

*M a a t a l o u d e n  
t u t k i m u s k e s k u k s e n  
j u l k a i s u j a*

S A R J A A

76

*Airi Kulmala  
Martti Esala*

**Maatalous ja  
kasvihuonekaasupäästöt**

**Kirjallisuuskatsaus**

*Airi Kulmala*  
*Martti Esala*

---

# Maatalous ja kasvihuonekaasupäästöt

Kirjallisuuskatsaus

Agriculture and greenhouse gas emissions

Literature review

---

Maatalouden tutkimuskeskus

ISBN 951-729-573-1

ISSN 1238-9935

*Copyright*

Maatalouden tutkimuskeskus

Airi Kulmala ja Martti Esala

*Jakelu ja myynti*

Maatalouden tutkimuskeskus, tietopalveluyksikkö, 31600 Jokioinen

Puhelin (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339, sähköposti [julkaisut@mtt.fi](mailto:julkaisut@mtt.fi)

*Painatus*

Vammalan Kirjapaino Oy, 2000

Sisäsivujen painopaperille on myönnetty pohjoismainen joutsenmerkki.

Kansimateriaali on 75-prosenttisesti uusiokuitua.

# Tiivistelmä

*Avainsanat: maatalous, ilmastonmuutos, kasvihuoneilmiö, päästöt, kemialliset yhdisteet, tyyppiyhdisteet, hiilidioksidi, kotieläimet, karjanlanta, ruokinta, dityppioksidi, metaani*

Maatalous voimistaa kasvihuoneilmiötä lisäämällä erityisesti hiilidioksidin, dityppioksidin ja metaanin vapautumista. Tässä kirjallisuuskatsauksessa kuvataan maatalouteen liittyviä kasvihuonekaasujen lähteitä ja nieluja sekä niiden päästöihin vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi esitetään mittaustuloksia suomalaisten maatalousmaiden kasvihuonekaasupäästöistä sekä kerrotaan päästöjen vähentämismahdollisuuksista. Katsaus alkaa perustiedolla Suomen maataloudesta ja lopuksi kuvataan päästöjen laskentaa IPCC-menetelmällä.

Hiilidioksidilähteitä ovat esimerkiksi maan orgaanisen aineksen hajoaminen, polttoprosessit ja kalkitus. Maatalouden keinoin CO<sub>2</sub>-päästöjä voidaan vähentää lisäämällä maahan ja kasvillisuuteen varastoituneen hiilen määrää sekä vähentämällä fossiilisten polttoaineiden kulutusta ja lisäämällä bioenergian tuotantoa. Kalkituksen vähentämiseen ei Suomessa ole juurikaan mahdollisuuksia.

Tärkeimmät dityppioksidilähteet ovat nitrifikaatio ja denitrifikaatio. N<sub>2</sub>O-emis-

sioita voidaan vähentää tehostamalla kasvien kilpailukykyä maassa olevasta tyypestä sekä pitämällä emissioprosessin kesto ja määrä mahdollisimman pienenä. Kotieläinten lannan käsittelyyn tulee kiinnittää erityistä huomiota, sillä lannassa on paljon potentiaalisesti emittoituvaa tyyppiä. Eläinten valkuaisruokintaa kehittämällä voidaan etukäteen vaikuttaa lannasta vapautuvan dityppioksidin määrään.

Metaania vapautuu esimerkiksi kotieläinten ruuansulatuksessa ja lannan orgaanisten aineiden hajotessa anaerobisessa ympäristössä. Maasta metaania vapautuu, jos metaanin tuotanto ylittää hapettumisen. Hyvätuottoinen karja tuottaa maito- tai lihakiloa kohti laskettuna vähemmän metaania kuin heikkotuottoinen. Lisääntymiseen tarvittavaa eläinmäärää ja niiden tuottaman metaanin määrää voidaan pienentää keinoilla, jotka tehostavat lisääntymistä. Lannasta vapautuva metaani tulisi hyödyntää energialähteenä tai metaanin muodostuminen tulisi estää pitämällä lanta aerobisissa oloissa.

## Abstract

---

*Key words: agriculture, climatic change, greenhouse effect, effluents, chemical compounds, nitrogen compounds, carbon dioxide, methane, nitrous oxide, livestock, farmyard manure, feeding*

---

Agriculture contributes to the greenhouse effect by increasing carbon dioxide, nitrous oxide and methane emissions. This literature review examines agricultural sources and sinks of greenhouse gases as well as factors affecting emissions. Options for mitigating emissions are presented as are the results of greenhouse gas emission measurements on Finnish agricultural soils. In addition, some basic information is given about Finnish agriculture, and the estimation of emissions using the IPCC Guidelines is described.

Carbon dioxide sources include decomposition of soil organic matter, combustion and liming. The agricultural sector can mitigate CO<sub>2</sub> emissions by increasing carbon stocks in soils and vegetation, reducing fossil fuel consumption, and increasing the production of bioenergy. There is little opportunity to decrease the amount of liming in Finland.

The main nitrous oxide sources are nitrification and denitrification. N<sub>2</sub>O emissions can be reduced by enhancing plants' ability to compete for soil nitro-

gen and by keeping the rate of emission processes as low and the duration of emissions as short as possible. Special attention should be paid to manure management because manure contains abundant nitrogen that can be lost as N<sub>2</sub>O. Improvements in the protein feeding of livestock could also reduce potential N<sub>2</sub>O emissions from manure.

Methane is emitted, for example, in the course of enteric fermentation and the anaerobic decomposition of organic matter in manure. The emission of CH<sub>4</sub> from soils depends on the relative amounts of methane production and consumption. Cattle with high productivity emit less methane per unit of milk or meat than do animals with low productivity. The number of breeding animals could be reduced by improving animal reproduction efficiency. Methane emitted from manure should be utilized as an energy source, or methane production should be prevented by keeping manure under aerobic conditions.

# Alkusanat

Maa- ja metsätalousministeriö pyysi syksyllä 1998 Maatalouden tutkimuskeskusta laatimaan ilmastopimuksen taustakysymyksiä koskevan taustaselvityksen. Tavoitteena on ollut selvittää kasvihuonekaasupäästöjen syntymekanismit ja niihin vaikuttavat tekijät, päästöjen kehitys ja vähentämismahdollisuudet sekä laskentamenetelmät ja niiden puutteet. Selvitys palvelee Suomen valmistautumista Kioton pöytäkirjan mukaisten velvoitteiden toteuttamiseen maatalouden osalta.

Selvitystyötä varten on saatu rahoitusta maa- ja metsätalousministeriön luonnonvarojen kestävästä käytöstä tutkimuksiin varatuista määrärahoista. Usealta eri taholta on saatu taustatietoja tätä selvitystä varten, parhaat kiitokset kaikille. Eri-tyiskiitokset ryhmäpäällikkö, TkT Riitta Pipatille (VTT) ja hydrologi, FT Esko Kuusistolle (SYKE) kaikista kommenteista ja parannusehdotuksista käsikirjoitusvaiheessa.

Jokioisissa tammikuussa 2000

*Martti Esala*  
professori

# Sisällys

Tiivistelmä .....	3
Abstract .....	4
Alkusanat .....	5
1 Johdanto .....	8
2 Kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa käytettäviä tilastotietoja .....	8
2.1 Maankäyttö ja kotieläimet .....	8
2.1.1 Peltojen maalaajijakauma .....	8
2.1.2 Viljelykasvien ja kesannon pinta-ala 1980–1999 .....	10
2.1.3 Energiakasvit .....	13
2.1.4 Peltojen metsitys .....	13
2.1.5 Kotieläinten lukumäärä 1980–1998 .....	13
2.2 Typpilannoitus .....	13
2.2.1 Kaupallisten typpilannoitteiden käyttö 1980–1999 .....	13
2.2.2 Karjanlannan käyttö .....	15
2.2.3 Puhdistamolietteen käyttö .....	15
3 Kasvihuonekaasut .....	16
3.1 Hiilidioksidi (CO <sub>2</sub> ) .....	16
3.1.1 Hiilidioksidilähteet .....	16
3.1.2 Mittaus- ja laskentatuloksia suomalaisten maatalousmaiden CO <sub>2</sub> -päästöistä .....	16
3.1.3 Maatalouden CO <sub>2</sub> -päästöjen vähentäminen .....	17
3.1.4 Yhteenveto .....	24
3.2 Dityppioksidi (N <sub>2</sub> O) .....	25
3.2.1 Dityppioksidin lähteet ja nielut .....	25
3.2.2 Mittaus- ja laskentatuloksia suomalaisten maatalousmaiden N <sub>2</sub> O-päästöistä .....	28
3.2.3 Maatalouden N <sub>2</sub> O-päästöjen vähentäminen .....	30
3.2.4 Yhteenveto .....	35
3.3 Metaani (CH <sub>4</sub> ) .....	36
3.3.1 Metaanin lähteet ja nielut .....	36
3.3.2 Mittaus- ja laskentatuloksia suomalaisten maatalousmaiden CH <sub>4</sub> -päästöistä .....	38
3.3.3 Maatalouden CH <sub>4</sub> -päästöjen vähentäminen .....	38
3.3.4 Yhteenveto .....	41
4 Maataloudesta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen laskenta IPCC-ohjeiden mukaan .....	41

4.1	Hiilidioksidi .....	41
4.1.1	Kivennäismaiden hiilivarastojen muutokset .....	43
4.1.2	Orgaanisten maiden viljely .....	45
4.1.3	Kalkitus .....	45
4.1.4	Peltojen raivaus ja viljelemättä jättäminen .....	45
4.2	Dityppioksidi .....	46
4.2.1	Suorat N <sub>2</sub> O-emissiot maatalousmaista .....	46
4.2.2	Suorat kotieläintuotannon aiheuttamat N <sub>2</sub> O-emissiot .....	48
4.2.3	Maatalouden typenkäytöstä aiheutuvat epäsuorat N <sub>2</sub> O-emissiot .....	48
4.2.4	Kasvinjätteiden poltossa vapautuva dityppioksidi .....	50
4.3	Metaani .....	51
4.3.1	Tier 1 -menetelmä .....	51
4.3.2	Tier 2 -menetelmä .....	51
4.3.3	Kasvinjätteiden poltossa vapautuva metaani .....	53
4.4	Laskentaan liittyviä ongelmia .....	54
5	Yhteenveto ja päätelmät .....	55
	Kirjallisuus .....	61



# 1 Johdanto

Kasvihuoneilmion voimistuminen on yksi pahimmista koko maailmaa koskettavista ympäristöongelmista. Maapallon keskilämpötilan arvioidaan nousseen 0,3–0,6 °C vuoden 1860 jälkeen ja lämpeneminen tulee jatkumaan, mikäli kasvihuonekaasupäästöjä ei rajoiteta. Ilmastomallien avulla on ennustettu, että päästöjen jatkaessa nykyistä kehitystään maapallon lämpötila nousisi vielä 1–3,5 asteella vuoteen 2100 mennessä (UNEP/IUC 1999). Kasvihuonekaasupäästöjä pyritään kuitenkin vähentämään. Kioton pöytäkirjan kolmas artikla velvoittaa Liite I -maita vähentämään kuuden kasvihuonekaasun ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{HFC}_t$ ,  $\text{PFC}_t$  ja  $\text{SF}_6$ ) päästöjä niin, että päästöjen kokonaismäärä vähenee vähintään viisi prosenttia vuoden 1990 päästöjen tasosta. Tämä velvoite tulee saavuttaa ensimmäisen velvoitekauden aikana vuosina 2008–2012. Eri mailla on kuitenkin erilaiset vähentämisvelvoitteet. Euroopan yhteisö on sitoutunut vähentämään päästöjä yhteensä kahdeksalla prosentilla (YM 1998). EY-kuplan sisällä on Suomen tavoitteeksi sovittu päästö määrän palauttaminen vuoden 1990 tasolle (KTM 1999a).

Päästöjen vähentäminen voi onnistua vain kaikkien osapuolten yhteistoiminnalla, mutta ennen kuin päästöjä voidaan vähentää, tulee tietää tarkkaan päästölähteet, päästöjen suuruus ja näihin vaikuttavat tekijät. Tämän raportin tarkoituksena on koota yhteen tietoa maatalouden vaikutuksesta kasvihuonekaasupäästöihin. Aluksi annetaan perustietoa päästöihin vaikuttavista tekijöistä eli peltojen maalajeista, eri kasvien viljelyaloista, eläinmääristä ja typpilannoituksesta sekä niissä tapahtuneista muutoksista viimeisen parinkymmenen vuoden aikana. Tämän jälkeen käsitellään hiilidioksidin, dityppioksidin sekä metaanin lähteitä ja nieluja, esitetään tuloksia suomalaisilla viljelymailla tehdyistä kasvihuonekaasu-

päästömittauksista ja kerrotaan päästöjen vähentämismahdollisuuksista. Viimeisessä osiossa kuvataan maataloudesta peräisin olevien kasvihuonekaasupäästöjen laskentaa IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) -ohjeiden mukaan.

## 2 Kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa käytettäviä tilastotietoja

### 2.1 Maankäyttö ja kotieläimet

#### 2.1.1 Peltojen maalajijakauma

Suomessa maalajien luokittelussa kiinnitetään päähuomio maan koostumukseen. Kivennäismaiden luokitus perustuu raekoostumukseen ja eloperäisten maiden orgaanisen aineksen määrään ja laatuun. Joidenkin maalajien kohdalla lähtökohdaksi on maan syntytyyppi. Maat, joissa on orgaanista ainesta alle 20 %, ovat kivennäismaita. Liejumaat luetaan kuitenkin eloperäisiin maihin kuuluviksi, jos niiden orgaanisen aineksen pitoisuus on yli 6 %. Kivennäismaat voidaan jakaa kahteen pääryhmään: moreenimaalajeihin ja lajituneisiin maalajeihin. Maalaji saa nimensä sen mukaan, mikä tai mitkä maalajit ovat siinä vallitsevia. Lähinnä suokasvien jätteistä muodostuneet turpeet sisältävät orgaanista ainesta yli 40 %. Eri turvelajien luokittelu perustuu kasvinjätkekoostumukseen. Multamaassa ja järvimudassa on orgaanista ainesta 20–40 %. Liejun ja järvimudan luokittelun lähtökohdaksi on syntyhistoria, mutta kemiallisesti nämä sedimenttilajit erotetaan orgaanisen aineksen C/N-suhteen perusteella. Aines on liejua, jos sen C/N-suhde on alle 10, ja mutaa, jos suhde on yli 10 (Hartikainen 1992). Viljavuuspalve-

**Taulukko 1.** Viljavuuspalvelussa vuosina 1990–1995 määritettyjen eri maalajiryhmien osuus alueittain (J. Kivistö, Viljavuuspalvelu, henkilökohtainen tiedonanto 24.6.1998).

**Table 1.** Regional proportions of different soil types analyzed in 1990–1995 by Viljavuuspalvelu (J. Kivisto, Viljavuuspalvelu, personal communication 24.6.98).

Alue <i>District</i>	Maalajiryhmä <i>Soil type</i> %							
	Savi <i>Clay</i>	Hiesu <i>Silt</i>	Hieta <i>Fine-sand</i>	Hiekka <i>Sand</i>	Moreeni <i>Moraine</i>	Lieju, järvimuta <i>Gyttja</i>	Multa- maa <i>Organic soil</i>	Turve <i>Peat</i>
Uusimaa	42	22	26	0	3	0	7	0
Nylands Svenska	53	9	25	0	6	0	5	1
Varsinais-Suomi	42	6	39	0	7	0	5	1
Finska Hushållningssällskapet	43	1	44	0	9	0	3	0
Satakunta	20	10	43	1	10	1	16	1
Pirkanmaa	6	54	24	0	7	0	9	0
Häme	24	17	42	0	6	0	11	0
Päijät-Häme	3	28	43	0	16	0	8	1
Kymenlaakso	29	13	41	0	7	0	9	0
Etelä-Karjala	5	12	34	0	31	1	15	2
Mikkeli	0	2	15	0	70	0	10	3
Kuopio	0	30	25	0	29	0	12	2
Pohjois-Karjala	0	29	35	1	20	1	12	2
Keski-Suomi	0	29	28	0	25	1	14	3
Etelä-Pohjanmaa	6	3	55	0	13	0	22	2
Österbottens Svenska	11	0	64	0	9	0	15	1
Keski-Pohjanmaa	0	3	58	1	8	2	20	9
Oulu	1	4	51	1	13	0	21	10
Kainuu	0	8	26	0	41	0	10	16
Lappi	0	2	27	1	31	0	9	30
Åland	21		41	1	34		3	1
Koko maa <i>Finland total</i>	14	15	38	0	17	0	13	3

lun vuosina 1981–1985 tutkimissa maanäytteissä turvemaiden osuus oli 5,8 % muokkauskerroksesta otettujen näytteiden perusteella ja 6,0 % pohjamaanäytteiden mukaan. Multamaiden osuus oli vastaavasti 11,8 % (muokkauskerros) tai 1,7 % (pohjamaa). Kaikkiaan eloperäisiä maita (Lj, Jm, Mm ja turpeet) oli 18,3 % muokkauskerroksesta otettujen näytteiden perusteella, mutta vain 9 % pohjamaanäytteiden mukaan. Eloperäisten maiden osuus oli suurin (yli 25 %) Pohjois-Suomessa, Kainuussa sekä Pohjanmaalla. Etelärannikolla eloperäisten maiden osuus oli vain noin 4–5 %. Koko

maata tarkasteltaessa hieno hieta oli yleisin maalaji (22 % viljelystä peltoalasta) (Kähäri et al. 1987). Vuosina 1990–1995 tehtyjen määritysten mukaiset alueelliset maalajisuhteet on esitetty taulukossa 1. Näissä näytteissä eloperäisten maiden osuus oli hieman aiempaa pienempi. Viljavuuspalvelussa orgaanisen aineksen pitoisuus lasketaan kertomalla määritetyn orgaanisen hiilen pitoisuus 1,727:llä (S. Rajamäki, Viljavuuspalvelu, henkilökohtainen tiedonanto 1.7.1999). Tämän perusteella turvemaassa on orgaanista hiiltä vähintään 23,2 % ja multamaissa 11,6–23,1 %.

Maataloudellisten maaperäkarttojen perusteella on turvemaita arvioitu olevan 0,26–0,42 miljoonaa hehtaaria (Erviö 1982), mutta viljelyksessä turvemaita arvioidaan olevan noin 200 000 hehtaaria eli lähes kymmenen prosenttia peltopinta-alasta (Myllys 1998).

Käyhkö et al. (1994) ovat kysyneet kuntien maatalousasiamiehiltä, kuinka suuri osuus kunnassa viljelyssä, kesannolla tai viljelemättä olevista pelloista on suopeltoja (pellot, joiden pohjakerroksessa eli yli 20 cm:n syvyydessä on turvetta). Kysely tehtiin koko maassa eteläisimpää Suomea lukuunottamatta. Kyselyn perusteella sekä olettaen, että Uudenmaan ja Turun maaseutualuepiirien alueella suopeltojen osuus kaikista pelloista on 1 %, saatiin koko Suomen suopeltojen määräksi 240 000 ha. Tämä ala on lähes kaksinkertainen verrattuna Viljavuuspalvelun vuosina 1981–1985 tekemien pohjakerroksen maalajimääritysten perusteella laskettuun alaan. Selinin et al. (1999) mukaan turvemaiden osuus Suomen pelloista on noin 6 %. Vuoden 1995 peltoalatietojen mukaan tämä merkitsee sitä, että viljelyssä olevien suopeltojen määrä on noin 115 000 hehtaaria. Kesannolla tai viljelemättömänä olisi noin 36 000 ha ja metsitettyä 84 000 ha.

Edellä esitetyn perusteella voidaan todeta, että Suomessa viljelyssä olevien turvemaiden pinta-alaa ei tiedetä tarkasti. Tämä vaikeuttaa oleellisesti maataloudesta peräisin olevien kasvihuonekaasupäästöjen arviointia. Useissa yhteyksissä tulisi tietää myös kaikkien orgaanisten maiden ala, mutta sekään ei ole tarkasti tiedossa. Lisäongelmia pinta-alan määrittämiseen aiheuttaa se, että eri maissa orgaaniselle maalle on annettu erilaiset kriteerit.

Suomalaisten viljelysmaiden humusarvot ovat korkeita verrattuna esimerkiksi Länsi-Euroopan tai USA:n peltomaiden arvoihin. Viileästä ja kosteasta ilmastosta johtuen eloperäistä ainesta on kertynyt maahan enemmän kuin sitä on hajonnut. Maatalouden tutkimuskeskuksen

(MTT) kokeessa on seurattu maan muokkauskerroksen humuspitoisuuden muutoksia 15 koealalla. Humuspitoisuus laskettiin kertomalla orgaanisen hiilen määrä 1,72:lla. Näiden alueiden maalaajat olivat tyypillisiä kivennäismaita, joiden humuspitoisuus oli lähtötilanteessa 3,3–18,6 %. Vuosien 1960 ja 1991 välillä 13 koealan humuspitoisuus aleni selvästi. Humuspitoisuuden alenema oli yleensä 0,2–3,5 %-yksikköä, jolloin maan alkuperäisestä humuksesta hävisi keskimäärin 26 %. Alenemasta noin 30 % selittyy kyntösyvyyden kasvamisella noin kahdella senttimetrillä, mutta muu osa on hiilen vapautumista hiilidioksidina tai huuhtoutumista humusaineina. Rungas karjanlannan käyttö vähensi humuskatoa, ja toisaalta avokesanto kulutti humusta enemmän kuin viljanviljely (Erviö 1995).

Koizumi et al. (1999) ovat määrittäneet maan kokonaishiilipitoisuuden CO<sub>2</sub>-mittausten yhteydessä kolmella ohrapellolla Jokioisilla syksyllä 1992. Muokkauskerroksessa (20 cm) oli hiiltä melko vakiomäärä eli noin 20 % turvemaassa, 1,7 % hiekkamaassa ja 3,5 % aitosavimaassa. Tämän kerroksen alapuolella hiilipitoisuudet alenivat. Kaiken kaikkiaan ylimmässä 60 cm:n maakerroksessa oli hiiltä varastoituneena 54,4 kg turvemaalla, 16,9 kg savimaalla ja 8,4 kg C/m<sup>2</sup> hiekkaisella maalla.

### 2.1.2 Viljelykasvien ja kesannon pinta-ala 1980–1999

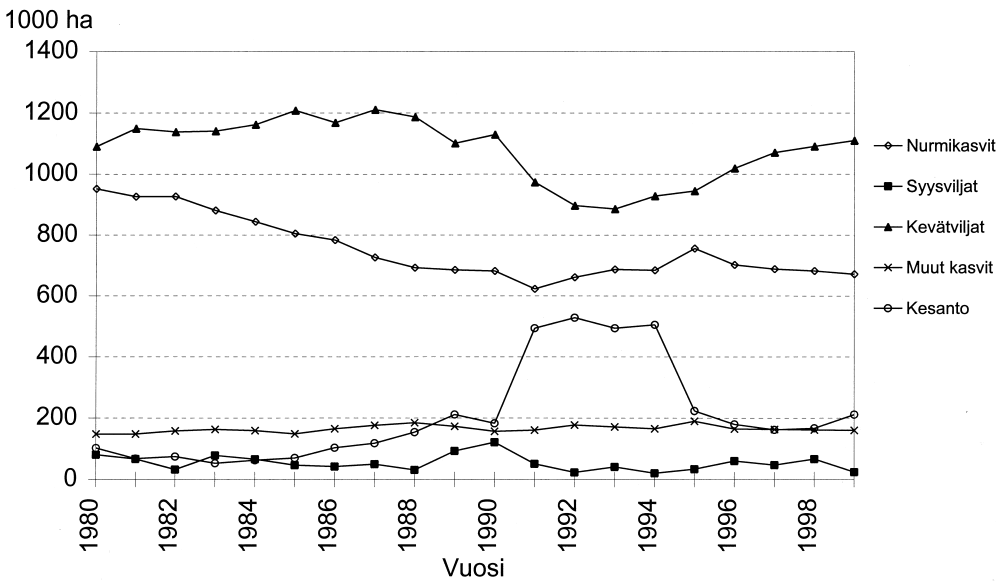
Käytössä olevan maatalousmaan ala oli 2,20 miljoonaa hehtaaria vuonna 1999. Eri viljelykasvien ja kesannon alat vuosina 1990 ja 1999 selviävät taulukosta 2. Taulukossa mainittujen kasvien lisäksi vuonna 1999 oli monivuotisia (5 vuotta ja yli) nurmia ja niittyjä 21 000 hehtaaria (Maatilatilastollinen vuosikirja 1999).

Syysviljojen osuus viljelykasvien ja kesannon kokonaisalasta on vaihdellut 0,9 ja 5,3 %:n välillä 1980- ja 1990-luvuilla (Kuva 1). Kevätviljojen viljelyala

**Taulukko 2.** Tärkeimpien viljelykasvien ja kesannon pinta-alat vuosina 1990 ja 1999 (Maatilatilastollinen vuosikirja 1999).

**Table 2.** Cultivated area of the main crops and the area of set-a-side in 1990 and 1999 (Maatilatilastollinen vuosikirja 1999).

Viljelykasvi <i>Crop</i>	Pinta-ala ja osuus koko alasta <i>Cultivated area and proportion from the total area</i>			
	1990		1999	
	1 000 ha	%	1 000 ha	%
Syysvehnä <i>Winter wheat</i>	38,1	1,7	11,9	0,5
Ruis <i>Rye</i>	83,0	3,6	12,3	0,6
Syysviljat yhteensä <i>Winter cereals total</i>	121,1	5,3	24,2	1,1
Kevätvehnä <i>Spring wheat</i>	152,5	6,7	105,8	4,9
Ohra <i>Barley</i>	502,5	22,1	581,0	26,7
Kaura <i>Oats</i>	460,7	20,3	403,9	18,6
Seosvilja <i>Mixed cereals</i>	13,7	0,6	17,9	0,8
Muut viljat <i>Other cereals</i>	..		1,2	0,1
Kevätviljat yhteensä <i>Spring cereals total</i>	1 129,4	49,7	1109,8	51,0
Herne <i>Peas</i>	3,4	0,1	4,8	0,2
Peruna <i>Potatoes</i>	36,5	1,6	32,3	1,5
Sokerijuurikas <i>Sugar beet</i>	31,0	1,4	34,8	1,6
Kuivaheinä <i>Hay</i>	290,6	12,8	175,1	8,0
Säilörehu <i>Silage</i>	223,5	9,8	350,2	16,1
Tuorerehu <i>Forage</i>	28,2	1,2	23,3	1,1
Laidun <i>Pasture</i>	128,6	5,7	113,5	5,2
Siemenviljely <i>Grass seed production</i>	11,0	0,5	9,3	0,4
Nurmikasvit yhteensä <i>Grass crops total</i>	681,9	30,0	671,4	30,8
Rypsi ja rapsi <i>Turnip rape and rapeseed</i>	66,4	2,9	62,5	2,9
Vihannekset, mansikka ja koristekasvit avomaalla <i>Vegetables, strawberries and other horticultural crops</i>	..		14,8	0,7
Muut kasvit <i>Other crops</i>	18,5	0,8	10,6	0,5
Viljelykasvit yhteensä <i>Cultivated crops total</i>	2 088,2	92,0	1 965,2	90,3
Kesanto <i>Set-a-side</i>	182,8	8,0	211,4	9,7
Viljelty ala ja kesanto yhteensä <i>Cultivated and set-a-side total</i>	2 271,0	100,0	2 176,6	100,0



**Kuva 1.** Eri viljelykasvien ja kesannon ala vuosina 1980–1999 (Suomen tilastollinen vuosikirja 1998, Maatilatilastollinen vuosikirja 1999).

**Figure 1.** Cultivation of different crop types and area under fallow in 1980–1999 (Suomen tilastollinen vuosikirja 1998, Maatilatilastollinen vuosikirja 1999).

pysytteli 1980-luvulla 1,1–1,2 miljoonassa hehtaarin, mutta 1990-luvun alkupuolella ala jäi välillä jopa alle 900 000 hehtaarin. Tätä pudotusta selittää osaltaan kyseisten vuosien suuri kesantoala. Vuoden 1993 pohjalukemista lähtien viljelyala on jatkuvasti kasvanut (Suomen tilastollinen vuosikirja 1998, Maatilatilastollinen vuosikirja 1999).

Nurmikasvien viljely väheni 1980-luvun alusta aina 1990-luvun alkupuolelle asti (Kuva 1). Tästä nurmiala kasvoi hieman vuoteen 1995 asti, mutta sen jälkeen viljelyala on pienentynyt. Nurmen käyttötavoissa on tapahtunut myös selviä muutoksia. Erityisesti säilörehunurmen ala on ollut nousussa, kun taas kuivaheinänä korjattavan nurmen ala on ollut laskussa. Myös laidunala on parissa vuosikymmenessä vähentynyt lähes puoleen (Suomen tilastollinen vuosikirja 1998, Maatilatilastollinen vuosikirja 1999).

Muiden kasvien kuin viljojen ja nurmen aloissa ei ole tapahtunut kokonaisuuden kannalta merkittäviä muutoksia

1980- ja 1990-luvuilla (Kuva 1). Kesantoala on vaihdellut vuosittain erityisesti kesantovelvoitteen ja sääolojen mukaan (Suomen tilastollinen vuosikirja 1998, Maatilatilastollinen vuosikirja 1999).

1980-luvun lopun ja 1990-luvun eräisiin eläkejärjestelmiin sekä erillisiin viljelemättömyyssopimuksiin liittyi tilan peltojen poistaminen viljelystä. Vuonna 1986 alkaneen luopumiseläkkeen viljelemättömyyssitoumuksen piirissä on noin 144 000 hehtaaria peltoa, jota on vuodesta 1997 lähtien voinut luovuttaa takaisin viljelyyn. Viljelyyn on palautunut noin 10 000 hehtaaria ja palautumisen odotetaan olevan vilkasta lähivuosina. 1990-luvun alussa tehdyissä viljelemättömyyssopimuksissa viljelystä luovuttiin joko pysyvästi tai määräajaksi. Vuonna 1998 vapautuivat kuusivuotisen sopimuksen pellot (MMM 1998).

Maatalouden ympäristöohjelmassa vuosille 1995–1999 asetettiin tavoitteeksi lisätä luonnonmukaisessa tuotannossa tai siihen siirtymävaiheessa oleva peltoala

120 000 hehtaariin ohjelmakauden loppuun mennessä (MMM 1998). Vuonna 1998 luomuviljelty tuotantoala (luomuhyväksytty ala sekä siirtymävaiheala) oli 126 175 hehtaaria. Tämä oli 5,8 % koko peltoalasta (Maatilatilastollinen vuosikirja 1999).

### 2.1.3 Energiakasvit

Tahvanaisen ja Rytkösen (1997) mukaan uusiutuvat energialähteet ovat kestävä energioresurssi, jonka käytöstä ei aiheudu happosateita ja typpioksidipäästöt ovat pienemmät kuin fossiililla polttoaineilla. Kun käytetään biomassapohjaisia energialähteitä, vapautuu runsaasti hiilidioksidia, joka myöhemmin sitoutuu uuteen kasvustoon. Tästä seuraa, että bioenergiaa käytettäessä ilmakehään ei tule hiilidioksidin nettopäästöjä.

Suomessa viljellään ruokohelpeä tällä hetkellä noin 600 hehtaarilla. Viljely on toistaiseksi kokeiluluonteista, mutta tavoitteena on ruokohelven viljely muun muassa energian ja sellun raaka-aineeksi sekä kuivike- ja kompostikäyttöön (Sahramaa 1998).

Pajun viljely on Suomessa hyvin vähäistä. Muutamilla hehtaareilla viljellään pajua lähinnä käsi- ja taideteollisuuden tarpeisiin sekä jätteenkäsittelytarkoituksiin. Pajun soveltavuudesta energiakäyttöön on tehty kokeita, mutta toistaiseksi ei viljelmiä ilmeisesti ole tähän tarkoitukseen (L. Tahvanainen, Joensuun yliopisto, henkilökohtainen tiedonanto 12.10.1998).

### 2.1.4 Peltojen metsitys

Peltoja metsitettiin 1980-luvulla vuosittain keskimäärin vajaat 3 300 hehtaaria. 1990-luvulla metsitys on ollut runsaampaa. Vuosina 1990–1998 metsitysala oli keskimäärin runsaat 10 200 hehtaaria vuodessa, mutta vuosittainen vaihtelu on ollut suurta (4 137–17 688 ha). Vuonna 1998 metsitettiin peltoja 7 135 hehtaaria (Metsätilastollinen vuosikirja 1999).

