4 (5,1 - 13,6)	8,4 (4,9 - 11,9)

* ei sisällä apilan viljelyä (ei tilastoida erikseen muista nurmikasveista)

IPCC-ohjeiden mukaan maanviljelysmaan N₂O-päästöt lasketaan ainoastaan lisääntyneestä typpikuormituksesta, vaikkakin myös lannoittamattoman viljelysmaan päästöjen arvioidaan keskimäärin olevan suuremmat kuin luonnontilaisen maan päästöt. Maanviljely lisää mikrobitoimintaa maaperässä ja sitä kautta päästöjä. Etenkin turvemaissa (suopelloissa) viljelyksen aiheuttama voimistunut turpeen hajoaminen lisää dityppioksidipäästöjä. Suomen viljelyksessä olevien turve maiden vuotuisten päästöjen on arvioitu olevan noin 4 Gg N₂O (Kuusisto et al. 1996, s. 192).

Maatalousmaan N₂O-päästöjen arvioinnin epävarmuudet ovat suuret ja tekijöiden, kuten ilmaston sekä viljelyolosuhteiden ja lannoituskäytännön, vaikutuksia päästöjen suuruuteen ei tunneta hyvin. Tekijöiden määrällisiä vaikutuksia on tutkittu paljon, mutta tulokset ovat olleet osittain ristiriitaisia, koska yksittäisten tekijöiden vaikutuksia ei aina ole pystytty erottamaan eri tekijöiden yhteisvaikutuksista.

3.5 Muut ihmisen toiminnan N₂O-päästölähteet

Dityppioksidin kaikkia päästölähteitä ei tunneta hyvin. Ilmakehän pitoisuuksien kasvu on ollut suurempaa, kuin mitä tunnettujen päästöjen ja nielujen arvioiduista voimakkuuksista voitaisiin päätellä. Seuraavassa käydään läpi joitakin päästölähteitä, jotka eivät sisälly nykyisiin IPCC-ohjeisiin.

IPCC-ohjeiden kehitysohjelman suosituksissa on ehdotettu typpilaskeumasta aiheutuvien N₂O-päästöjen arvioimista. Päästökertoimeksi ehdotetaan yhtä prosenttia NO_x- ja NH₃-päästöjen tyyppistä. Suomen arvioidut NO_x-päästöt olivat 295 kt NO₂ vuonna 1990 ja 283 kt NO₂ vuonna 1994; ammoniakkipäästöt olivat vastaavasti 34 kt NH₃ vuonna 1990 ja 31 kt NH₃ vuonna 1994 (Savolainen et al. 1996). Suomen NO_x- ja NH₃-päästöistä aiheutuvat N₂O-päästöt olisivat tämän mukaan olleet 1,9 Gg N₂O vuonna 1990 ja 1,8 Gg vuonna 1994. Päästösektoreiden mukainen jaottelu on annettu taulukossa 13.

Taulukko 13. Suomen NO_x - ja NH_3 -päästöjen laskeumasta aiheutuneet N_2O -päästöt vuosina 1990 ja 1994.

Päästölähde	N_2O -päästöt 1990 Gg N_2O	N_2O -päästöt 1994 Gg N_2O
Energiantuotanto	0.45	0.39
Liikenne	0.86	0.86
Teollisuus	0.12	0.12
Maatalous	0.43	0.39
Yhteensä	1.85	1.76

Aikaisemmin typpilaskeuman päästöt oli arvioitu Suomeen tulevasta typpilaskeumasta. Nykyinen menetelmä on tarkoituksenmukaisempi, joskin hieman epätarkempi. Osa ilmakehään tapahtuvista päästöistä kulkeutuu ylempiin ilmakerroksiin ja poistuu ilmakehästä, osa laskeumasta tulee meriin, missä N_2O -päästöjen muodostuminen voi olla erilaista. Ko. tekijät ovat kuitenkin vähemmän merkittäviä kuin päästökertoimien epävarmuudet kokonaisuudessaan.

NO_x ja NH_3 voivat tietyissä olosuhteissa muuntua N_2O :ksi ilmakehässä. Voimalaitosten savukaasuista tehtyjen N_2O -mittausten yhteydessä todettiin N_2O :ta muodostuvan tietyissä olosuhteissa näytesäiliöissä, mikä vääristää mittaustuloksia (nk. N_2O artefakti). De Soeten (1993) mukaan N_2O :n muodostuminen ilmakehässä, missä NO_2 - ja SO_2 -pitoisuudet ovat alhaisempia, on myös mahdollista. Kleiffmann et al. (1994) esittävät N_2O :n muodostumista NO_2 :sta heterogeenisissä reaktioissa happamilla pinnoilla.

Dentener ja Crutzen (1994) esittävät NH_3 :n hapettumisreaktioita N_2O -lähteeksi olosuhteissa, missä ilmakehän hydroksyyli-ionikonsentraatio on suuri ja sulfaatti-aerosolipitoisuus pieni. NH_3 :n konversiolla N_2O :ksi olisi tämän mukaan merkitystä lähinnä tropiikissa.

Mikäli NO_x - ja NH_3 -päästöjen seurauksena N_2O :n muodostuminen ilmakehässä lisääntyy, korostuu energiantuotannon, liikenteen ja maatalouden merkitys ihmisen toiminnan N_2O -lähteinä. Tutkimustietoa ei kuitenkaan ole vielä siinä määrin saatavissa, että määrällisten arvioiden tekeminen olisi perusteltua.

Jätevedenkäsittelyssä tapahtuu samoja prosesseja, denitrifikaatiota ja nitrifikaatiota, kuin maaperässä ja N_2O :n muodostuminen on siis mahdollista. Jäteveden käsittelymenetelmä ja -olosuhteet sekä jäteveden koostumus vaikuttavat merkittävästi päästöjen muodostumiseen. Keskimäärin päästöt on arvioitu pieniksi, mutta biologisen typenpoiston yleistymisen käsittelymenetelmänä voi lisätä jätevedenkäsittelyn N_2O -päästöjä tulevaisuudessa. Jätevedenkäsittelyn N_2O -päästöjä Suomessa on arvioitu Ruotsissa tehtyihin selvityksiin perustuvien päästökerrointen avulla (Pipatti et al. 1996b). Vuoden 1990 yhdyskuntien jätevesien käsittelyn päästöt ovat arvion mukaan noin 0,03 - 0,1 Gg N_2O . Arvio on hyvin epävarma, sillä se perustuu Ruotsin olosuhteissa määritettyyn keskimääräiseen päästökertoimeen.

Maatalouden kotieläinten ruoansulatus, lannan käsittely ja varastointi sekä laiduntaminen ovat myös mahdollisia N₂O-päästölähteitä. Päästöjen merkitsevyys on kuitenkin arvioitu pieneksi esim. IPCC:n kehitysohjelman suosituksissa (IPCC 1996b).

Peltojen lannoituksen on arvioitu aiheuttavan myös epäsuoria N₂O-päästöjä suoto- ja valumavesien mukana kulkeutuvan typen nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosesseissa vesistöissä. Myös jätevesien johtaminen vesistöihin voi aiheuttaa N₂O-päästöjä. IPCC-ohjeiden kehitysohjelman suosituksissa annetun päästökertoimen soveltaminen yhdyskuntien ja teollisuuden jätevesien mukana vesistöihin laskettuun typpimäärään antaisi vuoden 1990 päästöiksi noin 0,3 Gg N₂O. Päästöarvio on hyvin epävarma.

3.6 Luonnon N₂O-päästöt

Metsämaassa dityppioksidin muodostumista rajoittaa typen vähäinen määrä. Typpilaskeuma ja hakkuut lisäävät metsämaan ja ojitus soiden N₂O-päästöjä. Luonnon päästöjä on usein vaikea erottaa ihmisen toiminnan aiheuttamista päästöistä. SILMU-tutkimusohjelmassa Suomen metsien ja soiden päästöjen arvioitiin olevan noin 4,5 Gg N₂O/a (Kuusisto et al. 1996, s. 192) Arvio on hyvin epävarma ja sisältää ihmisen toiminnan vaikutuksen päästöihin.

Vesistöissä muodostuu myös N₂O:ta, mutta alustavien arvioiden mukaan päästöjen ilmastollinen merkitys on vesistöjen metaanipäästöihin nähden pieni (Kuusisto et al. 1996, s. 191).

3.7 Yhteenveto N₂O-päästöistä Suomessa

Yhteenveto N₂O-päästöistä Suomessa vuosina 1990 ja 1994 on taulukossa 14. Päästöarvio noudattaa pääpiirteissään IPCC-ohjeiden luokitusta. Lisäksi arvioissa ovat mukana typpilaskeuman aiheuttamat päästöt, jotka on ilmoitettu asianmukaisen päästösektorin kohdalla. Peltolannoituksen mahdollisia epäsuoria päästöjä sekä kotieläinten, lannan käsittelyn ja varastoinnin päästöjä ei ole annettu taulukossa 14, kuten ei myöskään arviota NO_x- ja NH₃-päästöjen muuntumisesta N₂O:ksi ilmakehässä.

Maatalous aiheuttaa Suomessa lähes puolet ihmisen toiminnan N₂O-päästöistä. Aikaisemmin arvioidut peltoviljelyksen oletusta mikrobitoimintaa lisäävästä vaikutuksesta aiheutuvat päästöt on nyt jätetty pois arviosta. Sen sijaan suopeltojen N₂O-päästöt on otettu mukaan. IPCC-ohjeet eivät edellytä suopeltojen päästöjen arvioimista, mutta ohjeiden kehitysohjelmassa tätä suositellaan. Maatalouden N₂O-päästöjen arviointiin liittyy suuri epävarmuus, eikä päästöarviossa ole pystytty ottamaan Suomen erityispiirteitä huomioon, vaan arvioissa on käytetty IPCC:n antamia oletuspäästökertoimia. Suomessa tehdyt tutkimukset ja mittaukset (Nykänen et al. 1995, Jaakkola 1985) ovat joka tapauksessa antaneet samansuuntaisia tuloksia kuin tutkimukset, joihin IPCC:n menetelmät ja päästökertoimet perustuvat.

Energiansektorin osuus ihmisen toiminnan N_2O -päästöistä Suomessa on merkittävä, etenkin jos NO_x -päästöjen aiheuttaman typpilaskeuman aiheuttamat päästöt sisällytetään arvioon. Arviossa ei ole otettu huomioon NO_x -päästöjen muuntumista ilmakehässä dityppioksidiksi savukaasujen sisältämien happamien hiukkasten pinoilla, mikä voi edelleen lisätä energiasektorin merkitystä N_2O :n tuottajana.

Energiantuotannossa N_2O :ta muodostuu arvion mukaan enemmän kuin liikenteessä. Liikenteen päästöistä suurin osa on peräisin katalysaattoreilla varustetuista henkilöautoista.

Luonnon päästöt ovat esitetyn arvion mukaan vain noin viidennes Suomen kaikista N_2O -päästöistä. Vesiekosysteemien päästöjä ei Suomen osalta ole arvioitu, mutta alustavissa tutkimuksissa niiden N_2O -päästöt on arvioitu merkitykseltään vähäiseksi. Metsähakkuut ja soiden ojitukset voivat lisätä ekosysteemien N_2O -päästöjä, mutta merkitykseltään vaikutukset N_2O -päästöihin ovat vähäisempiä kuin toimenpiteiden vaikutukset muiden kasvihuonekaasujen (CO_2 ja CH_4) taseisiin.

Maailmanlaajuisesti N_2O -päästöjen merkitys kasvihuonekaasuilmion voimistumisessa on arvioitu pienemmäksi kuin hiilidioksidin, metaanin ja halogenoitujen hiilivetyjen (CFC-yhdisteiden ja vastaavien) ja tutkimukset päästölähteiden voimakkuuksista ovat ehkä siksi olleet vähäisiä. Voimakkaat kytkennät luonnon ja ihmisen toiminnan päästöjen välillä ovat myös vaikeuttaneet ihmisen toiminnan vaikutuksen arvioimista.

Taulukko 14. Arvioidut Suomen N₂O-päästöt (Gg N₂O/a) vuosina 1990 ja 1994. Taulukossa on esitetty myös aikaisemmin arvioidut Suomen maaraportin (Boström 1994; Pipatti 1994; Finland's National Report under the United Nation's Framework Convention on Climate Change 1995) mukaiset päästöt vuodelle 1990. Esitetyt energiansektorin päästöt on arvioitu Tilastokeskuksen ILMARI-mallilla (Grönfors 1996) ja luonnon päästöt perustuvat Suomalaisen ilmakehänmuutosten tutkimusohjelman (SILMUn) tuloksiin (Kanninen 1992 ja Kuusisto et al. 1996).

Päästöluokka	1990 Aikaisempi arvio	1990	1994
1 Energia	7,6	4,6*	5,8
1 A Poltto	7,6	4,6*	5,8
1 A 1 Energiantuotanto ja -muuntoteollisuus	0,8	1,3*	1,7
- savukaasut	0,8	0,8*	1,3
- typpilaskeuma	EA	0,5	0,4
1 A 2 Teollisuus	0,8	0,8*	1,2
1 A 3 Liikenne	5,2	1,8*	2,1
- pakokaasupäästöt	5,2	0,9*	1,2
- typpilaskeuma	EA	0,9	0,9
1 A 4 Pienpoltto	0,7	0,7*	0,9
2 Teollisuusprosessit	3	3,1	2,6
- prosessipäästöt	3	3,0	2,5
- typpilaskeuma	EA	0,1	0,1
4 Maatalous	12,4	10,4 (5 - 14)	8,4 (5 - 12)
- typpikuormituksen päästöt	6	6 (1 - 10)	4 (1 - 8)
- viljelyksen/suopeltojen päästöt	6	4**	4
- typpilaskeuma	0,4	0,4	0,4
Kansainvälinen ilmailu ja laivaliikenne	1,2	1,2*	0,9
Typpilaskeuma	1,9	(1,9)***	(1,8)***
Ihmisen toiminta yhteensä	25,7	19,3	17,7
Metsät	0,3 - 50		3
Luonnontilaiset suot	?		0,5
Ojitetut suot	?		1
Vesistöt	0,3 - 30		?
Luonto yhteensä	0,6 - 80		4,5
Kaikki yhteensä	26,3 - 105,7		22,2

* Vuoden 1990 energiasektorin päästöjä ei ole päivitetty ILMARI-mallilla, joten annetut arvot perustuvat aikaisempaan arvioon (Boström 1994). Tieliikenteen osalta on käytetty LIISA95-mallilla laskettuja päivitettyjä arvoja (Mäkelä et al. 1996).