Pellonmetsityspalkkion poistuttua arvioidaan pellonmetsityksen vähenevän lähivuosina 3000–4000 hehtaariin vuodessa. Turvemaiden osuus vuosina 1970–1997 metsitettyjen peltojen alasta on noin 40 % (Selin et al. 1999).

### 2.1.5 Kotieläinten lukumäärä 1980–1998

Nautojen määrä (Kuva 2) on laskenut 1980- ja 1990-lukujen aikana runsaalla 600 000 yksilöllä. Pudotus johtuu lähinnä lypsylehmien ja samalla vasikoiden vähenemisestä. Sikojen kokonaismäärä on puolestaan vaihdellut 1,3 ja 1,5 miljoonan yksilön välillä vuosina 1980–1998 (Maatilatilastollinen vuosikirja 1999).

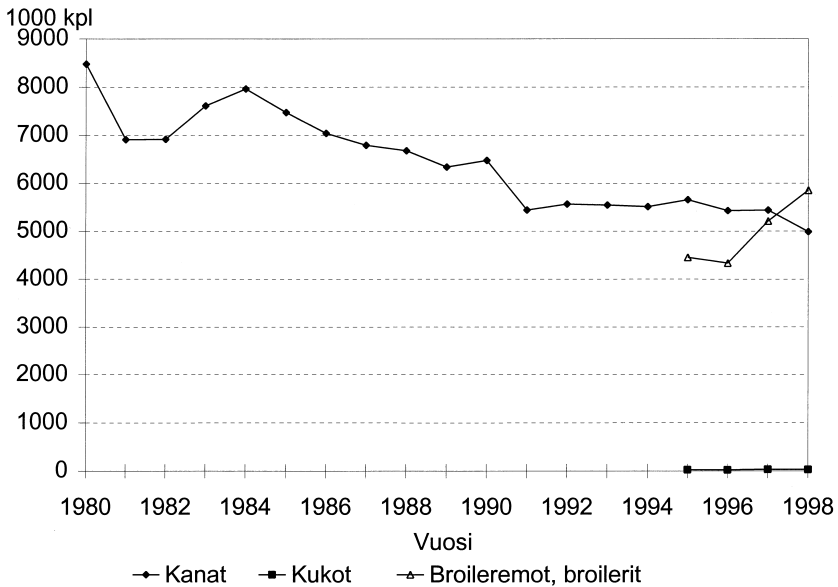
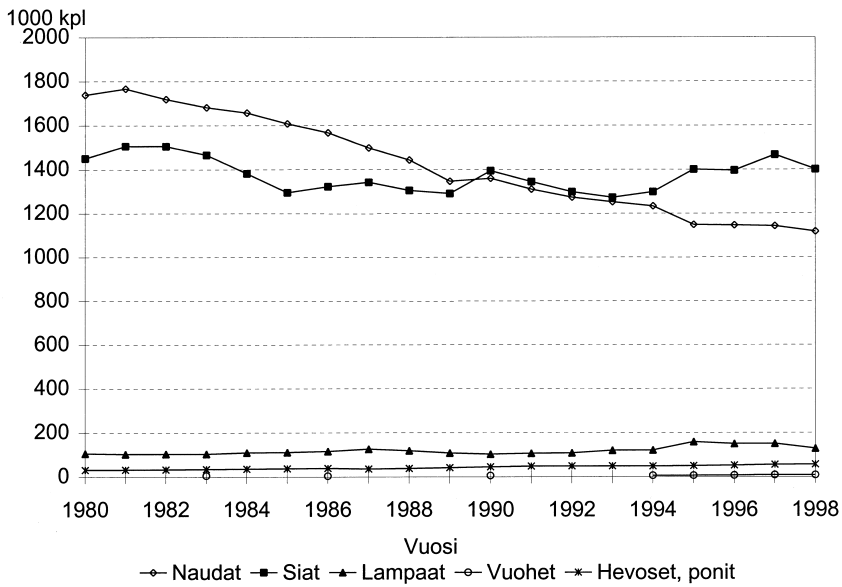
Suomessa oli 1980-luvulla 6,3–8,5 miljoonaa kanaa. Vuosina 1991–1997 määrä pysytteli noin 5,5 miljoonassa, mutta laski vuonna 1998 alle 5 miljoonan (Kuva 2). Munivien kanojen (yli 5–6 kuukauden ikäisiä) osuus koko kanamäärästä on noin 3/4 (Suomen tilastollinen vuosikirja 1998, Maatilatilastollinen vuosikirja 1999). Broilereita oli vuonna 1998 noin 1,4 miljoonaa yksilöä enemmän kuin vuonna 1995 (Maatilatilastollinen vuosikirja 1999).

Hevosten ja ponien määrä (Kuva 2) on noussut vähitellen 31 500 yksilöstä 56 100 yksilöön vuosien 1980–1998 aikana (Maatilatilastollinen vuosikirja 1999). Lampaista oli 1980-luvulla enimmillään 126 200 yksilöä, mutta 1990-luvulla määrä on käynyt 158 600 yksilösä (Suomen tilastollinen vuosikirja 1998, Maatilatilastollinen vuosikirja 1999).

## 2.2 Typpilannoitus

### 2.2.1 Kaupallisten typpilannoitteiden käyttö 1980–1999

Typpilannoitteiden myynti oli huipussaan vuonna 1990, jolloin tyypeä myytiin väkilannoitteena 111,5 kg viljeltyä

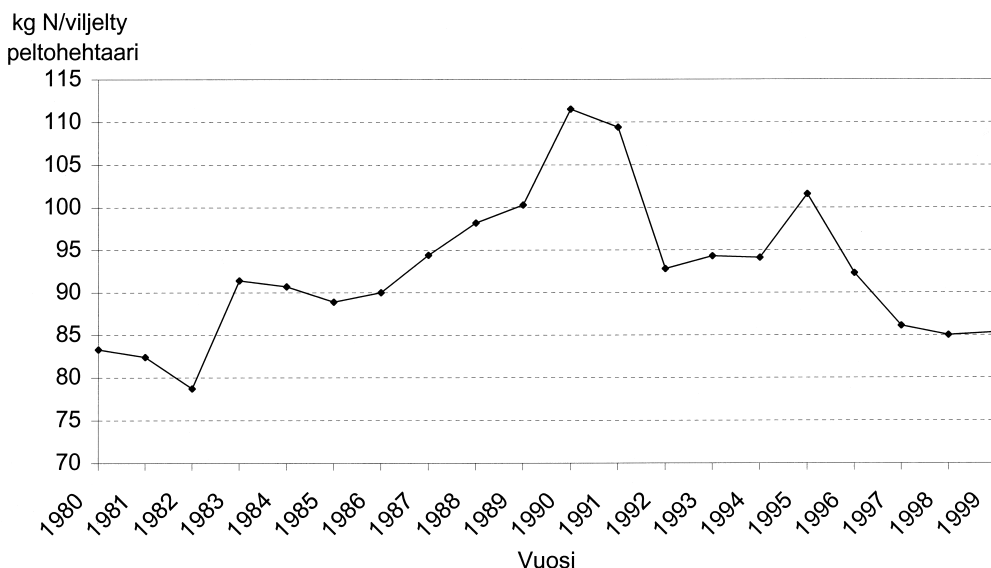


**Kuva 2.** Kotieläinten määrä vuosina 1980–1998. Määriin kuuluvat sekä aikuiset että nuoremmat yksilöt (Suomen tilastollinen vuosikirja 1998, Maatilastollinen vuosikirja 1999).

**Figure 2.** Number of livestock in 1980–1998. Both adults and young animals are included in numbers (Suomen tilastollinen vuosikirja 1998, Maatilastollinen vuosikirja 1999).

peltohehtaaria kohti (Kuva 3) (Kemira Agro 1998). Lannoitusvuonna 1998/99 Kemira Agro Oy:n myynti oli 85,3 kg N/ha (Maatilastollinen vuosikirja 1999).

Vuonna 1995 myynnissä oli äkillinen nousu. Tämä saattaa osittain johtua varastoihin ostetuista lannoitteista, jotka käytetään seuraavina vuosina. Tällöin



**Kuva 3.** Väkilannoitetyypin myynti (Kemira Agro Oy) viljeltyä pellohehtaaria kohti vuosina 1980–1999 (Kemira Agro 1998, Maatilatilastollinen vuosikirja 1999).

**Figure 3.** Sales of fertilizer nitrogen (Kemira Agro Ltd.) per hectare of cultivated land in 1980–1999 (Kemira Agro 1998, Maatilatilastollinen vuosikirja 1999).

väkilannoitetyypin käyttö ei olisi todellisuudessa laskenut niin paljon kuin myyntitilastojen perusteella näyttäisi.

## 2.2.2 Karjanlannan käyttö

Kotieläintalouden tuottama kokonaistyyppimäärä oli vuonna 1995 noin 88 052 tonnia ja turkiseläinten lannassa tyyppi erittyi samana vuonna noin 5 728 tonnia. Näissä luvuissa ei ole otettu huomioon haihtumisen kautta tapahtuvaa hävikkiä eli kaikki tämä tyyppi ei päädy maahan (J. Grönroos, SYKE, henkilökohtainen tiedonanto 16.10.1998). Kotieläintaloudesta syntyvä kokonaistyyppimäärä oli tämän mukaan vuonna 1995 viljeltyä pellohehtaaria (1 923 200 ha) kohti 45,8 kg. Turkistarhauksesta syntyvä määrä oli 3,0 kg/ha.

Maatalouden ympäristöohjelman seurantatyöryhmän loppuraportin mukaan karjanlannan mukana pelloille levitettiin vuosina 1995–1997 tyyppiä hieman yli 18 kg viljeltyä pellohehtaaria kohti

(MMM 1998). Käytännössä levitetyt määrät hehtaaria kohti ovat kuitenkin suuremmat, koska lantaa levitetään vain rajoitetulle peltoalalle.

## 2.2.3 Puhdistamolietteen käyttö

Puhdistamolietteen käyttö maanviljelyssä oli suurimmillaan 1980-luvun puolivälissä, jolloin puolet lietteestä levitettiin pelloille. Sen jälkeen käyttö on vähentynyt, ja vuonna 1990 lietteestä neljännes levitettiin pelloille (Puolanne 1992).

Vuonna 1997 yhdyskuntajätevedenpuhdistamoilta peräisin olevaa lietettä käytettiin maataloudessa 53 000 tonnia kuiva-ainetta. Liette sisälsi keskimäärin 32 g tyyppiä kuiva-ainekiloa kohti eli yhteensä 1 696 tonnia (T. Siika-aho, SYKE, henkilökohtainen tiedonanto 17.9.1998). Tämän perusteella viljeltyä pellohehtaaria (1 963 600 ha) kohti tyyppiä tuli lietteestä vajaa 0,9 kg. Mikäli pyritään siihen, että elohopean määrä ei ylitä 1,0 g/ha/vuosi (Valtioneuvoston päätös puhdis-



tamolietteen käytöstä maanviljelyksessä 14.4.1994), niin maataloudessa vuonna 1997 käytetyn lietteen keskimääräisen koostumuksen perusteella voidaan lietettä levittää noin 770 kg kuiva-ainetta/ha. Tämän mukana pellolle tulee typpeä noin 25 ja fosforia noin 22 kg/ha.

## 3 Kasvihuonekaasut

Eräät ilmakehän kaasut imevät pitkäaaltosta säteilyä tehokkaasti. Lyhytaaltoista säteilyä nämä kaasut eivät juurikaan ime, vaikka ne heijastavat ja sirottavat sitä. Tämän seurauksena syntyy kasvihuoneilmiö, ja sen aiheuttajia kutsutaan kasvihuonekaasuiksi. Maapallon luonnollinen kasvihuoneilmiö aiheutuu suurimaksi osaksi vesihöyrystä ja hiilidioksidista. Ihmisen aiheuttaman kasvihuoneilmiön voimistumisen osalta tärkeimmät kaasut ovat hiilidioksidi, metaani, halogeeniyhdisteet, dityppioksidi ja otsoni (Holopainen et al. 1996). Maatalouden tuottamista kasvihuonekaasuista tärkeimmät ovat hiilidioksidi, dityppioksidi ja metaani.

Eri kaasuilla on erilainen lämmitysvaikutus, jota kuvaa kaasun globaalinen suora lämmityspotentiaali hiilidioksidin lämmitysvaikutukseen suhteutettuna sadan vuoden tarkasteluajalla eli GWP-kerroin (Holopainen et al. 1996). IPCC:n (1996) määrittämä GWP-kerroin on metaanille 21 ja dityppioksidille 310, kun tarkastelujaksona on sata vuotta.

### 3.1 Hiilidioksidi (CO<sub>2</sub>)

#### 3.1.1 Hiilidioksidilähteet

Maatalouden harjoittamisessa hiilidioksidia syntyy muun muassa erilaisissa polttoprosesseissa kuten energian tuotannossa (polttoaineiden käytössä) tai olkien poltossa pellolla. Kasvijätteen poltossa vapautuvaa hiilidioksidia ei kuitenkaan pi-

detä CO<sub>2</sub>:n nettolähteenä, koska kasvit sitovat vapautuneen hiilen seuraavalla kasvukaudella (IPCC 1997). Maahan varastoituneen orgaanisen hiilen määrä riippuu siitä, paljonko kasvijätteissä tai muussa orgaanisessa aineessa tulee hiiltä maahan, ja toisaalta hiilen vapautumisesta hiilidioksidina maan orgaanisen aineen mineralisoituessa aerobisessa ympäristössä. Anaerobisessa ympäristössä mineralisaatiossa syntyy metaania. Hiilen mineralisaatioon maassa vaikuttavat useat tekijät kuten abioottiset olosuhteet (lämpötila, kosteus, ilmavuus, happamuus), muokkaus, maan tekstuuri ja mineralogia, kasvijätteen kemialliset ominaisuudet ja rakenne sekä maan ravinteisuus (Paustian et al. 1997, 1998). Hajoaminen on nopeinta lämpimässä ja kosteassa ympäristössä, missä maan pH on lähellä neutraalia ja ravinteita on riittävästi tarjolla (Paustian et al. 1998). Kalkituksen seurauksena syntyy hiilidioksidia ja vettä, kun kalkitusaineen karbonaatti reagoi maassa olevan vetyionin kanssa (Hartikainen 1992).

#### 3.1.2 Mittaus- ja laskentatuloksia suomalaisten maatalousmaiden CO<sub>2</sub>-päästöistä

Nykänen et al. (1995, 1996) mittasivat kasvihuonekaasupäästöjä Ilomantsissa maatalouskäytössä olevalla turvemaalla osana SILMU (Suomalainen ilmakehänmuutosten tutkimusohjelma) -projektia vuosina 1991–1992. Turvepellolta, joka oli nurmella, vapautui hiilidioksidia 22 000 kg/ha vuodessa. Alueelta, jolta kasvillisuus oli poistettu, emissio oli 15 000 kg CO<sub>2</sub>/ha/vuosi. Näiden kahden arvon erotus kuvaa juuriston hengitystä sekä juurten ja juurieritteiden hajoamista. Paljaalta alueelta tapahtuvan emissioon oletetaan olevan turpeen hapettumisen indikaattori.

Touko-lokakuussa 1992 Koizumi et al. (1999) seurasivat hiilidioksidin vapautumista Jokioisilla kolmelta ohraa kasvavalta maalta. Tilastolliseen malliin ja

meteorologiseen dataan perustuen he arvioivat, että viiden kuukauden eli toukokuuskuun aikana turvemaalta vapautui 1,67 kg, aitosavimaalta 1,31 kg ja hiekaiselta maalta 0,98 kg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

SILMU:n loppuraportissa todetaan, että viljellyt turvemaat ovat hiilen lähteitä. Turpeen hajoamisen seurauksena hiiltä vapautuu ilmakehään noin 4 000 kg/ha vuodessa eli yhteensä lähes miljoona tonnia viljelykäytössä olevilta soilta. Toisaalta viljelykasvit sitovat runsaasti hiiltä, mutta sillä ei ole vaikutusta hiilitaseeseen, koska sadon sisältämä hiili vapautuu pian takaisin ilmakehään ihmisten ja kotieläinten kautta. Viljelymaan hiilimäärää lisäävät kasvien juuristo sekä muut maahan muokattavat kasvinosat. Suurin osa maahan lisäystä orgaanisesta aineesta hajoaa kuitenkin nopeasti, ja voi lisätä muunkin maassa olevan orgaanisen aineen hajoamista. Juuriston hengityksen ja hajoamisen on todettu aiheuttavan 1 900–2 000 kg vuotuisen hiiliemission hehtaarilta (Laine 1996).

SILMU-tutkimusten mukaan turvepelloilta vapautuu hehtaaria kohti noin 15 Mg hiilidioksidia vuodessa (Savolainen 1996). Tällöin kokonaishiilidioksidipäästö olisi noin 4 500 Gg vuodessa, jos turvemaita oletetaan olevan 300 000 ha. Mikäli viljeltäviä turvemaita lasketaan olevan 200 000 ha, olisivat päästöt 3 000 Gg/vuosi. Suuri epävarmuus viljelyksessä olevan turvemaan alasta vaikuttaa merkittävästi arvioituun kokonaispäästöön.

Sen lisäksi, että mitataan suoraan maasta vapautuvan hiilidioksidin määrää, voidaan orgaanisesta maasta tapahtuvan CO<sub>2</sub>-emission suuruutta arvioida epäsuorasti. Kun turvemaata kuivatetaan, alkaa maan pinta painua maassa tapahtuvien fysikaalisten prosessien ja turpeen mikrobiologisen hapettumisen seurauksena. Hyvin karkea arvio vapautuvan hiilidioksidin määrästä voidaan laskea maan pinnan painumisesta, jos tiedetään maan tilavuuspaino ja hiilen osuus maassa sekä ennen että jälkeen painumisen ja pystytään arvioimaan, mikä osuus orgaanisen

aineen hapettumisella on pinnan painumisessa. Toinen epäsuora keino hiilidioksidiemission arvioimiseksi on orgaanisen aineksen hapettumisen laskeminen vuotuisen sademäärän ja keskilämpötilan perusteella (Kasimir-Klemedtsson et al. 1997).

Armentano ja Menges (1986) ovat laskeneet, että borealisella vyöhykkeellä Suomessa ja entisessä Neuvostoliitossa orgaanisesta maasta vapautuu hiiltä 2 170 kg/ha vuodessa, kun maassa viljellään viljaa tai muita vastaavia kasveja. Tämä arvio perustuu oletukselle, että hapettuminen selittää 14 % maan pinnan painumisesta. Alueilta, jotka on kuivatettu laidun- tai metsäkäyttöön, vapautuminen olisi 300 kg C/ha/vuosi. Näistä arvoista on johdettu myös IPCC-ohjeissa annettuja oletusarvoja orgaanisten maiden CO<sub>2</sub>-emission laskemiseksi (IPCC 1997).

Orgaanisen aineen hapettumisesta johtuva maan pinnan painuminen (mm/vuosi) voidaan esittää vuotuisen sadannan/keskilämpötilan funktiona (Eggelsman 1976). Hapettumisesta aiheutuva häviö voidaan muuttaa edelleen CO<sub>2</sub>-häviöksi. Tähän perustuen (sadanta 650 mm, keskilämpötila 1,9 °C) on arvioitu vuotuisen CO<sub>2</sub>-emission olevan 20 000 kg CO<sub>2</sub>/ha viljelyiltä orgaanisilta mailta Suomessa. Tämä menetelmä ei tee eroa maan eri käsittelytapojen välillä (Kasimir-Klemedtsson et al. 1997).

Kasimir-Klemedtsson et al. (1997) ovat arvioineet nurmelta tapahtuvan emission perusteella, että Suomen viljelykäytössä olevilta orgaanisilta mailta vapautuisi 4 500 Gg hiilidioksidia vuodessa. Vastaavasti Ruotsissa vuotuinen CO<sub>2</sub>-emissio olisi 3 800 ja Hollannissa 4 200 Gg.

### 3.1.3 Maatalouden CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentäminen

Maatalouden mahdollisuudet vähentää CO<sub>2</sub>-päästöjä voidaan jakaa kahteen ryhmään: 1) lisätään maahan ja kasvillisuuteen varastoituneen hiilen määrää ja

2) vähennetään fossiilisten polttoaineiden kulutusta maataloudessa sekä tuotetaan bioenergiaa, jolla korvataan fossiilisia polttoaineita talouden eri sektoreilla. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat mahdollisuudet koskevat maankäytön muutoksia sekä käytössä olevaa viljelytekniikkaa (Paustian et al. 1998).

Maankäytön muutoksilla hiilidioksidipäästöjä voidaan pienentää vähentämällä pellon raivausta ja nurmettamalla uudet pellot heti raivauksen jälkeen sekä muuttamalla marginaaliset viljelysmaat pysyviksi nurmiksi, metsiksi tai kosteikoiksi. Kun pellon viljelykäytöstä luovutaan, maahan kertyy hiiltä kunnes uusi hiilen tasapainotilanne saavutetaan yleensä 50–100 vuoden kuluessa. Kun viljelymaan annetaan muuttua kosteikoksi, hiilen kertyminen jatkuu pidempään. Viljelymaita on otettu pois käytöstä myös lyhyehköiksi määräajoiksi muun muassa ylituotannon vuoksi. Tällä ei ole kuitenkaan juurikaan merkitystä hiilen pidätykseen, sillä maan palautuessa takaisin tavanomaiseen viljelyyn sen hiilivarannot alkavat jälleen pienetä (Paustian et al. 1997, 1998). Vaikka pellon saattamisella kosteikoksi voidaan vähentää hiilidioksidipäästöjä, voi toimenpide lisätä metaanipäästöjä. Esimerkiksi Nykäsen et al. (1995, 1996) kokeessa vuonna 1992 luonnontilaiselta suolta tuleva metaanieremissio oli 345 kg CH<sub>4</sub>/ha vuodessa, kun nurmelta tapahtuva eremissio oli samana vuonna 1,7 kg CH<sub>4</sub>/ha.

Jos halutaan lisätä maatalousmaan hiilivarantoa, tulee pyrkiä lisäämään erityisesti maan hiilivarastoja eikä niinkään kasvillisuuteen sitoutunutta hiiltä. Sadonkorjuun yhteydessä poistetaan runsaasti hiiltä pellolta vähintään kerran vuodessa eikä peltobiomassalla ole näin ollen samanlaista merkitystä niin pitkäaikaisena hiilivarastona kuin esimerkiksi puilla (Paustian et al. 1998).

Mikäli viljelytekniisin toimenpitein halutaan nostaa maan hiilipitoisuutta, viljelytoimenpiteiden tulee lisätä maahan jäävän orgaanisen aineen määrää ja/tai

vähentää maan orgaanisen aineksen hajoamista. Mahdollisuudet lisätä maassa olevan hiilen määrää rajoittuvat suurelta osin muihin kuin kosteikkomaihin, mikäli pelto on jatkuvassa viljelyssä. Keinotekoisesti kuivatettujen kosteikkomaiden (esimerkiksi turvemaat) palauttaminen hiilinieluiksi on epätodennäköistä ellei niitä oteta pois viljelykäytöstä ja anneta palautua luonnontilaan (Cole et al. 1996, Paustian et al. 1997, 1998).

Ravinteiden käyttöä tehostamalla sekä laji- ja lajikevalinnalla voidaan lisätä kasvijätteissä maahan tulevan hiilen määrää (Cole et al. 1996, Paustian et al. 1997, 1998). Piensiemenisistä viljoista jäävät kasvijätteet ovat maan ja vesien suojelun sekä maan pinnan hoidon kannalta parhaimpia. Viljat tuottavat tavallisesti runsaasti kasvijätettä, mikä johtuu niiden korkeasta olki/jyvä-suhteesta, jätteiden hitaasta hajoamisesta sekä korkeasta C/N-suhteesta (Lal 1997). Suomessa jätetään arviolta noin 80 % oljesta maahan. Korjatusta oljesta valtaosa käytetään eläinten rehuna ja kuivikkeena (Wilkinson 1998). Tästäkin osa palautuu uudelleen maahan lannan mukana.

Erviö ja Talvitie (1995) ovat tutkineet mahdollisuuksia vaikuttaa viljelysmaan humuspitoisuuteen viljelyn keinoin. Kymmenen vuoden koeaikana maan humuspitoisuus nousi selkeästi vain maassa, johon oli lisätty turvetta yhteensä 400 m<sup>3</sup>/ha. Savimaalla humuspitoisuuden nousu oli 1,7 ja hiesumaalla 0,5 %-yksikköä. Olkien maahankyntö nosti humuspitoisuutta keskimäärin 0,14 %-yksikköä. Olkien poisto vastaavasti alensi humuspitoisuutta savimaalla 0,86 ja hiesumaalla 0,58 %-yksikköä. Humuspitoisuuden ero ei kuitenkaan ollut merkitsevä, kun verrattiin koejäseniä, joista olki oli poistettu jäseniin, joissa olki oli kynnetty maahan. Turpeen lisäys ei kuitenkaan varsinaisesti lisää maassa olevaa kokonaishiilivarantoa, vaan on pikemminkin hiilen siirtoa alueelta toiselle.

Avokesannoinnin aikana maahan ei tule uutta orgaanista ainesta ja samalla

muun muassa runsaammasta kosteudesta johtuen maan orgaanisen hiilen mineralisaatio on yleensä nopeampaa kuin kasvipeitteisessä maassa. Avokesanto lisää myös eroosion riskiä (Cole et al. 1996, Paustian et al. 1997, 1998). Suomessa avokesannon on todettu kuluttavan enemmän humusta kuin viljanviljelyn (Erviö 1995).

Viherkesannot ovat hyvä vaihtoehto avokesannolle myös orgaanisen hiilen määrää tarkasteltaessa. Yksivuotisten kesantojen kokeissa virnojen on mitattu tuottavan kuiva-ainetta 7 000 kg/ha, muiden palkokasvien 5 000 kg/ha ja raiheinän 3 000 kg/ha. Kolmivuotisten kesantojen vertailussa vuohenherne tuotti kuiva-ainetta yli 10 000 kg/ha. Tähän massaansa päästiin myös timotein ja apiloiden seoksilla, kun apilat olivat säilyneet kolmanteen vuoteen. Kokeessa, jossa apilat kuolivat toisen vuoden jälkeen, oli sato puolta pienempi. Myös pelkän timotein sato ennen maahan kyntöä vaihteli samoissa rajoissa. Satomäärässä ovat mukana sekä maanpäälliset versot että juuret 25 cm syvyyteen asti (Känkänen 1994).

Monivuotisten rehukasvien viljely voi lisätä merkittävästi maan hiilen määrää, koska näiden kasvien juurimassa on suuri. Maata ei myöskään muokata niin usein kuin yksivuotisia kasveja viljeltäessä. Lisäksi monivuotinen kasvusto vähentää eroosiota (Cole et al. 1996, Paustian et al. 1997, 1998). Laineen (1996) mukaan nurmen juuristo tuottaa elinaikanaan kuiva-ainetta 3 000–5 000 kg/ha, ja viljojen juuriston kuiva-ainemassa on alle 3 000 kg/ha. Näin ollen juuristo lisää elinaikanaan maan hiilivarastoa 1 200–2 000 kg/ha, jos juurten hiilipitoisuudeksi oletetaan 40 %. Lemola ja Turtola (1998) ovat puolestaan arvioineet kirjallisuuskatsauksessaan, että Etelä-Suomessa eroosio monivuotiselta nurmelta tai viherkesannolta on noin 40 % vähäisempää kuin syksyllä kynnetyltä maalta.

Maan pitäminen kasvipeitteisenä talvikauden yli peittokasvien avulla vähentää

eroosiota, ja kasvimassasta tulee lisäannos hiiltä maahan (Cole et al. 1996, Paustian et al. 1997, 1998). Suomen lyhyestä kasvukaudesta johtuen varsinaisen viljelykasvin jälkeen kylvetyt peittokasvit eivät ole kovin käyttökelpoisia paitsi silloin kun pääkasvi, kuten esimerkiksi varhaisperuna, korjataan jo alkukesästä. Vaihtoehtona voisivat olla keväällä pääkasvin kanssa samaan aikaan kylvettävät aluskasvit. Nykyisin aluskasveja käytetään jonkin verran luonnonmukaisessa tuotannossa, mutta tavanomaisessa viljelyssä niiden käyttö on toistaiseksi harvinaista (H. Känkänen, MTT, henkilökohtainen tiedonanto 18.3.1999).

Nykänen-Kurki ja Känkänen (1996) ovat verranneet neljää aluskasvia viljanviljelyssä kolmella eri paikkakunnalla. Kun kaikki typpilannoitustasot (0–90 kg N/ha) yhdistetään, saatiin Westerwoldin raiheinästä (555 kg/ha) ja puna-apilasta (500 kg/ha) suurimmat kuiva-ainesadot Jokioisilla vuonna 1991. Valkoapilan sekä puna-apilan ja nurminadan seoksen kuiva-ainesadot jäivät noin puoleen edellisistä. Pälkäneellä sadot olivat samana vuonna korkeampia eli kasvusta riippuen 660–1 100 kg/ha. Laukaalla puna-apila tuotti vuosina 1991–1994 keskimäärin runsaat tuhat kiloa kuiva-ainetta hehtaaria kohti. Valkoapila ja puna-apila/nurminata-seos olivat seuraavaksi parhaat, mutta raiheinän sato jäi 450 kiloon.

Aluskasvit lisäävät myös maahan jättävää juuristomassaa. Jokioisilla vuonna 1991 kokonaisjuuristomassa oli noin 500 kg/ha, kun aluskasvia ei käytetty (typpilannoitustasot yhdistetty). Valkoapilaa käytettäessä juuriston massa oli 860 kg ja Westerwoldin raiheinää käytettäessä 1 050 kg/ha. Suurin juurimassa saatiin, kun puna-apila sellaisenaan (1 380 kg/ha) tai nurminadan kanssa yhdessä (1 340 kg/ha) oli aluskasvina (Nykänen-Kurki & Känkänen 1996).

Runsas lannan käyttö lisäisi maan hiilivarantoa, mutta tästä aiheutuvat ympäristöhaitat tulee ottaa huomioon (Cole et al. 1996, Paustian et al. 1998). Myös

Suomessa runsaan karjanlannan käytön on todettu vähentävän humuskatoa (Erviö 1995). Maan hiilimäärän lisääntyminen lannankäytön seurauksena ei ole kokonaisuudessaan hiilidioksidin nettopoistumaa ilmakehästä vaan yksinkertaisesti ravintona ja alustana käytetyn kasvimateriaalin uudelleen kierrätystä. Lannan parantaessa maan ravinteisuutta ja rakennetta kasvien kasvu voi lisääntyä. Tällöin myös kasvijätteen mukana maahan tulevan hiilen määrä voi kasvaa (Paustian et al. 1997). Myöskin jätevesilietteiden käytöllä voi olla maan hiilipitoisuutta lisäävä vaikutus (Cole et al. 1996, Paustian et al. 1998). Nykyisin lietteiden käyttöä rajoittaa ilmeisesti eniten pelko niiden sisältämistä raskasmetalleista.

Muokkauksen vähentäminen tai siitä jopa kokonaan luopuminen vähentää maan fysikaalista häirintää ja lisää maan pinnalle tai lähelle pintaa jäävän kasvijätteen osuutta (Cole et al. 1996, Paustian et al. 1997, 1998). Lalin (1997) mukaan muokkaus- ja kylvömenetelmät, joilla pyritään jättämään maan päälle mahdollisimman runsaasti kasvijätettä (*conservation tillage*), vaikuttavat monella eri mekanismilla hiilen pidättymiseen maahan. Näitä vaikutustapoja ovat polttoaineen säästyminen, kasvinjätteen käyttö, vähentynyt mineralisaatio maan lämpö- ja kosteusolojen muuttumisesta johtuen, murujen määrän ja stabiilisuuden lisääntyminen sekä eroosion vähentyminen.

Reicoskyn (1997) tekemässä tutkimuksessa maasta vapautui kynnön jälkeisinä 19 päivänä enemmän (134 %) hiiltä hiilidioksidina kuin maahan jäi edeltävästä kevätvehnästä kasvinjätteen mukana. Sängelle jätetyltä lohkolta emittoituvan hiilen määrä vastasi 27 % kasvinjätteen hiilestä. Muut muokkaustavat, joista kahta käytetään muun muassa talviaikaisen tuuli- ja vesieroosion estämiseen, asettuivat näiden väliin (54–70 %).

Pitkänen (1988) on selvittänyt kaudella koepaikalla maan fysikaalisissa ja kemiallisissa ominaisuuksissa tapahtuneita

muutoksia, kun maa oli ollut kyntämättä kuusi koevuotta. Kyntämättä viljely lisäsi orgaanisen hiilen pitoisuutta maan pintaosissa (0–7,5 cm) keskimäärin 0,4 prosenttiyksikköä. Keväällä sänkimuokatussa maassa oli yleensä enemmän orgaanista hiiltä kuin syysäestetyin maan pintaosissa. Syvemmällä (yli 10 cm) kynnetyssä maassa oli yhtä paljon tai enemmän orgaanista hiiltä kuin kyntämättömässä maassa. Olkien poisto ja syksyinen sänkimuokkaus alensivat hieman kyntämättömän maan pintaosan orgaanisen hiilen pitoisuutta. Auraton viljely paransi myös maan pintaosien murujen veden kestävyyttä, mikä todennäköisesti liittyi kohonneeseen orgaanisen aineksen pitoisuuteen.

Maan jättämisen syksyllä sängelle on arvioitu vähentävän eroosiota syyskynntöön verrattuna 20 % Etelä-Suomessa. Syyssänkimuokkauksella eroosiota voitaneen vähentää noin 10 % (Lemola & Turtola 1998). Turtola ja Puustinen (1998) ovat koonneet yhteen Aurajoen ja Jokioisten savimaan valuntakentillä tehtyjen tutkimusten tuloksia. Aurajoella (kentän kaltevuus 8 %) kynnetyin maan eroosio pintavalunnassa oli vuodessa 1 700–3 300 kg, sänkimuokkauksessa 540–3 100 kg ja sängellä 200–1 400 kg/ha. Jokioisilla (kaltevuus 2 %) kynnetyin maan eroosio oli pintavalunnassa 70–800 kg ja salaojavalunnassa 690–1 040 kg/ha vuodessa. Sänkimuokatulta alalta eroosio oli pintavalunnassa 420 kg (yhden vuoden tulos) ja salaojavalunnassa 1 080 kg/ha. Syksyllä sängelle jätetyltä alalta eroosio oli 230–330 kg (pintavalunta) ja 500–1 300 kg/ha (salaojavalunta). Tämän mukaan sekä sänki että syyssänkimuokkaus vähensivät eroosiota kyntöön verrattuna Aurajoella. Jokioisilla sänkimuokkaus ei vähentänyt eroosiota ja sängengin vaikutus oli selvästi pienempi kuin Aurajoella. Turtola ja Puustinen (1998) totesivat myös syysvehnän vähentäneen pintavalunnan tuoman eroosion (1 000–2 200 kg/ha) Aurajoella keskimäärin lähes puoleen kynnetyyn verrattuna. Syys-

viljan vaikutus riippui kuitenkin paljon kasvuston perustamisen onnistumisesta. Jokioisilla monivuotinen nurmi puolestaan vähensi eroosion puoleen.

Maatalouden osuus fossiilisten polttoaineiden kulutuksesta on suhteellisen alhainen. Teollisuusmaiden kokonaisenergiabudjetissa perusmaatalouden osuus jää 3–4,5 prosenttiin. Tämä merkitsee sitä, että maatalouden fossiilisten polttoaineiden kulutusta vähentämällä voidaan CO<sub>2</sub>-päästöjä pienentää vain melko vähän (Sauerbeck 1999).

Typenkäytön tehostaminen tarjoaa myös erään mahdollisuuden vähentää päästöjä (Cole et al. 1996, Paustian et al. 1998), sillä synteettisten lannoitteiden valmistuksessa vapautuu ilmakehään keskimäärin 1,5 kiloa hiiltä yhtä sidottua tippikiloa kohti (Paustian et al. 1998).

Myös muokkauksen vähentäminen säästää energiaa (Cole et al. 1996, Paustian et al. 1998). Perinteinen viljelysysteemi, jossa toimenpiteisiin kuuluvat kyntö, äestys, kylvö ja jyräys, kuluttaa eniten energiaa. Ruotsalaisessa kokeessa todettiin, että kevätilvojen viljelyssä polttoaineen kulutus väheni noin 10 %, kun maan kevätkuokkaus yhdistettiin kylvöön. Kyntämättä viljelyssä polttoaineen kulutus väheni perinteiseen tapaan verrattuna 32 tai 37 % riippuen siitä, tehtiinkö kylvömuokkaus ja kylvö erikseen vai yhdessä. Suorakylvössä polttoaineen kulutus oli pienimmillään vain 19 % siitä, mitä se oli perinteisessä systeemissä (Danfors 1988). Maatilojen ympäristöhoito-ohjelmien yhteenvetotietojen perusteella suorakylvöä käytetään lähinnä Etelä-Suomessa syysviljan kylvöissä. Kaikista tiloista kuitenkin alle 2 % käyttää suorakylvömenetelmää (Seppänen & Matinlassi 1998).

Varastotilojen ja kotieläinrakennusten jäähdyttäminen ja lämmittäminen muodostavat huomattavan osan maatalouden sähkönkulutuksesta. Näiden rakennusten teknisen toteuttamisen parantaminen voisi pitkällä tähtäimellä vähentää energian kulutusta (Paustian et al. 1998).

Päästöjen vähentämiskeinoja etsittäessä tulisi ottaa huomioon koko ruokaketju. Esimerkiksi kuljetusmatkoilla ja ravintotottumuksilla (eläinproteiinin käyttö) on vaikutusta energian kulutukseen (Cole et al. 1996, Paustian et al. 1998).

Suoraan energiantuotantoon käytettävän, fossiilisia polttoaineita korvaavan kasvibiomassan määrän ja monipuolisuuden lisääminen tarjoaa suurimman mahdollisuuden vähentää hiilidioksidiemisioita maatalouden keinoin. Biopolttoaineiden tuotantoa voidaan lisätä muun muassa korvaamalla muita viljelykasveja (erityisesti niitä, joista on ylituotantoa) energiakasveilla ja viljelemällä energiakasveja muusta maatalouskäytöstä poistetuilla mailla tai suojavyöhykkeillä sekä lisäämällä kasvijätteen ja sivutuotteiden käyttöä. Kasvinjätteitä käytettäessä on huolehdittava siitä, että myös maahan jää riittävästi orgaanista ainesta maan hiilipitoisuuden ja tuottavuuden ylläpitoon sekä eroosion estämiseen (Cole et al. 1996, Paustian et al. 1998).

Biomassaenergian tuotannossa hiilidioksidikiertoa voidaan pitää periaatteessa suljettuna kiertona, missä nettolisäystä ilmakehän hiilidioksidin aiheutuu ainoastaan kasvatuksessa ja energian jalostusprosesseissa käytettävien koneiden päästöistä sekä näiden koneiden ja laitteiden valmistuksesta. Kasvinviljely-energianjalostus-ketjussa syntyvät kokonaishiilidioksidipäästöt ovat paljon vähäisemmät tuotettua energiayksikköä kohti kuin fossiilisia polttoaineita käytettäessä (Peltonen 1996). Energiämäärä, joka käytetään biopolttoaineiden tuottamiseen, on useimmiten peräisin fossiilisista energialähteistä. Tuotetusta energiasta 2–6 % kuluu tuotantoon ja kuljetukseen, mutta määrä nousee huomattavasti korkeammaksi, jos bioenergia jalostetaan edelleen (Wihersaari 1996).

Euroopan unionin yleistavoitteeksi on asetettu uusiutuvien energialähteiden markkinaosuuden kaksinkertaistaminen 12 prosenttiin vuoteen 2010 mennessä.

Tämän tavoitteen täyttämässä maatalous on avainala. Erityisesti biomassalla olisi otettava täydessä mitassa käyttöön hyödyntämällä erilaisia politiikan välineitä. Tulevassa EU:n yhteisessä maatalouspolitiikassa onkin keskeisellä sijalla ajatus maataloustuotteiden vaihtoehtoista käytöstä. Biomassan nykyinen osuus sisämaan kokonaisenergiankulutuksesta (15 EU-maata) on noin kolme prosenttia, mutta Suomessa biomassan osuus primaarienergiatuotannosta on jo 23 %. Biomassan käytön lisäys voidaan saavuttaa hyödyntämällä muun muassa maataloudesta saatavaa jätettä sekä uusia energiakasveja. Biokaasu on pääosin metaania, joten sen käytön yleistyminen vähentäisi osaltaan myös lannasta syntyviä metaanipäästöjä. Olkien käyttöä tulisi lisätä selvästi, mutta myös varsinaisten energiakasvien viljelyä tulee lisätä (KOM(97) 599 lopullinen).

Mikäli uusiutuvien energialähteiden käyttö voidaan kaksinkertaistaa Euroopan unionin alueella, voisivat CO<sub>2</sub>-päästöt ennusteiden mukaan vähetä 402 miljoonaa tonnia vuodessa vuoteen 1997 verrattuna. Biomassan käytön lisäämisen osuus tästä olisi 255 miljoonaa tonnia. Näin suurella päästövähennyksellä olisi tärkeä merkitys pyrittäessä täyttämään CO<sub>2</sub>-päästöjen vähentämistä koskevat unionin velvoitteet (KOM(97) 599 lopullinen).

Suomen hallitus teki vuonna 1995 periaatepäätöksen, jonka tavoitteena on 25 %:n lisäys bioenergian käytössä vuoteen 2005 mennessä. Ohjelman pääpaino on puun energiakäytön lisäämisessä (Valtioneuvoston periaatepäätös 21.12.1995 energiapolitiikasta, KOM(97) 599 lopullinen). Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmassa tavoitteita on kuitenkin kiristetty. Ohjelman tavoitteena on kaksinkertaistaa uusiutuvien energialähteiden käyttömäärä sekä sähkön tuotanto uusiutuville energioilla vuoden 1995 tasosta vuoteen 2025 mennessä. Tämä merkitsisi sitä, että uusiutuvat energialähteet kattaisivat yli kolmannek-

sen Suomen energian kokonaiskulutuksesta ja noin 40 % sähkönkulutuksesta. Vuoteen 2010 mennessä uusiutuvien energialähteiden käyttö olisi 50 % suurempi kuin vuonna 1995 sekä sähkön että kokonaisenergian kulutuksessa (KTM 1999b).

Varsinaisten energiakasvien viljely on toistaiseksi Suomessa hyvin vähäistä. Ruokohelpeä viljellään kokeiluluonteisesti tällä hetkellä noin 600 hehtaarilla (Sahramaa 1998). Pajua ei ilmeisesti viljellä tällä hetkellä lainkaan energiatarpeisiin, vaikkakin sen soveltavuudesta energiakäyttöön on tehty kokeita (L. Tahvanainen, Joensuun yliopisto, henkilökohdainen tiedonanto 12.10.1998.). Maa- ja metsätalousministeriön arvion mukaan noin 50 000 hehtaaria saattaisi olla mahdollinen ja realistinen tavoite peltoalaksi, joka on käytettävissä non food -kasvien viljelyyn seuraavan kymmenen vuoden aikana. Tällä alalla pystyttäisiin tuottamaan energiaa 0,13 Mtoe (Alakangas 1998).

Energiaheinän viljelyn kokonaispotentiaali voisi olla 300 000–350 000 hehtaaria. Tämä vastaa 7,4–8,7 TWh (0,7–0,8 Mtoe) energiamäärää, jos kuiva-ainesadoksi oletetaan 5 500 kg/ha ja energiasisällöksi 4,5 MWh/tonni. Realistinen energiapotentiaali lienee kuitenkin alhaisempi eli 0,4–0,5 Mtoe, joka vastaa 170 000–220 000 hehtaarin viljelyä (Järvenpää & Maunu 1994). Suurin mielenkiinto on tällä hetkellä ruokohelven viljelyssä, sillä siitä saatava vuotuinen kuiva-ainesato on meidänkin oloissamme melko korkea eli 5–7 tonnia/ha (Alakangas 1998).

Viljan olki voisi olla myös merkittävä energialähde. Vuonna 1996 Suomessa tuotettiin olkea yhteensä noin 2,66 miljoonaa tonnia (Wilkinson 1998), mutta vain pieni osa tästä hyödynnetään energian tuotannossa. Vuonna 1987 maatilat käyttivät olkea lämmitykseen vain noin 6 000 tonnia (Oravainen et al. 1995). Nykyisin olkea korjataan lämpöenergian lähteeksi tai teollisissa rumpu-

**Taulukko 3.** Pelloilla tuotettavien biopolttoaineiden tuotantopotentiaali (FIN-BIO 1998).

**Table 3.** Potential production of bioenergy on agricultural fields (FINBIO 1998).

Kasvi <i>Crop</i>	Tuotantopotentiaali TWh/vuosi (Mtoe/vuosi)* <i>Potential production TWh/year (Mtoe/year)*</i>	
	Teoreettinen <i>Theoretical</i>	Käytännössä <i>Actual</i>
Olki (100 %/20 % viljan tuotantoa vastaavasta määrästä) <i>Straw (100%/20% from an amount corresponding to cereal production)</i>	5,82 (0,50)	2,33 (0,20)
Ruokohelpi, energiapaju (viljelyala 300 000 ha/60 000 ha) <i>Reed canary grass, willow (cultivated area 300 000 ha/60 000 ha)</i>	17,45 (1,50)	9,30 (0,80)
Rypsi (RME) <i>Turnip rape (RME)</i>	1,05 (0,09)	0,23 (0,02)
Vilja – etanoli (ETBE) <i>Cereals – ethanol (ETBE)</i>	1,16 (0,10)	0,93 (0,08)
Vilja – kiinteä polttoaine <i>Cereals – Solid fuels</i>	0,93 (0,08)	0,23 (0,02)
Yhteensä <i>Total</i>	26,4 (2,3)	13,0 (1,1)

\* 1 Mtoe = 11,63 TWh (Alakangas 1998)

kompostoreissa käytettäväksi alle 1 000 hehtaarin alalta vuodessa (J. Suni, Juha Suni Consulting, Lauhala, henkilökohdainen tiedonanto 4.3.1999). Jos viljojen keskimääräiseksi olkisadoksi oletetaan 2 700 kg/ha, merkitsee tämä alle 3 000 tonnin hyötykäyttöä.

Järvenpää ja Maunu (1994) ovat laskeneet potentiaalista oljesta saatavaa energiamäärää. Heidän laskelmansa perustuvat noin 900 000 hehtaarin vilja-alaan sekä 1 800 kg/ha (ohra, kaura) ja 2 300 kg/ha (vehnä, ruis) olkisatoihin, jolloin kokonaisolkimäärä olisi noin 1,6 miljoonaa tonnia. Jos puolet tästä olkimäärästä pystyttäisiin hyödyntämään, se vastaisi 0,36 Mtoe:n energiamäärää. He esittävät kuitenkin, että käytännössä oljen realistisesti hyödynnettävissä oleva määrä Suomessa on luokkaa 0,1–0,2 Mtoe eli 1–2 TWh.

Viljaa ja rypsiä voitaisiin käyttää myös biopoltonesteiden tuotantoon. Ohrasta voidaan valmistaa etanolia, josta voidaan edelleen tehdä bensiinin happipitoisuus-

den korottamiseen käytettyä etyylliteriä butyyliesteriä (ETBE). Rypsistä puolestaan voidaan puristaa kasviöljyä, josta voidaan valmistaa dieselin korvaavaa rypsiöljymetyyliesteriä (RME) (Sipilä et al. 1997). Vuonna 1999 viljeltiin non food -tarkoituksiin rypsiä ja rapsia vain 700 hehtaarilla (Maatilatilastollinen vuosikirja 1999).

Suomen Bioenergiayhdistys (FINBIO) on laatinut Suomelle bioenergiastrategian (FINBIO 1998). Raportin mukaan pelloilla tuotettavien biopolttoaineiden käyttö vuonna 1996 oli hyvin minimaalista, mutta tuotantopotentiaali voisi teoreettisesti olla 26,4 TWh/vuosi ja käytännössä 13,0 TWh/vuosi (Taulukko 3). Kaikkien sähkön ja lämmön tuotantoon käytettävien biopolttoaineiden (turve, puu, peltobiomassa, jätteet) vuosittainen tuotantopotentiaali voisi käytännössä olla 132–156 TWh (11–13 Mtoe) ja teoreettisesti jopa 182–206 TWh (16–18 Mtoe). Vuonna 1996 käyttö oli 82 TWh (7 Mtoe). Suomen kokonaisenergian ku-



lutus oli 29,8 Mtoe vuonna 1996 ja 30,4 Mtoe vuonna 1997 (Alakangas 1998).

Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmassa on tavoitteena, että uusiutuvien energialähteiden (ei sisällä turvetta) vuosittainen kokonaiskäyttö nousisi 3 Mtoe:lla vuoden 1995 tasosta vuoteen 2010 mennessä. Lisäyksenä 90 % arvioidaan koostuvan bioenergiasta (KTM 1999b). Edistämishjelman ansiosta peltobiomassojen vuotuinen käyttö voisi nousta tasolle 0,1 Mtoe, josta noin 60–70 % olisi ruokohelpeä ja loput olkea. Tämä vaatisi noin 25 000 hehtaarin ruokohelpiviljelyksiä (saanto 31,5 MWh/ha) ja olkien keruuta noin 50 000 hehtaarialta (saanto 9 MWh/ha). Tällä peltobiomassojen käyttötasolla CO<sub>2</sub>-päästöt vähenisivät noin 0,3–0,4 Mt, mikäli korvataan keskimääräistä polttoa tai vastaavasti hiiltä. Laskelmassa on huomioitu peltobiomassojen tuotannon ja kuljetusten aiheuttamat hiilidioksidipäästöt, jotka ovat noin 1 g CO<sub>2</sub>/MJ<sub>pa</sub> (Tuhkanen & Pipatti 1999). Sipilä et al. (1997) mukaan 10–15 vuoden aikavälillä olisi hyvä saavutus saada oljesta ja heinästä yhteensä 0,4 miljoonaa tonnia energia-käyttöön eli 0,2 Mtoe/vuosi.

Kalkitus on myös yksi CO<sub>2</sub>-lähde, mutta maassamme ei ole juurikaan mahdollisuuksia vähentää kalkitusta. Suomen maaperä on luontaisesti hapanta ja se pyrkii edelleen happamoitumaan esimerkiksi happamien sateiden, typpilannoituksen, kasvien ravinteiden oton ja huuhtoutumisen seurauksena. Maan happamuus haittaa kasvien ravinteiden saantia. Edullisin maan happamuus vaihtelee hie-man viljelykasveittain, mutta yleisesti voidaan sanoa, että kasvien viljelyyn sopii parhaiten pH 6,0–6,5, koska tällöin eri ravinteet ovat hyvin kasvien käytettävissä. Kalkitusmaassa viihtyvät myös hyödylliset pieneliöt ja maaeläimet. pH:n noustessa lähelle seitsemää alkaa eräiden hivenravinteiden saatavuus heiketä (Viljavuuspalvelu 1995). Turvemaissa kasvit kestävät yhtä pH-yksikköä suurempaa happamuutta kuin kivennäismaissa, mikä

johtunee turvemaiden pienemmistä Al<sup>3+</sup>- ja Mn<sup>2+</sup>-pitoisuuksista (Jaakkola 1992).

Viljelysmaiden happamuus on vähentynyt 1950-luvun lopun pH 5,50:stä 1990-luvun alkuun asti. Vuosien 1986–1990 viljavuusnäytteissä viljelysmaiden keskimääräinen happamuus oli 5,87 (Mäntylähti 1999). Happamuuden vähentämiseen käytettävää kalkkia on levitetty 1990-luvulla vuosittain noin 900 000 tonnia ja sokeritehtaiden toimitamaa puristekalkkia noin 57 000 tonnia. Tämän lisäksi on käytetty kuonia ja siliikaattikalkkia. Kalkitusyhdistyksen laske-man kalkitustavoitteen mukaan seuraavan 20 vuoden aikana peltomaita tulisi kalkita 1,6 miljoonalla tonnilla vuosittain, jotta maalajikohtaiset tavoite-pH-luvut saavutettaisiin (Yli-Savola 1999).

### 3.1.4 Yhteenvedo

Maataloustuotannossa hiilidioksidia syntyy esimerkiksi erilaisissa polttoprosesseissa, maan orgaanisen aineksen hajoamisessa aerobisessa maassa sekä kalkituksessa. Maankäytön muutoksilla CO<sub>2</sub>-päästöjä voidaan pienentää muun muassa vähentämällä pellon raivausta sekä muuttamalla marginaaliset viljelysmaat pysyviksi nurmiksi, metsiksi tai kosteikoiksi. Mahdollisuudet lisätä maassa olevan hiilen määrää rajoittuvat suurelta osin muihin kuin kosteikkomaihin, mikäli pelto on jatkuvassa viljelyssä. Ravinteiden käyttöä tehostamalla sekä laji- ja lajikevalinnalla voidaan lisätä kasvijätteissä maahan tulevan hiilen määrää. Esimerkiksi viherkesanto avokesannon tilalla, monivuotisten kasvien viljely, olkien maahan jättäminen, maan talviaikainen kasvipeitteisyys, runsas lannan käyttö, jätevesilietteiden käyttö sekä maan muokkauksen vähentäminen ovat eduksi maan hiilivarastojen kannalta.

Maatalouden osuus fossiilisten polttoaineiden kulutuksesta on suhteellisen alhainen, joten niiden kulutusta vähentämällä voidaan CO<sub>2</sub>-päästöjä pienentää vain melko vähän. Typenkäytön tehosta-

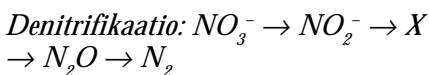
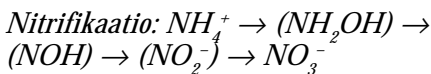
minen vähentää  $N_2O$ -päästöjen ohella myös  $CO_2$ -päästöjä, sillä synteettisten lannoitteiden valmistuksessa vapautuu ilmakehään hiiltä.  $CO_2$ -päästöjä voidaan vähentää myös lisäämällä fossiilisia polttoaineita korvaavien biopolttoaineiden tuotantoa joko varsinaisten energiakasvien viljelyalaa nostamalla tai kasvijätteen ja sivutuotteiden käyttöä tehostamalla.

Kalkituksen vähentämiseen ei maasamme ole juurikaan mahdollisuuksia, sillä Suomen maaperä on luontaisesti hapanta ja se pyrkii edelleen happamoitumaan.

## 3.2 Dityppioksidin ( $N_2O$ )

### 3.2.1 Dityppioksidin lähteet ja nielut

Mosier et al. (1998 a) ovat esittäneet, että maatalous tuottaa neljäsosan kaikista dityppioksidin ( $N_2O$ ) päästöistä ja 20–70 % ihmisen toiminnan aiheuttamista  $N_2O$ -päästöistä. Suomessa maatalouden osuuden on arvioitu olevan lähes 50 % ihmisen toiminnan aiheuttamista  $N_2O$ -päästöistä (Pipatti 1997). Yleisesti voidaan sanoa, että kaikki ympäristöt, joissa käsitellään tyyppiyhdisteitä biologisesti, ovat potentiaalisia dityppioksidin lähteitä. Tärkeimmät  $N_2O$ -lähteet ovat maassa tapahtuvat nitrifikaatio eli ammoniumin hapettuminen nitraatiksi ja denitrifikaatio eli nitraatin pelkistyminen tyyppikaasuksi (Granli & Bøckman 1994). Alla kuvatussa nitrifikaatioketjussa sulkeissa olevat yhdisteet ovat epästabiiileja yhdisteitä, joista voi syntyä joko kemiallisesti tai entsyymaattisesti dityppioksidia ja tyyppioksidia. Denitrifikaatioissa nitriitin ja dityppioksidin välissä olevasta tuotteesta (X) ei ole täyttä varmuutta, mutta se saattaa olla tyyppioksidia (Wild 1993).



Vapautuvan dityppioksidin määrään vaikuttavat muun muassa maan vesi- ja happipitoisuus, ammoniumin ja nitraatin määrä, maalaji, happamuus, orgaanisen hiilen määrä ja lämpötila. Maasta emittoituu eniten  $N_2O$ :a, kun maan ilmavuus on keskimääräinen. Anaerobisessa denitrifikaatioissa  $N_2O$ :n pelkistyminen tyyppikaasuksi on herkempi hapelle kuin nitraatin pelkistyminen dityppioksidiksi. Tämä merkitsee  $N_2O/N_2$ -suhteen pienenemistä happikonsentraation laskeessa. Nitrifikaatio on puolestaan aerobinen prosessi, jonka intensiteetti pienenee ja  $N_2O/NO_3^-$ -suhde kasvaa hapen tarjonnan vähentyessä (Granli & Bøckman 1994).

Maan kosteus vaikuttaa  $N_2O$ -emissioihin monella tavalla: mikrobit tarvitsevat elintoimintoihinsa vettä, vesi säätelee maan ilmavuutta ja rajoittaa kaasujen diffuusiota maassa. Yleensä  $N_2O$ -emissiot kasvavat maan vesipitoisuuden noustessa, mutta hyvin märässä maassa emissiot laskevat. Runsasta emissiota suosii ympäristö, jossa maa on vuorotellen märkää ja kuivaa. Denitrifikaatio lisääntyy maan kosteuden kasvaessa. Myös nitrifikaatio kiihtyy kosteuden kasvaessa aina siihen asti kunnes hapen saanti tulee rajoittavaksi tekijäksi.  $N_2O/N_2$ -suhde alenee ja  $N_2O/NO_3^-$ -suhde kasvaa kosteuden ja edelleen anaerobisuuden lisääntyessä (Granli & Bøckman 1994).

Mikrobiaktiivisuus, denitrifikaatio ja nitrifikaatio lisääntyvät lämpötilan noustessa. Myös  $N_2O$ -emissiot lisääntyvät, vaikka  $N_2O/N_2$ -suhde laskeekin, sillä  $N_2O/NO_3^-$ -suhde pyrkii kasvamaan lämpötilan noustessa (Granli & Bøckman 1994).

Lämpimät ja kosteat olot ovat suosiolliset  $N_2O$ -emissioille. Yleensä emissiomäärät ovat korkeimmat kesällä, mikäli ei ole liian kuivaa. Keväällä emissiot ovat yleensä suuremmat kuin syksyllä. Kevät-sulamisen aikoihin emissiot voivat olla hyvinkin korkeat (Granli & Bøckman 1994). Kammannin et al. (1998) Saksassa vanhalla nurmella tekemissä mittauksis-

sa korkeimman typpilannoitemäärän saaneessa koejäsenessä 52 % vuotuisista  $N_2O$ -emissioista tapahtui jäätymis-sulamisjakson ja varhaiskevään aikana.

Dityppioksidiemissiot kasvavat yleensä typpilannoitteiden tai lannan käytön jälkeen. Denitrifikaation,  $N_2O/N_2$ -suhteen ja  $N_2O$ -emission on havaittu kasvavan maan nitraattikonsentraation kasvaessa. Ammoniumkonsentraation kasvaessa lisääntyy puolestaan nitrifikaation tuottaman  $N_2O$ :n emissio (Granli & Bøckman 1994).

Mosier et al. (1998 a) ovat arvioineet, että mineraalitypen ja orgaanisen typen käytöstä johtuva suora ja epäsuora vuotuinen dityppioksiditypen kokonaisemissio olisi  $2 \pm 1$  % käyttömäärästä. Laskelmaan ei kuulu mukaan lannasta varastoinnin ja käytön aikana tapahtuva typhenäviö eikä haihtuneen ammoniakkin tai typen oksidien laskeumasta muualle kuin maatalousmaalle aiheutunut  $N_2O$ -emissio. Klemedtsson et al. (1999) ovat laskeneet Suomessa, Ruotsissa, Saksassa ja Hollannissa orgaanisilla mailla tehtyjen kokeiden perusteella, että 1,98 % lannoitetyypistä emittoituu dityppioksidina.

Dityppioksidiemissiot vaikuttavat olevan suuremmat lajitekoostumukseltaan hienoilta mailta (savimaat) kuin kevyiltä, karkearakeisilta mailta (hiekkamaat). Maan tiivistyminen lisää myös emissioita. Muokkauksen vähentäminen ja suorakylvö vähentävät maan eroosiota, mutta saattavat joissakin tapauksissa lisätä dityppioksidiemissioita (Granli & Bøckman 1994). Aulakh et al. (1992) ovat selvittäneet kirjallisuuden perusteella syitä, miksi denitrifikaation aiheuttamat typhenäviöt ovat suorakylvöpelloilta suuremmat kuin tavanomaisesti muokatuilta pelloilta. Suorakylvömaissa denitrifioivien mikrobin populaatiot saattavat olla selvästi suuremmat, mikä johtuu mikrobin toiminnalle otollisesta ympäristöstä. Mailla, joilla käytetään suorakylvöä, on pintamaan tilavuuspaino suurempi, jolloin ilman diffuusio maahan hidastuu. Lisäksi suorakylvetyissä maissa on suu-

rempia ja anaerobisempia aggregaatteja sekä suurempi kosteus ja pintamaan orgaanisen aineksen pitoisuus kuin tavanomaisesti muokatuissa maissa.

Maan happamuuden vaikutus  $N_2O$ -emissioihin riippuu vallitsevasta prosessista ja siitä, millä pH-alueella liikutaan. Yleisesti voidaan sanoa, että molemmat prosessit kiihtyvät maan muuttuessa happamasta (pH 3–5) neutraaliksi tai lievästi emäksiseksi.  $N_2O/N_2$ -suhde laskee, kun pH nousee yli 5–6, mutta  $N_2O/NO_3^-$ -suhteeseen pH:n nousulla ei ole selkeää vaikutusta (Granli & Bøckman 1994).

Kun maahan lisätään hajoavaa orgaanista ainesta, maan mikrobiologinen aktiivisuus kiihtyy, happea kulutetaan ja maahan syntyy anaerobisia alueita eli olot  $N_2O$ :n muodostumiselle tulevat suotuisammiksi. Varsinkin typpilannoituksen jälkeen runsaasti orgaanista hiiltä sisältävissä maissa syntyy helpommin dityppioksidia kuin maissa, joissa orgaanisen hiilen pitoisuus on alhainen. Jos hajoavan orgaanisen aineksen määrä rajoittaa dityppioksidin muodostumista, voi lannan käyttö johtaa suurempiin emissioihin kuin mineraalilannoitteen käyttö (Granli & Bøckman 1994).

Turvemailta emissiot ovat joskus hyvin suuret (Granli & Bøckman 1994). Klemedtsson et al. (1999) ovat laskeneet muutamien Suomessa, Ruotsissa, Saksassa ja Hollannissa tehtyjen kokeiden tuloksista, että lannoittamattomilta orgaanisilta viljelymailta  $N_2O$ -emissio oli keskimäärin 13,4 kg N/ha vuodessa. Mikäli laskuihin ei otettu mukaan porkkana- ja perunapelloja, oli vuotuinen  $N_2O$ -emissio keskimäärin 7,9 kg N/ha. Kasimir-Klemedtssonin et al. (1997) mukaan turpeen rakenne, C/N-suhde, kuivatussyvyys, viljelymenetelmät sekä ilmasto ovat tärkeimmät tekijät, jotka säätelevät dityppioksidin, kuten myös hiilidioksidin, vapautumista orgaanisilta viljelymailta.  $N_2O$ -emissioiden on todettu lisääntyvän viljelyiltä orgaanisilta mailta maan kuivatuksen ja viljavuuden (typpi-pitoisuuden) lisääntyessä, pH:n laskies-

sa hyvin viljavilla mailla sekä maan käsittelyn lisääntyessä (Klemedtsson et al. 1999).

Kasvit vaikuttavat monilla tavoin maan mikrobiologisiin tapahtumiin. Kasvit muun muassa jättävät jälkeensä hajoavaa orgaanista ainesta, ottavat maasta nitraatti- ja ammoniumtyyppiä sekä vaikuttavat maan kosteuteen, happipitoisuuteen ja lämpötilaan. Laboratoriokokeissa kasvit yleensä lisäävät denitrifikaatiota ja  $N_2O$ -emission määrää. Emission lisäys tapahtuu tavallisesti silloin, kun kasvit on leikattu tai ne ovat vaurioituneet ja juuret jääneet maahan. Palkokasvit vaikuttavat edistävän  $N_2O$ -emissiota (Granli & Bøckman 1994). Typensidonnasta tulevan lannoitusvaikutuksen lisäksi *Rhizobium*-bakteerit pystyvät myös suoraan denitrifikaatioon ja  $N_2O$ -tuotantoon (O'Hara & Daniel 1985, Mosier et al. 1998a).

Kaiser et al. (1998a) ovat tutkimuksessaan mitanneet suurimmat vuotuiset  $N_2O$ -häviöt sokerijuurikaspelloilta, vaikka sille annettu typpilannoitus oli muita kasveja (syysvehnä, syysohra ja syysrapsi) alhaisempi. Kasvukaudella päästöt olivat suurimmat syysrapsia viljeltäessä, mutta talvikaudella suurimmat päästöt mitattiin sokerijuurikkaan viljelyn jälkeen. Tähän vaikutti sokerijuurikkaasta maahan jääneen kasvijätteen alhainen C/N-suhde. Lisäksi naattien korkea kosteuspiitoisuus edisti mineralisaatiota ja  $N_2O$ :n vapautumista syksyllä kasvijätteen multaamisen jälkeen. Smithin et al. (1998) Englannissa tekemässä vertailussa  $N_2O$ -emissiot erilaisista kasvustoista noudattivat seuraavaa järjestystä: laidunnurmi > niitonurmi > peruna > viljakasvit. Suurin laidunnurmelta mitattu emissio oli 12,6 kg  $N_2O$ /ha kymmenen kuukauden aikana.