** Oletettu samansuuruisiksi kuin vuonna 1994

*** Ilmoitettu asianmukaisen toimialan kohdalla; kohdassa 1 A 1 annettu päästöarvio sisältää myös kohtien 1 A 2 ja 1 A 4 NO_x-päästöjen typpilaskeumasta aiheutuvat päästöt

4 METAANI- JA DITYYPPIOKSIDIPÄÄSTÖJEN ARVIOITU KEHITYS

4.1 Perusskenaariot

Metaani- ja dityppioksidipäästöjen kehitysarviot vuoteen 2010 perustuvat sektoreittaisiin arvioihin odotettavista päästöjä tuottavien toimintojen volyyymi- ja rakennemuutoksista. Perusskenaarioissa kehitysarvio perustuu arvioihin, joihin ei sisälly varsinaisia päästöjen alentamiseen tähtääviä toimenpiteitä. Päästöjen alentamisen mahdollisuuksia ja kustannuksia tarkastellaan vähentämiskenaarioissa.

Taulukossa 15 on esitetty perusskenaarion mukainen arvio metaani- ja dityppioksidipäästöjen kehittymisestä Suomessa vuodesta 1990 vuoteen 2010. Kansainvälinen liikenne on rajattu tarkastelun ulkopuolelle.

Taulukko 15. Metaani- ja dityppioksidipäästöjen arvioitu kehitys vuoteen 2010 mennessä. Suluissa esitetyissä arvioissa tieliikenteen päästöt on laskettu de Soeten (IPCC 1995) arvioimien päästökertoimien mukaan.

Päästölähde	CH ₄ -päästöt		N ₂ O-päästöt	
	1994 Gg CH ₄ /a	2010 Gg CH ₄ /a	1994 Gg N ₂ O/a	2010 Gg N ₂ O/a
1 Energia	16	18	6 (7)	12 (14 - 16)
- kiinteät lähteet	13	14	4	8
- liikenne	3	4	2 (3)	4 (6 - 8)
2 Teollisuusprosessit	4	6	3	3
4 Maatalous	93	78	9	8
6 Jätteet	132	126		
YHTEENSÄ	245	228	18 (19)	23 (25 - 27)

Energiasektorin kiinteiden lähteiden päästöt vuonna 2010 on laskettu suhteuttamalla ILMARI-mallilla arvioidut vuoden 1994 päästöt primäärienergian kulutuksen muutosennusteisiin. Lisäksi on otettu huomioon arvioidut keskimääräisiin päästökertoimiin merkittävästi vaikuttavat muutokset energialähteissä ja polttotekniikassa.

Primäärienergian kulutuksen on arvioitu kasvavan kauppaja- ja teollisuusministeriön (1997) laatiman nk. energiamarkkinaskenaarion mukaan yli 20 prosenttia vuoteen 2010 mennessä. Uusien kiinteitä polttoaineita polttavien vastapainevoimalaitosten oletetaan soveltavan pääasiallisesti leijupolttoa (hiilivoimaloissa kokonaan, muita polttoaineita käyttävissä voimaloissa 80 prosenttisesti leijupolttoa). Sähkön erillistuotannon oletetaan soveltavan hiilen pölypolttoa myös uusissa laitoksissa. Voimalaitoskannan oletetaan uusiutuvan 3 prosentin vuosivauhtia.

Energiantuotannon metaanipäästöjen on arvioitu kasvavan vähemmän kuin primäärienergian kulutus kasvaa. Päästöt on arvioitu polttoaineittain ja arvioidun puun lisääntyneen käytön energialähteenä on oletettu tapahtuvan kokonaan laitostakaaavan kattiloissa. Tästä aiheutuva vaikutus puunpolton keskimääräiseen päästökertoimeen on otettu huomioon laskuissa. Muita tekniikoissa tai polton mitataavassa tapahtuvia muutoksia ja niiden vaikutuksia metaanipäästöihin ei ole arvioitu.

Energiasektorin N_2O -päästöt kasvavat suhteessa enemmän kuin mitä primäärienergian kulutus kasvaa. Leijupolton yleistyminen lisää hiilen, turpeen ja puunpolton N_2O -päästöjä merkittävästi. Esimerkiksi hiilen pölypolton keskimääräinen päästökerroin on noin 3 mg N_2O /MJ, kun vastaava päästökerroin leijupoltolle on 70 mg N_2O /MJ.

Liikenteen päästöt vuonna 2010 on laskettu suhteuttamalla vuoden 1994 päästöt kauppaja- ja teollisuusministeriön (1997) energiamarkkinaskaariaarion mukaisiin bensiinin, dieselin ja petrolin kulutuksen muutosennusteisiin. Lisäksi katalysaattoreiden arvioitu yleistyminen on otettu huomioon päästöjen arvioinnissa. Tieliikenteen N_2O -päästöt on laskettu myös de Soeten (IPCC 1995) antamien päästökerointen mukaan. De Soeten päästökerointen avulla lasketut päästöt kuvaavat paremmin päästöjen suhteellista kasvua, sillä niissä autojen katalysaattoreiden vanhenemisen vaikutus päästöihin tulee otetuksi huomioon. Myös De Soeten päästökertoimilla lasketut päästöt on siksi annettu taulukossa 15 suluissa.

Liikenteen metaanipäästöt kasvavat arvion mukaan vähemmän kuin polttoaineiden kulutus kasvaa. Bensiinikäyttöisten autojen päästöjä vähentää katalysaattoreilla varustettujen autojen yleistyminen.

Tieliikenteen N_2O -päästöt ovat kasvussa: katalysaattorilla varustettujen autojen lisääntyminen ja vanhentuneiden katalysaattoreiden osuuden kasvaminen lisäävät päästöjä. Energiantuotannon ja tieliikenteen päästöjen lisääntymisen myötä energisektorista on tulossa merkittävin ihmisen toiminnan N_2O -lähde Suomessa.

Terästeollisuuden volyymin oletetaan kasvavan noin 60 prosenttia vuoteen 2010 mennessä. Teollisuuden metaanipäästöjen oletetaan kasvavan samassa suhteessa.

Typpihapon suurin käyttäjä on lannoiteteollisuus. Euroopan unionin tuki- ja ympäristöpolitiikka tulee vaikuttamaan ratkaisevasti Suomen maatalouden kehitysnäkymiin lähivuosina. EU:n maatalouden ympäristöohjelma suosii maatalouden laajaperäistämistä ja siten väkilannoitteiden käytön vähentämistä. Väkilannoitteiden käytön vähentymisen vaikutukset typpihapon valmistukseen arvioidaan kuitenkin vähäiseksi ja valmistusprosessin N_2O -päästöjen arvioidaan säilyvän nykyisen suuruisina.

Maatalouden kehittämisen ennustaminen on vaikeaa eikä Suomessa ole laadittu siihen liittyviä pitkän ajan virallisia kehitysarvioita. Suomen liittyminen Euroopan Unioniin vuoden 1995 alusta on muuttanut maatalouden tukijärjestelmiä merkittä-

västi. Entisestä suurelta osiin tuotantomääriin perustavasta tuesta eläinyksikkö- ja pinta-alapohjaiseen tukeen siirtyminen sekä alueellisten erojen ja ympäristötukien korostuminen ovat muuttamassa maatalouden volyyymiä ja rakennetta.

Nautojen ja kanojen määrän arvioidaan vähentyvän vuoden 1994 määrästä, kun sikojen ja hevosten määrä säilyy arvion mukaan nykytasolla ja lampaiden määrä kasvaa. Maidontuotannon oletetaan kasvavan 5 869 kg:sta 6 700 kg:aan lypsylehmää kohti. Kotieläinten lukumäärissä tapahtuvat muutokset vähentävät lähes 20 prosenttia niiden ruoansulatuksesta aiheutuvia metaanipäästöjä. Lannan päästöt säilyvät lähes nykyisen suuruisina, koska suurin osa päästöistä on peräisin sikojen liettelannasta, jonka volyyymi ei arvion mukaan muutu.

Väkilannoitteiden, lannan ja lietteiden levityksestä pelloille aiheutuvat N₂O-päästöt vähenevät arvion mukaan noin 20 prosenttia.

Jätteiden käsittelyn päästöt ovat pääasiassa peräisin kaatopaikoilta. Kaatopaikkasijoitus on vielä tällä hetkellä yleisin jätteidenkäsittelymenetelmä Suomessa. Vuonna 1994 voimaan astunut uusi jätelaki ja suunnitteilla olevat uudet kaatopaikkamää-rykset muuttavat jätehuoltoa merkittävästi. Kaatopaikoille vietävää jätettä halutaan vähentää mm. lisäämällä jätteiden lajittelua, jättemateriaalin kierrätystä ja hyötykäyttöä. Biojätteiden ja lietteiden käsittelyssä kompostointi ja laitosmainen anaerobinen käsittely nk. biokaasulaitoksissa on yleistymässä. Myös jätteiden energiakäyttö on lisääntymässä.

Perusskenaariossa jätehuollon oletetaan säilyvän nykyisen kaltaisena. Viime vuosina tapahtunut jätteiden kaatopaikkasijoituksen vähentyminen vähentää metaanipäästöjä, mutta kaatopaikkasijoituksen ja päästöjen välisen suuren viiveen takia päästöt kääntyvät laskuun hitaasti.

Myös kaatopaikkakaasun talteenotto ja poltto joko soihdussa tai energiantuotannossa on yleistymässä. Perusskenaariossa kaatopaikkakaasun talteenoton oletetaan kasvavan noin kaksinkertaiseksi vuoden 1994 tilanteeseen verrattuna. Oletus perustuu jo käyttöön otettujen tai rakenteilla oleviin talteenottojärjestelmiin. Talteenotto vaikuttaa metaanipäästöihin välittömästi ja sen vaikutuksia tarkastellaan tarkemmin päästöjen vähennyspotentiaalia ja kustannuksia käsittelevässä luvussa.

4.2 Päästöjen vähentämiskenaariot

Päästöjen vähentämiskenaarioissa tarkastellaan mahdollisuuksia vähentää metaani- ja typpioksiduulipäästöjä erilaisilla teknisillä toimenpiteillä. Päästöjä aiheuttavan toiminnan volyymin pienentämistä ei tarkastella vähentämistoimenpiteenä. Päästöjen vähentämisen mahdollisuuksia verrataan perusskenaariota päästöihin ja päästöjen alentamisen kustannukset arvioidaan ensisijaisesti kotimaisiin tietoihin perus-tuen ja toissijaisesti ulkomaisten tutkimusten perusteella.

4.2.1 CH₄-päästöjen vähentämisen mahdollisuudet ja kustannukset

Energiasektori

Perusskenaariossa energiasektorin päästöt vuonna 2010 on arvioitu noin 18 Gg:ksi CH₄ (noin 8 prosenttia ihmisen toiminnan aiheuttamista metaanipäästöistä Suomessa). Kasvu vuoteen 1994 verrattuna on noin 10 prosenttia eli merkittävästi vähemmän kuin energiankulutuksen arvioitu kasvu samana aikana. Energiantuotannon ja -kulutuksen arvioituun kasvuun nähden päästöjen pienempi kasvu selittyy arvioidulla puun pienpolton osuuden vähenemisellä ja katalysaattoreilla varustettujen autojen lisääntymisellä.

Energiasektorin metaanipäästöjä voidaan vähentää merkittävästi samoilla toimenpiteillä kuin hiilidioksidipäästöjä, energian kulutusta vähentämällä ja tehostamalla energiantuotantoa. Energiasektorin metaanipäästöjen merkitys on pieni, ja toimenpiteillä tullaan ensisijaisesti tavoittelemaan CO₂-päästöjen ja happamoittavien päästöjen vähentämistä. Metaanipäästöjen vähentämisen kustannuksia ei tästä syystä ole arvioitu, kuten ei myöskään vähentämisen mahdollisuuksia. Mahdollisuudet metaanipäästöjen vähentämiseksi ovat hyvät, mutta niiden toteutuminen riippuu valittavasta CO₂-vähennysstrategiasta.

Teollisuus

Teollisuuden metaanipäästöjen (noin 6 Gg vuonna 2010; alle 3 prosenttia kokonaispäästöistä) vähentämistoimenpiteitä ei ole tarkasteltu. Päästöarvion epävarmuudet ovat suuret ja päästöjen merkitys kokonaisuuden kannalta on pieni. Päästöjen vähennystoimenpiteiden tarkastelu edellyttäisi päästöihin vaikuttavien tekijöiden parempaa tuntemusta.

Maatalous: Kotieläinten ruoansulatus

Maatalouden metaanipäästöistä suurin osa on peräisin kotieläinten ruokinnasta. Kotieläimet menettävät osan ruokinnan kautta saamastaan energiasta metaanituotantoon ja metaanituotannon vähentäminen lisää energiamäärää, joka on käytettävissä kasvuun ja maidontuotantoon. Korkeatuottoiset eläimet tuottavat enemmän metaania eläintä kohti, mutta päästöt tuotettua maitolitraa tai lihakiloa kohti ovat pienemmät.

Kotieläinten ruoansulatuksesta aiheutuvien päästöjen (vajaat 70 Gg vuonna 2010) osuus Suomen ihmisen toiminnan aiheuttamista metaanipäästöistä on suuri, arviolta noin 30 prosenttia vuoden 2010 päästöistä. Päästöt ovat miltei kokonaan nautakarjan aiheuttamia ja lypsylehmät ovat näistä merkittävin eläinryhmä. Nautojen ruoansulatuksen päästöjen vähentämiseen tähtäävät toimenpiteet voidaan jakaa kolmeen ryhmään (IPCC 1996c):

- eläinten ruokinnan laadun ja ravinnetasapainon kehittäminen,
- eläinten ruoansulatuskyvyn kasvattaminen ja
- eläinten geeniperimän ja jälkeläisten tuottokyvyn parantaminen.

Suomessa ruokintasuosituksukset perustuvat rehun ruokinnallisten arvojen ja eläinten ravinnontarpeen laskentaan (Helander & Mälkiä 1994). Suositusten noudattaminen tiloilla vaihtelee tilanhoitajan tietojen, rehujen saatavuuden, hintojen ja muiden vastaavien tekijöiden mukaan. Kotimaisia rehuja on suosittu ruokinnassa ja nk. karkearehujen osuus nautakarjan ruokinnassa on ollut suuri. Karkearehujen käyttöön perustuvan ruokinnan metaanipäästöt ovat suuremmat kuin viljapohjaisen ruokinnan päästöt (Gibbs & Leng 1993).