Saksassa tehdyssä kokeessa on mitattu  $N_2O$ -virtausta kahdelta vehnä- (90 ja 180 kg N/ha) ja perunalohkolta (50 ja 150 kg N/ha). Vehnälohkoilta häviöt olivat selvästi pienempiä kuin perunalohkoilta. Tähän saattoi vaikuttaa vehnän jaet-

tu typpilannoitus sekä vehnän nopea typen otto. Vuotuinen kumulatiivinen emissio oli vehnälohkoilta noin puolet pienempi kuin perunalohkoilta. Kasvukauden aikainen kumulatiivinen  $N_2O$ -emissio perunavakojen kohdalla oli myös noin puolta pienempi kuin vakojen väliseltä alueelta. Tähän oli syynä maan parempi ilmavuus vakojen kohdalla (Ruser et al. 1996). McTaggartin ja Smithin (1996) kokeessa emittoitui vakojen väliseltä alueelta viisi kertaa enemmän  $N_2O$ :a kuin itse vaoista, vaikka lannoite oli annettu vakoihin. Ilmiön taustalla oli heidän mukaansa lannoitetypen huuhtoutuminen tai eroosio vaoista vakojen väliin sekä maan suurempi kosteus vakojen välisellä alueella.

Eläimistä ei tiedetä tapahtuvan suoraan merkittäviä  $N_2O$ -päästöjä, mutta eläinten lannassa on paljon typpeä. Kun lantaa hajotetaan mikrobiologisesti, ovat  $N_2O$ -emissiot mahdollisia sekä denitrifikaation että nitrifikaation seurauksena. Epäsuoria emissioita syntyy, kun virtsasta haihtuva ammoniakki laskeutuu takaisin maahan. Lannasta käsittelyn ja varastoinnin aikana tapahtuvista  $N_2O$ -emissioista ei tiedetä vielä kovin paljoa. Karjasuojissa, erityisesti kuivikepohjasysteemeissä, voidaan olettaa lannasta emittoituvan suoraan dityppioksidia. Lietteestä dityppioksidia voi vapautua denitrifikaation seurauksena, mikäli lietteessä on typpeä hapettuneessa muodossa. Koska lannan typpi on pelkistyneessä muodossa, on lietteen ilmastus ehtona nitrifikaation ja denitrifikaation aiheuttamille typen häviöille. Nykyaikaisessa karjataloudessa lanta ei enää välttämättä ole kasviraivinteiden lähde vaan jätettä, josta pitää päästää eroon. Tällöin pellolle levitettävät määrät saattavat olla niin suuria, että ne ylittävät kasvien ravinteiden tarpeen selkeästi ja  $N_2O$ -häviöiden riski on suuri (Mosier et al. 1998a).

Amon et al. (1999) ovat tutkineet Itävallassa lypsylehmien lannasta vapautuvan dityppioksidin määrää, kun lantaa käsitellään eri tavoin. Varastoinnin ja le-

vityksen jälkeen  $N_2O$ -N:n häviöt olivat kompostoidusta lannasta 24–30 g ja anaerobisesti varastoidusta lannasta 37–56 g/tonni tuoretta lantaa. Samanaikaisesti  $NH_3$ -häviöt olivat kuitenkin kompostoidusta lannasta suuremmat kuin anaerobisesti varastoidusta.

Eläinten laiturilla erittämät lanta ja virtsa muodostavat yhden merkittävimmistä  $N_2O$ -lähteistä maailmanlaajuisesti tarkasteltuna. Tämän osuus saattaa olla noin 12 % maailman vuotuisesta dityppioksididityppiemiissiosta (Flessa et al. 1996).

Muita, lähinnä laajaperäiseen maatalouteen liittyviä  $N_2O$ -päästölähteitä ovat puiden ja pensaiden sekä maan orgaanisen typhen hajoaminen sekä biomassan poltto (Mosier et al. 1998 a). Biomassan poltto ei ole vain hetkellinen dityppioksidin lähde vaan se lisää pidemmän aikaa  $N_2O$ -tuotantoa muuttamalla kemiallisia, biologisia ja fysikaalisia prosesseja maassa (Anderson et al. 1988, Winstead et al. 1991, Freney 1997). Myös maatalouden polttoainekäytöstä aiheutuu pieniä dityppioksidipäästöjä (IPCC 1997).

Dityppioksidin kemiallisia reaktioita stratosfäärissä pidetään pääasiallisina mekanismeina, joilla  $N_2O$ :a poistuu ilmakehästä (Granli & Bøckman 1994). Anaerobisilla mailla ei ole tavattu merkittävää dityppioksidin ottoa ilmakehästä. Ilmakehässä olevan  $N_2O$ :n hidas liukeneminen ja kulku märässä maassa estää denitrifikaation mahdollisuuksia säädellä ilmakehän dityppioksidipitoisuutta. Aerobiset maat ovat tavallisesti dityppioksidin lähteitä, mutta yksittäistapauksissa on havaittu hyvin vähäistä  $N_2O$ :n sitoutumista maahan (Mosier et al. 1998a).

### 3.2.2 Mittaus- ja laskentatuloksia suomalaisten maatalousmaiden $N_2O$ -päästöistä

SILMU-hankkeen osana mitattiin dityppioksidiemissiota nurmena olevalta pellolta Ilomantsissa. Vuonna 1991 emissio

oli 14,6 kg  $N_2O$ /ha/vuosi ja seuraavana vuonna 12,3 kg/ha. Dityppioksidista 4–10 % vapautui talvella. Pellolla oli myös kasvittomina pidettyjä alueita. Tältä alueelta vapautui dityppioksidia kesällä 1992 neljän kuukauden aikana 5,8 kg  $N_2O$ /ha, kun vastaavana aikana nurmena olevalta alueelta emissio oli 1,1 kg  $N_2O$ /ha (Nykänen et al. 1995, 1996).

Liperissä mitattiin orgaanisen maatalousmaan  $N_2O$ -päästöjä vuonna 1996 huhti-joulukuun välisenä aikana osana GEFOS (Greenhouse Gas Emissions from Farmed Organic Soils) -projektia (Liikanen 1997). Pellolla viljeltiin ohraa ja nurmea, mutta pellolle oli tehty myös muokattu sekä muokattu ja lannoitettu kasviton koeala. Tulosten mukaan muokatulta maalta vapautui noin 10,0 kg  $N_2O$ /ha vuodessa. Muokatulta ja lannoitetulta alalta päästöt olivat pienemmät eli 6,8 kg  $N_2O$ /ha, mutta ohranurmipellolta päästöt olivat korkeammat eli noin 14,9 kg  $N_2O$ /ha. Vuotuiset päästöarvot on laskettu perustuen päästöjen kuukausikeskiarvoihin sekä oletukseen, että puuttuvien talvikuukausien päästöjen osuus on noin 5 % vuotuisista päästöistä.

Ohranurmipellolta saadun vuotuisen päästöarvion perusteella Liikanen (1997) on arvioinut, että Suomen 260 000–420 000 hehtaaria maatalouden turvemaita tuottaa vuodessa ilmakehään 3,9–6,3 Gg dityppioksidia.

Kahdella hausjärveläisellä peltolohkolla mitattiin dityppioksidiemissioita ympärivuotisesti keväästä 1991 kevääseen 1993. Ensimmäinen lohkoista oli hienoa hietaa (orgaanista ainesta 10 %) ja toinen hiesua (6 % orgaanista ainesta). Molemmilla lohkoilla kasvoi ohraa vuosina 1991 ja 1992. Ohralle annettiin toukokuussa 1991 tyypeä 96 kg/ha ja seuraavana keväänä 68 tai 90 kg/ha. Ensimmäisellä lohkolla kumulatiivinen  $N_2O$ -emissio oli 1,5 kg/ha vuodessa ja toisella lohkolla 0,9 kg  $N_2O$ /ha/vuosi (Jaakkola 1994, A. Jaakkola, Helsingin yliopisto, henkilökohtaiset tiedonannot 28.9.1998–9.7.1999).

Eteläsuomalaisella hieumaalla vuosina 1993–1994 tehdyssä kenttäkokeessa seurattiin maan ilman koostumusta ja dityppioksidiemissiota kasvukauden aikana. Osalla koeruuduista kasvoi heinää ja osa oli kasvittomia. Koetekijöinä olivat rankka kastelu ja typpilannoitus. Kasvittoman, kastelemattoman ja lannoittamattoman maan ilmassa oli happea 14–21 %, hiilidioksidia 0,1–2 % ja dityppioksidia 0,2–100 µl/l (vuonna 1993 maksimi oli 27 µl/l). Kastelu lisäsi maan ilman N<sub>2</sub>O-pitoisuutta silloin, kun maassa oli runsaasti nitraattia. Typpilannoitus nosti dityppioksidipitoisuutta erityisesti kastellussa kasvittomassa maassa ja kasvipeite vähensi pitoisuutta. Muutamalta ruudulta mitattu dityppioksidiemissio vaihteli välillä 0–40 g N/ha päivässä, ja kaikkien mittausten keskiarvo oli 7 g N/ha/päivä. Käsittelyjen välisiä eroja ei voitu testata, koska emissiomittauksissa ei ollut toistoja. N<sub>2</sub>O-emissio korreloi positiivisesti maasta sekä 15 cm että 30 cm syvyydestä mitattujen N<sub>2</sub>O-pitoisuuksien kanssa (Jaakkola & Simojoki 1998).

Vuonna 1983 Jaakkola (1985) mittasi Jokioisilla N<sub>2</sub>O-emissiota ohraa tai nurmea kasvavilta lohkoilta, joiden näytteenottoaistoista puolet oli saanut typpilannoituksen. Ilman typpilannoitusta hietä- ja savimaan nurmelta vapautui 0,9–1,3 kg N<sub>2</sub>O/ha touko-lokakuun aikana ja turvemaalta emissio oli 1,9 kg. Ohra-mailta emissiot olivat 3,6 kg (savimaa), 0,8 kg (hietamaa) ja 7,7 kg N/ha (turvema). Typpilannoitus lisäsi erityisesti nurmelta vapautuvan N<sub>2</sub>O:n määrää. Typpilannoitetulta savimaan ohralohkolta emissio oli 3,5 kg ja nurmelta 4,1 kg N<sub>2</sub>O/ha. Hietamaalla emissiot olivat 0,9 kg ohralohkolta ja 3,1 kg N<sub>2</sub>O/ha nurmelta. Turvemaalla emissio oli suurin eli 9,7 kg ohra-mailta ja 10,7 kg nurmelta.

SILMU:n loppuraportissa todetaan, että turpeen hajoaminen ja typpilannoitus lisäävät turvepeltojen dityppioksidipäästöjä. SILMU-projektissa saatujen tulosten mukaan nurmiviljelyssä olevilta turvemailta vapautuu dityppioksidia

vuodessa noin 14 kg hehtaarilta. Jos turvemaata jätetään kesannolle, ovat päästöt suurempia, koska maa on märempää ja sisältää paljon käyttämätöntä typpeä. Kaikkiaan Suomen turvepeltojen arvioidaan tuottavan dityppioksidia noin 3 miljoonaa kiloa vuodessa. Tästä määrästä alle 1/10 vapautuu talvella (Laine 1996). Viime aikoina on kuitenkin saatu uusia viitteitä siitä, että talviaikaiset päästöt voivat olla tätä merkittävämpiä (P. Martikainen Kuopion yliopisto, henkilökohdainen tiedonanto 20.10.1998). Toisaalta SILMU:n loppuraportissa arvioidaan, että lannoitteiden käytöstä aiheutuu noin 4 Gg vuotuinen N<sub>2</sub>O-päästö, jonka lisäksi turvepelloilta vapautuu 4 Gg N<sub>2</sub>O:a vuodessa (Savolainen 1996).

Nurmilta mitattuihin emissiomääriin perustuen on arvioitu, että Suomessa viljellyiltä orgaanisilta mailta vapautuu dityppioksidia 5 Gg/vuosi, joka vastaa 1 600 Gg hiilidioksidia (100 vuoden jakso, kerroin 320). Ruotsissa emissio olisi vastaavasti 4 Gg N<sub>2</sub>O ja Hollannissa 5,7 Gg N<sub>2</sub>O/vuosi (Kasimir-Klemedtsson et al. 1997).

Klemedtsson et al. (1999) ovat esittäneet kokousjulkaisussa muutamia tuloksia Suomessa, Ruotsissa ja Saksassa GEFOS-projektin puitteissa mitatuista N<sub>2</sub>O-emissiomääristä. Emissioiden ei todettu noudattavan etelä-pohjoinen -linjaa, vaan suurimmat emissiot mitattiin Saksassa ja pienimmät Ruotsissa. Suomen ja Saksan koepaikoilla mitattiin korkeita emissiomääriä, jotka olivat sidoksissa vuodenaikaan. Suomessa emissiot olivat korkeat alkukesällä, mutta Saksassa korkeimmat emissiomäärät mitattiin keväällä ja syksyllä. Suomen ja Ruotsin koalueilla havaittiin positiivinen korrelaatio lämpötilan ja N<sub>2</sub>O-emission välillä kevätkesällä. Kaikilla koepaikoilla havaittiin myös vuotuisen N<sub>2</sub>O-emission sekä vuotuisen hiilidioksidin pimeähengityksen välillä yhteys (Klemedtsson et al.). Suomessa emissiot olivat nurmelta (16,4 kg N<sub>2</sub>O/ha/v) suuremmat kuin viljapelloilta (12,1/14,5 kg N<sub>2</sub>O/ha/v) (Maljanen et al.),

mutta Saksassa tilanne oli päinvastoin (Dörsch et al.). Ruotsissa suurimmat emissiot mitattiin porkkanapellolla ja pienimmät nurmella (Kasimir Klemedtsson et al., Weslien et al.). Viljapellolta mitattu emissio oli näiden välissä. Maiden väli-  
sen eron syynä on ilmeisesti nurmen ikä. Suomessa oli kyseessä ensimmäisen vuoden nurmi, kun taas Saksassa ja Ruotsissa nurmet olivat jo vanhoja. N<sub>2</sub>O-emissiot olivat pienimmät Ruotsissa, vaikka siellä pintamaan nitrifikaatio- ja denitrifikaatiopotentiaalit olivat korkeammat kuin Suomen ja Saksan koepaikoilla (Holtan-Hartwig et al.). Ruotsissa denitrifikaation pääasiallinen lopputuote oli kuitenkin typpikaasu, kun Suomessa ja Saksassa syntyi enemmän dityppioksidia.

### 3.2.3 Maatalouden N<sub>2</sub>O-päästöjen vähentäminen

Kaikkia maataloudesta aiheutuvaan N<sub>2</sub>O-emissioon vaikuttavia tekijöitä ei pystytä kontrolloimaan, mutta silti jää monia tekijöitä, joihin voidaan yrittää vaikuttaa. Maan ilmavuuteen on mahdollista vaikuttaa muokkausmenetelmällä ja maan kosteuteen kuivatuksella ja sadetuksella. Emissioihin voidaan vaikuttaa myös mineraalilannoitteen ja lannan levityssajan, tyyppin, määrän ja levitystavan valinnalla. Maan happamuutta voidaan puolestaan säädellä kalkituksella. Lisäksi voidaan vaikuttaa maahan jäävän helposti hajoavan orgaanisen aineksen määrään ja viljelyjärjestelmään (Granli & Bøckman 1994).

Yleisesti voidaan todeta, että kaikki keinot, jotka lisäävät kasvien kilpailukykyä maassa olevasta tyypestä, voivat vähentää N<sub>2</sub>O-emissiota. Tämän lisäksi häviöitä voidaan pyrkiä vähentämään myös pienentämällä häviön aiheuttavan prosessin kestoa ja määrää. Esimerkiksi kastelua suunniteltaessa tulisi pyrkiä siihen, että sen seurauksena maan kosteus olisi mahdollisimman vähän aikaa denitrifikaatiolle suotuisa (Mosier 1993, Cole et al. 1996, Mosier et al. 1998a).

Maa- ja kasvianalyysien tulisi olla kasvien typpilannoituksen suunnittelun pohjana (Cole et al. 1996, Mosier 1998a). Suomessa Leppänen ja Esala (1995) ovat arvioineet keväisen mineraalityppianalyysin käyttökelpoisuutta lannoitustarpeen ennustamisessa. Heidän mukaansa keväällä tehty maan mineraalityppipitoisuuden määrittäminen saattaisi olla perusteltua lannan levityksen, pitkäikäisten nurmien sekä eräiden erikoiskasvien (esimerkiksi sokerijuurikas, peruna, vihannekset) viljelyn jälkeen. Perinteiset laboratoriossa tehtävät mineraalityppianalyysit vaativat aina erityisvälineet ja jonkin verran aikaa, joten näiden täydentäjiksi on kehitetty erilaisia pikamäärittämenetelmiä. Esimerkki Suomessa myynnissä olevasta pikamenetelmästä on ns. maaperälaukku, jolla viljelijät pystyvät itse analysoimaan maan liukoisien typen määrän (Pulkkinen 1999). Kasvukauden aikana annettavan lisätypen tarpeen määrittämiseen on kehitetty kasvien lehtivihreäpitoisuuden mittaukseen perustuva menetelmä (Peltonen et al. 1995).

Kasvien typenottoa voidaan parantaa käyttämällä erilaisia sijoituslannoitustekniikoita pintalannoituksen sijasta. Lannoitteen koostumuksella sekä käyttömäärällä ja levityssajankohdalla voidaan myös vaikuttaa kasvien typen hyväksikäyttöön. Jotta kasvien typenotto olisi mahdollisimman tehokasta ja häviöt pieniä, typpilannoitteita tulisi antaa kasvien tarpeen mukaan. Tätä varten typpilannoitus voidaan jakaa useaan osaan tai käyttää lannoitteita, joista tyyppi vapautuu kontrolloidusti. Mikäli alueella käytetään kastelua, voidaan lannoitus antaa kasteluveden mukana, mikä helpottaa lannoituksen jakamista useaan erään (Mosier 1993, Cole et al. 1996, Mosier et al. 1998a). Esalan (1991) Suomessa tekemissä kokeissa kevätehänä käytti kosteissa oloissa parhaiten lannoitetyypin, kun osa siitä annettiin kylvön yhteydessä ja osa tähkimisvaiheessa. Mikäli tähkimisen jälkeen oli kuivaa, antoi keväällä maahan sijoitettu lannoite kuitenkin parhaan hyväk-

**Taulukko 4.** Keskimääräiset typpilannoitusmäärät kasvilajeittain. Säilörehunurmen arvot ovat Lestijoen (Keski-Pohjanmaa) ja Taipaleenjoen (Pohjois-Karjala) valuma-alueilta, muut arvot ovat Yläneenjoen (Varsinais-Suomi) ja/tai Lepsämänjoen (Uusimaa) alueilta (Grönroos et al. 1998b).

**Table 4.** Application of nitrogen fertilizer to different crops. Values for silage are from the catchment areas of Lestijoki (East Bothnia) and Taipaleenjoki (North Karelia). Other values are from the areas of Yläneenjoki and/or Lepsämänjoki (Grönroos et al. 1998b).

Kasvilaji <i>Crop</i>	Typpilannoitus (kg N/ha) <i>Nitrogen fertilizer application</i>		
	1994	1996	1997
Syysvehnä <i>Winter wheat</i>	148 (v. 1995)	..	112
Kevätvehnä <i>Spring wheat</i>	114	107	105
Rehuohra <i>Feed barley</i>	104	87	90
Mallasohra <i>Malting barley</i>	109	91	92
Kaura <i>Oats</i>	99	82	86
Rypsi <i>Turnip rape</i>	110	95	102
Ruokaperuna <i>Food potatoes</i>	62	50	45
Säilörehunurmi <i>Silage</i>	176	153	155

sikäyttöasteen. Kuivana kesänä hyväksikäyttöaste jäi 15–25 %:iin, kun se kosteina vuosina oli 60–70 %. Kaikkina koevuosina lannoituksen ajoituksella ei ollut lainkaan vaikutusta typen hyväksikäyttöön. Lannoitetyypillä oli myös vaikutusta typenottoon. Kasvit hyödynsivät heikommin kasvustoruiskutuksena annettua urean kuin pintalannoitteena annettua nitraattitypen tai keväällä annetun ammoniumnitraatin.

Suomessa typpilannoitteiden käyttö määrä hehtaaria kohti ei tavanomaisessa viljelyssä tule enää ilmeisesti juuri laskemaan. Lannoitusvuonna 1998/99 typpilannoitteiden myynti viljeltyä peltohehtaaria kohti lähti hienoiseen nousuun edellisen lannoitusvuoden tasosta (Maatilatilastollinen vuosikirja 1999). Väkilannoitteiden käytön kokonaismäärä voi kuitenkin laskea edelleen, jos esimerkiksi luonnonmukainen tuotanto lisääntyy

nykyisestään. Suomen maataloista 88 % oli mukana ympäristötuen perustuessa vuonna 1997 (MMM 1998). Tehtyjen maatalojen ympäristöhoito-ohjelmien perusteella vuosina 1995–1997 viljelijöistä runsas 71 % käytti lannoituksessa tukijärjestelmän mukaista perustasoa, mutta Elintarviketiedon tekemän tutkimuksen mukaan vuonna 1998 tarkennettua tasoa aikoi käyttää 74 % viljelijöistä (Sepänen & Matinlassi 1998).

Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuutta selvittävässä tutkimuksessa (Grönroos et al. 1998b) on kerätty muun muassa lannoitukseen liittyvää tietoa ympäristötuen perustukseen sitoutuneilta tiloilta neljällä eri vesistöalueella. Selvityksen mukaan keskimääräiset kasvilajikohtaiset lannoitustasot (Taulukko 4) ovat pääpiirteissään olleet alenevia vuodesta 1994 lähtien, mutta typen kohdalla on havaittavissa lievää lannoitustasojen nousua



vuoden 1996 jälkeen (Grönroos et al. 1998b). Syysvehnän, kauran, säilörehunurmen ja ruokaperunan typpilannoitus oli vuonna 1997 alle ympäristötuen perustuessa (Wallenius 1998) määritettyjen lannoituksen perustasojen. Rehuohran lannoitus vastasi perustasoa, mutta rypsin ja kevätvehnän typpilannoitus ylitti vielä perustasot muutamalla kilolla.

Ureaasi- ja nitrifikaatioinhibiittoreita käyttämällä voidaan myös yrittää parantaa lannoitteen käytön tehokkuutta ja vähentää näin  $N_2O$ -emissioita (Mosier 1993, Cole et al. 1996, Mosier et al. 1998a). Inhibiittorien käytön suositteleminen on toisaalta kuitenkin kyseenalaista, sillä kyseessä ovat eräille maaperän mikrobeille myrkylliset aineet. Suomessa on tällä hetkellä myynnissä lähinnä syysviljojen kylvölannoitukseen sopiva lannoite, jossa on mukana nitrifikaation estoainetta. Myös avomaan vihannesviljelyyn on oma kestoplannoite, jossa osa tyypestä on hidasliukoisena metyleeniureana (Pulkinen 1999).

Orgaanisen aineksen mineralisaatiossa vapautuneen ammoniumin nitrifioituessa maahan kertyy nitraattia, kun maa on paljaana. Varsinaisten viljelykasvien välillä viljeltävät peittokasvit vähentävät nitraatin kertymistä ja siten edelleen denitrifioitumista (Mosier 1993, Mosier et al. 1998a). Nykäsen et al. (1995) kokeessa kesällä kasvittomana pidetyltä alueelta neljän kuukauden aikana vapautuneen  $N_2O$ :n määrä oli yli viisi kertaa niin suuri kuin nurmelta. Toisaalta Liikasen (1997) kokeessa vuotuinen emissio oli muokattua alueelta selvästi pienempi kuin ohranurmipelloilta.

Typenkiertoa voitaisiin myös tiivistää jättämällä kasvijätteet pellolle sekä yhdistämällä karjankasvatus ja kasvintuotanto niin, että kaikki lanta voidaan käyttää kasvinravitsemukseen. Lannankäsittelyssä tulisi pyrkiä siihen, että mahdollisimman vähän tyypeä häviää, jolloin lannalla voidaan korvata muita lannoitteita mahdollisimman paljon (Cole et al. 1996, Mosier et al. 1998a).

Oljen maahan muokkausta syksyisin suositellaan, jotta mikrobit sitoisivat maasta vapaata nitraattia. Orgaanisen aineksen lisäys saattaa kuitenkin lisätä  $N_2O$ -emissioita erityisesti märässä maassa, jos siellä on runsaasti nitraattia (Granli & Bøckman 1994). Maahan muokkauksella voidaan korvata myös mahdollista oljen polttoa ja vähentää siten poltossa syntyvää  $N_2O$ :a. Tämän vaikutusta kokonaisemissiomäärään on vaikea arvioida, koska maahan lisätystä oljesta vapautuu mineralisaation seurauksena tyypeä, joka on alttiina kaasumaisille häviöille (Cole et al. 1996, Mosier et al. 1998a).

Velthof et al. (1998) ovat koonneet yhteen keinoja, joilla voitaisiin vähentää intensiivisesti hoidettujen lypsykarjatilojen dityppioksidipäästöjä. Menetelmät liittyvät typpilannoitteiden käyttöön, nurmien hoitoon ja itse karjaan. Nurmien lannoitusta tulisi kehittää niin, että maan mineraalityppipitoisuus ei pysyisi korkealla kovin pitkää aikaa lannoituksen jälkeen ja lisäksi maan oman tyypen mineralisoituminen tulisi ottaa huomioon. Lannoitevalinnassa tulisi ottaa huomioon maan kosteustila, pohjaveden taso ja lannoitusta seuraaville päiville ennustetut sateet ja haihdunta. Märissä olosuhteissa  $N_2O$ -emissioita voitaisiin vähentää käyttämällä nitraattityypin tilalla ammoniumtyyppiä, mutta ei kuitenkaan ureaa. Toisaalta ammoniumtyypin käytössä tulee myös huomioida sen vaikutus ammoniakkin haihtumiseen, maan happamoitumiseen ja nurmen kasvilajikoostumukseen.

Mineraalimailla  $N_2O$ -emissioita voitaneen vähentää huolehtimalla maan kunnollisesta kuivatuksesta, jotta pohjaveden pinta pysyy riittävän alhaalla. Turvemaiden tilanne on päinvastoin, sillä niillä pohjaveden pinnan lasku (alle 30 cm pinnasta) lisää dityppioksidiemissioita. Sopiva pohjaveden pinnan taso riippuu kuitenkin muistakin tekijöistä, sillä matala pohjaveden taso heikentää nurmen kasvua ja edistää metaaniemissioita. Pohjaveden pitämiseen syvällä voi puolestaan

liittyä maan kokoon painumista ja hiili-dioksidiemissioiden kasvua (Velthof et al. 1998).

Kaikki nurmen tuottavuuteen ja typenottotehoon vaikuttavat tekijät voivat vaikuttaa myös mahdollisiin dityppioksidiemissioihin maan mineraalityypipitoisuuden kautta. Biologisen typensidonnan hyödyntäminen voi vähentää dityppioksidiemissioita, sillä nurmen lannoitusta voidaan vähentää, jos nurmissa on pelkkien heinäkasvien lisäksi myös apilaa. Lisäksi biologisesti sidottu typi vapautuu vähitellen kasvien käyttöön ja näin maahan ei kerry suuria määriä mineraalityyppiä (Velthof et al. 1998). Esimerkiksi Kaiserin et al. (1998b) tutkimuksessa  $N_2O$ -häviöt olivat pienimmät typpilannoittamattomalta puna-apilanurmelta ja raiheinä-apilanurmelta, jonka typpilannoitus oli 175 kg N/ha vuodessa useaan erään jaettuna. Suurimmat vuotuiset dityppioksiditappiot (3,8/2,8 kg  $N_2O$ /ha) esiintyivät puhtaalla raiheinänurmella (350 kg lannoite-N/ha). Erot  $N_2O$ -tappioissa syntyivät kasvukauden aikana, sillä talvella kasvustojen välillä ei ollut eroa tässä suhteessa.

Nurmen kyntö lisää maan orgaanisen hiilen ja typen mineralisoitumista, jolloin  $N_2O$ -emissiot voivat nousta merkittävästi. Kynnön jälkeen tulisikin kylvää tarvittaessa kerääjäkasveja ja viljellä sellaisia kasveja, joiden typenottoteho on mahdollisimman suuri. Näin estetään maan mineraalityypipitoisuuden nousua ja sitä kautta  $N_2O$ -emissioita. Mikäli vanhan nurmen tilalle kylvetään uusi nurmi, voi tämän typenottoteho olla parempi kuin vanhan, jolloin  $N_2O$ -emissiot pienevät myös tätä kautta (Velthof et al. 1998).

Saksalaisessa tutkimuksessa on todettu ohramaalta (40 kg lannoite-N/ha) emittoituvan  $N_2O$ -määrän riippuvan esikasvina olleen nurmen koostumuksesta. Häviöt olivat pienimmät heinä-apilakasvuston jälkeen ja suurimmat (9,6 kg  $N_2O$ /ha/v) raiheinäkasvuston jälkeen. Puhdas puna-apilakasvusto asettui näiden väliin  $N_2O$ -emissioita tarkasteltaessa.

Häviöt olivat myös suuremmat kuin edeltäviltä nurmilta oli mitattu (Kaiser et al. 1998b).

Kun karjan tuottavuutta nostetaan, tarvitaan vähemmän eläimiä tietyn kokonaistuotoksen saavuttamiseen. Hyvätuotosten eläinten aiheuttamat  $N_2O$ -emissiot ovat luultavasti suuremmat kuin heikottuottoisten, mutta tällä on pienempi merkitys emissioihin kuin eläinten määrällä. Eläinten ravitsemuksen muuttaminen niin, että eläimet saavat ravintoarvoltaan korkeatasoista, mutta vähätyypistä rehua, vähentää typen erittymistä virtsan mukana ja edelleen eläin-kohtaisia  $N_2O$ -päästöjä. Kun karjan laidunnusta rajoitetaan, pystytään lantaa keräämään enemmän talteen ja käyttämään lannoitukseen ostolannoitteiden sijasta. Annettua typpikiloa kohti laskeutunut  $N_2O$ -emissiot ovat pienemmät huolellisesti levitetystä lietteestä kuin laitumelle jääneistä virtsa- ja lantakasoista. Laidunnuksen rajoittaminen johtaa myös pienempiin huuhtoutuneesta tyypestä ja mineraalilannoitetyypestä aiheutuneisiin kokonaisdityppioksidiemissioihin. Lannankäsittelyn tulisi olla sellaista, että mahdollisimman suuri osa sen tyypestä tulee kasvien hyödyksi, jolloin ostolannoitteiden tarve vähenee. Lannasta aiheutuvien ammoniakkipäästöjen ja nitraatin huuhtoutumisen vähentäminen saattaa pienentää myös ammoniakkilaskeumasta ja huuhtoutuneesta nitraatista aiheutuvia  $N_2O$ -emissioita (Velthof et al. 1998).

Suomessa lypsylehmän lannan typpimäärä oli vuonna 1995 noin kaksi kertaa niin suuri kuin vuonna 1950, mutta lannan typpimäärä on laskusuunnassa, koska valkuaisruokintaa on kehitetty. Tuotosten kärsimättä ja ilman huomattavia rehusuhteen muutoksia lannan typpimäärä voi pudota vielä noin 10–20 %. Mikäli rehuannokset kuitenkin väkirehultaistuvat voimakkaasti, valkuaisen hyväksikäyttö huononisi ja lannan typpipitoisuus nousisi. Lihanaudoilla ja hiehoilla lannan työssä tapahtuneet muutokset

ovat olleet samansuuntaisia mutta pienempiä kuin lypsylehmillä (Grönroos et al. 1998a).

MTT:ssa on selvitetty aminohappojen vaikutusta maitovalkuaisen tuotantoon säilörehu-vilja-ruokinnalla (Huhtanen et al. 1996, Vanhatalo 1997). Tutkimustulosten mukaan lehmästä erittyvän typen määrä pieneni noin 9 kg/lehmä lypsykauden aikana, jos kilo lypsylehmien valkuaisrehusta (rypsirouhe) korvattaisiin histidiinillä. Koko maassa typen erittyminen virtsaan väheni yhteensä yli 3 miljoonaa kiloa vuodessa. Histidiinin ja glukoosin yhdistelmällä on mahdollisuus vähentää lehmän typen eritystä noin 20 kg vuodessa. Toistaiseksi tästä menetelmästä ei ole selkeää sovellutusta vaan teollinen kehitystyö on edelleen käynnissä (A. Vanhatalo, MTT, henkilökohtainen tiedonanto, 27.10.1998).

Ilmajoen maatalousoppilaitoksella on käynnissä hanke, jossa perehdytään typpipäästöjen ongelmiin. Projektin puitteissa on todettu, että lehmille annetaan nykyisin liikaa valkuaista, jolloin eläin joutuu poistamaan ylimääräisen valkuaisen virtsassa. Tästä aiheutuu edelleen turhia ammoniakkipäästöjä. Hankkeessa suositellaan myös luonnostaan paljon valkuaista sisältävän laidunnurmen lannoituksen uudistamista. Typpilannoitus kannattaisi jakaa neljään tai viiteen osaan, jolloin kokonaislannoitusmäärää voitaisiin vähentää. Nurmen kasvilajiston tulisi myös olla monipuolinen, sillä ruotsalaistutkimusten mukaan lehmä pystyy hyödyntämään nurmen valkuaisen paremmin, jos se on peräisin eri kasvilajeista. Ruokintaan liittyvien seikkojen lisäksi myös kuivikkeella on vaikutusta typpipäästöihin. Kuiviketurvetta käyttämällä voitaisiin ammoniakkipäästöjä yrittää vähentää (Maaseudun Tulevaisuus 1999).

Lihaskojen lannan typpipitoisuus oli 1980-luvulla noin 20 % korkeampi kuin vuonna 1995, ja typpipitoisuutta pystytään vielä laskemaan täsmäruokinnalla tuotannon kärsimättä. Myös emakoiden lannan typpipitoisuus on laskenut jonkin

verran 1980-luvun huippuarvoista ja suunta on edelleen laskeva (Grönroos et al. 1998a). Sikataloudesta tulevaa typpikuormaa voidaan vähentää noin kolmanneksella, kun vaiheruokintamenetelmään yhdistettynä käytetään rehuvalkuaista, jossa jokaista välttämätöntä aminohappoa on tarpeeksi, mutta ei yhtään liikaa (Alaviuhkola 1996).

Siipikarjan lannan typpisisältö on myös vähentynyt selvästi vuosikymmenten aikana. 1960-luvun lannan typpimääriin verrattuna kanojen lannassa oleva typpimäärä on lähes puolittunut ja broileripaikkaa kohden lannan tyyppeä muodostuu nykyisin noin kolmanneksen vähemmän (Grönroos et al. 1998a). Kasvun kannalta broilerin kasvatusrehun valkuaispitoisuutta voitaisiin laskea 20 %:sta 17 %:iin lisäämällä rehuun puhtaita aminohappoja. Tällöin eläimen rasvoittuminen lisääntyy, mutta typen erittyminen lannassa vähenisi noin neljänneksen (Kiiskinen 1996). Toistaiseksi tämä menetelmä ei ole rehuteollisuuden käytössä. Tuottajat voivat alentaa rehun valkuaispitoisuutta kasvatuskauden loppua kohti lisäämällä rehun joukkoon rehuvehnä kokonaisina jyvinä. Rehun valkuaispitoisuuden aletessa myös lannan mukana tuleva typpimäärä vähenee (T. Kiiskinen, MTT, henkilökohtainen tiedonanto 28.10.1998). Myös munivien kanojen lannan typpipitoisuutta voitaisiin laskea aminohappoihin perustuvalla rehuseosten optimoinnilla (Näsi 1996). Munivilla kanoilla on käytössä ns. vaiheruokinta, joka alentaa lannassa erittyvän typen määrää (T. Kiiskinen, MTT, henkilökohtainen tiedonanto 28.10.1998).

Lannasta haihtuvan ammoniakkin määrän pienentämiseksi suositellaan pintalevityksen sijasta lietteen sijoitusta tai nopeaa multausta levityksen jälkeen. Multaus saattaa kuitenkin lisätä  $N_2O$ -emissioita (Granli & Bøckman 1994). Englannissa tehdyssä kokeessa mitattiin ammoniakkin haihduntaa ja denitrifikaatiota nurmelta lehmän lietelannan levityksen jälkeen. Joulukuun alussa pinta-



kasvianalyyseihin. Kasvien typenottoa voidaan parantaa käyttämällä sijoituslannoitusta pintalannoituksen sijasta. Lannoitteen koostumus sekä käyttömäärä ja levitysajankohta vaikuttavat kasvien typen hyväksikäyttöön. Typpilannoitteita tulisi antaa kasvien tarpeen mukaan joko jakamalla lannoitus useaan osaan tai käyttämällä kontrolloidusti typpeä vapauttavia lannoitteita. Lisäksi ureaasi- ja nitrifikaatioinhibiittoreilla voidaan yrittää parantaa lannoitteen käytön tehokkuutta.

Orgaanisen aineksen mineralisaatiossa vapautuneen ammoniumin nitrifioituessa maahan kertyy nitraattia, kun maa on paljaana. Viljelykasvien välillä viljeltävät peittokasvit vähentävät nitraatin kertymistä ja sen edelleen denitrifioitumista. Oljen maahan muokkausta syksyisin suositellaan, jotta mikrobit sitoisivat maasta vapaata nitraattia, mutta orgaanisen aineksen lisäys saattaa kuitenkin lisätä  $N_2O$ -emissioita.

Nurmien lannoitusta voidaan vähentää biologista typensidontaa hyödyntämällä. Lisäksi biologisesti sidottu typpi vapautuu vähitellen kasvien käyttöön ja näin maahan ei kerry suuria määriä mineraalityppeä. Nurmen kynnön jälkeen voivat  $N_2O$ -emissiot lisääntyä merkittävästi maan mineraalityypipitoisuuden noustessa, mutta niitä voidaan yrittää pienentää kylvämällä kynnön jälkeen kerääjäkasveja tai viljelemällä kasveja, joiden typenottoteho on mahdollisimman suuri.

Intensiivisesti viljeltyihin laitumiin liittyy lisääntyneen  $N_2O$ -emission riski. Tällaiset laitumet ovat hyvin lannoitettuja ja virtsan mukana tulee lisää mineraalityppeä. Laidunten pintamaahan kertyy lisäksi orgaanista ainesta, karjan kulku laitumella voi tiivistää maata ja laidunnuksessa kasvit tulevat jatkuvasti katkotuiksi. Toisaalta nurmilla, joita ei laidunneta, voi niittokertojen lisääminen vähentää emissioita. Karjan laidunnusta rajoittamalla pystytään lantaa keräämään enemmän talteen ja käyttämään lannoitukseen ostolannoitteiden sijasta.

Eläinten valkuaisruokintaa kehittämällä voidaan vähentää typen erittymistä virtsan ja lannan mukana. Lannasta käsittelyn ja varastoinnin aikana tapahtuvista  $N_2O$ -emissioista ei tiedetä vielä kovin paljoa. Karjasuojissa, erityisesti kuivikepohjasysteemeissä, voidaan olettaa lannasta emittoituvan suoraan dityppioksidia. Lietteestä voi vapautua  $N_2O$ :a, mikäli lietettä ilmastetaan. Lannasta haihtuvan ammoniakkin määrän pienentämiseksi suositellaan lietteen sijoitusta tai nopeaa multausta levityksen jälkeen, mutta multausta saattaa kuitenkin lisätä  $N_2O$ -emissioita.

### 3.3 Metaani ( $CH_4$ )

#### 3.3.1 Metaanin lähteet ja nielut

Metaanipäästöt ilmakehään ovat suureksi osaksi peräisin bakteerien aikaansaamasta orgaanisen aineksen hajoamisesta anaerobisissa olosuhteissa (Pipatti 1997). Maailmanlaajuisesti tärkeimmät maataloutteen liittyvät metaanilähteet ovat märehitijät, riisinviljely, kotieläinten lanta sekä biomassan poltto (Cole et al. 1996, Mosier et al. 1998b). Lisäksi maatalouskoneiden käytöstä ja maatilarakennusten lämmityksestä sekä muusta energiakäytöstä aiheutuu  $CH_4$ -päästöjä polttoprosessien yhteydessä (Pipatti 1997). Vuonna 1998 Suomen maatalouden metaanipäästöistä noin 88 % tuli kotieläinten ruoansulatuksesta ja noin 12 % lannasta (R. Pipatti, VTT, henkilökohtainen tiedonanto 14.12.1999).

Metaanin nettoemissio maasta riippuu metaania tuottavan (*methanogenesis*) ja sitä kuluttavan (*methanotrophy*) prosessin suhteellisista suuruuksista (Knowles 1993). Koska metaanin biologinen tuotanto on anaerobinen prosessi, on maan happitilanne tärkeä prosessia säätelevä tekijä. Maan happipitoisuuteen vaikuttavat suoraan pohjaveden pinnan korkeus ja maan hengitys. Kun maan hapetus-pelkistys (redox) -olot ovat sopivat, on

hiilisubstraatin saatavuus tärkein metaanin tuottoa säätelevä tekijä. Hiilisubstraatin määrän vaikuttaa puolestaan fermentaatio, jota kontrolloivat lämpötila ja maan orgaanisen aineen laatu (Schimel et al. 1993). Asetaatti ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ja  $\text{H}_2 + \text{CO}_2$  ovat luonnossa tärkeimmät lähtöaineet metaanin tuotannossa (Knowles 1993).

Metaanin hapetuksen ensimmäisessä vaiheessa metaanista syntyy metaanimono-oksyygeenaasin avulla metanolia ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ), joka hapetetaan edelleen formaldehydiksi ( $\text{HCHO}$ ), formiaatiksi ( $\text{HCOOH}$ ) ja lopulta hiilidioksidiksi (Knowles 1993). Metaanin tarjonta sitä hapettaville mikrobeille on tärkein hapestusta säätelevä tekijä sekä kosteilla että kuivilla mailla. Kosteilla mailla metaanin saatavuus riippuu metaanin tuotannosta anaerobisessa maakerroksessa ja metaanin kulkeutumisesta maan aerobiseen pintakerrokseen. Metaanin siirtyminen maakerroksesta toiseen riippuu puolestaan maan rakenteesta sekä maan kosteudesta ja lämpötilasta. Kosteilla mailla toinen tärkeä metaanin hapetusta säätelevä tekijä on maan happitilanne. Pintamaassa hapen hidas diffuusio ilmakehästä maahan sekä hapen nopea kulutus kontrolloivat hapen saatavuutta. Jos syvemmältä maasta diffundoituu samanaikaisesti runsaasti metaania, voi hapestusta muodostua metaanin tarjontaa tärkeämpi metaanin kulutusta säätelevä tekijä (Schimel et al. 1993).

Kuivilla mailla hapetettava metaani on peräisin ilmakehästä, jolloin metaanin saatavuuteen vaikuttavat yleiset kaasun diffundoitumiseen vaikuttavat tekijät. Hapella ei ole kuivilla mailla yhtä merkittävää roolia hapetuksen säätelyssä kuin sillä on kostekoissa, koska kaasujen diffuusion hidastuminen vähentää sekä metaanin että hapen tarjontaa. Sen sijaan maan ammoniumpitoisuudella on vaikutusta metaanin hapetukseen, sillä metaanin ja ammoniumin hapetuksessa toimivat mono-oksyygeenaasisyymit pystyvät molemmat hyödyntämään sekä metaania

että ammoniumia substraattinaan eli ammoniumin ja metaanin välillä on eräänlainen kilpailutilanne (Schimel et al. 1993).

Viimeaikaisissa laskelmissa on päädytty siihen, että metaanin biologinen kulutus on maailmanlaajuisesti suurin nielu metaaninkierrossa. Tämä ohittaisi jopa ilmakehässä tapahtuvan hapettumisen. Metaanin ottoon vaikuttavat sekä abioottiset että bioottiset tekijät, joista merkittävimmät kokonaiskulutusta säätelevät tekijät ovat potentiaalinen biologinen kysyntä ja diffuusio. Maan kostuminen rajoittaa diffuusiota, jolloin metaanin kulutus estyy. Kun maa alkaa kuivua, metaanin kulutus nousee huippuunsa diffuusion kasvaessa. Maan ollessa hyvin kuivaa vähentää kuivuusstressi suoraan metaanin kulutusta. Biologinen aktiivisuus maassa on alhainen, kun maa on hyvin kylmää. Tällöin diffuusio pystyy hyvin täyttämään kysynnän. Kun lämpötila nousee, bioottinen aktiivisuus nousee nopeammin kuin diffuusio. Tällöin kysyntä ohittaa tarjonnan, ja metaanin kulutus tasaantuu diffuusion kontrolloimaan maksimiin (Mosier et al. 1998b).

Peltojen raivaamisen on todettu vähentävän maaperän metaaninottoa ja paikallisesti voi viljelymailla esiintyä jopa metaanipäästöjä (Pipatti 1997). Maanviljelyksen intensiteetti sekä maan lajitekoostumus, tilavuuspaino, kosteusolot ja joissakin tapauksissa myös N-lannoitus vaikuttavat siihen, paljonko maan metaaninotto vähenee sen tullessa viljelykäyttöön (Mosier et al. 1998b). Tanskassa ja Skotlannissa tehtyjen tutkimusten mukaan maan kyky hapettaa ilmakehän metaania mikrobiologisesti palautuu hyvin hitaasti pellon metsittämisen jälkeen. Ensimmäisten vuosien aikana metaanin hapettuminen saattaa vähentyä, mutta hapettumisintensiteetti voi sitten lisääntyä jopa 100–200 vuoden ajan (Priemé et al. 1997).

Kun orgaanisia maita kuivatetaan, maan happikonsentraatio nousee. Tällöin metaanin tuotanto maassa vähenee sa-

malla, kun metaanin hapettuminen lisääntyy. Tämä merkitsee  $\text{CH}_4$ -emissioiden pienenemistä. Kaiken kaikkiaan viljelyillä orgaanisilla mailla ei ole merkitystä metaanin nieluna tai lähteenä (Kasimir-Klemedtsson et al. 1997). Mosierin et al. (1998b) mukaan aerobinen maa voi toimia merkittävänä metaanin nieluna.

Monien eläinten ruoansulatuskanavassa on bakteereja ja alkueläimiä, jotka pystyvät hydrolysoimaan polysakkarideja. Bakteerit käyttävät vapautuneet soke-rit edelleen lyhytketjuisiksi rasvahapoiksi, joista eläimet saavat energiaa. Käymisessä syntyy lisäksi hiilidioksidia ja vetyä, jonka määrä riippuu tuotetusta haposta. Anaerobisessa ympäristössä on myös bakteereja, jotka saadakseensa kasvuunsa energiaa käyttävät vetyä hiilidioksidin tai formiaatin pelkistämiseen metaaniksi. Syntynyt metaani vapautuu ilmakehään röyhäisyissä ja hengityksessä. Erityisesti märehitijöillä tämäntyyppinen ruoansulatus on tehokasta (Mosier et al. 1998b).

Metaanin muodostumiseen vaikuttavat eläintyyppi, eläimen ikä, kunto, paino, energiankulutus sekä ruokinnan määrä ja laatu. Tehokkaalla ruokinnalla voidaan vähentää päästöjä tuotettua liha- tai maitokiloa kohti, vaikka päästöt eläintä kohti kasvavat (Pipatti 1997).

Eläinten lannasta vapautuu metaania, kun lannassa olevia orgaanisia aineita hajotetaan anaerobisissa olosuhteissa (Cole et al. 1996). Pääasiassa eläinlajista ja ravinnosta riippuva lannan koostumus vaikuttaa siihen, paljonko lannasta voi potentiaalisesti syntyä metaania. Tietyn eläinlajin kohdalla voidaan sanoa, että mitä suurempi ravinnon energiasisältö ja sulavuus on, sitä suurempi mahdollisuus on metaanin tuotolle. Happipitoisuus, kosteus, happamuus ja tietyt ravinteet vaikuttavat siihen, kuinka suuri osa tästä potentiaalista toteutuu (Gibbs & Woodbury 1993). Lietelannasta päästöt ovat merkittävästi suuremmat kuin kivi-kielannasta. Lämmin ja kostea ilmasto lisäävät myös osaltaan päästöjä (Gibbs & Woodbury 1993, Pipatti 1997). Suomes-

sa lypsylehmien lannasta 35 % käsitellään lietelantana. Lihasioilla lietelannan osuus on noin 77 %, mutta munituskanojen lannasta vain vajaa 10 % on lietettä (Sepänen & Matinlassi 1998).

Biomassan poltossa metaania syntyy epätäydellisessä palamisessa. Syntyneen metaanin määrä suhteessa hiilidioksidin määrään riippuu paloprosessin vaiheesta (Mosier et al. 1998b).

### 3.3.2 Mittaus- ja laskentatuloksia suomalaisten maatalousmaiden $\text{CH}_4$ -päästöistä

Ilomantsissa sijaitsevalla nurmituotannossa olevalla turvemaalla tehdyissä mitauksissa metaania vapautui keväällä lannoituksen jälkeen sekä talvella. Kesällä maahan pidättyi ilmakehän metaania aerobisessa turpeessa tapahtuvan metaanin hapetuksen seurauksena. Vuotuinen metaaniemissio oli 2,6 kg  $\text{CH}_4$ /ha (1991) ja 1,7 kg  $\text{CH}_4$ /ha (1992). Kokonaisemisiosista 20–50 % tapahtui talvella. Kokeessa oli toisena mittausalueena luonnontilainen suo, jolta vapautui 199–345 kg  $\text{CH}_4$ /ha vuodessa. Mikäli laskelmiin otetaan mukaan nurmea käyttävä karja, on pelloilta vapautuvan metaanin määrä lähellä luonnontilaiselta suolta vapautuvan metaanin määrää (Nykänen et al. 1995, 1996).

SILMUn loppuraportissa arvioidaan, että suopelloilta vapautuu metaania 0,8 Gg vuodessa (Savolainen 1996). Mikäli viljeltyjen turvemaiden metaanipäästöt ovat noin 2 kg/ha (Laine 1996) ja turvemaita oletetaan olevan 200 000 hehtaaria, olisi kokonaispäästö 0,4 Gg vuodessa.

### 3.3.3 Maatalouden $\text{CH}_4$ -päästöjen vähentäminen

Metaanipäästöjen vähentämiskeinoja tulisi arvioida suhteessa muihin kasvihuonekaasuihin. Erityisesti metaanin ja di-typpioksidin tuotannon välillä olevan käänteisen yhteyden huomioiminen on tärkeää (Cole et al. 1996, Mosier et al.

1998b). Vähennyskeinojen tulisi täyttää myös ainakin seuraavat yleiset, kaikkia kaasuja koskevat ohjeet: 1) tuotantotasojen tulee pysyä entisellään tai nousta alueilla, joilla ruoan kysyntä ja tarjonta ovat herkässä tasapainossa, 2) maanviljelijöiden tulisi saada menetelmistä myös lisähyötyä (esimerkiksi työmäärän väheneminen, tarvittavien tuotantopanosten väheneminen tai niiden tehostunut käyttö) sekä 3) paikallisten kuluttajien tulee olla kiinnostuneita tuotteista. Poliittisten puitteiden sekä teknisen infrastruktuurin tulisi olla sellainen, että ne helpottavat vähentämiskeinojen käyttöönottoa (Mosier et al. 1998b).

Alueilla, joilla eläimet saavat heikkolaatuista rehua, voidaan metaaniemissiota tuotettua liha- tai maitokiloa kohti vähentää ruokintaa täydentämällä ja rehun sulavuutta nostamalla. Sulavuutta voidaan parantaa esimerkiksi olkien ammoniakikäsittelyllä (Mosier et al. 1998b). Viljan olkien rehuarvo on viljakasvista riippuen 0,45–0,52 ry/kg kuiva-ainetta ja raakavalkuaispitoisuus 3–4 %. Ammonoidun oljen vastaavat arvot ovat 0,57 ry/kg kuiva-ainetta ja 12 % raakavalkuusta. Valkuaisarvon kasvu johtuu lisätystä ammoniakista eikä kaikki tule nautaeläinten hyödyksi (Brofeldt 1999, Tuori et al. 1996). Suomessa eläinten ravinnoksi käytetystä oljesta ammonoidaan arviolta noin 5 % (Wilkinson 1998).

Ruokinnan parantuessa voidaan siirtä lisäksi geneettisesti parempiin karjatoruihin. Korkeampiluokkaista ravintoa käytettäessä lehmä voi poikia ensimmäisen kerran entistä nuorempana ja poikimisten välinen aika voi lyhentyä. Tällöin tarvitaan sekä siitos- että lypsylehmiä aikaisempaa vähemmän, mikä merkitsee metaanipäästöjen vähenemistä (Mosier et al. 1998b).

Maailmanlaajuisesti maidon- ja/tai lihantuotanto eläintä kohti vaihtelee paljon ruokinnasta riippuen. Metaaniemission suuruus rehukiloa kohden on muuten melko vakio paitsi että eläimet, jotka saavat hyvin tiivistettyä ravintoa, va-

pauttavat vähemmän metaania. Koska ylläpitoon tarvittava energiamäärä pysyy melko vakaana tuotantotasosta riippumatta, rehun kulutus ja CH<sub>4</sub>-emissio tuotekiloa kohti vähenevät eläimen tuottavuuden kasvaessa (Mosier et al. 1998b).

Intensiivisessä karjankasvatuksessa metaanipäästöjen vähentämisen mahdollisuudet ovat pienemmät. Lypsykarjan päästöjä voidaan yrittää vähentää lehmien geneettisiä ominaisuuksia kehittämällä, kasvuhormonien käytöllä sekä rehun koostumusta parantamalla. Lihakarjalle kehitettävänä olevat lääkeaineet, jotka edistävät proteiinien kertymistä rasvan sijasta, voisivat vähentää myös CH<sub>4</sub>-päästöjä. Eläinten lisääntymistä voitaneen parantaa keinohedelmöityksillä, alkiosiiroilla ja kaksosvasikoiden tuotannolla, jolloin jalostuseläinten määrää voidaan vähentää. Biotekniikan avulla voidaan pyrkiä muuntamaan pötsikäymistä niin, että metaania ei synny. Metaanipäästöjä voitaisiin myös pienentää, jos yhä suurempi osa ravinnon energiasta voitaisiin käyttää maidon ja lihan tuotantoon yläpidon sijasta (Mosier et al. 1998b).

Lannan käsittelyssä ja varastoinnissa syntyviä metaanipäästöjä voidaan vähentää tehostamalla metaanintuotantoa anaerobisissa reaktoreissa ja ottamalla muodostunut kaasu talteen. Kompostoinnilla voidaan estää metaanin muodostumista pitämällä lanta hapellisissa oloissa. Biokaasutus ja kompostointi pienentävät myös lannan levityksestä aiheutuvaa vesistökuormitusta sekä vähentävät levityksen hajuhaittoja. Toisaalta ammoniakki- ja dityppioksidipäästöt voivat lisääntyä. Jos biokaasutuksessa syntyvä kaasu käytetään hyväksi energiantuotannossa, voidaan sillä korvata fossiilisia polttoaineita (Pipatti 1997).

Pipatin (1997) mukaan metaanipäästöjen vähentämisen kannalta sekä kompostointi että lannan biokaasutus ovat Suomessa kalliita toimenpiteitä. Ominaiskustannukset vähennettyä CH<sub>4</sub>-tonnia kohti ovat suuret, koska lannasta aiheutuvat metaanipäästöt ovat Suomen



kylmässä ilmastossa pienet lämpimiin maihin verrattuna.

Biomassan poltossa syntyviä päästöjä voidaan pienentää yksinkertaisesti lisäämällä kasvijätteen maahan muokkausta. Samalla lisätään myös maan orgaanisen aineksen määrää, kationinvaihtokapasiteettia, vedenpidätyskykyä sekä maan ravinteisuutta (Mosier et al. 1998b).

Cole et al. (1996) mukaan ei ole vielä tarpeeksi tietoa, jotta voitaisiin suositella maatalouteen liittyviä keinoja, joilla viljelymaiden metaanin hapetuskykyä voitaisiin lisätä. Hütschin (1998) hiekkaisella maalla tekemät laboratorioinkubaatiokokeet antavat kuitenkin viitteitä siitä, että viljelymenetelmällä on vaikutusta maan metaanin hapetuskykyyn. Suorakylvötekniikalla viljellyssä maassa oli CH<sub>4</sub>:n hapettuminen 4,5–11 kertaa runsaampaa kuin maassa, jota kynnettiin. Suorakylvetyssä maassa vuosien välinen vaihtelu oli suurta, sillä toisena mittausvuonna hapetuskyky oli lähes kaksinkertainen ensimmäiseen vuoteen verrattuna. Aiemmin kynnetty, mutta nyt vähän aikaa viljelemättä ollut alue, vastasi ensimmäisenä vuonna metaanin hapetuskyvyltään suorakylvettyä maata ja asetui toisena vuonna kahden viljelytavan väliin. Metsämaassa oli kuitenkin selvästi korkein metaanin hapetuskyky.

Viljelykäytössä 150 vuotta (ei N-lannoitusta) olleen maan metaanin ottonon mitattu alentuneen noin 80 % kalkkipitoiseen metsämaahan verrattuna. Lisäksi mineraalityppilannoituksen (144 kg N/ha, 150 vuoden ajan) on todettu vähentäneen maan metaanin ottoa noin puolella verrattuna lannoittamattomaan maahan, mutta karjanlanta (noin 240 kg N/ha vuodessa) ei vähentänyt metaanin ottoa. Heinänurmella tehdyssä kokeessa on havaittu ammoniumlannoitteiden, mutta ei nitraattipohjaisten lannoitteiden, pitkäaikaisen käytön (96 kg N/ha, 140 vuotta) inhiboivan kokonaan metaanin ottonon (Powlson et al. 1997).

Norjassa tehdyssä kokeessa sekä NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>-lannoitus että karjanlanta vä-

hensivät molemmat maan metaanin ottoa keskimäärin 50 %:lla lannoittamattomaan maahan verrattuna. Samassa kokeessa maan tiivistäminen vähensi ottoa noin 52 %. Lannoituksen ja tiivistämisen yhteisvaikutuksena otto väheni 78 % (Hansen et al. 1993). Myös jätevesilietteen käyttö voi lisätä metaaniemissioita maasta. Esimerkiksi Tanskassa ohramaalla tehdyssä kokeessa kumulatiivinen metaanin vapautuminen 330 päivän aikana oli 10,2 mg/m<sup>2</sup> lietettä saaneelta lohkolta, mutta vain 0,4 mg/m<sup>2</sup> lohkolta, jolle ei ollut levitetty puhdistamolietettä (Milandt & Ambus 1999).

Boeckx et al. (1997) ovat tutkineet maalajin ja maankäytön vaikutusta metaanin hapettumiseen. Metaanin hapettuminen oli runsaampaa karkearakeisilla mailla kuin hienorakeisilla mailla. Maalajin ollessa sama oli metaanin otto hitaampaa nurmella olevassa maassa kuin viljelyssä olevassa maassa. Maalajiltaan hienorakeisella nurmella jopa emittoitui metaania. Metsämaassa metaanin hapetus oli kuitenkin kaikkein runsainta. Toisaalta Mosier et al. (1991, 1997) ovat mitanneet metaanin ottonon alentuneen noin 35 % typpilannoitetulla laitumella luontaiseen laitumeen verrattuna. Kun vastaavan tyypillisellä maalla viljeltiin vehnää, oli metaanin kulutus alentunut vielä 15 % lisää.

Boeckx et al. (1998) ovat selvittäneet maankäytön vaikutusta metaanin hapettumiseen inkubaatiokokeen avulla. Metaanin otossa esiintyi 202 päivän aikana ajallista vaihtelua. Hapettuminen oli lehtimetsästä ja luonnonnurmelta otetuissa näytteissä selvästi runsaampaa kuin lannoitetulta laitumelta tai maissin viljelyssä olevilta pelloilta otetuissa näytteistä. Koko mittausjaksoa tarkasteltaessa eritavalla lannoitetuissa viljelymaissa ei ollut eroja metaanin hapetuskyvyn suhteen, vaikka runsas kuukausi lannoituksen jälkeen otetuissa näytteissä ammoniumnitraattia saaneiden alojen metaanin hapetus oli alentunut verrattuna lannoittamattoman tai pelkkää lantaa saaneen alan metaanin hapetukseen.

Eräät torjunta-aineet eli pestisidit voivat alentaa metaanin hapettumista, mutta vaikutus riippuu esimerkiksi maalajista, lämpötilasta ja vallitsevasta mikrobipopulaatiosta. Vaikutuksen taustalla saattavat kuitenkin olla paremminkin pestisidien hajoamistuotteet kuin itse aineet (Boeckx et al. 1998).

### 3.3.4 Yhteenveto

Maataloustuotannossa syntyy  $\text{CH}_4$ -päästöjä kotieläinten ruuansulatuksesta ja lannasta sekä erilaisista polttoprosesseista. Maasta metaania vapautuu, jos metaanin tuotanto ylittää sen hapettamisen. Koska  $\text{CH}_4$ -päästöt ovat pääasiassa peräisin kotieläimistä, myös päästöjen vähentäminen keskittyy niihin. Lypsykarjan päästöjä voitaisiin yrittää vähentää muun muassa lehmien geneettisiä ominaisuuksia kehittämällä tai rehun koostumusta parantamalla. Ravinnon energia tulisi pystyä käyttämään yhä tarkemmin maidon ja lihan tuotantoon ylläpidon sijasta. Kaiken kaikkiaan olisi hyväksi, jos pötsikäymistä voitaisiin muokata biotekniikan avulla niin, että metaania ei synny. Lannan päästöjä voidaan vähentää suosimalla kuivikelantaa, sillä lietelannasta päästöt ovat merkittävästi suuremmat. Myös kompostointi vähentää metaanin muodostusta. Vaihtoehtoisesti voidaan pyrkiä tehostamaan lannan metaanin tuotantoa ja edelleen talteenottoa ja hyödyntämistä energiantuotannossa.

Viljelysmaat voinevat toimia metaanin nieluna, mutta toistaiseksi ei ole riittävästi tietoa siitä, miten viljelyyn liittyvin keinoin metaanin hapetuskykyä voitaisiin nostaa. Kokeissa on saatu tuloksia siitä, että muun muassa maalaji, kosteusolot, viljelymenetelmä, viljelykasvi, lannoitus ja pestisidit vaikuttavat metaanin hapettumiseen, mutta tulokset ovat olleet ainakin osittain ristiriitaisia. Peltojen raivaamisen vähentäminen ja toisaalta metsittäminen lisääminen ovat hyödyksi metaanin hapettumisen kannalta. Myöskään biomassan polttoa pellolla ei tulisi suosia.

## 4 Maataloudesta aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen laskenta IPCC-ohjeiden mukaan

Tässä kappaleessa kuvataan maataloudesta aiheutuvien  $\text{CO}_2$ -,  $\text{N}_2\text{O}$ - ja  $\text{CH}_4$ -päästöjen laskentaa vuonna 1997 julkaistujen *Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*-ohjeiden mukaan. Ohjeistoa tarkistetaan, kehitetään ja tarkennetaan jatkuvasti, joten laskennasta kiinnostuneiden tulee aina käyttää päivitettyjä alkuperäisiä ohjeita. Tässä yhteydessä kerrotaan dityppioksidin kohdalla muutamasta ehdotetusta tarkennuksesta. Maatalouden energian käytöstä aiheutuvien kasvihuonekaasupäästöjen laskentaa ei tässä esitetä, sillä Suomessa maatalouden energiapäästöt laskee Tilastokeskus osana koko energia-sektorin päästöjä niihin kehitetyllä erityisellä järjestelmällä.

### 4.1 Hiilidioksidi

Tässä kappaleessa käsitellään aluksi maankäytön muutoksista ja maan käsittelystä aiheutuvia hiilidioksidiemissioita sekä hiilidioksidin pidättymistä maahan. Nykyinen IPCC-menetelmä perustuu tärkeimpien maankäyttö/käsittelyluokkien pinta-alan ja hiilivarastojen seurantaan. Menetelmän taustalla on periaate, että maan hiilitaso pyrkii tasapainotilaan, kun tiettyä maankäyttöä on harjoitettu usean vuoden ajan. Inventointi perustuu kahdeksaan ilmastoalueeseen ja kuuteen maatyyppiin, koska ilmasto ja maatyypit ovat tärkeimmät maan käsittelytavan valintaan vaikuttavat tekijät. Nämä teki-

jät vaikuttavat lisäksi potentiaalisen hiilivaraston kokoon ja siihen, miten varastot reagoivat maan käsittelyyn. Suomi kuuluu kylmään (vuoden keskilämpötila alle +10 °C) ja kosteaan (sadanta vähintään yhtä suurta kuin haihtuminen eli evapotranspiraatio) lauhkeaan vyöhykkeeseen, jolle on tyypillistä lyhyt kasvukausi sekä kevätiljojen, juurikasvien ja monivuotisten rehuksien viljely. Lisäksi sademäärä on niin suuri, että viljely on mahdollista joka vuosi, kesäkesannoitua ei tarvita kuivuuden takia ja kastelua käytetään pääasiassa erikoiskasveille (IPCC 1997).