Nautojen ruokintaa ja ruoansulatuskykyä voidaan parantaa monilla toimenpiteillä (EPA 1993), esimerkiksi

- parantamalla alhaisen sulavuuden omaavien rehujen sulavuutta (mm. olkien emäs- tai ammoniakkikäsittely tai pilkkominen),
- muuttamalla pötsin mikrobi- ja pieneläinkantaa
- erilaisilla strategisilla ravinnelisäyksillä, jotka lisäävät pötsin mikrobikantaa ja siten tehostavat ruoansulatusta
- Kasvuhormonien ja anabolisten steroidien avulla voidaan lisätä tehokkaassa ruokinnassa olevien nautojen lihan ja maidontuotantoa (toimenpide ei ole sallittu Euroopan unionissa).

Eläinten tuottavuudessa on rodullisia ja yksilöllisiä eroja. Kehittämällä eläinten perimää risteytysten ja geenitekniikan avulla voidaan parantaa eläinten tuottavuutta ja sitä kautta vähentää metaanipäästöjä. Etenkin lihakarjan kohdalla jälkeläisten tuottokyvyn lisääminen (keinosiemennys, keinohedelmöitys, kaksosraskaudet) vähentää tuotannossa tarvittavien eläinten määrää ja sitä kautta päästöjä.

Nautakarjan ruokinnan tehostamisella on arvioitu voitavan vähentää metaanipäästöjä maailmanlaajuisesti 15 - 60 prosenttia (EPA 1993). Suurin päästöjenvähentämispotentiaali on kehitysmaissa ja siirtymätalouden maissa. Suomen päästöjenvähennyspotentiaalia ei ole arvioitu, mutta kovin suuria vähennyksiä päästöihin ei ole odotettavissa. Päästöjen vähentämisen kustannukset vaihtelevat paljon; optimaalinen ravinnonsaanti ruokinnassa tarkoittaa käytännössä tuottavuuden parantamista, eläinten hyvinvoinnin lisääntymistä ja ylikuokinnan vähenemistä. Monet toimenpiteet eivät kasvata kustannuksia vaan voivat jopa vähentää niitä.

Maatalous: Lannan käsittely ja varastointi

Lannan käsittelystä aiheutuvat metaanipäästöt ovat merkitykseltään vähäisempiä kuin kotieläinten ruoansulatuksen päästöt: arvion mukaan noin 4 prosenttia ihmisen toiminnan aiheuttamista metaanipäästöistä Suomessa vuonna 2010 on peräisin kotieläinten lannasta.

Lannan käsittelyn ja varastoinnin päästöjä voidaan vähentää mm. tehostamalla metaanituotantoa anaerobisessa reaktorissa ja ottamalla muodostunut kaasu talteen. Tällaiset anaerobireaktorit voivat olla tilakohtaisia tai laitosmaisia, nk. bio-kaasu-laitoksia. Kompostoimalla lanta voidaan metaanin muodostumista estää pitämällä lanta hapellisissa olosuhteissa ja siten vähentää päästöjä. Koneellista kompostointia suositaan, sillä aumakompostoinnissa ravinnevalumien estäminen on vaikeaa.

Lannan biokaasutuksesta ja kompostoinnista on saatavissa kustannustietoa sekä kotimaisista että ulkomaisista tutkimuksista (mm. Lehtimäki 1995; Klemola & Malkki 1995; de Jager & Blok 1996). Kompostoinnista ja biokaasutuksesta aiheutuvat kustannukset voivat vaihdella paljon tilakohtaisesti. Biokaasulaitoksissa kuljetusmatkat vaikuttavat paljon kustannuksiin.

Lannan kompostoinnilla ja biokaasutuksella on myös muita ympäristövaikutuksia; menetelmät vähentävät lannan levityksestä aiheutuvaa vesistökuormitusta ja pienentävät levityksen hajuhaittoja. Ammoniakki- ja dityppioksidipäästöt voivat sen sijaan lisääntyä, ellei samalla ryhdytä toimenpiteisiin myös näiden päästöjen torjumiseksi. Mikäli biokaasutuksessa muodostuva kaasu voidaan käyttää hyväksi energiantuotannossa, voidaan sillä korvata fossiilisia polttoaineita ja siten vähentää niiden poltosta aiheutuvia CO₂-päästöjä.

Tässä työssä arvioitiin lannan tilakohtaisen rumpukompostoinnin ja laitospölyn biokaasutuksen metaanipäästöjen vähentämisen kustannustehokkuutta Lehtimäen (1995) sekä Klemolan ja Malkin (1995) tutkimuksiin perustuen. Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 16, jossa on annettu myös de Jagerin & Blokin (1996) tulokset Alankomaille tehdyistä tarkasteluista.

Sekä kompostoinnin että biokaasutuksen on arvioitu vähentävän lannankäsittelyn metaanipäästöjä 70 prosenttia. Soveltuvuus mainittujen toimenpiteiden käyttöönottoon on oletettu erilaiseksi: kompostoinnille 80 prosenttia ja biokaasutukselle 50 prosenttia. Sekä lannan kompostoinnissa että biokaasutuksessa syntyy humusta, jota voidaan myydä lannoitteeksi. Humuksen kysyntä ja myyntihinta vaihtelee paljon: mm. humuksen laatu vaikuttaa myyntihintaan. Bioreaktoreissa muodostuvalla kaasulla voidaan tuottaa lämpöä ja sähköä. Tuotetun lämmön markkinointi ei aina ole mahdollista ja myyntitulot tältä osin ovat epävarmoja. Tästä syystä humuksen ja tuotetun energian myynnistä saatavat mahdolliset tuotot on esitetty erikseen.

Metaanipäästöjen vähentämisen kannalta sekä kompostointi että lannan biokaasutus ovat Suomessa kalliita toimenpiteitä. Kylmästä ilmastosta johtuen lannasta aiheutuvat metaanipäästöt ovat Suomessa pienet lämpimiin maihin verrattuna ja tästä syystä ominaiskustannukset (mk/vähennetty CH₄-tonni) ovat suuret. Verrattuina toimenpiteistä sian lietalannan ja kanan kuivikelannan kompostointi olisivat kustannuksiltaan edullisimpia metaanipäästöjen vähentämistoimenpiteitä, noin 20 000 - 30 000 mk vähennettyä CH₄-tonnia kohti.

Arviossa kompostoinnissa tai biokaasutuksessa muodostuva humus oletetaan myytävän irtotavarana. Mikäli humus voidaan myydä säkitettynä puutarhalannoitteeksi pienkuluttajille, ovat tuotot merkittävästi suuremmat ja toiminta voi muodostua huomattavasti edullisemmaksi.

Taulukko 16. Lannan metaanipäästöjen vähentämisen mahdollisuudet kompostoi-
malla ja biokaasuttamalla sekä arvioidut toimenpiteistä aiheutuvat kustannukset
Suomessa. Lisäksi taulukossa ovat de Jagerin ja Blokin (1996) tulokset vastaavis-
ta Alankomaille tehdyistä arvioista.

Toimenpide	Vähennys vuoden 2010 CH ₄ - päästöissä t CH ₄	Kustannukset mk/t CH ₄	Tuotot* mk/t CH ₄	Netto- kustannukset mk/t CH ₄
Rumpukompostointi**				
Lypsylehmät, lietelanta	600	200 000	130 000	70 000
Lypsylehmät, kuivikelan- ta	400	1 400 000	900 000	500 000
Muut naudat, lietelanta	1 100	220 000	140 000	80 000
Muut naudat, kuivikelan- ta	100	1 400 000	900 000	500 000
Siat, lietelanta	3 000	70 000	50 000	20 000
Siat, kuivikelanta	100	700 000	500 000	200 000
Lampaat, kuivikelanta	10	1 100 000	700 000	400 000
Hevoset, kuivikelanta	40	1 400 000	900 000	500 000
Kanat, kuivikelanta	200	110 000	90 000	30 000
Yhteensä	5 600			
Yhteiset bioreaktorit***				
Lypsylehmät, lietelanta	400	170 000	10 000	160 000
Muut naudat, lietelanta	700	190 000	10 000	180 000
Siat, lietelanta	1 900	64 000	4 000	60 000
Yhteensä	3 000			
de Jager & Blok 1996****				
Biokaasutus, suuri mittakaava		1 400	1 700	-300
pieni mittakaava (mesofiilinen)		2 900	1 600	2 300

* humuksen ja sähkön myynnistä saatavat tuotot (oletusarvot Suomelle: humuksen myynti 50 mk/tonni ja sähköntuotanto 150 mk/kWh)

** laskettu Klemolan ja Malkin (1995) kustannustietoihin perustuen

*** laskettu Lehtimäen (1995) kustannustietoihin perustuen; kuljetuskustannukset arvioitu kolme kertaa suuremmiksi kuin keskimäärin Tanskassa

**** de Jager & Blok: Alankomaiden olosuhteisiin lasketut vähentämiskustannukset

Kaikki taulukossa esitetyt numeroarvot on pyöristetty yhden tai kahden merkitsevän numeron tarkkuudella. De Jagerin ja Blokin (1996) kustannustiedot on muutettu markoiksi käyttämällä dollarille kurssia 1 \$ = 4,7 mk.

Jätteet

Jätehuolto on merkittävin ihmisen toimintaan liittyvä metaanipäästöjen aiheuttaja Suomessa. Vuonna 2010 jätehuollon päästöjen arvioidaan perusskenaarion mukaan muodostavan yli puolet ihmisen toiminnan aiheuttamista metaanipäästöistä Suomessa. Jätteiden kaatopaikkasijoitus vastaa valtaosasta päästöjä, alle 10 prosenttia jätesektorin päästöistä tulee jätevedenkäsittelystä.

Jätteiden kaatopaikkasijoituksen metaanipäästöjä voidaan vähentää pienentämällä kaatopaikoille vietävän jätteen määrää ja ottamalla talteen kaatopaikoilta syntyvä kaasu ja polttamalla se joko soihdussa tai energiantuotannossa. Mikäli jätekertymä pysyy samana tai kasvaa, voidaan kaatopaikkasijoitusta vähentää käsittelemällä jätteitä esimerkiksi kompostoimalla, biokaasulaitoksissa tai polttamalla.

Jätteiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutuksia jätehuollon kasvihuonekaasupäästöihin on tarkasteltu VTT Energiassa tehdyssä tutkimuksessa (Pipatti et al. 1996b; Vesterinen 1996; Wihersaari & Pipatti 1996). Tutkimuksen mukaan jätehuollon kasvihuonevaikutusta voidaan vähentää eniten polttamalla kaikki jätteet tai osa jätteistä. Myös kaatopaikkakaasun talteenotolla, biojätteiden kompostoinnilla tai anaerobisella käsittelyllä voidaan vähentää jätehuollon kasvihuonekaasupäästöjä. Kaatopaikkakaasun talteenotto todettiin kustannustehokkaimmaksi keinoksi vähentää päästöjä suurilla kaatopaikoilla. Koska ko. tutkimuksessa tarkasteltiin myös muita jätehuollon kasvihuonekaasupäästöjä kuin metaanipäästöjä, ei tutkimuksen tuloksia voi suoraan soveltaa tässä työssä.

Toimenpiteet, jotka tähtäävät kaatopaikoille vietävän jätemäärän vähentämiseen (kompostointi, biokaasulaitokset, poltto), vähentävät ainoastaan sillä hetkellä käsiteltävistä jätemääristä aiheutuvia päästöjä ja vaikuttavat siten enemmän tulevaisuuden päästöihin kuin kaatopaikkojen senhetkisiin päästöihin. Kompostoinnissa ja biokaasulaitoksissa syntyy kaatopaikkasijoitukseen nähden merkityksettömän vähän kasvihuonekaasupäästöjä. Myös jätteiden polton kasvihuonekaasupäästöt ovat pienet kaatopaikkasijoitukseen nähden, ja jos poltossa tuotettu energia voidaan käyttää hyödyksi, voidaan samalla vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja sitä kautta niistä aiheutuvaa kasvihuonevaikutusta. Tämä pätee myös kaatopaikkakaasun ja biokaasulaitosten tuottaman kaasun energiakäyttöön (Pipatti et al. 1996b).

Kaatopaikkakaasun talteenotolla kaatopaikkojen metaanipäästöjä voidaan vähentää tehokkaasti. Talteenotolla saadaan talteen 50 - 90 prosenttia kaatopaikalla talteenoton aikana muodostuvasta kaasusta. Talteenoton kokonaistehokkuuteen (talteenotto-tehokkuus kaatopaikalle viedyn jätteen ajan yli integroidusta metaanintuottopotentialista) vaikuttaa paljon se, missä vaiheessa talteenotto aloitetaan, mitä talteenottomenetelmää käytetään ja miten kaatopaikan pinnan kautta mahdolliset metaanihäviöt on estetty. Oonkin ja Boomin (1995) tutkimuksissa kokonaistehokkuudet olivat 24 - 60 prosenttia.

Kaatopaikkakaasun talteenotto vaikuttaa kaatopaikkojen kokonaispäästöjen määrän vähentymiseen välittömästi. Kaatopaikkojen metaanipäästöjä on mahdollista vähentää myös muuttamalla olosuhteet kaatopaikoilla aerobisiksi ilmastointiputkien avulla tai imemällä ilmaa jätekerroksen läpi. Menetelmiä on käytetty Japanis-

sa ja Kaukoidässä ja saavutettavat vähennykset metaanipäästöissä ovat noin 50 prosenttia (EPA 1993).

Myös kaatopaikkojen peittämistä materiaalilla, joka edistää pintakerroksessa tapahtuvaa metaanin hapettumista hiilidioksidiksi on esitetty päästöjen vähentämiskeinoksi. Bognerin (et al. 1995) mittauksissa kaatopaikka toimi jopa metaaninieluna, kun kaatopaikkakaasun talteenoton lisäksi pintakerros hapetti tehokkaasti metaania. Pintakerroksessa tapahtuvan hapettumisen edistäminen on kiistatta hyvä keino metaanipäästöjen vähentämiseksi, mutta sen tehokkuutta erilaisissa olosuhteissa ei tunneta hyvin. Kaatopaikkakaasun talteenotto voi todennäköisesti myös vaikuttaa hapettumista edistävällä lisäämällä ilman virtauksia pintakerroksessa.

Kaatopaikkasijoituksen aiheuttamien metaanipäästöjen vähentämiseksi on siis tarjolla useita toimenpiteitä, joiden ajalliset vaikutukset päästöihin ovat erilaiset.

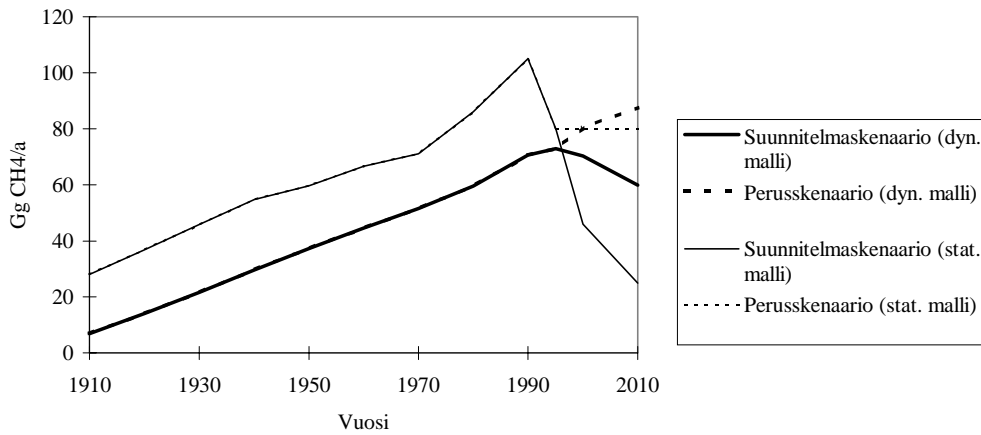
Jätesektorin päästöjen vähentämisen mahdollisuuksia on poikkeuksellisesti tarkasteltu kahdessa vähentämiskenaariossa. Nk. suunnitelmaskenaario perustuu valmisteilla oleviin suunnitelmiin rajoittaa jätteiden kaatopaikkasijoitusta ja lisätä kaatopaikkakaasun talteenottoa ja sitä on käytetty mm. ilmastopöytäkirjan mukaisessa Suomen nk. maaraportissa (Ympäristöministeriö 1997) jätesektorin metaanipäästöjen todennäköisenä kehitysarviona. Suunnitelmaskenaarion lisäksi vähennystoimenpiteiden mahdollisuuksia ja kustannuksia on tarkasteltu nk. laskennallisessa skenaariossa, jossa vertailukohtana on ollut nykyisen kaltainen jätteidenkäsittely.

Sekä suunnitelmaskenaariossa että laskennallisessa skenaariossa on tarkasteltu ainoastaan jätteiden kaatopaikkasijoituksesta aiheutuvien päästöjen vähentämistä. Jätevesienkäsittelyn metaanipäästöjen vähentämisen kustannustehokkuus on jätetty tarkastelun ulkopuolelle.

Suunnitelmaskenaariossa oletetaan kiinteiden yhdyskuntajätteiden kertyvän nykyisellä tasolla mutta kaatopaikoille vietävän jätteiden määrän vähentyvän merkittävästi, noin neljäsosaan jätekertymästä. Tavoite edellyttää suuria muutoksia jätteiden käsittelyyn ja vaikuttaa merkittävästi tuleviin metaanipäästöihin.

Suunnitelmaskenaarion mukaisen yhdyskuntajätteiden kaatopaikkasijoituksen vähentämisen merkitys metaanipäästöjen kehittymiseen esitetään kuvassa 3. Kuvassa on esitetty sekä dynaamisella että staattisella mallilla (ainetasemallilla) lasketut arvot. Dynaaminen malli kuvaa päästöjen ajallista käyttäytymistä todenmukaisemmin. Staattinen malli puolestaan antaa paremman kuvan jätteiden määrän vähentämisen vaikutuksesta metaanipäästöihin pitkällä tähtäimellä.

Suunnitelmaskenaariossa teollisuuden jätteiden (kiinteät jätteet ja lietteet) kaatopaikkasijoituksen oletetaan kasvavan vuosisadan vaihteeseen asti ja kääntyvän sitten laskuun. Yhdyskuntalietteiden kaatopaikkasijoituksen oletetaan pysyvän nykytasolla. Rakennusjätteiden kaatopaikkasijoituksen oletetaan vähenevän.



Kuva 3. Arvio yhdyskuntajätteen kaatopaikkasijoituksen aiheuttamista päästöistä Suomessa. Mikäli kaatopaikalle sijoitettava määrä pysyy nykyisellään (perusskenaario), kasvavat päästöt noin 20 prosenttia vuoteen 2010 mennessä. Jättemäärien vähentäminen suunnitelmaskaenaarion tavoitteiden mukaisesti vähentäisi päästöjä merkittävästi, mutta vaikutus näkyy vasta vuosien kuluttua.

Suunnitelmaskaenariossa kaatopaikkakaasun talteenotolla arvioidaan voitavan vähentää vuoden 2010 päästöjä noin 35 Gg CH₄. Arvio perustuu Petri Väisäsen (1997) arvioon talteenoton toteuttamisesta.

Suunnitelmaskaenarion mukaan jätesektorin metaanipäästöt ovat 90 Gg vuonna 2010. Kaatopaikkasijoituksen metaanipäästöt ovat perusskenaarion päästöihin nähden yli neljänneksen pienemmät. Suurin vaikutus päästöjen vähentymiseen on kaatopaikkakaasun talteenoton lisääntymisellä.

Laskennallisessa skenaariossa vähennystoimenpiteinä tarkastellaan kaatopaikkakaasun talteenottoa, jätteen biologista käsittelyä ja polttoa. Kaatopaikkakaasun talteenottoa on oletettu voitavan soveltaa sekä yleisille, yksityisille että teollisuuden kaatopaikoille ja talteenottopotentialiaali on määritetty suuremmaksi kuin suunnitelmaskaenariossa. Talteenoton keskimääräinen tehokkuus on arvioitu 70 prosentiksi ja sitä on arvioitu voitavan soveltaa kaatopaikoille, jotka tuottavat päästöistä 75 prosenttia, jos talteenotettu kaasu poltetaan soidussa. Kaatopaikoilla, jotka tuottavat 50 prosenttia päästöistä, talteenotetun kaasun energiaa arvioidaan skenaarion mukaan voitavan myös hyödyntää.

Laskennallisessa skenaariossa massapolto arvioidaan voitavan vähentää päästöjä vastaavan jättemäärän kaatopaikkasijoitukseen nähden 90 prosenttia. Yhdyskuntajätteen palavan jakeen poltto ja biojätteen kompostointi tai biokaasutus edellyttävät jätteen lajittelua, ja siksi näiden toimenpiteiden vähennystehokkuus on arvioitu alhaisemmaksi kuin massapolton, 70 prosentiksi jätejakeiden kaatopaikkasijoituksen päästöihin nähden.

Taulukkoon 17 on koottu laskennallisessa skenaariossa tarkasteltujen toimenpiteiden kustannusvaikutuksia ja niillä saavutettava vähennys perusskenaarion vuoden 2010 päästöihin nähden.

Taulukko 17. Jätteiden kaatopaikkasijoituksen metaanipäästöjen vähentämisen mahdollisuudet ja kustannukset laskennallisen skenaarion mukaan. Lisäksi taulukossa on annettu de Jagerin ja Blokin (1996) tulokset Alankomaille tehdyistä vastaavista arvioista.

Toimenpide	Vähennys vuoden 2010 CH ₄ - päästöissä t CH ₄	Kustannukset mk/t CH ₄	Tuotot* mk/t CH ₄	Netto- kustannukset mk/t CH ₄
Kaatopaikkakaasun talteenotto				
+ soihtu	64 000	350		350
+ sähköntuotanto	43 000	300	550	-250
+ lämmöntuotanto	43 000	300	350	-50
+ sähkön ja lämmön- tuotanto	43 000	300	900	-600
Yhdyskuntajätteiden poltto				
massapoltto	72 000*	9 500	3 500	6 000
palavan jakeen poltto	25 000*	3 300	1 900	1 400
Yhdyskuntajätteiden biologinen käsittely				
kompostointi	18 000*	58 000	11 000	47 000
anaerobinen käsittely	18 000*	71 000	16 000	55 000
de Jager & Blok (1996)				
Kaatopaikkakaasun talteenotto				
+ soihtu		40		40
+ sähköntuotanto		400	600	-200
Kompostointi		4 500	3 100	1 400
Anaerobinen käsittely		6 600	3 500	3 100
Massapoltto		47 000	10 000	37 000

Kaikki taulukossa esitetyt numeroarvot on pyöristetty yhden tai kahden merkitsevän luvun tarkkuudella. De Jagerin ja Blokin (1996) kustannustiedot on muutettu markoiksi käyttämällä dollarille kurssia 1 \$ = 4,7 mk.

* Vähennys potentiaalisissa tulevaisuuden päästöissä kaatopaikkasijoituksen (ilman talteenottoa) päästöihin verrattuna. Massapolton mahdollisuudet päästöjen vähentämisessä on arvioitu 90 prosentiksi, palavan jakeen polton ja biologisen käsittelyn 70 prosentiksi.

Tietoja päästöjä vähennystoimenpiteiden kustannuksista on saatu mm. Petri Väisäseltä (Sarlin-Hydor Oy, kaatopaikkakaasun talteenotto) ja IEA:n biokaasututkimusohjelmasta (IEA 1994) sekä kotimaisista ja ulkomaisista tutkimuksista (mm. Naturvårdsverket 1996; Uomala et al. 1989; Palanterä 1996). Palavan jakeen polton on oletettu tapahtuvan yhteispolttona jo toimivassa laitoksessa, eikä laitoksen investointikuluja ole siksi otettu huomioon kustannusarviossa.

Esitetyt kustannusarviot ovat karkeita ja paikalliset olosuhteet vaikuttavat kustannuksiin merkittävästi. Myös toimenpiteiden tehokkuudet ja soveltuvuus vaihtelevat paljon, mikä vaikuttaa ominaiskustannuksiin. Arvioidut kustannukset eivät siksi välttämättä vastaa yksittäisten vastaavien hankkeiden kustannuksia. Kustannusarviossa on otettu huomioon ainoastaan ko. toimenpiteen investointi- ja käyttökustannukset ja energian ja humuksen myynnistä saatavat tulot. Kaatopaikkasijoituksen vähentymisestä saatavaa kustannussäästöä tai vaikutusta lajittelusta tai kuljetuksista aiheutuviin kustannuksiin ei ole arvioitu, mistä johtuen päästöjen vähentämiskustannusten vertailu ei anna täysin oikeaa kuvaa niiden kokonaiskustannusvaikutuksista.

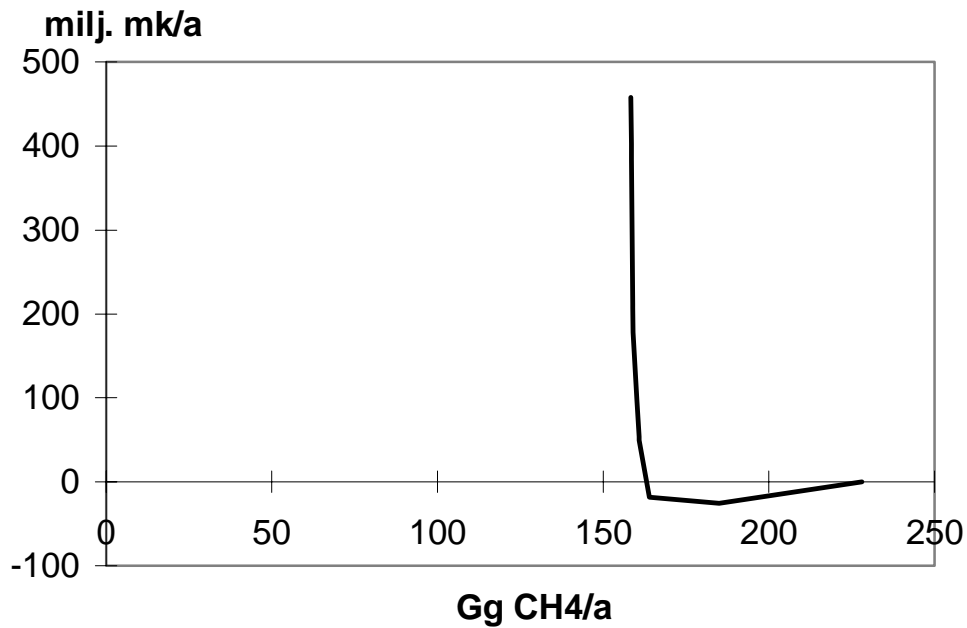
Kaatopaikkakaasun talteenotto on arvion mukaan selvästi edullisin vaihtoehto vähentää kaatopaikkojen metaanipäästöjä ja biologinen käsittely kallein. Tässä esitettävä kustannusarvio perustuu keskimääräisiin arvioihin Suomen kaatopaikkojen metaanintuotannosta ja toimenpiteiden tehokkuudesta. Suurilla kaatopaikoilla ominaispäästöt ovat suuremmat ja päästöjen vähentäminen kustannustehokkaampaa, pienillä tilanne on päinvastainen.

Taulukossa 17 on annettu tässä tutkimuksessa arvioitujen päästöjen vähentämiskustannusten lisäksi myös de Jagerin ja Blokin (1996) vastaavat arviot Alankomaille. Kaatopaikkakaasun talteenoton kustannusarviot on sekä tässä että de Jagerin ja Blokin (1996) tutkimuksissa arvioitu samansuuruisiksi, mikä on osittain yllättävää, sillä Alankomaiden suurten kaatopaikkojen metaanintuotanto jätemäärää kohti on arvioitu suuremmaksi kuin Suomessa. Kompostoinnin ja anaerobisen käsittelyn kustannukset on arvioitu suuremmiksi tässä kuin Alankomaita koskevassa tutkimuksessa. Erot ominaispäästökertoimissa ja jätehuollon volyyymeissa Suomessa ja Alankomaissa selittävät erot kustannustehokkuuksissa suurelta osin.

Polton ominaiskustannukset ovat tämän tutkimuksen mukaan pienemmät kuin de Jagerin ja Blokin (1996) tutkimuksissa. Jätteenpolton kustannuksiin vaikuttavat paljon mm. käytetty poltto- ja puhdistustekniikka, mikä saattaa osittain selittää kustannusarvioiden erot.

4.2.2 CH₄-päästöjen vähentämisen kustannustehokkuus

Yhteenveto Suomen metaanipäästöjen mahdollisuuksista ja kustannustehokkuudesta esitetään kuvassa 4. Kustannustehokkuus on laskettu perusskenaarion päästöihin nähden. Jätteiden vähentämisen kustannukset on arvioitu laskennallisen skenaarion mukaan. Kustannustehokkuus on laskettu toimenpiteiden nettokustannuksista (kustannukset - tuotto). Metaanipäästöjä voidaan kuvassa mukana olevilla toimenpiteillä vähentää yli 30 prosenttia (lähes 70 Gg CH₄/a). Suuri osa vähennyksestä voidaan tehdä alhaisin kustannuksin ottamalla talteen kaatopaikoilla syntyvä metaani. Arvion mukaan kaatopaikkakaasun talteenotolla voidaan vähentää päästöjä vuonna 2010 noin 60 Gg.