Neljä maatyyppeä on muodostettu maan tekstuuriin ja savimineralogian perusteella, sillä nämä tekijät vaikuttavat maan orgaanisen aineksen pitoisuuteen. Ensimmäinen ryhmä on mineraalimaat, joissa on korkea saviaktiivisuus. Nämä maat sisältävät huomattavasti korkea-aktiivisia savimineraaleja kuten 2:1-mineraaleja, esimerkiksi montmorilloniittia. Toisen ryhmän muodostavat alhaisen saviaktiivisuuden mineraalimaat, jotka sisältävät matala-aktiivisia savimineraaleja kuten 1:1-mineraaleja, esimerkiksi kaoliniittia ja gibbsiittia. Hiekkamaat, joiden savipitoisuus on alle 8 % ja hiekkapitoisuus yli 70 %, muodostavat kolmannen ryhmän. Neljäs ryhmä koostuu vulkaanisista maista. Loput kaksi maatyyppeä muodostuvat maan kuivatus- ja vesitilanteen mukaan. Märät maat (*aquic soils*) ovat mineraalimaita, jotka ovat kehittyneet huonosti kuivatetussa ympäristössä, jossa hajotustoiminta on hidastunut. Tällöin maan orgaanisen aineksen pitoisuus nousee korkeaksi. Viimeisen ryhmän muodostavat orgaaniset maat, jotka ovat kehittyneet veden kyllästämissä oloissa, joissa orgaanisen aineen hajoaminen on hyvin hidasta (IPCC 1997).

Maankäyttötavat vaikuttavat maan hiilivarastoihin kahdella tapaa. Ne muuttavat maahan tulevan hiilen määrää ja vaikuttavat orgaanisen aineksen hajotuksen vilkkauteen. Alueen otto maatalouskäyttöön alkuperäiskasvillisuutta, esimer-

kiksi metsää raivaamalla aiheuttaa yleensä maan hiilivarastojen pienenemisen, koska maahan tulevan hiilen määrä pienenee ja maan käsittely nopeuttaa hajotustoimintaa. Mikäli jatkuvassa viljelyssä ollut maa muutetaan tai annetaan muuttua itseksensä monivuotisen kasvillisuuden peittämäksi alueeksi, maan hiilivarastojen koko lähtee yleensä nousuun. Jos maan tuottokyky on jo pysyvästi vahingoittunut, saattaa maan hiilipitoisuus edelleen laskea. Maan intensiivinen muokkaus alentaa maan orgaanisen aineksen pitoisuutta. Erityisesti kyntö, jossa maa kääntyy kokonaan nurin, vapauttaa maa-aggregaateissa suojassa ollutta orgaanista ainesta hajotukselle alttiiksi, ja lisäksi se nostaa maan lämpötilaa. Useimmissa maataloussystemeissä kasvijätteen (juuret, juurieritteet, pellolle jäävät maanpäälliset kasvinosat) ovat ensisijainen maan hiilen lähde. Myös viherlannoituskasvit, aluskasvit ja muut varsinaisen viljelykasvin ohella viljeltävät kasvit tuottavat maahan lisää hiiltä. Kolmannen hiilen lähteen muodostavat erilaiset maahan lisättävät aineet kuten lanta, jätteesilietteet ja teollisuuden sivutuotteet. Myös kaikki hoitotoimenpiteet, jotka lisäävät kasvijätteen tai muiden maahan lisättävien orgaanisten aineiden määrää, lisäävät myös maan hiilivarastoja (IPCC 1997).

Hiilidioksidivirtojen arviointi perustuu tietyllä ilmastoalueella vallitsevien maankäyttötapojen pinta-alojen ja hiilivarastojen inventointiin. Maankäsittelytavat määrittävät siten, että maan jakautuminen erilaisten käsittelytapojen kesken on muuttunut viimeisten kahdenkymmenen vuoden aikana ja että systeemit eroavat merkittävästi hiilivarastojen koon suhteen. IPCC-ohjeissa annetaan esimerkki kylmälle ja kostealle lauhkealle vyöhykkeelle sopivasta ryhmittelystä, josta voidaan lähteä liikkeelle maakohdasta ryhmittelyä tehtäessä. Esimerkissä maankäyttösysteemit ovat seuraavat: metsä, viljojen monokulttuuri, viljelykierto, jossa on mukana viljaa, juurikasveja ja

monivuotisia rehukasveja, pysyvät laitumet sekä viljelystä poistettu alue (*set-aside*), joka on metsitetty tai nurmetettu (IPCC 1997).

Inventaarissa käsitellään kolmea potentiaalista maatalousmaihin liittyvää hiilidioksidin nettolähdettä. Nämä ovat nettomuutokset mineraalimaihin varastoituneen orgaanisen hiilen määrässä maankäytössä ja käsittelyssä tapahtuneiden muutosten seurauksena, orgaanisten maiden viljely ja kalkitus (IPCC 1997).

#### 4.1.1 Kivennäismaiden hiilivarastojen muutokset

Nettohiilivirratt lasketaan maan hiilivarastossa 20 vuoden aikana tapahtuneiden muutosten avulla. Tällöin esimerkiksi vuoden 1990 inventaaria varten tarvitaan pinta-alat ilmasto/maatyypin/maankäyttölukuokittain sekä vuodelta 1970 että 1990. Mineraalimailla tarkastellaan vain ylintä 30 cm:ä, koska ylimmissä kerroksissa hiilikonsentraatio on tavallisesti korkein ja maankäytössä sekä käsittelyssä tapahtuneiden muutosten vaikutus on suurin. Valittu tarkastelujakson pituus on eräänlainen kompromissi, sillä useat tekijät vaikuttavat siihen, kuinka nopeasti systeemi reagoi maan käsittelyssä tapahtuneeseen muutokseen. Esimerkiksi trooppisissa maan hiilivarastot saavuttavat uuden tasapainotilanteen nopeammin kuin lauhkealla vyöhykkeellä. Tasapainotilanteen saavuttaminen on myös nopeampaa hiilimäärien vähetessä kuin niiden kasvaessa. Yleensä nopein muutos maan hiilililassa tapahtuu ensimmäisen 10–20 vuoden kuluessa merkittävästä muutoksesta maankäytössä tai käsittelyssä. Pitkällä inventointiajalla on myös haittapuolensa. Vanhoja maankäyttö- ja käyttö- ja käsittelyn muutoksen määrä on vakio koko ajanjakson. Jos muutos ei ole lineaarinen ajan suhteen, arviointitulos

on sitä vinoutuneempi mitä pidempi arviointijakso on. Jotta pidemmän vasteajan vaativat toimet tulisivat otettua huomioon, suositellaan, että määritetään hiilivarastoiltaan eroavia ajallisesti peräkkäisiä systeemejä. Lauhkealla vyöhykkeellä tällaisia voisivat olla esimerkiksi ”maa ollut poissa viljelystä alle 20 vuotta” ja ”viljelemättä yli 20 vuotta” (IPCC 1997).

Hiilivaraston määrään luetaan kuuluviksi orgaanisen hiilen kokonaismäärä 30 cm syvyyteen asti sekä pinnalla olevan karikkeen hiili (nurmet, laitumet). Tuoreen kasvijätteen hiiltä ei lueta mukaan. Viljelytavoissa, joissa ei käytetä muokkausta (*no-till*), pienin mahdollinen vuoden aikana pinnalle jäävä kasvijättemäärä luetaan mukaan orgaanisen hiilen varastoon (IPCC 1997).

Laskelmien tuloksena voi olla joko negatiivinen tai positiivinen luku eli maan hiilivarasto on pienentynyt tai maahan on kertynyt hiiltä. Vuotuinen nettoemissio saadaan jakamalla laskun tulos 20:llä. Pinta-alana tulisi käyttää vähintään sitä alaa, jolla on tapahtunut merkittäviä maankäytön ja/tai käsittelyn muutoksia. Lisäksi inventoinnissa mukana oleva kokonaismaa-ala tulee olla sama kumpanakin tarkasteluvuotena ja kunkin maatyypin alan tulee olla vakio tarkastelujakson ajan (IPCC 1997).

Aluksi määritellään maankäyttö- ja käsittelyjärjestelmät. Sen jälkeen kuhunkin järjestelmään kuuluva kokonaispinta-ala jaetaan molempina tarkasteluvuosina eri maatyypin kesken. Seuraavaksi tarvitaan maan hiilivarastojen koko. Mikäli maakohtaista tietoa ei ole saatavissa, voidaan käyttää ohjeissa annettuja arvioita luontaisen kasvillisuuden peittämille alueille. Esimerkiksi kylmällä ja kostealla lauhkean vyöhykkeen alueella maan orgaanisen hiilen määräksi alhaisen ja korkean saviaktiivisuuden maassa oletetaan 80 000 kg C/ha (0–30 cm), hiekkamailla 20 000 kg/ha ja märillä mailla 180 000 kg/ha (IPCC 1997).

Alueilla, joilla maatalous vaikuttaa, voidaan maan hiilimäärää arvioida kaa-

**Taulukko 5.** Oletuskertoimet lauhkealla vyöhykkeellä olevan mineraalimaan hiilivarastojen arviointiin (IPCC 1997).

**Table 5.** Default coefficients for estimating carbon stocks of mineral soils in the temperate climate region.

Järjestelmä <i>Management system</i>	Maa-ryhmä* <i>Soil class</i>	Peruskerroin <i>Basic factor</i>	Muokkauskerroin** <i>Tillage factor</i>			Panoskerroin*** <i>Input factor</i>		
			Muokkaamaton <i>No-tillage</i>	Vähennetty muokkaus <i>Reduced tillage</i>	Täysi muokkaus <i>Full tillage</i>	Alhainen panos <i>Low input</i>	Keskimääräinen panos <i>Medium input</i>	Korkea panos <i>High input</i>
Pitkään viljelty <i>Long term cultivation</i>	A, B, C, D	0,7	1,1	1,05	1,0	0,9	1,0	1,1/1,2
Pitkään viljelty <i>Long term cultivation</i>	E	0,6	1,1	1,05	1,0	0,9	1,0	1,1/1,2
Parannettu laidun <i>Improved pasture</i>	Kaikki maat	1,1				ND	ND	ND
Viljelemättä (< 20 v.) <i>Uncultivated (&lt; 20 years)</i>	Kaikki maat	0,8				ND	ND	ND
Viljelemättä (> 20 v.) <i>Uncultivated (&gt; 20 years)</i>	Kaikki maat	0,9				ND	ND	ND

\* Maaryhmät: A = korkea saviaktiivisuus, B = alhainen saviaktiivisuus, C = hiekkamaa, D = vulkaaninen maa, E = määrät maat (*Aquic*)

ND = ei riittävästi tietoa oletuskertoimen antamiseksi; ellei myöskään maakohtaista tietoa ole saatavilla käytetään arvoa 1

\*\* Muokkauskerroin: vähennetty muokkaus = maata käsitellään merkittävästi, mutta sitä ei käännetä nurin; täysi muokkaus = maa käännetään nurin

\*\*\* Panoskerroin: alhainen panos = kasvijätteet poistetaan tai poltetaan taikka käytetään avokesantoa; keskimääräinen panos = kasvijätteet jätetään pellolle; korkea panos = maahan jäävän aineksen määrää on merkittävästi kasvatettu käyttämällä katteita, viherlannoitusta tai lisäämällä viljelykasvista jäävää jättemäärää (1,1) tai käytetään säännöllisesti runsaasti karjanlantaa (1,2)

valla 1. Kertoimille on saatavissa oletusarvoja (Taulukko 5), joita voidaan käyttää, ellei maakohtaista tietoa ole saatavissa. Peruskerroin kuvaa muutoksia maan orgaanisessa aineessa, kun siirrytään luontaisesta kasvillisuudesta maatalouskäyttöön. Muokkaus- ja panoskerroimet kuvaavat maankäsittelyn vaikutuksia. Esimerkiksi pitkään viljeltyssä korkean saviaktiivisuuden maassa, jota on muokattu intensiivisesti ja johon on jäänyt vähän hiiltä olkien poiston seurauksena,

arvioidaan hiilipitoisuuden olevan 63 % ( $0,7 \times 1 \times 0,9$ ) siitä, mitä se on luonnontilaisessa maassa. Samanlaisessa maassa, jota on viljelty muokkaamatta ja johon jäänyt paljon kasvijätettä peittokasvien viljelystä johtuen, hiilitason arvioidaan olevan 85 % ( $0,7 \times 1,1 \times 1,1$ ) luonnontilaisen maan hiilitasosta. Kun hehtaarikohtaiset hiilimäärät (Mg C/ha) saadaan arvioitua, kerrotaan ne pinta-alalla, jolloin saadaan koko maan hiilivarastot (Tg) laskettua. Seuraavaksi lasketaan 20 vuo-

den aikana tapahtunut nettomuutos maan hiilivarastoissa. Tämä muutetaan edelleen vuotuiseksi muutokseksi ja hiilidioksidin nettoemissioksi (IPCC 1997).

$$\text{Maan hiili}_{\text{managed}} = \text{Maan hiili}_{\text{native}} \times \text{peruskerroin} \times \text{muokkauskerroin} \times \text{panoskertoimet} \quad (1)$$

missä hiili<sub>managed</sub> = viljellyn maan sisältämä hiilen määrä ja hiili<sub>native</sub> = luonnontilaisen maan sisältämä hiilen määrä.

#### 4.1.2 Orgaanisten maiden viljely

Kun orgaaninen maa otetaan viljelykäyttöön, alkaa maan orgaaninen aines haptua ja maa painua. Hiilen vapautumiseen vaikuttaa ilmasto, orgaanisen aineksen koostumus, pellon kuivatustila sekä muut toimet kuten lannoitus ja kalkitus. Orgaanisilta mailta tapahtuva hiilen häviö voi jatkua hyvin pitkään eli periaatteessa siihen asti kunnes koko orgaaninen kerros on hävinnyt. Hajotuksen edetessä maahan kertyy yhä kestävämpiä orgaanisen aineksen fraktioita, jolloin myös CO<sub>2</sub>-emissiot voivat aleta. Samanaikaisesti maata kuitenkin muokataan, jolloin vähemmän hajaantunutta orgaanista ainesta nousee maan pintaosiin, jossa se hajoaa, ja samalla maa painuu edelleen. Tämän seurauksena CO<sub>2</sub>-emissiot voivat pysyä korkeana kunnes suuri osa orgaanisesta aineesta on hajonnut. Jos orgaanisilla mailla viljellään esimerkiksi viljoja ja vihanneksia, ovat hiilihäviöt suuremmat kuin nurmea viljeltäessä (IPCC 1997).

Laskelmissa tarvitaan intensiivisessä käytössä olevan orgaanisen maan kokonaisala ilmastoalueittain sekä maankäyttötyypeittäin. Lisäksi tarvitaan tietoa vuotuisesta hiilen häviöstä. Mikäli kansallista tietoa ei ole saatavissa, voidaan käyttää oletusarvoa. Suomi kuuluu viileään lauhkeaan vyöhykkeeseen, jossa laidunmaiden hiilihäviöksi oletetaan 0,25 Mg C/ha/vuosi ja muiden viljelymaiden 1,0 Mg C/ha/vuosi. Näiden tietojen perusteella las-

ketaan edelleen vuotuinen hiilen nettohäviö (IPCC 1997).

#### 4.1.3 Kalkitus

Yleisimmät kalkitusaineet ovat kalkkivi, CaCO<sub>3</sub>, ja dolomiitti, CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Inventaarissa oletetaan, että maahan levitetyn ja maassa kulutetun kalkin määrät ovat lähellä toisiaan. Tällöin emissio voidaan laskea vuosittain käytetyn kalkin määrän ja laadun perusteella (IPCC 1997).

#### 4.1.4 Peltojen raivaus ja viljelemättä jättäminen

IPCC-menetelmässä annetaan myös ohjeet metsien ja luonnontilaisten nurmien raivauksesta viljelykäyttöön aiheutuvien kasvillisuuden muutoksiin liittyvien nettohiilidioksidiemissioiden laskemiseksi. Aluksi määritellään kasvillisuustyypeittäin vuosittain raivattu ala ja biomassan määrä ennen ja jälkeen raivauksen. Näiden tietojen perusteella voidaan laskea vuotuinen biomassan häviö. Biomassan määrällekin annetaan oletusarvoja, joita voi käyttää tarkemman tiedon puuttessa. Boreaalisen alueen metsissä, joissa kasvaa sekaisin lehti- ja havupuita, arvioidaan hehtaarilla olevan biomassaa 40–87 tonnia kuiva-ainetta. Havumetsissä määrä olisi 22–113 ja metsäisellä tundralla 8–20 tonnia. Raivauksen jälkeiseen biomassaan luetaan uusi kasvillisuus kuten viljat sekä entisestä kasvillisuudesta mahdollisesti jäljelle jääneet kasvit. Biomassan oletusarvona viljoille ja laitumelle voi käyttää 10 t/ha. Jos luonnontilainen nurmi otetaan viljelykäyttöön tai laitumeksi, on oletuksena, että maanpäällisen biomassan määrä ei muutu (IPCC 1997).

Raivattu biomassa saatetaan polttaa paikallaan tai se kuljetetaan muulle polttoaineena tai muina tuotteina käytettäväksi. Osa biomassasta jää lahoamaan maahan sellaisenaan. Ensimmäiseksi arvioidaan poltettavan biomassan osuus, jonka avulla lasketaan poltetun biomassan

san määrä. Seuraavaksi arvioidaan, mikä osuus poltetusta biomassasta hapettuu ja mikä osa jää puuhiilenä maahan. Tämän jälkeen täytyy tietää vielä biomassan hiilipitoisuus (oletusarvo 0,5), jotta hapettuneen biomassan määrä voidaan muuttaa vapautuneen hiilen määräksi ja edelleen hiilidioksidiksi. Seuraavaksi lasketaan samalla periaatteella alueelta pois kuljetetun biomassan poltosta emittoituvan hiilidioksidin määrä (IPCC 1997).

Paikalle jääneen biomassan lahoamisesta aiheutuvien CO<sub>2</sub>-emissioiden laskennassa käytetään oletusarvoisesti kymmenen vuoden ajanjaksoa. Aluksi määritetään keskimääräinen raivausala ja biomassan määrän nettomuutos. Sen jälkeen tarvitaan lahoamaan jätetyn biomassan osuus ja biomassan hiilipitoisuus. Näiden tietojen perusteella voidaan laskea hiilen ja edelleen hiilidioksidin vapautuminen (IPCC 1997).

Jos viljelykäytössä ollut maa jätetään pois käytöstä, saattaa alueelle kertyä hiiltä uudelleen. Tässä yhteydessä käsitellään vain kasvillisuuteen sitoutunutta hiiltä. Menetelmässä viljelemättä jätetyt pellot jaetaan kahteen osaan: 1) pellot, joiden kasvukunto on niin heikko, että hiilen kertyminen alueella ei lähde käyntiin tai orgaanisen aineksen hajoaminen jatkuu ja 2) pellot, joihin kertyy luonnostaan hiiltä. Peruslaskelmissa otetaan huomioon vain jälkimmäiseen ryhmään kuuluvat maat. Laskelmissa käytetään kahta ajanjaksoa. Ensimmäisenä jaksona voi olla ”0–20 vuotta viljelemättä” ja toisena voisi olla esimerkiksi ”20–100/150 vuotta viljelemättä”. Ensimmäiseksi tulee määritellä ala, joka on jätetty viljelemättä inventointivuotta edeltäneiden 20 vuoden aikana sekä arvioida maanpäällisen biomassan vuotuinen kasvunopeus. Ohjeissa annetaan joitain oletusarvoja: boreaalinen havumetsä 0,5–1,9, lehti- ja sekametsä 0,7–2,0 sekä metsäinen tundra 0,2–0,5 tonnia kuiva-ainetta/ha. Jos alue on nurmattomassa, biomassan määrässä ei tapahdu oletusarvoisesti muutoksia. Kun biomassan kokonaismäärä saa-

daan selville, lasketaan siihen sitoutuneen hiilen määrä. Seuraavaksi lasketaan biomassaan sitoutuneen hiilen määrä maalla, joka ollut viljelemättä yli 20 vuotta. Laskemalla saadut tulokset yhteen voidaan laskea edelleen sitoutuneen hiilidioksidin kokonaismäärä (IPCC 1997).

## 4.2 Dityppioksidi

IPCC-metodologia käsittelee suoraan maatalousmailta ja kotieläintuotannosta peräisin olevia N<sub>2</sub>O-emissioita. Kolmantena tarkastelukohteena ovat maataloudessa käytetystä tpestä aiheutuvat epäsuorat päästöt. Inventoinnissa oletetaan maataloussystemien olevan kaikkialla maailmassa samat ja menetelmä ei ota puutteellisen tiedon vuoksi huomioon erilaisia kasveja, maita ja ilmastoja vaikka näiden tiedetäänkin vaikuttavan N<sub>2</sub>O-emissioihin (IPCC 1997, Mosier et al. 1998c).

### 4.2.1 Suorat N<sub>2</sub>O-emissiot maatalousmaista

N<sub>2</sub>O-lähteitä ovat synteettiset lannoitteet, lannoitteena käytetty karjanlanta, biologinen typensidonta, kasvijätteiden ja jätevesilietteen käyttö, kasvihuonetuotanto sekä paljon orgaanista ainesta sisältävien maiden viljely. Metodologia käsittelee kaikkia muita lähteitä paitsi jätevesilietteen käyttöä. Kasvihuonetuotantoa ei myöskään tarkastella erikseen muusta tuotannosta, vaan siellä käytetyt lannoitteet luetaan mukaan kokonaislannoitemäärään. Myös maan rooli dityppioksidin nieluna on jätetty pois, koska tois-taiseksi sillä ei ole havaittu olevan merkitystä kokonaisuuden kannalta (IPCC 1997, Mosier et al. 1998 c).

Suoraan maasta tulevat vuotuiset N<sub>2</sub>O-emissiot lasketaan kaavalla 2. Läh-tötietoina tähän tarvitaan synteettisten lannoitteiden ja lannoitteena käytetyn lannan käyttömäärä, typensidonnan ja kasvijätteiden kautta maahan tulevan ty-

pen määrä sekä orgaanisten maiden viljelyala. Lannoitteiden, lannan, biologisesti sidotun typen sekä kasvijätteiden mukana tulevan typen määrästä oletetaan vapautuvan 0,0125 (0,0025–0,0225) kg N<sub>2</sub>O-N lisättyä typpikiloa kohti. Kaavassa tätä kuvaa kerroin EF<sub>1</sub> (IPCC 1997, Mosier et al. 1998c). Kerrointa on ehdotettu kaksinkertaiseksi (2,5 %) synteettisen lannoitetyypin kohdalla, mikäli lannoitetta levitetään pellolle, joka on saanut myös orgaanista lannoitetta kuten karjanlantaa (Good practice guidance 1999). Suomessa tehtyyn inventaariin on laskettu mukaan myös jätevesilietteiden käyttö (Pipatti 1997, 1999).

$$N_2O_{DIRECT} = [(F_{SN} + F_{AW} + F_{BN} + F_{CR}) \times EF_1] + F_{OS} \times EF_2 \quad (2)$$

missä N<sub>2</sub>O<sub>DIRECT</sub> = dityppioksidipäästön määrä, F<sub>SN</sub> = väkilannoitetyypin käyttö määrä, F<sub>AW</sub> = lannoitteena käytetyn karjanlannan sisältämä typen määrä, F<sub>BN</sub> = biologisesti sidotun typen määrä, F<sub>CR</sub> = kasvinjätteiden sisältämä typen määrä, EF<sub>1</sub> = edellisille asetettu päästökerroin sekä F<sub>OS</sub> = orgaanisten maiden pinta-ala ja EF<sub>2</sub> = orgaanisten maiden päästökerroin.

Synteettisen typen käyttömäärä (F<sub>SN</sub>, kg N/vuosi) lasketaan lannoitteen käytön (N<sub>FERT</sub>, kg N/vuosi) perusteella (Kaava 3). Lannoitteen määrää korjataan siitä ammoniakkin haihtumisen ja nitrifikaatiossa syntyneen NO:n emittoitumisen kautta hävinneen typen määrällä. Oletusarvoksi (Frac<sub>GASF</sub>) häviön laskemiseksi annetaan 0,1 kg NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N/kg annettua typpeä. Tämä merkitsee sitä, että lannoitteen tpestä 90 % on suoraan alttiina N<sub>2</sub>O:n muodostumiselle (IPCC 1997, Mosier et al. 1998c).

$$F_{SN} = N_{FERT} \times (1 - \text{Frac}_{GASF}) \quad (3)$$

Karjanlannan mukana pellolle tulevan typpimäärän (F<sub>AW</sub>, kg N/vuosi) laskemista varten (Kaava 4) tulee tietää kaikkien eläinten yhteensä erittämän typen määrä (N<sub>ex</sub>, kg N/vuosi). Eläinten vuosittain

erittämälle typen määrälle annetaan myös alustavia oletusarvoja eläintyypeittäin (lypsylehmät, muut naudat, siipikarja, lampaat, siat ja muut eläimet). Lannan mukana tulevan typen määrä tulee korjata ammoniakkin ja typen oksidien haihtumisen aiheuttamien typpitappioiden määrällä (Frac<sub>GASM</sub>). Oletuskertoimena voidaan käyttää 0,2 kg NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N karjan erittämää typpikiloa kohti. Laidunnuksen aikana maahan joutunutta typpeä (Frac<sub>GRAZ</sub>, kg N/kg eritettyä N) ei oteta tässä yhteydessä mukaan. Jos lantaa käytettäisiin polttoaineena, tulisi myös tämä osuus (Frac<sub>FUEL</sub>) ottaa huomioon (IPCC 1997, Mosier et al. 1998c).

$$F_{AW} = (N_{ex} \times (1 - (\text{Frac}_{FUEL} + \text{Frac}_{GRAZ} + \text{Frac}_{GASM}))) \quad (4)$$

IPCC-menetelmässä otetaan huomioon vain varsinaisten palkokasvien ja soijapavun viljely, mutta nurmissa olevat palkokasvit jätetään huomiotta. Nurmi-palkokasvit tulevat kuitenkin osittain huomioiduksi laitumien N<sub>2</sub>O-päästöjä laskettaessa. Palkokasvien sitoma typpimäärä (F<sub>BN</sub>, kg N/vuosi) voidaan laskea (Kaava 5) olettaen, että kasvin kokonaisbiomassa on kaksi kertaa siemensadon massa (Crop<sub>BF</sub>, kg kuiva-ainetta/vuosi) ja käyttämällä sopivaa typensitojakasvin typpipitoisuutta (Frac<sub>NCRBF</sub>). Oletusarvona typpipitoisuudelle on 0,03 kg N/kg kuiva-ainetta. Jos viljelykasvin keskimääräinen kasvijäte/sato-suhde tiedetään, voidaan sitä hyödyntää kasvin kokonaisbiomassamäärän arvioimisessa (IPCC 1997, Mosier et al. 1998c).

$$F_{BN} = 2 \times \text{Crop}_{BF} \times \text{Frac}_{NCRBF} \quad (5)$$

Kasvijätteiden hajoamiseen liittyvä dityppioksidin muodostuminen lasketaan arvioimalla kasvijätteiden mukana maahan tulevan typen määrä (F<sub>CR</sub>, kg N/vuosi, Kaava 6). Laskentaa varten tarvitaan sekä typensitojakasvien että muiden kasvien satotiedot (Crop<sub>BF</sub>, Crop<sub>0</sub>) ja typpipitoisuudet (Frac<sub>NCRBF</sub>, Frac<sub>NCR0</sub>). Kasvi-



jätteiden mukana tulevaa typpimäärää korjataan vielä osuudella, joka korjataan pelloilta satona pois ( $Frac_R$ ) tai poltetaan ( $Frac_{BURN}$ ). Kasvijätteiden määrän arvioinnissa ei oteta huomioon maahan jäävän juuriston biomassaa eikä kaavassa ole korjaustermiä, jolla huomioitaisiin eläimille syötettyjen kasvijätteiden määrä. Ohjeissa annetaan parametreille oletusarvoja. Esimerkiksi typpipitoisuuksina voidaan tarkemman tiedon puuttuessa käyttää 0,03 (typensitojakasvit) ja 0,015 kg N/kg kuiva-ainetta (muut kasvit) (IPCC 1997, Mosier et al. 1998c).

$$F_{CR} = 2 \times [Crop_0 \times Frac_{NCR0} + Crop_{BF} \times Frac_{NCRBF}] \times (1 - Frac_R) \times (1 - Frac_{BURN}) \quad (6)$$

Useisiin edellä oleviin kaavoihin on esitetty tarkennuksia (Good practice guidance 1999), jotka otettaneen tulevaisuudessa ainakin osittain käyttöön.

Orgaanisten maiden viljelyssä vapautuvan  $N_2O$ :n määrän arvioimiseksi tulee tietää orgaanisten maiden (*Histosols*) pinta-ala ( $F_{OS}$ , ha). Viljelyn seurauksena näiltä mailta vapautuu arviolta 2–15 kg  $N_2O$ -N/ha/vuosi. Oletuskertoimeksi ( $EF_3$ ) lauhkealle vyöhykkeelle esitetään 5 kg  $N_2O$ -N/ha/vuosi (IPCC 1997, Mosier et al. 1998c). Klemedtssonin et al. (1999) raportoimiin mittaustuloksiin perustuen kerrointa on kuitenkin esitetty nostettavaksi arvoon 8 kg  $N_2O$ -N/ha/vuosi (Good practice guidance 1999).

#### 4.2.2 Suorat kotieläintuotannon aiheuttamat $N_2O$ -emissiot

Mahdollisia kotieläintalouteen liittyviä  $N_2O$ -lähteitä ovat eläimet itse, lannan varastointi ja käsittely sekä laitumelle erittyneet lanta ja virtsa. IPCC-ohjeissa ei käsitellä eläimiä sellaisenaan. Eläinten lannasta peräisin olevat  $N_2O$ -emissiot voivat olla merkittävät. Emissiot, jotka syntyvät ennen lannan levitystä maahan, raportoidaan lannan käsittelyn kohdalla.

Laidunnuksesta tulevat päästöt kuuluvat maasta tuleviin emissioihin. Mikäli lan-  
taa käytettäisiin polttoaineena, siitä tulevat päästöt raportoitaisiin energiasektorin päästöinä (IPCC 1997, Mosier et al. 1998c).