Kuva 4. Ihmisen toiminnan aiheuttamien metaanipäästöjen vähentämisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus Suomessa vuonna 2010. Päästöjen lähtötaso vastaa perusskenaarion kokonaispäästöjä.

Kuvan 4 kustannustehokkuusarviossa oletetaan, että kaksi kolmasosaa talteenotetusta kaasusta voidaan hyödyntää energiana (sekä lämpönä että sähköinä) ja yksi kolmasosa kaasusta poltetaan soihdussa. Yhdessä näiden kahden toimenpiteen kokonaisvaikutus kustannuksiin on negatiivinen. Jos kaikki talteenotettu kaasu poltettaisiin soihdussa, olisivat kustannukset noin 20 miljoonaa markkaa vuodessa. Mikäli noin puolet talteenotetusta kaasusta voidaan hyödyntää energiana, ovat toimenpiteen kustannusvaikutukset arvion mukaan negatiiviset.

Lannan käsittelyn metaanipäästöjen vähentäminen on arvion mukaan kallista ja saavutettava päästösäästö vähäinen (kustannustehokkuuskäyrän pystyosa).

Jätteiden polton ja biologisen käsittelyn kustannukset eivät ole mukana käyrässä, sillä niillä saavutettava metaanipäästöjen vähennys vaikuttaa päästöihin erilaisella aikajänteellä kuin muut tarkastelussa mukana olevat toimenpiteet. Yhdyskuntajätteen palavan jakeen polttaminen ja massapoltto sekä biojakeen kompostointi tai biokaasutus vähentävät metaanipäästöjä toimenpiteen käyttöönottohetkellä vain vähän, mutta pitkällä tähtäimellä päästöt vähenevät näillä toimenpiteillä merkittävästi, jopa kokonaan, jos orgaanisten jätteiden kaatopaikkasijoituksesta voidaan toimenpiteiden myötä kokonaan luopua.

Massapoltto vähentää yhdyskuntajätteiden kaatopaikkasijoitukseen (ilman kaatopaikkakaasun talteenottoa) verrattuna metaanintuottopotentialia noin 70 Gg/a ja, jos kaikki yhdyskuntajätteet vuonna 2010 poltettaisiin, olisivat nettokustannukset arvion mukaan 500 - 600 miljoonaa markkaa vuodessa. Yhdyskuntajätteen palavan jakeen yhteispoltto olemassa olevissa kattiloissa vähentäisi arvion mukaan metaanintuottopotentialia noin 30 Gg/a ja kustannukset olisivat noin 40 miljoonaa mk/a. Kustannustehokkuudeltaan toimenpide on edullisempi kuin massapoltto. Yhdyskuntajätteen biojakeen biologisella käsittelyllä voitaisiin metaanintuotto-

tentiaalia vähentää noin 20 Gg/a noin 0,5 - 1,6 miljardin markan vuosikustannuksilla.

Vuoteen 2010 mennessä jätteiden polton ja biologisen käsittelyn lisäämisen vaikutus päästöihin tulee olemaan vähäinen. Suunnitelmaskaariossa yhdyskuntajätteiden kaatopaikkasijoituksen oletetaan vähenevän merkittävästi, vuodesta 2005 lähtien noin 70 prosenttia perusskenaarioon nähden. Vaikutus yhdyskuntajätteiden kaatopaikkasijoituksen (ilman talteenottoa) vuoden 2010 päästöihin on alle 20 prosenttia ja vuoden 2020 päästöihin hieman yli 30 prosenttia.

Koska kaatopaikkasijoituksen vähentämisen ja kaatopaikkakaasun talteenoton vaikutus jätesektorin päästöjen vähentymiseen on tarkasteluaikana rinnakkainen, voidaan toimenpiteillä yhdessä vähentää jätesektorin metaanipäästöjä tehokkaasti.

Kustannustehokkuustarkastelussa oli mukana rajoitettu määrä toimenpiteitä, koska tietoa muiden toimenpiteiden tehokkuudesta ja kustannuksista ei ollut saatavilla. Ko. tarkastelu on karkea mutta osoittaa, että mahdollisuudet metaanipäästöjen vähentämiseksi ovat hyvät jätehuoltosektorissa. Kotieläinten ruoansulatuksen päästöt muodostavat merkittävän osan ihmisen toiminnan metaanipäästöistä Suomessa. Näiden päästöjen vähentämispotentiaali ja vähentämisen kustannukset tulisi selvittää tarkemmin tässä esitetyn kustannustarkastelun täydentämiseksi.

4.2.3 N₂O-päästöjen vähentämisen mahdollisuudet ja kustannukset

Energiasektori

Perusskenaariossa oletetaan energiansektorin N₂O-päästöjen lisääntyvän voimakkaasti. Energiasektorista on tulossa merkittävin N₂O-päästöjä tuottava sektori, ja vuonna 2010 noin puolet ihmisen toiminnan N₂O-päästöistä on arvion mukaan peräisin energiantuotannosta ja liikenteestä.

Energiantuotannon lisääntyvät päästöt johtuvat tuotannon ja leijupolton arvioidusta lisääntymisestä. N₂O-päästöt muodostavat kuitenkin vain pienen osan energiantuotannon kasvihuonekaasupäästöistä ja kasvihuonevaikutuksesta ja kannusteet energiansektorin päästöjen vähentämiseen tulevat lähinnä hiilidioksidipäästöjen ja happamoittavien päästöjen vähentämisestä.

Leijupolton N₂O-päästöihin vaikuttavat mm. käytetty polttoaine, lämpötila ja ilmakerroin. Polttoainevalinnoilla on suuri merkitys myös muiden kasvihuonekaasupäästöjen määrään, ja merkittävimmän kasvihuonekaasun, hiilidioksidin, päästöihin polttoainevalintojen vaikutus on samansuuntainen kuin dityppioksidin päästöihin turpeenpoltoa lukuun ottamatta.

Leijupolton olosuhteet voidaan optimoida sellaisiksi, että N₂O-päästöjen muodostuminen on vähäistä. Ongelmana on kuitenkin se, että leijupolton päästöt ovat riippuvaisia toisistaan ja N₂O-päästöjen vähentäminen kasvattaa helposti muita päästöjä. Esimerkiksi, kun lämpötilaa nostetaan, N₂O-päästöt vähenevät, mutta NO_x- ja SO₂-päästöt kasvavat. SO₂-päästöjen kasvu lämpötilaa nostettaessa johtuu kalk

kikiven rikinsidontakyvyn huonontumisesta. Ilmakertoimen laskeminen vähentää myös N₂O-päästöjä mutta alentaa samalla palamisen hyötysuhdetta ja lisää sitä kautta mm. CO₂-päästöjä (Kilpinen 1995; Marban et al. 1996).

Leijupolttokattilaa voidaan myös ajaa olosuhteissa, joissa NO_x- ja SO₂-päästöt ovat mahdollisimman pienet ja muodostunut N₂O poistetaan jälkikäteen polttamalla esimerkiksi maakaasua syklonissa. Kaasun palaminen nostaa lämpötilaa ja osa N₂O:sta hajoaa molekylaariseksi typeksi. Laboratoriokokeissa menetelmällä on saavutettu jopa 99 prosentin vähennys N₂O-määrissä. Myös N₂O:n katalyyttistä hajottamista erillisessä reaktorissa kalkkikiven avulla on tutkittu (Kilpinen 1995; Marban et al. 1996).

Leijupolton N₂O-päästöjen vähentämiseksi on siis olemassa keinoja, mutta tietoa niiden tehokkuudesta laitosmittakaavan kattiloissa ei ole saatavilla. Tästä syystä myöskään kustannustietoa vähennystoimenpiteistä ei ole saatavilla.

Tieliikenne on toinen tulevaisuuden N₂O-päästöjä merkittävästi kasvattava sektori. Katalysaattorilla varustetun auton N₂O-päästöt voivat olla viisi kertaa suuremmat kuin ilman katalysaattoria olevan auton. Katalysaattorin vanheneminen kasvattaa päästöjä vielä kaksin- - kolminkertaisiksi.

Teknisiä ratkaisuja katalysaattoriautojen N₂O-päästöjen vähentämiseksi ei vielä ole tiedossa. Moottorien kehittyminen siten, että polton NO_x-päästöt vähenisivät, vähentäisi myös N₂O-päästöjä, sillä suurin osa päästöistä muodostuu NO:n ja NO₂:n katalyyttisissä pelkistymisreaktioissa katalysaattorissa. Myös katalysaattoreiden kehittyminen voi tuoda ratkaisun ongelmaan. Autokannan hitaasta uusiutumisesta johtuen ei lähivuosina kuitenkaan ole juurikaan mahdollisuuksia päästöjen vähentämiseen liikennesuoritteita pienentämättä.

Energiasektori vaikuttaa myös epäsuorasti N₂O-päästöjen muodostumiseen NO_x-päästöjen aiheuttaman typpilaskeuman kautta. Lähitulevaisuuden NO_x-päästöjen vähennystavoitteet tulevat muotoutumaan valmisteilla olevan Euroopan päästöjen rajoittamista koskevan nk. typpipöytäkirjan sopimusneuvottelujen tuloksena. Tämän työn perusskenaariossa on päästöjen oletettu vähenevän neljänneksellä nykyisiin päästöihin verrattuna.

Teollisuus

Perusskenaariossa teollisuuden N₂O-päästöt vuonna 2010 oletetaan samansuuruisiksi kuin nykyiset päästöt eli noin 3 Gg N₂O, mikä on noin 13 prosenttia ihmisen toiminnan N₂O-päästöistä Suomessa.

Suomen teollisuuden kaikki arvioidut N₂O-päästöt ovat peräisin typpihapon valmistuksesta. Päästöjen vähentämiseksi on esitetty seuraavia menetelmiä (de Jager et al. 1996):

- N₂O:n katalyyttinen pelkistys typeksi ja hapeksi
- valmistusprosessin olosuhteiden optimointi
- valmistusprosessin vaihtaminen.

Prosessiolosuhteiden optimoinnilla de Jager (et al. 1996) arvioi voitavan alentaa päästöjä noin 10 prosenttia ilman kustannuksia. Vähennyspotentiaali on kuitenkin prosessikohtainen eivätkä vähennysmahdollisuuden arviointi ja validointi ole mahdollisia ilman laitoskohtaista tietoa.

Suomessa typpihappoa valmistetaan keskipaineprosessilla, joka Norsk Hydron (ks. sivu 27) määrittämien päästökerrointen mukaan tuottaa typpihappokiloa kohti 6 - 7,5 kg N₂O:ta, kun nykyaikaisen integroidun prosessin päästöt saman lähteen mukaan ovat alle 2 kg N₂O/typpihappokilo. Valmistusprosessin muuttaminen merkitsisi näillä arvoilla laskettuna parhaimmillaan yli 70 prosentin vähennystä päästöihin. Valmistusprosessin muuttaminen on kuitenkin pitkän tähtäimen toimenpide päästöjen vähentämiseksi eikä toimenpiteen kustannuksista tai hyödyistä ole tietoa saatavilla.

Dityppioksidin katalyyttinen pelkistäminen typeksi ja hapeksi on mahdollista. De Jagerin (et al. 1996) mukaan päästöjä on mahdollista vähentää katalyyttisellä pelkistyksellä 70 - 80 prosenttia käytetystä katalyytistä ja menetelmästä riippuen. Päästöjen vähentämisen ominaiskustannusten de Jager (et al. 1996) on arvioinut olevan noin 100 - 1 000 mk/t N₂O.

Typpihapon valmistuksen N₂O-päästöjä voidaan vähentää epäsuorasti vähentämällä valmistusprosessin NO_x-päästöjä. Menetelmä maksaa kuitenkin vähennettyä N₂O-tonnia kohti enemmän kuin N₂O:n katalyyttinen pelkistäminen, noin 3 000 - 8 000 mk/t N₂O. Myös muita menetelmiä tutkitaan typpihaponvalmistuksen N₂O-päästöjen vähentämiseksi, kuten poistokaasujen termistä hajoittamista, biosuodatimia ja fotokatalyyttistä N₂O:n pelkistämistä (de Jager et al. 1996).

Esitetyt menetelmät typpihapon valmistuksen N₂O-päästöjen vähentämiseksi ovat kaikki enemmän tai vähemmän kehitteillä tai kokeiluasteella. Tekniikat ovat kuitenkin lupaavia, ja annettujen tietojen mukaan päästöjä voidaan alentaa suhteellisen edullisesti (alle 1 000 mk/t N₂O). Esitetyt tekniikat kuluttavat kaikki energiaa ja niiden vaikutus muihin kasvihuonekaasupäästöihin tulisi vielä selvittää.

Maatalous

Maatalous on merkittävä N₂O-päästölähde niin maailmanlaajuisesti kuin Suomesakin. Vuonna 2010 maatalouden päästöjen (noin 8 Gg N₂O) arvioidaan olevan noin 30 prosenttia ihmisen toiminnan N₂O-päästöistä Suomessa. Päästöjen arviointiin liittyvät epävarmuudet ovat suuret ja erilaisten päästöjen vähentämiseen tähtäävien toimenpiteiden vaikutuksen arviointi on vaikeaa monien päästöihin vaikuttavien tekijöiden yhteisvaikutuksen takia.

Päästöjen vähentämisen uskotaan olevan mahdollista lannoituksen aiheuttamaa typpikuormitusta pienentämällä. De Jager (et al. 1996) esittää useita toimenpiteitä, jotka perustuvat lannoituksen tason, levitysjankohdan ja lannoitustekniikan optimointiin. Toimenpiteillä saavutettava N₂O-päästöjen vähentyminen Alankomaissa arvioitiin noin 5 prosentiksi. Toimenpiteistä ei arvioitu aiheutuvan kustannuksia lainkaan tai kustannusvaikutus arvioitiin negatiiviseksi. Alankomaiden tulosten soveltaminen Suomeen ei ole realistista; maatalous- ja lannoituskäytäntö ovat hyvin erilaiset, samoin viljelysmaiden maaperä ja ilmasto.

4.2.4 N₂O-päästöjen vähentämisen kustannustehokkuus

N₂O-päästöjen vähentämisen mahdollisuuksista ja kustannuksista on olemassa hyvin vähän tietoa. Ainoastaan typpihapon valmistuksen aiheuttamien päästöjen vähentämiskustannuksista on olemassa määrällistä tietoa, jota voidaan soveltaa Suomen olosuhteisiin. De Jagerin (et al. 1996) mukaan typpihapon valmistuksen päästöjä voidaan vähentää noin 70 - 80 prosenttia kohtuullisin kustannuksin (alle 1 000 mk/t N₂O). Suomen osalta tämä merkitsisi noin 2 Gg:n vähennystä vuotuisiin N₂O-päästöihin, mikä on noin 10 prosenttia vuoden 2010 arvioiduista päästöistä.

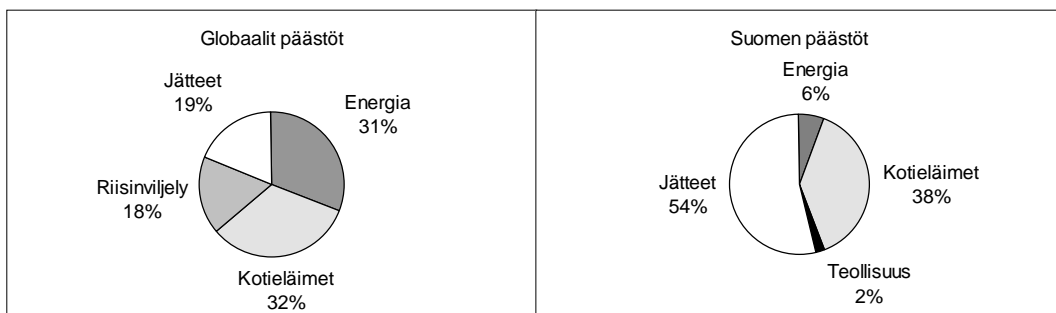
Leijupolton N₂O-päästöjen vähentäminen syklonissa tapahtuvalla jälkipoltolla on lupaava tekniikka, mutta toimenpiteen tehokkuutta ja kustannuksia laitosmittakavassa ei tunneta. Mikäli menetelmällä pystyttäisiin laitoksissa pääsemään samansuuruisiin vähennyksiin kuin laboratorionkokeissa, vähenisivät päästöt noin 4 Gg N₂O/a, mikä on noin 20 prosenttia vuoden 2010 arvioiduista päästöistä.

Katalysaattoriautojen aiheuttamien N₂O-päästöjen vähentämiselle ei ole vielä olemassa lupaava tekniikka, josta syystä liikenteen päästöjen mahdollista vähentymistä on vaikea arvioida.

Maatalouden N₂O-päästöjen vähentämisen mahdollisuudet ovat niin ikään vaikeasti arvioitavissa. Useita keinoja maanviljelyksestä ja lannoituksesta aiheutuvien päästöjen vähentämiseksi on esitetty, mutta niiden soveltuvuudesta ja tehokkuudesta sekä kustannusvaikutuksista Suomen oloissa ei ole tietoa. Alankomaissa on arvioitu voitavan vähentää lannoituksesta aiheutuvia päästöjä noin 5 prosenttia ilman, että toimenpiteistä aiheutuu kustannuksia (de Jager et al. 1996). Tutkimustuloksen soveltaminen Suomen oloihin ei kuitenkaan ole mahdollista, koska viljelyskäytäntö ja lannoitustaso ovat hyvin erilaiset ko. maissa.

5 TULOSTEN TARKASTELU

Ihmisen toiminnan aiheuttamat metaanipäästöt Suomessa ovat arvion mukaan noin 250 Gg/a. Merkittävin päästöjä aiheuttava sektori on jätehuolto ja erityisesti jätteiden kaatopaikkasijoitus, joka aiheuttaa noin puolet päästöistä. Karjanhoito on toinen suuri päästölähde, sen osuus päästöistä on noin 40 prosenttia. Muiden päästölähteiden merkitys on vähäinen. Suomesta puuttuu monia globaalisti merkittäviä ihmisen toimintaan liittyviä metaanipäästölähteitä (hiilikaivokset, maakaasulähteet ja riisinviljely). Siksi päästöjä aiheuttavien toimintojen jakauma on erilainen kuin keskimäärin maailmalla (ks. kuva 5).

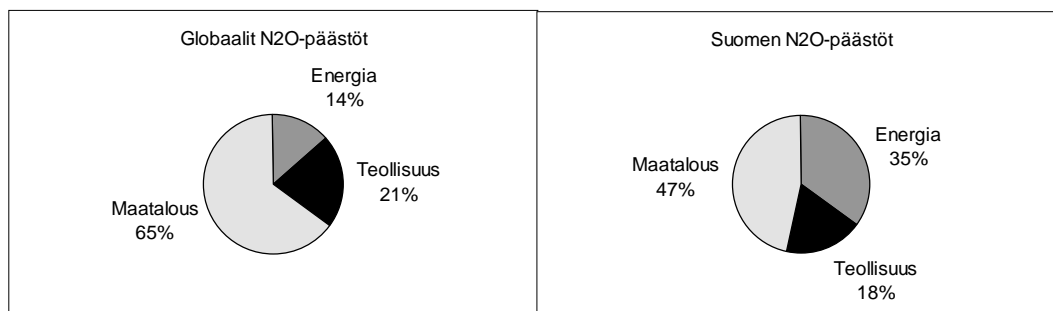


Kuva 5. Globaalit ja Suomen metaanipäästöt ihmisen toimintaan liittyvistä päästölähteistä. Globaalit päästöt on saatu IPCC:n päästöarvioista (IPCC 1996a) ja Suomen päästöt ovat tämän tutkimuksen vuoden 1994 päästöt.

Ihmisen toiminnan dityppioksidipäästöt tulevat Suomessa kolmesta merkittävästä lähteestä: maanviljely aiheuttaa noin puolet päästöistä, energiasektori noin 35 prosenttia ja typpihapon valmistus loput. Globaalit dityppioksidipäästöt tulevat pääosin maataloudesta, mutta myös teollisuuden (typpihapon ja adipiinihapon valmistuksen) päästöt ovat merkittävät. Energiasektorin N_2O -päästöjen merkitys on Suomessa paljon suurempi kuin globaalisti (ks. kuva 6).

Suomen osuus globaaleista ihmisen toiminnan aiheuttamista metaanipäästöistä on vähän yli puoli promillea ja dityppioksidipäästöistä noin kolme promillea. Koska Suomen väestö muodostaa noin promillen maailman väestöstä, tuottaa Suomi väkilukuunsa nähden vähän metaania mutta paljon dityppioksidia.

Päästöjen kehittymistä vuoteen 2010 ilman varsinaisia päästöihin kohdistuvia rajoitustoimenpiteitä on tarkasteltu nk. perusskenaariossa. Sen mukaan metaanipäästöjen arvioidaan vähentyvän vuoteen 2010 mennessä jätehuollossa ja maataloudessa tapahtuvien muutosten seurauksena. Dityppioksidipäästöjen oletetaan perusskenaariossa kasvavan vuoteen 2010 mennessä lähes 30 prosenttia. Päästöjen kasvu johtuu energiantuotannon ja liikenteen päästöjen oletetusta lisääntymisestä.



Kuva 6. Globaalit ja Suomen metaanipäästöt ihmisen toimintaan liittyvistä päästölähteistä. Globaalit päästöt on saatu IPCC:n päästöarviosta (IPCC 1996a) ja Suomen päästöt ovat tämän tutkimuksen vuoden 1994 päästöt.

Metaanipäästöjen vähentämisen mahdollisuudet ovat arvion mukaan hyvät ja jätehuoltosektorin osalta vähennystoimenpiteet ovat kustannuksiltaan edulliset. Taulukkoon 18 on koottu arvio edullisimmilla toimenpiteillä saavutettavasta kumulatiivisesta päästöjen vähennyksestä ja kustannustehokkuudesta. Kustannustehokkuus on annettu sekä vähennettyä CH₄-tonnia että CO₂-ekvivalenttonnia kohti (arvioitu 100 vuoden tarkasteluaikaa vastaavalla GWP-kertoimella).

Taulukko 18. Metaanipäästöjen vähentämisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus Suomessa vuonna 2010.

Toimenpide päästöjen vähentämiseksi	Kumulatiivinen vähennys Gg CH ₄ /a	Kumulatiivinen kustannustehokkuus	
		mk/t CH ₄	mk/t CO ₂ -ekv.
Kaatopaikkakaasun talteenotto + energian hyödyntäminen	43	-600	-30
Kaatopaikkakaasun talteenotto + soihtu	64	-300	-10
Sikojen lietalannan rumpukompostointi	67	700	50
Yhdyskuntajätteen palavan jakeen poltto	25*	1 400	70
Yhdyskuntajätteen massapoltto	72*	5 300	300

* kaatopaikkasijoitukseen verrattuna

Yhdyskuntajätteen palavan jakeen poltto ja massapoltto ovat kaatopaikkasijoituksen vaihtoehtoja ja niillä vältetään päästöjä, jotka saman jätemäärän kaatopaikkasijoitus aiheuttaisi. Kaatopaikkasijoituksen päästöt jakautuisivat usealle vuodelle, joten toimenpiteillä saavutettava päästöjen vähennys ei ole suoraan vertailukelpoinen muiden toimenpiteiden kanssa.

N₂O-päästöjen vähentämisen mahdollisuuksista ja kustannuksista on tietoa saatavilla vain vähän. Vuoden 2010 typpihapon valmistuksen päästöjä arvioidaan voitavan vähentää noin 2 Gg/a kohtuullisin kustannuksin (alle 1 000 mk/t N₂O, noin 3 mk/t CO₂-ekv.). Leijupolton N₂O-päästöjä arvioidaan voitavan vähentää noin 4

Gg/a syklonissa tapahtuvalla jälkipoltolla. Kyseistä toimenpidettä on tutkittu vasta laboratoriomittakaavassa, joten arvio on epävarma eikä kustannuksia ole arvioitu.

Metaani- ja dityppioksidipäästöjen alentamisen kustannuksia voidaan verrata arvioihin fossiilisten polttoaineiden CO₂-päästöjen vähentämisen kustannuksista. Suomalaisen ilmakehän tutkimusohjelmassa (SILMU) tutkittiin CO₂-päästöjen rajoittamisen taloudellisia vaikutuksia CO₂-verojen avulla. CO₂-päästöjen vähentäminen vuoden 1990 tasolle vuoteen 2010 mennessä voitaisiin arvioiden mukaan toteuttaa päästöverolla, jonka suuruus olisi 300 - 600 mk/t CO₂ (Kuusisto et al. 1996, s. 232). Vuonna 1995 kivihiilen haittavero oli Suomessa 48 mk/t CO₂. Näihin verrattuna metaani- ja dityppioksidipäästöjen vähentämisen kustannukset ovat joko edullisia tai kohtuullisia päästöjen vähennystavoitteesta riippuen. Kustannusarvioiden epävarmuus on kuitenkin suuri.

Metaani- ja typpioksiduulipäästöt ovat suurelta osin peräisin toiminnoista, joista päästöjen arvioinnissa tarvittavia lähtötietoja on saatavilla vähän tai niiden tarkkuus on puutteellinen. Etenkin kaatopaikkojen metaanipäästöjen ja viljelysmaiden dityppioksidipäästöjen arviot ovat epävarmoja. Myös energiantuotannon päästöihin liittyy suuria epävarmuuksia, sillä polton olosuhteet vaikuttavat merkittävästi enemmän ko. päästöjen syntyyn kuin esimerkiksi CO₂-päästöihin.

Päästöarviointiin liittyviä epävarmuuksia on tarkasteltu lähemmin mm. aikaisemmassa metaani- ja dityppioksidipäästöarviossa (Pipatti 1994) ja jätteiden käsittelyvaihtoehtojen kasvihuonevaikutuksia käsittelevässä tutkimuksessa (Pipatti et al. 1996b).

Vaikka eri toimintojen päästöjen epävarmuudet ovat suuret, ne kumoavat osittain toisiaan ja kokonaispäästöarvion luotettavuutta voidaan pitää kohtalaisena. Metaanipäästöarvion epävarmuuden arvioidaan olevan noin 30 prosenttia ja dityppioksidipäästöarvion jonkin verran suurempi. Energiantuotannon CO₂-päästöarvioiden epävarmuuksiin (5 - 10 prosenttia) verrattuna luvut ovat kuitenkin vielä suuret.

Tulevien päästöjen ennustaminen on aina vaikeaa, mutta myös kehitysarvioiden laatimiseen liittyvät epävarmuudet kumoavat osaksi toisiaan. Päästöihin ja niiden kehittymiseen liittyvät epävarmuudet heijastuvat kustannustarkasteluihin. Kustannustarkasteluissa on arvioitu myös toimenpiteiden tehokkuus ja soveltuvuus Suomen oloihin. Metaani- ja dityppioksidin päästöjen vähentämistä on tutkittu suhteellisen vähän ja kaikille toimenpiteille ei löydy tietoja niiden tehokkuudesta ja kustannuksista. Toimenpiteillä voidaan usein saavuttaa myös muita ympäristön- suojelellisia etuja, jolloin kustannusten kohdistaminen on ongelmallista.

Tutkimuksessa esitetyt kustannustehokkuustarkastelut ovat karkeita ja perustuvat toimenpiteiden investointi- ja käyttökustannuksiin sekä toimenpiteillä tuotetun energian ja humuksen myynnistä saataviin tuloihin. Toimenpiteiden aiheuttamia epäsuoria kustannuksia ei ole arvioitu. Tarkastelut ovat karkeita mutta antavat kuvan eri toimenpiteiden aiheuttamien päästöjä vähennyskustannuksien suuruusluokasta ja toimenpiteiden keskinäisestä paremmuusjärjestyksestä.

6 YHTEENVETO

Tutkimuksessa on arvioitu ihmisen toiminnasta aiheutuvat metaani- ja dityppioksidipäästöt Suomessa vuosina 1990, 1994 ja 2010 sekä tarkasteltu mahdollisuuksia vähentää päästöjä ja vähennystoimenpiteiden kustannustehokkuutta.

Ihmisen toiminnan aiheuttamat metaanipäästöt Suomessa vuosina 1990 ja 1994 ovat samansuuruiset, noin 250 Gg CH₄/a. Eniten päästöjä aiheuttaa jätteiden kaatopaikkasijoitus (noin 130 Gg CH₄/a), mutta myös maatalouden päästöt ovat suuret (noin 90 Gg CH₄ vuonna 1994 ja noin 100 Gg CH₄ vuonna 1990). Energiantuotannon ja teollisuuden aiheuttamat päästöt ovat merkittävästi pienemmät, yhteensä noin 20 Gg CH₄/a.

Ilman varsinaisia päästöjen alentamiseen tähtäviä toimenpiteitä (perusskenaario) vuoden 2010 metaanipäästöjen arvioidaan vähentyvän noin seitsemän prosenttia vuoden 1994 päästöihin nähden lähinnä maatalouden päästöjen vähentymisen myötä.