Kotieläintuotannosta peräisin olevat  $N_2O$ -päästöt (kg N/vuosi) voidaan laskea kaavoilla 7a ja b. Laskentaa varten tulee tietää eläinten määrä ( $N_{(T)}$ ) ja kunkin eläintyyppin (T) erittämä typpimäärä ( $Nex_{(T)}$ , kg N/eläin/vuosi). IPCC-ohjeistossa annetaan joitakin kokeiluluontaisia oletusarvoja eritetyille typpimäärille. Lisäksi tarvitaan tietoa eri lannankäsittelymenetelmien osuudesta kunkin eläintyyppin lannan käsittelyssä ( $AWMS_{(T)}$ , %). Myös tälle on tarjolla oletusarvoja. Lopuksi tarvitaan vielä kullekin lannankäsittelysystemille emissiokerroin ( $EF_{3(AWMS)}$ ). Kuivalantaloille ja laitumille alustava oletusarvo on 0,02 (0,005–0,03) kg  $N_2O$ -N/kg N eritetty kyseessä olevassa systeemissä. Kuivalantasysteemeistä tulevat päästöt raportoidaan lannankäsittelyn kohdalla ja laitumella tapahtuvat päästöt puolestaan kotieläintaloudesta peräisin olevina suorina päästöinä maasta. Oletusarvo lietesysteemille on 0,001 (< 0,001) kg  $N_2O$ -N/kg N eritetty lietelantasysteemissä. Lietelantaloista tulevat päästöt raportoidaan lannankäsittelyn kohdalla (IPCC 1997, Mosier et al. 1998c, Smith et al. 1999).

$$N_2O_{ANIMALS} = N_2O_{(AWMS)} = \sum [N_{(T)} \times Nex_{(T)} \times AWMS_{(T)} \times EF_{3(AWMS)}] \quad (7a)$$

$$N_2O_{(AWMS)} = [N_{(T=1)} \times Nex_{(T=1)} \times AWMS_{(T=1)} \times EF_{3(AWMS)}] + \dots \\ \dots + [N_{(T=TMAX)} \times Nex_{(T=TMAX)} \times AWMS_{(T=TMAX)} \times EF_{3(AWMS)}] \quad (7b)$$

#### 4.2.3 Maatalouden typenkäytöstä aiheutuvat epäsuorat $N_2O$ -emissiot

Lannoitteiden ja lannan käytöstä aiheutuvia epäsuoria  $N_2O$ :n päästölähteitä ovat

haihtuminen ja sitä seuraava ammoniakkin ja typen oksidien laskeuma, typen huuhtoutuminen ja valunta, ihmisten käyttämä sato ja sitä seuraava jätevedenkäsittely, dityppioksidin muodostuminen ilmakehässä ammoniakista ja ruoan prosessointi. IPCC antaa ohjeet kolmen ensimmäisen päästölähteen arviointiin (Kaava 8). Ihmisistä peräisin olevasta jätteestä aiheutuvat emissiot raportoidaan kuitenkin jätesektorin kohdalla. Laskentaa varten täytyy tietää käytettyjen synteettisten typpilannoitteiden määrä, karjan erittämä typpimäärä ja satomäärät. Jätevesilietteen mukana tulevan typen määrä voidaan laskea proteiinien kulutuksen ja väestön määrän mukaan. Haihtuneen tai huuhtoutuneen typen aiheuttamat N<sub>2</sub>O-emissiot lasketaan kuuluviksi sen maan päästöihin, missä typen häviö on tapahtunut (IPCC 1997, Mosier et al. 1998c).

$$N_2O_{\text{indirect}} = N_2O_{(G)} + N_2O_{(L)} + N_2O_{(S)} \quad (8)$$

Typen oksidien ja ammoniumin laskeumasta aiheutuvien N<sub>2</sub>O-emissioiden laskennassa (N<sub>2</sub>O<sub>(G)</sub>) otetaan huomioon vain lannoitteiden käytöstä aiheutunut laskeuma. Oletusemissiokertoimena ehdotetaan käytettäväksi 0,01 (0,002–0,02) kg N<sub>2</sub>O-N/kg emittoitunutta NH<sub>3</sub>- ja NO<sub>x</sub>-tyyppiä. Ammoniakkia ja typen oksideita oletetaan haihtuvan 0,1 kg N/kg synteettisenä lannoitteena annettu tyyppiä tai 0,2 kg N/kg karjan erittämää tyyppiä (IPCC 1997, Mosier et al. 1998c).

Pelloilta huuhtoutumisessa ja valunnassa hävinnyt typpi päätyy pohjaveteen, ranta-alueille ja kosteikkoihin, jokiin ja lopulta rannikkomeriin. Huuhtoutumisessa ja pintavalunnassa oletetaan tyyppiä häviävän 0,3 (0,1–0,8) kg N/kg lannoitteen tai lannan tyyppiä (Frac<sub>LEACH</sub>). Lannan mukana tuotetun typen määränä käytetään erittynyttä typen kokonaismäärää (Nex), jolloin myös laiumella erittynyt typpi tulee otetuksi huomioon.

Näiden tietojen perusteella huuhtoutunut typpimäärä voidaan laskea kaavalla 9 (IPCC 1997, Mosier et al. 1998c).

$$N_{LEACH} = [N_{FERT} + Nex] \times \text{Frac}_{LEACH} \quad (9)$$

Huuhtoutumisesta aiheutuneen N<sub>2</sub>O-emission laskemiseksi tarvitaan vielä emissiokerroin (EF<sub>5</sub>), joka muodostuu kolmesta osasta. Jos kaiken huuhtoutuneen typen oletetaan olevan nitraattimuodossa, pohjavedestä ja peltojen kuivatusvesistä tapahtuvalle N<sub>2</sub>O-emissiolle ehdotetaan oletuskertoimeksi (EF<sub>5-g</sub>) 0,015 (0,003–0,06) kg N<sub>2</sub>O-N/kg N<sub>LEACH</sub>. Tämän perusteella voidaan näistä lähteistä tapahtuva emissio laskea kaavalla N<sub>LEACH</sub> × EF<sub>5-g</sub> olettaen, että tiettyinä vuonna syntynyt N<sub>2</sub>O emittoituu samana vuonna. Kun pohja- ja pintavesiin huuhtoutunut typpi päätyy jokiin, muodostuu lisää dityppioksidia. Huuhtoutuneesta tyypestä jokivirtaaman aikana vapautunut N<sub>2</sub>O-N voidaan laskea seuraavasti: N<sub>LEACH</sub> × (EF<sub>5-r</sub>), jossa emissiofaktorilla on oletusarvona 0,0075. Kaava voidaan kirjoittaa myös auki, 0,005 × N<sub>LEACH</sub> + 0,005 × (N<sub>LEACH</sub>/2), jolloin ensimmäinen osa kuvaa nitrifikaatiosta ja toinen osa denitrifikaatiosta peräisin olevaa N<sub>2</sub>O:a (IPCC 1997, Mosier et al. 1998c).

Seuraavaksi tyyppiä emittoituu merten rannikkoalueilla, jonne joet tuovat huuhtoutunutta tyyppiä. IPCC-menetelmässä oletetaan, että joet kuljettavat puolet huuhtoutuneesta tyypestä jokien suualueille, joissa tästä tyypestä puolet nitrifioituu ja puolet denitrifioituu. Tämän perusteella huuhtoutuneesta tyypestä vapautuvalle N<sub>2</sub>O-N:lle saadaan laskukaavaksi: N<sub>LEACH</sub> × EF<sub>5-e</sub>, jossa emissiokerroin on 0,0025 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N<sub>LEACH</sub>. Se osa huuhtoutuneesta tyypestä, joka ei denitrifioituu, hautautuu orgaanisena typenä sedimenttiin tai kulkeutuu mannerjalustan alueelle, missä voi vapautua lisää N<sub>2</sub>O:a. Tätä vapautumista ei kuitenkaan enää huomioida laskuissa. Kun edel-

lä määritetyt oletuskertoimet lasketaan yhteen, saadaan lopulliseksi emissiokertoimeksi 0,025 (0,002– 0,12) kg N<sub>2</sub>O-N/kg N<sub>LEACH</sub>. Tämän jälkeen voidaan laskea vapautuneen N<sub>2</sub>O:n kokonaismäärä: N<sub>2</sub>O<sub>(L)</sub> = N<sub>LEACH</sub> x EF<sub>5</sub> (IPCC 1997, Mosier et al. 1998c). EF<sub>5</sub>-g:n nykyistä arvoa pidetään liian korkeana, jolloin myös EF<sub>5</sub>-arvo olisi liian korkea. Uudeksi EF<sub>5</sub>:n arvoksi on esitetty 0,011 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N<sub>LEACH</sub> (Good practice guidance 1999).

Ihmisten tuottamista ruuantähteistä vapautuu myös dityppioksidia jätteenkäsittelyn eri vaiheissa. Nämä päästöt raportoidaan jätesektorin päästöinä, vaikka laskentaohjeet annetaan maataloussektorin yhteydessä. Jätevedessä olevan typen määrä (N<sub>SEWAGE</sub>) arvioidaan henkilöä kohti lasketun proteiinin kulutuksen (Protein) ja väestön määrän (N<sub>PEOPLE</sub>) mukaan sekä oletamalla, että proteiinien painosta 16 % on typpeä (Frac<sub>NPR</sub>). IPCC-ohjeissa oletetaan toistaiseksi, että jätevedenkäsittelyssä ja sen maahan sijoittamisessa vapautuva N<sub>2</sub>O-määrä ja muut typpi-päästöt ovat mitättömiä ja, että kaikki jäteveden typpi päätyy jokiin ja/tai jokien laskualueille. Joissa ja joensuissa emittoituvan N<sub>2</sub>O:n määrä arvioidaan samalla periaatteella kuin huuhtoutuneesta lannoitetypestä peräisin oleva N<sub>2</sub>O-emissio. Tällä perusteella saadaan emissiokertoimiksi 0,0075 (EF<sub>6-r</sub>, joet) ja 0,0025 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N<sub>SEWAGE</sub> (EF<sub>6-e</sub>, joensuut). Kun edellä olevat päästökertoimet yhdistetään, saadaan kertoimeksi (EF<sub>6</sub>) 0,01 (0,002–0,02) kg N<sub>2</sub>O-N/kg N<sub>SEWAGE</sub> ja kokonaisemissio voidaan laskea kaavalla 10 (IPCC 1997, Mosier et al. 1998c).

$$N_2O_{(S)} = N_{SEWAGE} \times EF_6 \quad (10)$$

#### 4.2.4 Kasvinjätteiden poltossa vapautuva dityppioksidi

Kasvinjätteiden poltossa vapautuu hiili-dioksidin lisäksi myös esimerkiksi dityppioksidia ja typen oksideita. Mikäli poltto tapahtuu pellolla, luetaan nämä typpi-

emissiot maatalouden päästöihin, mutta energian tuotannossa kasvinjätteistä vapautuneet kaasut kuuluvat energiasektorin päästöihin. Poltosta aiheutuvien kasvi-huonekaasuemissioiden arviointi perustuu vapautuneen hiilen kokonaismäärään (Kaava 11) ja emissiosuhteiden käyttöön (IPCC 1997).

*Vapautuneen hiilen kokonaismäärä (t C) =*

$$\sum_{\text{kaikki kasvityytit}} \text{vuotuinen tuotanto (t biomass)} \times \text{saa/v} \times \text{jätteet:sato (osuus)} \times \text{jätteen kuiva-ainepitoisuus (t kuiva-ainetta/biomassaa)} \times \text{pellolla poltettava osuus} \times \text{hapettunut osuus} \times \text{hiilen osuus (t C/t kuiva-ainetta)} \quad (11)$$

IPCC-ohjeissa annetaan monille kaavassa oleville tekijöille oletusarvoja, mutta maakohtaisten arvojen käyttö olisi tässä, kuten muuallakin, suotavaa. Esimerkiksi vehnälle ja kauralle annetaan olki/jyväsuhteeksi 1,3, ohralle 1,2 ja rukiille 1,6. Vehnän ja ohran kuiva-ainepitoisuudeksi annetaan 0,78–0,88. Hiilen osuudeksi ehdotetaan 0,4853 % kuiva-aineesta vehnälle ja 0,4567 % ohralle. Muille viljoille voidaan käyttää keskimääräistä arvoa eli 0,45 t C/t kuiva-ainetta. Hyvin karkea oletusarvo pellolla poltettavan kasvinjätteen osuudelle kehittyneissä maisissa on 0,10 tai sitä pienempi osuus. Hapettuneen fraktion osuutena voitaneen käyttää arvoa 0,90 (IPCC 1997).

Kun vapautuneen hiilen määrä saadaan arvioitua, se muutetaan vapautuneen typen kokonaismääräksi kertoimen avulla. Meillä kasvatettavista viljoista vain vehnälle annetaan kasvikohtainen N/C-suhteen oletusarvo 0,012, ja muille ehdotetaan käytettäväksi yleistä oletusarvoa 0,015. Tämän jälkeen voidaan laskea vapautuneen dityppioksidin, ja myös typen oksidien, määrä emissiosuhteita apuna käyttäen (Kaavat 12a, b). Emissiosuhde kuvaa vapautuneen typpiyhdisteen määrää suhteessa poltossa vapautuneen typen kokonaismäärään. IPCC-ohjeissa anne-

**Taulukko 6.** Suomessa eräiden kotieläinten ruuansulatuksen metaanipäästöjen laskennassa käytetyt oletuspäästökertoimet (IPCC 1997, Pipatti 1997).  
**Table 6.** Methane emission factors of some animal species in Finland (IPCC 1997, Pipatti 1997).

Kotieläinlaji <i>Animal species</i>	Päästökerroin kg CH <sub>4</sub> /eläin/vuosi <i>Emission factor kg CH<sub>4</sub>/head/year</i>
Siat <i>Pigs</i>	1,5
Lampaat <i>Sheep</i>	8
Vuohet <i>Goats</i>	5
Hevoset <i>Horses</i>	18
Siipikarja* <i>Poultry*</i>	—

\* siipikarjan ruuansulatukseen ei tiedetä aiheuttavan päästöjä

\* No reported emissions from the metabolism of poultry

taan näille suhteille seuraavat oletusarvot: N<sub>2</sub>O 0,007 ± 0,002 ja NO<sub>x</sub> 0,121 ± 0,027 (IPCC 1997).

$$N_2O \text{ emissiot} = \text{vapautunut } C \times N/C\text{-suhde} \times \text{emissiosuhde} \times 44/28 \quad (12a)$$

$$NO_x (NO_2) \text{ emissiot} = \text{vapautunut } C \times N/C\text{-suhde} \times \text{emissiosuhde} \times 46/14 \quad (12b)$$

Mikäli maassa käytetään peltojen raiwaamisessa polttoa, tulee myös siinä vapautuneet dityppioksidit ja typen oksidit ottaa laskelmiin mukaan. Laskentatapa on hyvin samankaltainen kuin edellä on kuvattu kasvijätteen poltolle (IPCC 1997).

### 4.3 Metaani

Ruuansulatuksesta ja lannan käsittelystä aiheutuvien metaanipäästöjen laskemista varten on kaksi menetelmää (Tier 1 ja 2). Ensimmäisessä menetelmässä käytetään IPCC-ohjeissa annettuja päästökerroimia. Toisessa menetelmässä päästökerroimet lasketaan maakohtaisen karjaa ja

lannankäsittelyä koskevan tiedon perusteella (IPCC 1997).

#### 4.3.1 Tier 1 -menetelmä

Suomessa on käytetty Tier 1 -menetelmää sikojen, lampaiden, vuohien ja hevosten ruuansulatuksesta peräisin olevien metaanipäästöjen laskentaan (Pipatti 1997, R. Pipatti, VTT, henkilökohtainen tiedonanto 14.12.1999).

Menetelmässä tarvitaan kansallisena lähtötietona ainoastaan kotieläinten lukumäärä eläinlajeittain, mutta päästökerroimina käytetään IPCC-ohjeissa annettuja oletuspäästökertoimia (Taulukko 6). Näiden tietojen perusteella lasketaan eläinlajikohtaiset päästöt kaavalla 13 (IPCC 1997).

$$Emissio (Gg/v) = \text{päästökerroin} (kg/eläin/v) \times \text{eläinlukumäärä} / (10^6 \text{ kg/Gg}) \quad (13)$$

#### 4.3.2 Tier 2 -menetelmä

Suomessa nautojen ruuansulatuksen sekä kaikkien kotieläinlajien lannan metaanipäästöt on laskettu Tier 2 -menetelmällä

(Pipatti 1997). Ruuansulatuksen päästöjä laskettaessa naudat jaetaan ensin mahdollisimman tasalaatuisiin ryhmiin, jonka jälkeen lasketaan IPCC-ohjeissa esitettyjen yksityiskohtaisten laskentakaavojen avulla emissiokertoimet kullekin nautaryhmälle. Kustakin ryhmästä on tiedettävä eläinten lukumäärä keskimäärin vuodessa, päivittäinen ravinnon saanti sekä metaaniksi muuttuva osuus ravinnosta. Tietoa päivittäisestä ravinnonsaannista ei ole välttämättä saatavilla, mutta se voidaan kuitenkin laskea. Tätä varten tulee tietää eläimen paino, päivittäinen painonlisäys, ruokintaolosuhteet, päivittäinen maidontuotanto, synnyttävien lehmien osuus vuosittain ja ruuan sulavuus. Tietoa siitä, mikä osuus ravinnon energiasta muuttuu metaaniksi, voi olla myös vaikea saada. Kehittyneissä maissa suositellaan oletusarvoksi ( $Y_m$ ) 6 prosenttia ( $\pm 0,5$  %) kaikille muille naudoille paitsi runsaasti viljaa saaville (IPCC 1997). Tätä arvoa on käytetty Suomessa tehdyissä laskelmissa (Pipatti 1997).

Nautaeläinten päästökertoimia määritettäessä lasketaan ensimmäiseksi eläinten senhetkisen tilan ylläpitoon, laiduntamiseen, kasvuun, maidontuotantoon sekä tiineyteen tarvitsema nettoenergiämäärä. Mikäli eläimiä käytettäisiin myös työeläiminä, esimerkiksi vetovoimana, tulisi tämä ottaa mukaan laskuihin ( $NE_{draft}$ ). Ylläpitoon tarvittava nettoenergiämäärä ( $NE_m$ ) kuvaa energiantarvetta, jotta eläin pysyy energiatasapainossa. Tähän tarvittava energiamäärä lasketaan kaavalla 14a tai b (IPCC 1997).

$$NE_m \text{ (MJ/päivä)} = 0,322 \times (\text{paino kg})^{0,75} \quad (14a)$$

$$NE_m \text{ (MJ/päivä)} = 0,335 \times (\text{paino kg})^{0,75} \text{ [lypsylehmät]} \quad (14b)$$

Laiduntavat eläimet tarvitsevat enemmän energiaa kuin eläimet, joille ruoka annetaan eteen. Laiduntamiseen kuluva nettoenergiämäärä ( $NE_{feed}$ ) riippuu laidunoloista. Hyvälaatuisella laitumella tar-

vittava energiamäärä on 17 % ylläpitoon kuluva nettoenergiämäärästä (Kaava 15). Kasvuun tarvittava nettoenergiämäärä ( $NE_g$ ) lasketaan eläimen painon ( $W$ , kg) ja painonlisäyksen ( $WG$ , kg/päivä) avulla (Kaava 16). Maidon tuottamiseen tarvittava nettoenergiämäärä ( $NE_l$ ) lasketaan tuotetun maitomäärän ja maidon rasvapitoisuuden avulla (Kaava 17). Jos maidon rasvapitoisuus on 4,0 %, on nettoenergiämäärä noin 3,1 x maitomäärä (kg/päivä) (IPCC 1997).

$$NE_{feed} \text{ (MJ/päivä)} = 0,17 \times NE_m \quad (15)$$

$$NE_g \text{ (MJ/päivä)} = 4,18 \times \{(0,035 \times W^{0,75} \times WG^{1,119}) + WG\} \quad (16)$$

$$NE_l \text{ (MJ/päivä)} = \text{kg maitoa/päivä} \times (1,47 + 0,40 \times \text{rasva-\%}) \quad (17)$$

Tiineyden ylläpitämiseen tarvittavaan nettoenergiämäärään ( $NE_{pregnancy}$ ) vaikuttaa vasikan syntymäpaino. Energiämäärä koko tiineysajalle (281 päivää) lasketaan kaavalla 18. Vasikan syntymäpaino voidaan estimoida emän painon mukaan (Kaava 19) (IPCC 1997).

$$NE_{pregnancy} \text{ (MJ/281 päivää)} = 28 \times \text{vasikan syntymäpaino (kg)} \quad (18)$$

$$\text{Vasikan syntymäpaino (kg)} = 0,266 \times (\text{lehmän paino kg})^{0,79} \quad (19)$$

Tämän jälkeen lasketaan nettoenergiämäärien avulla eläimen ruokinnassa saama bruttoenergiämäärä (GE) kaavalla 20 (IPCC 1997, Pipatti 1997, Lassey & Ulyatt 1999). Kaavassa mukana oleva termi NE/DE kuvaa ylläpitoon, maidontuotantoon ja tiineyteen kuluva nettoenergiämäärän suhdetta kulutettuun sulavan energian määrään (DE) ja  $NE_g/DE$  kasvuun kuluva energiamäärän suhdetta kulutettuun sulavan energian määrään. DE% on sulavan energian määrä rehun bruttoenergiasta.  $NE_g/DE$  voidaan laskea kaavalla 21 ja  $NE_l/DE$  kaavalla 22, jos rehun sulavuus on yli 65 % (IPCC 1997).

$$GE \text{ (MJ/päivä)} = \{(NE_m + NE_{feed} + NE_l + Ne_{pregnancy}) / (NE/DE) + NE_g / (NE_g/DE)\} \times (100/DE\%) \quad (20)$$

$$NE/DE = 1,123 - (4,092 \times 10^{-3} \times DE\%) + (1,126 \times 10^{-5} \times (DE\%)^2) - 25,4/DE\% \quad (21)$$

$$NE_g/DE = 1,164 - (5,160 \times 10^{-3} \times DE\%) + (1,308 \times 10^{-5} \times (DE\%)^2) - 37,4/DE\% \quad (22)$$

Kun bruttoenergiämäärä saadaan laskettua, voidaan laskea emissiokerroin kullekin nautaeläinryhmälle (Kaava 23). Kaavassa mukana oleva kerroin  $Y_m$  kuvaa sitä, kuinka paljon metaania vapautuu ravinnon mukana tullutta bruttoenergiayksikköä kohti. Emissiokertoimen ja eläinten lukumäärän avulla lasketaan päästöt eläinryhmittäin ja tästä edelleen kokonaisemissio (IPCC 1997).

$$Emissio \text{ (kg/vuosi)} = GE \text{ (MJ/päivä)} \times Y_m \times (365 \text{ päivää/vuosi}) / 55,65 \text{ MJ/kg CH}_4 \quad (23)$$

Lannan metaanipäästöjen arvioimiseksi kotieläimet jaetaan taas mahdollisimman tasalaatuisiin ryhmiin. Kustakin eläinryhmästä on tiedettävä ilmastoalueittain vuotuinen eläinmäärä, keskimääräinen päivittäinen lannan haihtuvien kiinteiden aineiden eli lannassa olevan hajoavan orgaanisen aineksen määrä (VS), lannan metaanintuotantopotentiaali ja kunkin lannankäsittelysystemin osuus kaikista menetelmistä. Tietoa lannassa olevien haihtuvien kiinteiden aineiden määrästä ei aina ole saatavilla. Tämä voidaan kuitenkin arvioida ravinnonoton perusteella (Kaava 24). Naudoille käytetään ruuansulatuksen kohdalla arvioitua ravinnon bruttoenergiämäärää, mutta muille eläimille energiämäärä täytyy arvioida erikseen. Kaavassa mukana oleva tuhkaprosentti kertoo lannan tuhkapitoisuuden, ja ravinnon sulavuusarvon tulee

olla sama kuin ruuansulatuksen päästöjen laskennassa on käytetty. Termi ”18,45 MJ/kg kuiva-ainetta” kuvaa rehun energiatihyettä (IPCC 1997).

$$VS \text{ (kg ka/päivä)} = GE \text{ (MJ/päivä)} \times (1 \text{ kg}/18,45 \text{ MJ}) \times (1-DE\%/100) \times (1-tuhka\%/100) \quad (24)$$

Lannan maksimaalinen metaanintuotantokapasiteetti vaihtelee lajeittain ja ravinnon mukaan. Mikäli tästä ei ole käytettävissä maakohtaista tietoa, voidaan kehittyneissä maissa käyttää seuraavia oletusarvoja: lypsylehmät 0,24, muut naudat 0,17 ja siat 0,45 m<sup>3</sup>/kg VS. Laskuissa tarvitaan myös lannankäsittelymenetelmästä riippuva kerroin, joka kuvaa, kuinka suuri osuus maksimaalisesta metaanintuotantopotentiaalista todellisuudessa saavutetaan. Myös tälle annetaan oletusarvoja, joita voi tarvittaessa käyttää. Viileälle vyöhykkeelle sopivia kertoimia ovat muun muassa seuraavat: laitumet ja kuivalantala 1 % ja lietelantala 10 %. Näiden tietojen perusteella lasketaan kaavalla 25 eläintyyppikohtaiset päästökertoimet ( $EF_i$ ) ja edelleen kokonaisemissio (IPCC 1997).

$$EF_i = VS_i \times 365 \text{ päivää/vuosi} \times B_{oi} \times 0,67 \text{ kg/m}^3 \times \sum_{jk} MCF_{jk} \times MS\%_{ijk} \quad (25)$$

$VS_i$  = eläintyyppin  $i$  lannan haihtuvien kiinteiden aineiden määrä (kg/päivä)

$B_{oi}$  = eläintyyppin  $i$  lannan maksimaalinen metaanintuotantokapasiteetti (m<sup>3</sup>/kg VS)

$MCF_{jk}$  = lannan käsittelyjärjestelmän  $j$  vaikutus CH<sub>4</sub>-päästöihin ilmastovyöhykkeellä  $k$

$MS\%_{ijk}$  = osuus eläintyyppin  $i$  lannasta, joka käsitellään tavalla  $j$  ilmastovyöhykkeellä  $k$ .

### 4.3.3 Kasvinjätteiden poltossa vapautuva metaani

Kasvinjätteiden poltossa vapautuu hiili-dioksidin ja eräiden tyyppihdisteiden

ohella myös muun muassa metaania ja hiilimonoksidia (IPCC 1997). Poltosta aiheutuvien emissioiden laskenta on kuvattu tarkemmin dityppioksidin kohdalla, ja tässä esitetään vain hiiliyhdisteiden emissioon liittyvät erityispiirteet.

Vapautuneen metaanin ja hiilimonoksidin (CO) määrä lasketaan poltossa vapautuneen hiilen kokonaismäärän ja emissiosuhteiden avulla (Kaavat 26a ja b). IPCC-ohjeissa annetaan seuraavat oletussuhteet:  $\text{CH}_4$   $0,005 \pm 0,002$  ja CO  $0,06 \pm 0,02$ . Emissiosuhde kuvaa kyseessä olevan hiiliyhdisteen määrää suhteessa poltossa vapautuneen hiilen kokonaismäärään (IPCC 1997).

$$\text{CH}_4 \text{ emissiot} = \text{vapautunut C x emissiosuhde x 16/12} \quad (26a)$$

$$\text{CO emissiot} = \text{vapautunut C x emissiosuhde x 28/12} \quad (26b)$$

Peltojen raivaukseen käytetyssä poltossa vapautuvat metaani ja hiilimonoksidi tulee ottaa myös tarvittaessa mukaan laskelmiin (IPCC 1997).

#### 4.4 Laskentaan liittyviä ongelmia

Epäselvyys maassamme olevien orgaanisten maiden pinta-alasta on yksi pahimmista maatalouden aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen laskentaa vaikeuttavista asioista. Pinta-alan lisäksi epävarmuutta tuo se, mitkä suomalaisen maalajiluokituksen maalajeista luetaan orgaanisiksi maiksi kansainvälisessä tarkastelussa. Lisäksi kaikkien kaasujen yhteydessä tarvittaisiin tietoa vuotuisesta kasvinjätteen määrästä ja siitä, mitä tälle kasvinjätteelle tapahtuu.

Kivennäismaiden hiilivarastojen muutoksesta aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen laskemiseksi tulisi maat pystyä jakamaan eri maatyyppeihin, joiden pinta-ala tulisi myös tietää. Tämän lisäksi tarvitaan tietoa maankäyttö- ja käsittelyjärjestelmistä ja siitä, miten ne jakautuvat eri

maatyyppeiden kesken. Myös maan hiilivarastojen koko tulisi pystyä arvioimaan. Kaikki tiedot tarvitaan lisäksi kahdelta vuodelta, esimerkiksi vuoden 1990 inventaaria varten vuosilta 1990 ja 1970.

Orgaanisten maiden viljelystä johtuvien  $\text{CO}_2$ -emissioiden laskemiseksi tulisi viljelyssä oleva orgaaninen maa pystyä jakamaan maankäyttötyyppeihin. Myös vuotuinen hiilenhäviö tulisi tietää. Jotta oletusarvoja hiilen häviöstä voisi käyttää, tulee orgaanisten maiden ala pystyä jakamaan vähintään laidunalaksi ja muiden viljelymaiden alaksi.

Hiilidioksidipäästöjen laskennassa tulisi vielä tietää kasvillisuustyypeittäin vuotuinen raivausala ja se, mitä raivatulle biomassalle tapahtuu. Raivatun kasvillisuuden polttotietoja tarvitaan myös  $\text{N}_2\text{O}$ - ja  $\text{CH}_4$ -päästöjen laskentaan. Toisaalta tulee tietää, paljonko maassamme on peltoja, jotka on jätetty viljelemättä 0–20 vuotta ennen inventointivuotta ja mikäli ne ovat metsittyneet/metsitetty, mikä on biomassan vuotuinen kasvunopeus. Myös pidemmän aikaa (20–100/150 vuotta) viljelystä poissa olleiden peltöjen ala tulisi tietää.

Dityppioksidipäästöjen laskennassa otetaan huomioon vain varsinaisten palkokasvien viljely. Suomessa nurmipalkokasvit muodostavat kuitenkin merkittävän osan typensitojakasveista, joten ne tulisi ottaa myös mukaan laskelmiin. Tällöin tarvitaan myös nurmipalkokasvien satotietoja.

Eläinten ruuansulatuksessa syntyvien metaanipäästöjen laskennassa ei liene suuria ongelmia. Jotkut laskuissa käytettävät lähtötiedot tarvitsevat vähän lisätarkentamista. Lannan  $\text{N}_2\text{O}$ - ja  $\text{CH}_4$ -päästöjen laskennassa tulee tietää eri lannankäsittelymenetelmien yleisyys. Menetelmien yleisyydestä on saanut luotettavaa tietoa maatilojen ympäristönhoito-ohjelmien yhteenvedosta, mutta ilman yhteenvedoa tieto lantalatyypeistä olisi huomattavasti epävarmimmalla pohjalla.

IPCC-ohjeissa annetaan paljon oletusarvoja, mutta olisi sitä parempi mitä

enemmän maakohtaista tietoa voitaisiin käyttää oletusarvojen tilalla. Maakohtaista tietoa tulisi olla vähintään sen verran, että pystyttäisiin arvioimaan, ovatko oletusarvot suuruusluokaltaan oikeita. Toistaiseksi kaikista oletusarvoista ei ole edes tätä tietoa.

## 5 Yhteenveto ja päätelmät

Kasvihuoneilmion voimistuminen on yksi pahimmista ympäristöongelmista. Maapallon keskilämpötila on noussut kasvihuonekaasupäästöjen seurauksena ja lämpeneminen jatkuu ellei päästöjä rajoiteta. Kioton pöytäkirjassa teollisuusmaat ovat kuitenkin sitoutuneet vähentämään kuuden kasvihuonekaasun päästöjä niin, että päästöjen kokonaismäärä vähenee vähintään viisi prosenttia vuoden 1990 päästöjen tasosta vuosien 2008–2012 aikana.

Maataloudesta aiheutuu erityisesti hiilidioksidi-, dityppioksidin- ja metaanipäästöjä. Jotta näitä päästöjä voitaisiin vähentää, tulee ensin tietää tarkkaan päästölähteet, päästöjen suuruus ja päästöihin vaikuttavat tekijät. Maailmalla tehdään runsaasti kasvihuonekaasupäästömittauksia, mutta meillä mittaustuloksia maatalouden aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä on vielä melko vähän. Eniten tuloksia löytyy dityppioksidista, mutta metaaniemissioiden suuruudesta on tuloksia vain yhdeltä peltolohkolta (Taulukko 7). Karjasuojissa ja lantaloissa mittausta ei Suomessa ole tehty vielä lainkaan.

Maataloudessa syntyy hiilidioksidia muun muassa polttoaineiden käytössä, olkien poltossa, maan orgaanisen aineksen hajoamisessa ja kalkituksessa. Maatalous voi pyrkiä vähentämään CO<sub>2</sub>-päästöjä lisäämällä maahan ja kasvillisuuteen varastoituneen hiilen määrää sekä vähentämällä fossiilisten polttoaineiden kulu-

tusta ja lisäämällä bioenergian tuotantoa. Kalkituksen vähentämiseen meillä ei ole juurikaan mahdollisuuksia vaan kalkitusta tulisi pikemminkin lisätä, koska maamme ovat luonnostaan melko happamia.

Suomalaisten viljelymaiden humuspiitoisuudet ovat korkeita verrattuna esimerkiksi Länsi-Euroopan peltomaihin. Lisäksi maamme viljelyssä olevista pelloista saattaa lähes 10 % olla varsinaisia turvemaita. Korkea orgaanisen aineksen pitoisuus merkitsee sitä, että maitimme on varastoitunut runsaasti hiiltä, mutta myös sitä, että tietyissä oloissa maistamme voi vapautua runsaasti hiiltä.

Maankäytön muutoksilla hiilidioksidipäästöjä voidaan pienentää vähentämällä pellon raivausta ja nurmettamalla uudet pellot heti raivauksen jälkeen sekä muuttamalla marginaaliset viljelysmaat pysyviksi nurmiksi, metsiksi tai kosteikoiksi. Kosteikoksi muuttaminen voi kuitenkin lisätä vapautuvan metaanin määrää. Maassamme on viime vuosina alkanut palautua takaisin viljelyyn erilaisen viljelemättömyyssopimusten alaista peltoa, mutta samanaikaisesti peltoja kuitenkin myös metsitetään vajaan 10 000 hehtaarin vuosivauhdilla.