Metaanipäästöjen vähentämisen mahdollisuudet arvioidaan hyviksi. Vuoden 2010 päästöjä arvioidaan voitavan vähentää kaikkiaan noin 30 prosenttia tutkimuksessa tarkastelluilla toimenpiteillä. IPCC:n (1996a) mukaan metaanipitoisuuksien vakiinnuttaminen ilmakehässä nykyisin vallitsevalle tasolle vaatisi vain noin 8 prosentin vähennyksen globaaleihin päästöihin.

Jätteiden kaatopaikkasijoituksesta aiheutuvia päästöjä arvioidaan voitavan vähentää merkittävästi. Jättesektorin päästöjen vähentämismahdollisuuksia on tarkasteltu kahdessa vähentämiskenaariossa. Jätehuollossa valmistellaan parhaillaan toimenpideohjelmia, jonka yhtenä tavoitteena on kaatopaikkojen metaanipäästöjen vähentäminen. Toimenpideohjelmasta ei ole vielä sovittu pitävästi, mutta suunnitelmassa on esitetty arvioita mm. kaatopaikkasijoituksen vähentämisestä ja kaatopaikkakaasun talteenoton lisäämisestä. Nk. suunnitelmaskenaariossa on pyritty ottamaan arvioiden vaikutukset jättesektorin vuoden 2010 päästöihin ja skenaarion mukaan jättesektorin päästöt vähenisivät noin 30 prosenttia vuoden 1994 päästöihin nähden.

Jättesektorin päästöjen vähentämisen mahdollisuuksia perusskenaarioon nähden ja siitä aiheutuvia kustannuksia sekä toimenpiteitä, joilla päästöjen vähentäminen voidaan toteuttaa, tarkasteltiin nk. laskennallisessa skenaariossa. Kustannustehokkain toimenpide metaanipäästöjen vähentämisessä on kaatopaikkakaasun talteenotto. Jätteiden polton ja biologisen käsittelyn vaikutus päästöihin tuntuu vasta pidemmän ajan kuluttua, ja toimenpiteet ovat vähennettyä metaanitonnia kohti selvästi kalliimpia. Toisaalta on muistettava, että ko. toimenpiteet poistavat metaanimuodostumisongelman kokonaan siltä osin kuin ne korvaavat kaatopaikkasijoitusta.

Muiden sektoreiden mahdollisuudet vähentää metaanipäästöjä ovat vähäisemmät tai niitä ei tunneta. Lannan käsittelyn metaanipäästöjen vähentämisellä saavutettava päästösäästö on arvion mukaan vähäinen ja toimenpiteet yleensä kalliita.

Ihmisen toiminnan aiheuttamat dityppioksidipäästöt Suomessa vuonna 1990 olivat arvion mukaan noin 19 Gg N₂O ja vuonna 1994 noin 18 Gg N₂O. Eniten päästöjä aiheutti maatalous: lannoituksen aiheuttamat päästöt olivat noin 6 Gg N₂O vuonna 1990 ja noin 4 Gg N₂O vuonna 1994, suopeltojen viljelyksen aiheuttamat päästöt olivat noin 4 Gg N₂O kumpanakin vuonna. Energiasektorin päästöt vuonna 1990 olivat noin 5 Gg N₂O vuonna 1990 ja noin 6 Gg N₂O vuonna 1994. Typpihapon valmistuksesta päästöjä aiheutui noin 3 Gg vuonna 1990 ja noin 2,5 Gg vuonna 1994.

N₂O-päästöjen vähentymiseen 1990 - 1994 ovat vaikuttaneet maanviljelyksessä lannoituksen aiheuttaman typpikuormituksen vähentyminen sekä typpihapon valmistuksen supistuminen. Vuoteen 2010 mennessä päästöjen oletetaan kuitenkin kasvavan lähes 30 prosenttia. Kasvu johtuu energiankulutuksen arvioidusta lisääntymisestä sekä eräiden N₂O-päästöjen kannalta epäedullisten tekniikoiden, kuten leijupolton ja katalysaattoreilla varustettujen autojen, lisääntymisestä. Muiden päästölähteiden päästöissä tapahtuvat muutokset ovat pieniä.

N₂O-päästöjen vähentämisen mahdollisuuksista ja kustannuksista on olemassa vähemmän tietoa kuin metaanipäästöjen. Typpihapon valmistuksen päästöjä on arvion mukaan mahdollista vähentää Suomessa noin 2 Gg/a, mikä on lähes 10 prosenttia kokonaispäästöistä vuonna 2010. Mikäli leijupolton päästöjä pystyttäisiin laitosmittakaavassa vähentämään yhtä paljon kuin laboratorioskokeissa, voisi vuoden 2010 päästöjä vähentää noin 4 Gg N₂O, mikä puolestaan on lähes 20 prosenttia kokonaispäästöistä. Päästöjen vähentämisellä on siis mahdollista ainakin teoriassa päästä noin 20 - 30 prosentin vähennyksiin. IPCC:n (1996a) mukaan N₂O-pitoisuuksien vakiinnuttaminen ilmakehässä nykyisin vallitsevalle tasolle vaatisi yli 50 prosentin vähennyksen globaaleihin päästöihin.

Muiden päästöjä aiheuttavien sektoreiden päästöjen vähentämisen mahdollisuudet ovat vielä epävarmempia ja vaativat lisäselvityksiä. Kustannustietoa N₂O-päästöjen vähentämisestä on ainoastaan typpihapon valmistusprosessiin osalta. Päästöjen vähentämisen kustannusten arvioidaan voivan jäädä alle 1 000 mk/t N₂O.

Sekä metaani- että dityppioksidipäästöjen arviointiin liittyy päästölähteiden luonteesta ja lähtötietojen vähäisyydestä johtuen monia epävarmuuksia. Nämä epävarmuudet heijastuvat sekä kehitysarvioihin että päästöjen rajoittamisen kustannusten arviointiin. Epävarmuuksista huolimatta metaanipäästöjen vähentämisen mahdollisuudet jätehuoltosektorissa ovat hyvät. Dityppioksidin kohdalla typpihapon valmistuksen ja leijupolton päästöjen vähentämiskeinot ovat lupaavat, vaikkakaan niitä ei vielä ole kokeiltu laitosmittakaavassa.

LÄHTEET

Blok, K. & Jager, D. de 1994. Effectiveness of Non-CO₂ Greenhouse Gas Emission Reduction Technologies. *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 31, Nos 1 - 2, s. 17 - 40.

Bogner, J., Spokas, K., Burton, E., Sweeney, R. & Corona, V. 1995. Landfills as atmospheric methane sources and sinks. *Chemosphere*, Vol. 31, No. 9, s. 4119 - 4130.

Boström, S. 1994. Greenhouse Gas Inventory in Finland based on IPCC Draft Guidelines; Energy and Industry. Turku, Prosessikemia.

Dentener, F.J. & Crutzen, P.J. 1994. A three-dimensional model for the global ammonia cycle. *J. Atmospheric Chemistry*, Vol. 19, s. 331 - 369.

EPA 1993. Options for reducing Methane Emissions Internationally. Vol. I - II. Washington, Environmental Protection Agency. Report to congress. (EPA 430-R-93-006 A+B)

Finland's National Report under the United Nation's Framework Convention on Climate Change. 1995. Helsinki, Ministry of the Environment. 32 s.

Gibbs, M.J. & Leng, R.A. 1993. Methane emissions from livestock. Teoksessa: van Amstel, A.R. (toim.) Methane and nitrous oxide. International IPCC Workshop. Amersfoort, The Netherlands, 3 - 5 Febr. 1993. Bilthoven: National Institute of Public Health and Environmental Protection. S. 73 - 79. (RIVM Report no. 481507003).

Gibbs, M.J. & Woodbury, J.W. 1993. Methane emissions from livestock manure. Teoksessa: van Amstel, A.R. (toim.) Methane and nitrous oxide. International IPCC Workshop, Amersfoort, The Netherlands, 3 - 5 Febr. 1993. Bilthoven: National Institute of Public Health and Environmental Protection. S. 81 - 91. (RIVM Report no. 481507003).

Grönfors, K. 1996. Greenhouse Gas Inventory: Finland 1992 - 1994.

Heinonen, R., Hartikainen, H., Aura, E., Jaakkola, A. & Kemppainen, E. 1992. Maa, viljely ja ympäristö. Porvoo, WSOY. 334 s.

Helander, J. & Mälkiä, P. 1994. Uusien järjestelmien käyttöönoton vaikutukset. Käytännön maamies, 9B, s. 10 - 11.

Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. & Maskella, K. 1996. Climate change 1995. The science of climate change. Cambridge, University Press. 572 s.

IEA 1994. Biogas from municipal waste. Overview of systems and markets for anaerobic digestion of MSW. IEA Bioenergy Agreement, Task XI: Conversion of MSW feedstock to energy. Århus, Biopress. 23 s.

IPCC 1995. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 1 - 3. Paris.

IPCC 1996a. Climate change 1995 - The Science of Climate Change. New York, Cambridge University Press. 572 s.

IPCC 1996b. IPCC/OECD/IEA Programme on National Greenhouse Gas (GHG) Inventories. Phase II. (Asiantuntijakokousten muistiot ja työraportit; julkaistaan myöhemmin osana IPCC:n uutta ohjekirjaa)

IPCC 1996c. Climate change 1995 - Impacts, adaptations and mitigation of climate change: Scientific-Technical Analyses. New York, Cambridge University Press. 879 s.

Jaakkola, A. 1985. Denitrifikaatio viljapellosta ja nurmesta mitattuna asetyleeni-inhibitiomenetelmällä. Helsinki: SITRA. S. 75 - 108. (Biologisen typensidonnan ja ravinnetyypen hyväksikäytön projekti. Julkaisu 13).

Jager, D. de & Blok, K. 1996. Cost-effectiveness of emission-reducing measures for methane in the Netherlands. Energy Conversion & Management, Vol. 37, No. 6 - 8, s.1181 -1186.

Jager, D. de & Blok, K. 1993. Cost-effectiveness of emission-reducing measures for methane in the Netherlands. Utrecht, The Netherlands, Ecofys. 62 s. + liitt. (Report M702).

Jager, D. de, Blok, K. & Brummelen, M. van 1996. Cost-effectiveness of emission-reducing measures in the Netherlands. Utrecht, The Netherlands, Ecofys. 7.7 s. + liitt. (Report M704).

Jätehuollon neuvottelukunta. 1992. Yhdyskuntien jätehuollon kehittämisohjelma 2000. Helsinki: ympäristöministeriö. 54 s. (Ympäristöministeriön ympäristöosaston selvitys 106/1992).

Kanninen, M. (toim.) 1992. Muuttuva ilmakehä - Ilmasto, luonto ja ihminen. Helsinki, Suomalainen ilmakehänmuutosten tutkimusohjelma. 163 s.

Kauppa- ja teollisuusministeriö. 1997. Energiatalous 2025. Skenaariotarkasteluja. Helsinki: kauppa- ja teollisuusministeriö. 95 s. (Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisu 3/1997).

Khalil, M.A.K. & Rasmussen, R.A. 1993. Decreasing trend of methane: Unpredictability of future concentrations. Chemosphere, vol. 26, nro 1 - 4, s. 803 - 814.

Kilpinen, P. 1995. Typen oksidien muodostuminen ja hajoaminen. Teoksessa: Raiko, R., Kurki-Suonio, I., Saastamoinen, J. & Hupa, M. Poltto ja Palaminen. Jyväskylä, International Flame Research foundation (IFRF), Suomen kansallinen osasto. S. 239 - 276.

Kleiffmann, J., Kurtenbach, R. & Wiesen, P. 1994. Surface catalysed conversion of NO₂ into HONO and N₂O: A new source of atmospheric N₂O? Teoksessa: Proceedings of the 6th International Workshop on Nitrous Oxide Emissions, Turku/Åbo, Finland, June 7 - 9, 1994. Turku, Åbo akademi. S. 547 - 552. (ÅAU CCRG Report 94-10).

Klemola, E. & Malkki, S. 1995. Lannan rumpukompostointi. Työtehoseuran maataloustiedote 4 (456). 12 s.

Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (toim.) 1996. Ilmastonmuutos ja Suomi. Helsinki, Suomalainen ilmakehänmuutosten tutkimusohjelma. 265 s.

Laine, J., Silvola, J., Tolonen, K., Alm, J., Nykänen, H., Vasander, H., Sallantausta, T., Savolainen, I., Sinisalo, J., Martikainen, P.J. 1996. Effect of water level drawdown in northern peatlands on the global climatic warming. *Ambio*, Vol. 25, No. 3, s. 179 - 184.

Lehtimäki, M. 1995. Biokaasulaitos eteläisellä Pohjanmaalla; Selvitys ympäristövaikutuksista, energiantuotannosta ja taloudellisista edellytyksistä. Helsinki, Vesi- ja ympäristöhallitus, Vaasan vesi- ja ympäristöpiiri. 89 s. (Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 625).

Lelieveld, J. & Crutzen, P. J. 1993. Methane emissions into the atmosphere - an overview. Teoksessa: Amstel, A. R. van (toim.). Methane and nitrous oxide. International IPCC Workshop, Amersfoort, the Netherlands, 3 - 5 Febr. 1993. Bilthoven: National Institute of Public Health and Environmental Protection. S. 17 - 25. (RIVM Report no. 481507003).

Luonnos valtioneuvoston päätökseksi kaatopaikoista. 20.12.1996. 6 s. + liitt.

Maatilatilastollinen vuosikirja 1995. Helsinki: Tilastokeskus. 254 s. (SVT: Maa- ja metsätalous 1995:5).

Marban, G., Kapteijn, F. & Moulijn, J.A. 1996. Fuel-gas injection to reduce N₂O Emissions from the Combustion of Coal in a Fluidized Bed. *Combustion and Flame*, Vol. 107, No. ½ (October), s.103 - 113.

McInnes, G. (toim.). 1996. Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook. Vol. 1 - 2. Kööpenhamina, European Environment Agency.

Mosier, A.R. 1994. Nitrous oxide emissions from agricultural soils. *Fertilizer Research*. Vol. 37, s. 191 - 200.

Mäkelä, K., Kanner, H. & Laurikko, J. 1996. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt. LIISA 95 -laskentajärjestelmä. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 45 s. + liitt. 51 s. (VTT Tiedotteita 1772).

Naturvårdsverket 1996. Aktionsplan avfall. Stockholm. 167 s. (Naturvårdsverkets Rapport 4601).

- Nykänen, H., Alm, J., Lång, K., Silvola, J. & Martikainen, P.J. 1995. Emissions of CH₄, N₂O and CO₂ from a virgin fen and a fen drained for grassland in Finland. *Journal of Biogeography*, Vol. 22, s. 351 - 357.
- Oonk, H. 1996. Dutch abiogenic emissions of methane and nitrous oxide and options for emission reduction. *Energy Conversion and Management*, Vol. 37, No. 6 - 8, s. 985 - 989.
- Oonk, J. & Boom, A. 1995. Landfill gas formation, recovery and emissions. Apeldoorn, The Netherlands. 103 s. + liitt.
- Palanterä, R. 1996. Jätepaperin polton ympäristövaikutukset systeemiratkaisuna. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 52 s. (VTT Tiedotteita 1769).
- Pipatti, R. 1994. Metaanin ja typpioksiduulin päästöarviot, päästöjen kehitys ja rajoituspotentiaali. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 68 s. (VTT Tiedotteita 1548).
- Pipatti, R., Savolainen, I. & Sinisalo, J. 1996a. Greenhouse impacts of anthropogenic CH₄ and N₂O emissions in Finland. *Environmental Management*, Vol. 20, No 2, s. 219 - 233.
- Pipatti, R., Hänninen, K., Vesterinen, R., Wihersaari, M. & Savolainen, I. 1996b. Jätteiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 85 s. (VTT Julkaisuja 811).
- Savolainen, I., Tähtinen, M., Wistbacka, M., Pipatti, R. & Lehtilä, A. 1996. Hap-pamoittavan laskeuman taloudellinen rajoittaminen vähentämällä päästöjä Suomessa, Virossa ja Venäjällä. Espoo, Valtion teknillinen tutkimuskeskus. 60 s. (VTT Tiedotteita 1744).
- Soete, G. de 1989. Updated evaluation of nitrous oxide emissions from industrial fossil fuel combustion. Institut Francais du Petrole, Ref. 37-559.
- Soete, G. de 1993. Nitrous oxide from combustion and industry: Chemistry, emissions and control. *Revue de L'Institut Francais du Petrole*, Vol. 48, No. 4, s. 413 - 451. (Paper presented at the International Workshop "Methane and Nitrous Oxide", Amersfoort, the Netherlands, 3 - 5 February 1993).
- Tilastokeskus 1995. Energiatilastot 1994. Helsinki, Tilastokeskus. 126 s. (SVT Energia 1995:1).
- Uomala, P., Väisanen, P. & Kling, P. 1989. Yhdyskuntajätteen poltto ja energiasäällön hyödyntäminen. Helsinki, Ekono. 121 s. + liitt. 5 s.
- Vesterinen, R. 1996. Jätteiden käsittelyvaihtoehtojen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin. Kompostoinnin kasvihuonekaasupäästöt. VTT Energia. Tutkimusse-
lostus ENE 38/T0018/96. 26 s. + liitt. 4 s.

Väisänen, P. 1996. Kaatopaikalla syntyvän biokaasun talteenotto ja hyödyntäminen. Teoksessa: Salomaa, E. (toim.). Anaerobitekniikka jätteiden käsittelyssä, Seminaari 21.3.1996, Otaniemi. 4 s. (Teknillinen korkeakoulu: Ympäristönsuojelutekniikan julkaisuja 2/1996).

Väisänen, P. 1997. Arvio biokaasun talteenotosta Suomen kaatopaikoilla. Muistio. 1 s.

Wihersaari, M. Pipatti, R. 1996. Jätehuoltojärjestelmän vaikutus kasvihuonepäästöihin pääkaupunkiseudulla, Jyväskylä ja Sysmän kunnassa. VTT Energia. Tutkimusraportti ENE 6/7/96. 26 s.

Ympäristöministeriö 1997. Valmisteilla oleva ilmastopöytäkirjan edellyttämä nk. maaraaportti.

IPCC- JA CORINAIR-LUOKITUKSET SEKÄ MENETELMIEN MERKITTÄVIMMÄT EROT

IPCC-ohjeet (IPCC 1995) on tarkoitettu ilmastopöytäkirjan osapuolille avuksi sopimuksen edellyttämien kansallisten kasvihuonekaasuinventaarien laadinnassa. Ohjeet on laadittu IPCC:n (Intergovernmental Panel on Global Change), OECD:n (Organisation for Economic Co-operation and Development) ja IEA:n (International Energy Agency) yhteistyönä, ja niiden kehittämiseen on osallistunut asiantuntijoita ympäri maailmaa.

Kansallisten kasvihuonekaasuinventaarien avulla pyritään tunnistamaan tärkeimmät kasvihuonekaasupäästölähteet ja -niehut, jotta kasvihuoneilmiön torjunta voitaisiin suunnata järkevästi niin maailmanlaajuisesti kuin kansallisella tasolla. IPCC-ohjeissa käsitellään vain ihmisen toiminnasta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä ja -nieluja.

Uusin CORINAIR-ohjekirja (McInnes 1996) on laadittu UNECE/EMEP:in (United Nations Economic Commission for Europe/Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation for the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe) asiantuntijaryhmissä ja sen on toimittanut ja julkaissut EEA (European Environmental Agency).

CORINAIR-ohjelma (CORINAIR - The Atmospheric Emission Inventory for Europe) on alunperin käynnistetty happamoittavien päästöjen (SO_x, NO_x, NMVOC ja NH₃) Euroopan maita koskevien rajoitussopimusten (Convention on Long Range Transboundary Air Pollution) tarpeita vastaamaan. Nyt ohjelma kattaa myös mm. kasvihuonekaasu- ja raskasmetallipäästöt ilmakehään. CORINAIRissa tarkastellaan sekä ihmisen toiminnasta aiheutuvia että luonnon päästöjä. Uusin ohjekirja on tarkoitettu UNECE:lle toimitettavien vuoden 1994 inventaarien laadintaa varten.

IPCC- ja CORINAIR-ohjeiden mukaiset pääluokat on esitetty alla olevassa taulukossa. IPCC-ohjeiden mukaan päästöt ilmoitetaan kuudessa pääluokassa, CORINAIRissa pääluokkia on yksitoista. Taulukossa on esitetty myös IPCC-luokituksen alaluokkia, jotta vertailu IPCC- ja CORINAIR-luokitusten välillä olisi helpompaa. CORINAIRissa alaluokkia on satoja eli merkittävästi enemmän kuin IPCC-ohjeissa.

Sekä IPCC että CORINAIR antavat eri tasoisia ohjeita päästöjen arvioimiseksi. Yksikertainen ohje (Tier 1 IPCC-ohjeissa ja Simpler Methodology CORINAIRissa) vastaa minimiä, joilla päästöt tulisi arvioida. CORINAIR suosii mittaus-tulosten käyttöä inventaarin laadinnassa huomattavasti enemmän kuin IPCC. Päästökerrointietoa ohjeissa on paljon ja ne perustuvat usein samoihin tutkimuksiin ja muihin lähteisiin. CORINAIRissa annetut päästökertoimet perustuvat osittain myös edellisten inventaarien tuloksiin ja antavat eräänlaisen keskiarvon päästötasosta tietynlaisissa laitoksissa Euroopassa.

Taulukko 1.1. IPCC- ja CORINAIR-ohjeissa käytetyt päästöluokitukset.. Päästöluokat on esitetty IPCC-luokituksen mukaisessa järjestyksessä siten, että vastaava CORINAIR-luokka on viereisessä solussa.

IPCC	CORINAIR SNAP94
1 Energia (Energy)	
<i>1A Poltto (Fuel Combustion Activities)</i>	
1 A 1 Energiantuotanto ja -muuntoteollisuus (Energy and Transformation Industries)	1 Energiantuotanto ja -muutossektorin polttoprosessit (Combustion in Energy Production and Energy Transformation)
1 A 1 Muut energiantuotanto ja -muuntoteollisuus (Other Energy and Transformation Industries)	3 Teollisuuden polttoprosessit (Combustion in Industry)
1 A 2 Teollisuus (Industry)	
1 A 3 Liikenne (Transport)	7 Tieliikenne (Road Transport)
	8 Muu liikenne ja liikkuvat työkonet (Other Mobile sources and Machinery)
1 A 4 Pienpoltto (Small Combustion)	2 Palveluja ja julkista kulutusta, asuinrakennuksia ja maataloutta, metsätaloutta ja kalastusta palvelevat polttoprosessit (Combustion in Commercial, Institutional, Residential Sectors and Agriculture, Forestry, Fishing)
1 A 5 Muu	
1 A 6 Perinteinen biomassan poltto energiaksi (Traditional Biomass Burned for Energy)	(Biomassan poltto luokissa 1, 2, 3, 7 ja 8)
<i>1 B Haihtumispäästöt polttoaineista (Fugitive Emissions from Fuels)</i>	5 Fossiilisten polttoaineiden tuotanto ja jakelu (Extraction and Distribution of Fossil Fuels)
2 Teollisuusprosessit	4 Tuotantoprosessit (Production Processes)
3 Liuotinaineiden ja muiden tuotteiden käyttö (Solvent and Other Product Use)	6 Liuotinaineiden ja muiden tuotteiden käyttö (Solvent and Other Product Use)
4 Maatalous (Agriculture)	10 Maatalous, metsätalous ja maankäytön muutokset (Agriculture, Forestry and Land Use Change)
5 Maankäytön muutokset ja metsätalous (Land Use Change & Forestry)	
6 Jätteet (Waste)	9 Jätteiden käsittely ja loppusijoitus (Waste treatment and disposal)
Kansainvälinen ilmailu ja laivaliikenne (International air/marine bunkers)	
	11 Luonto (Nature)

SNAP = Selected Nomenclature for Air Pollution

CORINAIRissa energiantuotannon ja -kulutuksen sekä teollisuusprosessien päästöjen arviointia varten annettu varsin yksityiskohtaista tietoa päästökertoimista erilaisia tekniikoita ja prosesseja käytettäessä. Maatalouden päästöjen arviointimenetelmät ovat karkeampia. Metsätalouden ja maankäytön muutosten aiheuttamille sekä luonnon päästöille CORINAIRissa ei vielä ole omia ohjeita, vaikka ko. sektorit on lisätty luokitukseen.

IPCC-ohjeiden energia- ja teollisuusprosessit sektorien päästöjen arviointimenetelmät ja päästökertoimet perustuvat osittain CORINAIRiin ja myös Yhdysvalloissa ja Kanadassa tehtyjen tutkimusten tuloksia on hyödynnetty paljon. Maatalouden kasvi-huonekaasujen päästöjen arviointia varten annetut tarkemmat laskentamenetelmät (TIER 2 - 3) ovat yksityiskohtaisempia kuin vastaavat CORINAIR-ohjeet ja niiden avulla voidaan ottaa huomioon eri maiden erityispiirteiden vaikutus päästökertoimiin.

Kriittisten happamoittavien kuormitusten arvioimisessa on tunnettava päästölähteiden alueellinen ja ajallinen (vuorokausi- ja vuodenaikasta riippuvat vaihtelut) jakautuminen ja voimakkuus, ja siksi CORINAIR-ohjeet ovat yksityiskohtaisia ja perustuvat yksittäisten päästölähteiden fysikaalisten ominaisuuksien ja maantieteellisen sijainnin tuntemiseen. Suurten pistelähteiden päästöt on arvioitava lähdekohtaisesti. Maatalouden alueellisten hajapäästöjen ja liikenteen linjapäästöjen maantieteellinen jakautuminen on myös arvioitava. Päästöjen alueellinen jakauma ilmoitetaan EMEPille 50 km x 50 km ruuduissa.

IPCC-menetelmässä päästöt ilmoitetaan taloudellisen sektorin (toimialan) mukaan. Yksittäisten päästölähteiden merkitys vähäisempi eikä päästöjen alueellista jakaumaa kuten ei myöskään päästöjen vuorokausi- ja vuodenaikavaihteluja arvioida.

Sekä IPCC- että CORINAIR-ohjeita kehitetään jatkuvasti ja yhtenä tavoitteena on ohjeiden harmonisointi siten, että kansainvälisten sopimusten mukainen raportointi voitaisiin tehdä samoja peruseriaatteita noudattaen, vaikkakin eri sopimusten vaatima tarkkuus ja sisältö muuten vaihtelisi.

Meneillään olevassa IPCC-ohjeiden kehitysohjelmassa on esitetty muutoksia nykyisiin ohjeisiin CORINAIR-yhteensopivuuden parantamiseksi. Esitysten mukaan

- biomassan polttoa (Traditional Biomass Burned for Energy) ei enää ilmoitettaisi erikseen vaan vastaavissa energiantuotanto- ja loppukulutussektoreissa (CO₂-päästöjä ei kuitenkaan oteta huomioon kansallisissa kokonaispäästöissä).
- Omaan käyttöönsä energiaa tuottavien laitosten (autoproducers) päästöjä ei enää ilmoitettaisi energiantuotanto ja -muuntosektorissa vaan kyseessä olevassa loppukulutussektorissa. Omaan käyttöönsä energiaa tuottavien laitosten (autoproducers) polttoaineiden kulutuksesta aiheutuvat päästöt tulee kuitenkin edelleen pyrkiä arvioimaan erikseen prosessilämmön osalta ja tuotetun sähkön ja/tai myydyin lämmön osalta.
- Kohta 1 A 4. Termi ”pienpoltto” (Small combustion) ehdotetaan korvattavaksi termillä ”Muut sektorit” (Other Sectors). Muutoksen jälkeen luokitus käsittäisi myös suuremmat laitokset CORINAIRin käytännön mukaisesti.

CORINAIR-menetelmiä on myös muutettu paremmin vastaamaan IPCC-ohjeita. Mm. aikaisemmin CORINAIRissa käytetyn SNAP90-luokituksen mukaisen luokan ”Maatalous” nimi on muutettu ”Maatalous, metsätalous ja maankäytön muutokset”. Ohjeita metsätalouden ja maankäytön muutosten aiheuttamien päästöjen arvioimiseksi CORINAIRissa ei kuitenkaan vielä ole.

CORINAIRin luokitus on usein yksityiskohtaisempi kuin IPCC-ohjeiden ja mitä alemmas luokitus hierarkiassa mennään, sitä enemmän eroavaisuuksia järjestelmien välillä on. Metaani- ja dityppioksidipäästöjen osalta näitä eroavaisuuksia ja niiden vaikutuksia inventaareihin on tarkasteltu raportin tekstiosuudessa päästölähde-kohtaisesti.

LÄHDELUETTELO

IPCC 1995. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 1 - 3.

McInnes, G. (ed.) 1996. Atmospheric Emission Inventory Guidebook. First Edition. A Joint EMEP/CORINAIR Production. Prepared by the EMEP Task Force on Emission Inventories. Vol. 1 - 2.