Jos halutaan lisätä maatalousmaan hiilivarantoa, tulee pyrkiä lisäämään erityisesti maan hiilivarastoja eikä niinkään kasvillisuuteen sitoutunutta hiiltä, sillä sadonkorjuun yhteydessä poistetaan runsaasti hiiltä pellolta vähintään kerran vuodessa. Maan hiilipitoisuuden nostaminen viljelytekniisin toimenpitein edellyttää, että viljelytoimet lisäävät maahan jäävän orgaanisen aineen määrää ja/tai vähentävät maassa jo olevan orgaanisen aineksen hajoamista. Ravinteiden käyttöä tehostamalla sekä laji- ja lajikevalinnalla voidaan lisätä kasvijätteissä maahan tulevan hiilen määrää. Kasvijätteiden jätto pellolle voi myös tiivistää typenkiertoa. Toisaalta oljen lisäys saattaa kuitenkin lisätä N<sub>2</sub>O-emissioita erityisesti märässä maassa, jos maassa on runsaasti nitraattia. Suomessa jätetään arviolta noin 80 % oljes-



**Taulukko 7.** Mittaustuloksia suomalaisten maatalousmaiden kasvihuonekaasupäästöistä.  
**Table 7.** Results from the greenhouse gas emission measurements on Finnish agricultural soils. For more details, please look at the papers referred.

Paikka <i>Location</i>	Aika <i>Time period</i>	Maalaji <i>Soil type</i>	Kasvusto <i>Crop</i>	Emissio <i>Emission</i>	Viite <i>Reference</i>
Hiilidioksidi <i>Carbon dioxide</i>					
Ilomantsi	1991–1992	Turve	Nurmi Kasviton	22 000 kg CO <sub>2</sub> /ha/v 15 000 kg CO <sub>2</sub> /ha/v	Nykänen et al. 1995, 1996
Jokioinen	Touko– syyskuu 1992	Turve Aitosavi Hiekka	Ohra Ohra Ohra	16 700 kg CO <sub>2</sub> /ha/5 kk 13 100 kg CO <sub>2</sub> /ha/5 kk 9 800 kg CO <sub>2</sub> /ha/5 kk	Koizumi et al. 1999
Dityppioksidi <i>Nitrous oxide</i>					
Ilomantsi	1991 1992	Turve	Nurmi	14,6 kg N <sub>2</sub> O/ha/v 12,3 kg N <sub>2</sub> O/ha/v	Nykänen et al. 1995, 1996
	Kesä 1992	Turve	Nurmi Kasviton	1,1 kg N <sub>2</sub> O/ha/4 kk 5,8 kg N <sub>2</sub> O/ha/4 kk	
Liperi	Huhti– joulukuu 1996	Turve	Ohra-nurmi Muokattu Muokattu ja lannoitettu	14,9 kg N <sub>2</sub> O/ha/v 10,0 kg N <sub>2</sub> O/ha/v 6,8 kg N <sub>2</sub> O/ha/v	Liikanen 1997
Hausjärvi	Kevät 1991– kevät 1993	Hieno hieta Hiesu	Ohra Ohra	1,5 kg N <sub>2</sub> O/ha/v 0,9 kg N <sub>2</sub> O/ha/v	Jaakkola 1994,
Jokioinen	Touko– Lokakuu 1983	Savi Hieta Turve Savi Hieta Turve	Ohra lannoitettu Lannoittamaton Ohra lannoitettu Lannoittamaton Ohra lannoitettu Lannoittamaton Nurmi lannoitettu Lannoittamaton Nurmi lannoitettu Lannoittamaton Nurmi lannoitettu Lannoittamaton	3,5 kg N <sub>2</sub> O/ha/5 kk 3,6 kg N <sub>2</sub> O/ha/5 kk 0,9 kg N <sub>2</sub> O/ha/5 kk 0,8 kg N <sub>2</sub> O/ha/5 kk 9,7 kg N <sub>2</sub> O/ha/5 kk 7,7 kg N <sub>2</sub> O/ha/5 kk 4,1 kg N <sub>2</sub> O/ha/5 kk 1,3 kg N <sub>2</sub> O/ha/5 kk 3,1 kg N <sub>2</sub> O/ha/5 kk 0,9 kg N <sub>2</sub> O/ha/5 kk 10,7 kg N <sub>2</sub> O/ha/5 kk 1,9 kg N <sub>2</sub> O/ha/5 kk	Jaakkola 1985
Metaani <i>Methane</i>					
Ilomantsi	1991 1992	Turve	Nurmi	2,6 kg CH <sub>4</sub> /ha/v 1,7 kg CH <sub>4</sub> /ha/v	Nykänen et al. 1995, 1996

ta maahan. Korjatusta oljesta valtaosa käytetään eläinten rehuna ja kuivikkeena, jolloin tästäkin hiilestä osa palautuu uudelleen maahan lannan mukana.

Avokesannoinnin aikana maahan ei tule uutta orgaanista ainesta, ja samalla maan orgaanisen hiilen mineralisaatio on yleensä nopeampaa kuin kasvipeitteises-

sä maassa. Avokesannointiin liittyy myös kohonnut eroosioriski. Viherkesannot ovat hyvä vaihtoehto avokesannolle myös orgaanisen hiilen määrää tarkasteltaessa.

Monivuotisten rehukasvien viljely voi lisätä merkittävästi maan hiilen määrää, koska näiden kasvien juurimassa on suuri ja maata muokataan vain nurmea uudis-

ettaessa. Lisäksi monivuotinen kasvusto vähentää eroosiota. Suomessa nurmikasvien viljelyala on kuitenkin viime vuosina ollut pienessä laskussa. Maan pitäminen kasvipeitteisenä talven yli peittokasvien avulla vähentää eroosiota samalla kun kasvimassasta tulee lisäannos hiiltä maahan. Suomen lyhyessä kasvukaudesta tähän tarkoitukseen saattaisivat sopia parhaiten keväällä pääkasvin kanssa samaan aikaan kylvettävät aluskasvit. Peittokasvien viljely voi vähentää myös nitraatin kertymistä ja siten edelleen denitrifioitumista, sillä orgaanisen aineksen mineralisaatiossa maahan kertyy nitraattia maan ollessa ilman kasvipeitettä.

Runsas lannan käyttö lisäisi myös maan hiilivarantoa, mutta käytössä on huomioitava siitä aiheutuvat ympäristöhaitat. Maan hiilimäärän lisääntyminen lannankäytön seurauksena ei ole kokonaisuudessaan hiilidioksidin nettopoistumaa ilmakehästä vaan ravintona ja alustana käytetyn kasvimateriaalin uudelleen kierrätystä. Lannan parantaessa kasvien kasvua voi kasvinjätteiden mukana maahan tuleva hiilimäärä kasvaa. Jätevesilietten käytöllä voi myös olla maan hiilipitoisuutta lisäävä vaikutus.

Muokkauksen vähentäminen pienentää maan fysikaalista häirintää ja lisää maan pinnalle tai lähelle pintaa jäävän kasvijätteen osuutta. Muokkaus- ja kylvömenetelmät, joilla pyritään jättämään maan päälle mahdollisimman runsaasti kasvijätettä, vaikuttavat polttoaineen säästymisen, kasvijätteiden käytön, vähentyneen mineralisaation, murujen määrän ja stabiilisuuden lisääntymisen sekä eroosion vähenemisen kautta hiilen pidättymiseen maahan. Muokkauksen vähentäminen ja suorakylvö voivat joissakin tapauksissa kuitenkin lisätä dityypiksioksidiemissioita.

Maatalouden fossiilisten polttoaineiden kulutusta vähentämällä voidaan CO<sub>2</sub>-päästöjä vähentää vain suhteellisen vähän, koska maatalouden osuus polttoaineen kokonaiskulutuksesta on pieni. Typenkäyttöä tehostamalla voidaan typ-

piäpäästöjen vähentämisen ohella pienentää myös hiilipäästöjä, sillä synteettisten lannoitteiden valmistuksessa vapautuu ilmakehään keskimäärin 1,5 kiloa hiiltä sidottua typpikiloa kohden. Jäähdyttämistä ja lämmittämistä vaativat rakennukset kuluttavat paljon sähköä, joten näiden rakennusten tekniseen toteuttamiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Maailmanlaajuisesti suoraan energian tuotantoon käytettävän, fossiilisia polttoaineita korvaavan kasvibiomassan määrän ja monipuolisuuden lisääminen tarjoaa suurimman mahdollisuuden vähentää hiilidioksidiemissioita maatalouden keinoin. Biopolttoaineiden tuotantoa voidaan lisätä esimerkiksi korvaamalla toisia viljelykasveja energiakasveilla ja viljelemällä energiakasveja muusta maatalouskäytöstä poistetuilla mailla tai suojavyöhykkeillä sekä lisäämällä kasvinjätteiden ja sivutuotteiden käyttöä. Kasvinjätteitä käytettäessä on kuitenkin huolehdittava siitä, että myös maahan jää riittävästi orgaanista ainesta maan hiilipitoisuuden ja tuottavuuden ylläpitoon sekä eroosion estämiseen.

Suomessa varsinaisten energiakasvien viljely on toistaiseksi hyvin vähäistä. Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelmassa on tavoitteena, että uusiutuvien energialähteiden vuosittainen kokonaiskäyttö nousisi 3 Mtoe:lla vuoden 1995 tasosta vuoteen 2010 mennessä. Ohjelman tavoitteena on lisätä peltobiomassojen vuotuinen käyttö tasolle 0,2 Mtoe, josta noin 0,13 Mtoe olisi ruokohelpeä ja loput olkea (0,07–0,08 Mtoe). Tämä vaatii ruokohelven viljelyä noin 50 000 peltihehtaarilla ja olkien keruuta noin 100 000 hehtaarilta. Tämän lisäksi ohrasta tehdystä etanolista voitaisiin valmistaa ETBE:ä (etyylitertiääri butyylietteriä) ja rypsiöljystä dieselin korvaavaa RME:ä (rypsiöljymetyyliesteriä).

Päästöjen vähentämiskeinoja etsittäessä tulisi kuitenkin ottaa huomioon koko ruokaketju, sillä esimerkiksi kuljetusmatkoilla ja ravintotottumuksilla

(eläinproteiinin käyttö) on vaikutusta energian kulutukseen.

Tärkeimmät dityppioksidilähteet ovat maassa tapahtuvat nitrifikaatio ja denitrifikaatio. Eläimistä ei tiedetä tapahtuvan suoraan merkittäviä  $N_2O$ -päästöjä, mutta eläinten lannassa on paljon typpeä, joka voi emittoitua dityppioksidina lannan hajotessa mikrobiologisesti. Lannoitteista ja lannasta voi aiheutua myös epäsuoria  $N_2O$ -emissioita. Tällaisia päästölähteitä ovat muun muassa typen haihtuminen ja sitä seuraava ammoniakkin ja typen oksidien laskeuma sekä typen huuhtoutuminen ja valunta. Muita maatalouteen liittyviä  $N_2O$ -päästölähteitä ovat muun muassa erilaiset polttoprosessit.

Dityppioksidin kemiallisia reaktioita stratosfäärissä pidetään pääasiallisina keinoina, joilla dityppioksidia poistuu ilmakehästä. Anaerobisilla mailla ei ole tavattu merkittävää dityppioksidin ottoa ilmakehästä. Aerobiset maat ovat tavallisesti  $N_2O$ -lähteitä.

Yleisesti voidaan todeta, että kaikki keinot, jotka lisäävät kasvien kilpailukykyä maassa olevasta tyypestä voivat vähentää  $N_2O$ -emissiota. Tämän lisäksi häviön aiheuttavan prosessin kesto ja määrä tulisi pitää mahdollisimman pienenä. Kasvien typpilannoituksen suunnittelun pohjana tulisi olla maa- ja kasvianalyysit. Suomen oloissa keväinen maan mineraalityypianalyysi saattaa olla perusteltua lannan levityksen, pitkäikäisten nurmien sekä eräiden erikoiskasvien viljelyn jälkeen. Kasvukauden aikana annettavan lisätypen tarpeen määrittämiseen on kehitetty kasvien lehtivihreäpitoisuuden mittaukseen perustuva menetelmä.

Kasvien typenottoa voidaan parantaa käyttämällä sijoituslannoitusta pintalannoituksen sijasta. Jotta kasvien typenotto olisi mahdollisimman tehokasta ja häviöt pieniä, typpilannoitteita tulisi antaa kasvien tarpeen mukaan. Tätä varten typpilannoitus voidaan jakaa useaan osaan tai käyttää kontrolloidusti typpeä vapauttavia lannoitteita. Suomen oloissa lannoituksen jakamisella ei koetulosten mukaan

kuitenkaan välttämättä päästä parempaan typen hyväksikäyttöön. Ureaasi- ja nitrifikaatioinhibiittoreita käyttämällä voidaan myös yrittää parantaa lannoitteen käytön tehokkuutta. Suomessa on tällä hetkellä myynnissä lähinnä syysviljojen kylvölannoitukseen sopiva lannoite, jossa on mukana nitrifikaation estoainetta. Avomaan vihannesviljelyyn on myös oma kestoplannoite.

Typpilannoitteiden myynti oli Suomessa huipussaan vuonna 1990 (111,5 kg N/ha), mutta sen jälkeen myynti on pudonnut runsaaseen 85 kiloon hehtaaria kohti laskettuna, mutta tästä käyttömäärät eivät tavanomaisessa viljelyssä tule enää ilmeisesti paljoakaan laskemaan. Käyttömäärien aleneminen on varmasti paljolti maatalouden ympäristötuen ansiota, sillä tukea saadakseen viljelijät eivät saa ylittää sallittuja typpilannoitustasoja. Nykyisin myös karjanlannan sisältämä typpi tulee ottaa entistä tarkemmin huomioon typpilannoituksen suunnittelussa.

Lannan käsittelyssä tulee pyrkiä siihen, että mahdollisimman vähän typpeä häviää, jolloin lannalla voidaan korvata muita lannoitteita mahdollisimman paljon. Lannasta haihtuvan ammoniakkin määrän pienentämiseksi suositellaan pintalevityksen sijasta lietteen sijoitusta tai nopeaa multausta. Multaus saattaa kuitenkin lisätä  $N_2O$ -emissioita. Vuoden 1995 kotieläinmäärän ja viljelykasvialan mukaan laskettuna karjanlannan mukana tulee pelloillemme typpeä vajaa 46 kg/ha ja turkiseläinten lannassa 3 kg/ha, mikäli haihtumistappioita ei oteta huomioon. Tuotetun lannan määrä voi kuitenkin pienentyä tästä, sillä nautojen määrä on ollut maassamme selvässä laskussa viimeisen parinkymmenen vuoden aikana. Myös kanojen määrä on nykyisin alempi kuin 1980-luvun alussa, mutta toisaalta broilerien määrä on ollut viime vuosina nousussa. Muiden eläinten määrissä ei ole tapahtunut suuria muutoksia.

Nurmien lannoitus tulisi toteuttaa siten, että maan mineraalityypipitoisuus ei pysy korkealla kovin kauan lannoituksen

jälkeen ja että maan oman typen mineralisoituminen otetaan huomioon. Märisä lannoitusolosuhteissa  $N_2O$ -emissioita voitaisiin vähentää käyttämällä nitraattityypen tilalla ammoniumtyyppiä, mutta ei kuitenkaan ureaa. Toisaalta ammoniumtypen käytössä tulee huomioida sen vaikutus muun muassa ammoniakkin haihtumiseen. Myös biologisen typensidonnan hyödyntämistä tulee harkita. Mineraalimailla  $N_2O$ -emissioita voitaneen vähentää huolehtimalla maan kunnollisesta kuivatuksesta, jotta pohjaveden pinta pysyy riittävän alhaalla. Turvemailla tilanne on päinvastoin, sillä niillä pohjaveden pinnan lasku lisää dityppioksidemissioita. Sopiva pohjaveden pinnan taso riippuu kuitenkin muistakin tekijöistä, sillä matala pohjaveden taso heikentää nurmen kasvua ja edistää metaanidemissioita. Pohjaveden pitämiseen syvällä voi puolestaan liittyä maan kokoon painumista ja hiilidioksidemissioiden kasvua. Nurmen kyntö lisää maan orgaanisen hiilen ja typen mineralisoitumista, jolloin  $N_2O$ -emissiot voivat nousta merkittävästi. Kynnön jälkeen tulisikin kylvää tarvittaessa kerääjäkasveja ja viljellä sellaisia kasveja, joiden typenottoheho on mahdollisimman suuri. Mikäli vanhan nurmen tilalle kylvetään uusi nurmi, voi tämän typenottoheho olla parempi kuin vanhan, jolloin  $N_2O$ -emissiot pienevät myös tätä kautta.

Kun karjan tuottavuutta nostetaan, tarvitaan vähemmän eläimiä tietyn kokonaistuotoksen saavuttamiseen. Hyvätuotosten eläinten aiheuttamat  $N_2O$ -emissiot ovat luultavasti suuremmat kuin heikkotuottoisten, mutta tällä on pienempi merkitys emissioihin kuin eläinten määrällä. Eläinten ravitsemuksen muuttaminen niin, että eläimet saavat ravintoarvoltaan korkeatasoista mutta vähätyyppistä rehua, vähentää typen erittymistä virtsan mukana ja edelleen eläinkohtaisia  $N_2O$ -päästöjä. Kun karjan laidunnusta rajoitetaan, pystytään lantaa keräämään enemmän talteen ja käyttämään lannoitukseen ostolannoitteiden

sijasta. Annettua typpikiloa kohti laskeutut  $N_2O$ -emissiot ovat pienemmät huolellisesti levitetystä lietteestä kuin laitumelle jääneistä virtsa- ja lantakasoista. Laidunnuksen rajoittaminen johtaa myös pienempiin huuhtoutuneesta tyypestä ja mineraalilannoitetyypestä aiheutuneisiin kokonaisdityppioksidemissioihin. Emissioita voivat kasvattaa vielä laidunten pinta-aahan kertyvä orgaaninen aines ja karjan tallauksellaan aiheuttama maan tiivistyminen ja kasvien jatkuva vaurioituminen. Toisaalta nurmilla, joita ei laidunneta, on niittokertojen lisäämisen havaittu vähentävän  $N_2O$ -päästöjä kasvukauden aikana.

Suomessa lypsylehmän lannan typpimäärä on nykyisin laskusuunnassa, koska valkuaisruokintaa on kehitetty. Suomessa olisi tällä hetkellä vielä ilmeisesti varaa vähentää lehmien valkuaisen saantia. Mikäli osa lypsylehmien valkuaisrehusta voidaan tulevaisuudessa korvata histidiini-aminohapolla tai histidiinin ja glukoosin yhdistelmällä, saadaan tällä merkittävä vähennys lehmän erittämään typpimäärään. Sikojen lannan typpipitoisuus on myös laskusuunnassa. Sikataloudesta tulevaa typpikuormaa voidaan vähentää noin kolmanneksella, kun vaiheruokintamenetelmään yhdistettynä käytetään rehuvalkuaista, jossa jokaista välttämätöntä aminohappoa on juuri oikea määrä. Myöskin siipikarjan lannan typpipitoisuus on vähentynyt. Tähän on vaikuttanut muun muassa munivien kanojen vaiheruokinta. Tulevaisuudessa aminohappojen käytöllä voidaan vähentää myös siipikarjan lannan typpipitoisuuksia.

Metaanipäästöt ilmakehään ovat suureksi osaksi peräisin bakteerien aikaansaamasta orgaanisen aineksen hajoamisesta anaerobisissa olosuhteissa. Maailmanlaajuisesti tärkeimmät maatalouteen liittyvät metaanilähteet ovat märehtijät, riisinviljely, kotieläinten lanta sekä biomassan poltto. Metaanin biologinen kulutus on maailmanlaajuisesti suurin nielu metaaninkierrossa, joka ohittanee jopa ilmakehässä tapahtuvan hapettumisen.

Peltojen raivaamisen on todettu vähentävän maaperän metaaninottoa ja viljelymailla voi esiintyä paikallisesti jopa metaanipäästöjä. Maanviljelyksen intensiteetti sekä maan lajitekoostumus, tilavuuspaino, kosteusolot ja joissakin tapauksissa myös N-lannoitus vaikuttavat siihen, paljonko maan metaaninotto vähenee sen tullessa viljelykäyttöön.

Metaanin muodostumiseen ruuansulatuksen yhteydessä vaikuttavat eläintyyppi, eläimen ikä, kunto, paino, energiankulutus sekä ruokinnan määrä ja laatu. Tehokkaalla ruokinnalla voidaan vähentää päästöjä tuotettua liha- tai maitokiloa kohti, vaikka päästöt eläintä kohti kasvavat. Eläinten lannasta vapautuu metaania, kun lannassa olevia orgaanisia aineita hajotetaan anaerobisissa olosuhteissa. Pääasiassa eläinlajeista ja ravinnosta riippuva lannan koostumus vaikuttaa siihen, paljonko lannasta voi potentiaalisesti syntyä metaania. Tietyn eläinlajin kohdalla voidaan sanoa, että mitä suurempi ravinnon energiasisältö ja sulavuus on, sitä suurempi mahdollisuus on metaanin tuotolle. Happipitoisuus, kosteus, happamuus ja tietyt ravinteet vaikuttavat siihen, kuinka suuri osa tästä potentiaalista toteutuu. Lietelannasta päästöt ovat merkittävästi suuremmat kuin kuivikelannasta. Lämmin ja kostea ilmasto lisäävät myös osaltaan päästöjä. Suomessa lypsylehmien lannasta 35 % käsitellään lietelantana. Lihasioilla lietelannan osuus on noin 77 %, mutta munituskanojen lannasta vain vajaa 10 % on lietettä.

Metaanipäästöjen vähentämiskeinoja arvioitaessa tulisi huomioida ehdotettujen menetelmien vaikutus muiden kasvihuonekaasujen päästöihin. Erityisesti metaanin ja dityppioksidin tuotannon välillä olevan käänteisen yhteyden huomioiminen on tärkeää. Lypsykarjan päästöjä voidaan yrittää vähentää lehmien geneettisiä ominaisuuksia kehittämällä,

kasvuhormonien käytöllä sekä rehun koostumusta parantamalla. Lihakarjalle kehitettävänä olevat lääkeaineet, jotka edistävät proteiinien kertymistä rasvan sijasta, voisivat vähentää myös CH<sub>4</sub>-päästöjä. Eläinten lisääntymistä voitaneen parantaa keinohedelmöityksillä, alkiosiiroilla ja kaksosvasikoiden tuotannolla, jolloin jalostuseläinten määrää voidaan vähentää. Biotekniikan avulla voidaan pyrkiä muuntamaan pötsikäymistä niin, että metaania ei synny. Metaanipäästöjä voitaisiin myös pienentää, jos yhä suurempi osa ravinnon energiasta voitaisiin käyttää maidon ja lihan tuotantoon yläpidon sijasta.

Lannan käsittelyssä ja varastoinnissa syntyviä metaanipäästöjä voidaan vähentää tehostamalla metaanintuotantoa anaerobisissa reaktoreissa ja ottamalla muodostunut kaasu talteen. Kompostoinnilla voidaan estää metaanin muodostumista pitämällä lanta hapellisissa oloissa. Biokaasutus ja kompostointi pienentävät myös lannan levityksestä aiheutuvaa vesistökuormitusta sekä vähentävät levityksen hajuhaittoja. Toisaalta ammoniakki- ja dityppioksidipäästöt voivat lisääntyä. Jos biokaasutuksessa syntyvä kaasu käytetään hyväksi energiantuotannossa, voidaan sillä korvata fossiilisia polttoaineita.

Nykyisin ei ole vielä tarpeeksi tietoa, jotta voitaisiin suositella maatalouteen liittyviä keinoja, joilla viljelymaiden metaanin hapetuskykyä voitaisiin lisätä. Kokeissa on saatu tuloksia siitä, että muun muassa maalaji, kosteusolot, viljelymenetelmä, viljelykasvi, lannoitus ja torjunta-aineet vaikuttavat metaanin hapettumiseen, mutta tulokset ovat olleet ainakin osittain ristiriitaisia. Peltojen raivaamisen vähentäminen ja toisaalta metsittämisen lisääminen ovat hyödyksi metaanin hapettumisen kannalta. Myöskään biomassan polttoa pellolla ei tulisi suosia.

**Alakangas, E.** 1998. Bioenergy in Finland, Review 1998. Finnish Bioenergy Association (FIN-BIO). Publication 6. Jyväskylä: Finnish Bioenergy Association. 58 p. ISBN 952-5135-05-5.

**Alaviuhkola, T.** 1996. Rehuvalkuaisen hyväksikäytön tehostaminen sioilla. Seminaarijulkaisu. Rehuraision ympäristöseminaari 21.8.1996: laatu – tehokkuus – ympäristö. Raisio: Rehuraision. p. 24–26.

**Amon, B., Amon, Th. & Boxberger, J.** 1999. Emissions of  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{CH}_4$  from milking cows housed in a farmyard manure tying stall (housing, manure storage, manure spreading). In: Freibauer, A. & Kaltschmitt, M. (eds.). Approaches to greenhouse gas inventories of biogenic sources in agriculture. Universität Stuttgart/IER. Band 53. Proceedings of the Workshop at Lökeberg, Sweden, 9–10 July 1998 in behalf of the EU Concerted Action FAIR3-CT96-1877 "Biogenic Emissions of Greenhouse Gases Caused by Arable and Animal Agriculture". Stuttgart: Universität Stuttgart/IER. p. 43–53. ISSN 0938-1228.

**Anderson, I.C., Levine, J.S., Poth, M.A. & Riggan, P.J.** 1988. Enhanced biogenic emissions of nitric oxide and nitrous oxide following surface biomass burning. *Journal of Geophysical Research* 93: 3893–3898. (Ref. Freney 1997).

**Armentano, T.V. & Menges, E.S.** 1986. Patterns of change in the carbon balance of organic soil-wetlands of the temperate zone. *Journal of Ecology* 74: 755–774.

**Aulakh, M.S., Doran, J.W. & Mosier, A.R.** 1992. Soil denitrification - significance, measurement, and effects of management. *Advances in Soil Science* 18: 1–57.

**Bleken, M.A. & Bakken, L.R.** 1997. The nitrogen cost of food production: Norwegian society. *Ambio* 26: 134–142.

**Boeckx, P., Cleemput, O. van & Villaralvo, I.** 1997. Methane oxidation in soils with different textures and land use. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49: 91–95.

–, **Cleemput, O. van & Meyer, T.** 1998. The influence of land use and pesticides on methane oxidation in some Belgian soils. *Biology and Fertility of Soils* 27: 293–298.

**Brofeldt, A.** 1999. Oljesta kelvollista rehua ammonoimalla. *Leipä leveämmäksi* 47(5): 29.

**Cole, V., Cerri, C., Minami, K., Mosier, A., Rosenberg, N. & Sauerbeck, D.** 1996. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emissions. In: Watson, R.T., Zinyowera, M.C. & Moss, R.H. (eds.). *Climate Change 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Published for the IPCC. Cambridge: Cambridge University Press. p. 745–771. ISBN 0-521-56437-9.

**Danfors, B.** 1988. Orienterande undersökning över bränsleförbrukning och avverkning vid olika jordbearbetningssystem för såbäddsberedning. In: Hansen, L. & Rasmussen, K.J. (eds.). *Reduced cultivation. Rapporter från jordbearbetningsavdelningen 77. The Scandinavian Association of Agricultural Scientists, Seminar in Horsens, Denmark, February 9–11, 1988*. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för jordbearbetning. p. 174–187. ISBN 91-576-3542-0.

**Dörsch, P., Linde, J., Zaglauer, A. & Flessa, H.** Nitrous oxide, methane, and carbon dioxide fluxes from a minerotrophic mire under long-term cultivation. In preparation. (Ref. Klemmedtsson et al. 1999).

**Eggelsman, R.** 1976. Peat consumption under influence of climate, soil condition and utilization. *Proceedings of Fifth International Peat Congress, Poznan*. 1: 233–247. (Ref. Kasimir-Klemmedtsson et al. 1997).

**Erviö, R.** 1982. Turpeen osuus viljelymaa-alasta. *Suo* 33: 93–95.

– 1995. Viljelymaan humuksen väheneminen kolmen vuosikymmenen aikana. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 11/95. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 1–12. ISSN 0359-7652.

– & **Talvitie, H.** 1995. Viljelymaan humuspitoisuuden ja fysikaaliseen rakenteeseen vaikuttaminen viljelyn keinoin. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 11/95. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 13–18. ISSN 0359-7652.

**Esala, M.** 1991. Split application of nitrogen: effects on the protein in spring wheat and fate of  $^{15}\text{N}$ -labelled nitrogen in the soil-plant system. *Annales Agriculturae Fenniae* 30: 219–309.

FINBIO 1998. Suomen Bioenergiastrategia. Suomen Bioenergiayhdistys (FINBIO). Julkaisu

10. Jyväskylä: Suomen Bioenergiayhdistys. 22 p. ISBN 952-5135-009-8.

**Flessa, H., Dörsch, P. & Beese, F.** 1996. N<sub>2</sub>O emissions from cattle excrements in pasture land – a global inventory –. In: Transactions of the 9<sup>th</sup> Nitrogen Workshop. Braunschweig, September 1996. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig. p. 141–144.

**Frenay, J.R.** 1997. Emission of nitrous oxide from soils used for agriculture. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49: 1–6.

**Gibbs, M.J. & Woodbury, J.W.** 1993. Methane emissions from livestock manure. In: Amstel, A.R. van (ed.). International IPCC Workshop, Methane and Nitrous Oxide, methods in national emissions inventories and options for control. Proceedings. RIVM Report no. 481507003. EUROASE Hotel, Amersfoort, The Netherlands, 3–5 February 1993. Bilthoven: RIVM. p. 81–91. ISBN 90-6960-043-9.

Good practice guidance 1999. Good practice in inventory preparation for agricultural sources of methane and nitrous oxide. Wageningen, the Netherlands, 24–26 February, 1999. Compilation (revised edited version from draft meeting report - 30 October) for inclusion in final IPCC report on "Good Practice in Inventory Preparation Including Managing Uncertainty". IPCC, National greenhouse gas inventories programme. 86 p. Draft.

**Granli, T. & Bøckman, O.C.** 1994. Nitrous oxide from agriculture. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences, Supplement* 12: 1–128.

**Grönroos, J., Nikander, A., Syri, S., Rekolainen, S. & Ekqvist, M.** 1998a. Maatalouden ammoniakkipäästöt. Osa 1: Päästöt ja niiden kehittyminen. Osa 2: Päästöjen vähentäminen ja vähentämiskustannukset. *Suomen Ympäristö* 206. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 65 p. ISBN 952-11-0283-7.

–, **Rekolainen, S., Palva, R., Granlund, K., Bärnlund, I., Nikander, A. & Laine, Y.** 1998b. Maatalouden ympäristötuki. Toimenpiteiden toteuttaminen ja vaikutukset vuosina 1995–1997. *Suomen Ympäristö* 239. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. 77 p. ISBN 952-11-0331-0.

**Hansen, S., Mæhlum, J.E. & Bakken, L.R.** 1993. N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> fluxes in soil influenced by fertilization and tractor traffic. *Soil Biology & Biochemistry* 25: 621–630.

**Hartikainen, H.** 1992. Maaperä. In: Heinonen, R. (ed.). Maa, viljely ja ympäristö. Porvoo: WSOY. p. 9–89. ISBN 951-0-17090-9.

**Holopainen, E., Heikinheimo, M. & Kulmala, M.** (eds.) 1996. Ilmakehä. In: Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (eds.). Ilmastonmuutos ja Suomi. Helsinki: Yliopistopaino. p. 11–69. ISBN 951-570-296-8.

**Holtan-Hartwig, L., Dörsch, P. & Bakken, L.R.** Comparison of denitrifying communities in organic soils: Kinetics of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> and N<sub>2</sub>O reduction. Submitted to *Soil Biology & Biochemistry*. (Ref. Klemmedtsson et al. 1999).

**Huhtanen, P., Vanhatalo, A. & Varvikko, T.** 1996. Uutta tietoa märehitjoiden aminohappojen tarpeesta. Seminaarijulkaisu. Rehuraision ympäristöseminaari 21.8.1996: laatu – tehokkuus – ympäristö. Raisio: Rehuraio. p. 5–9.

**Hütsch, B.W.** 1998. Tillage and land use effects on methane oxidation rates and their vertical profiles in soil. *Biology and Fertility of Soils* 27: 284–292.

IPCC 1996. Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Houghton, J.T. et al. (eds.). Cambridge: Cambridge University Press. 572 p. ISBN 0-521-56436-0.

– 1997. Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. 950 p. ISBN 92-64-15578-3.

**Jaakkola, A.** 1985. Denitrifikaatio viljapellostista ja nurmesta mitattuna asetyleeni-inhibitiomenetelmällä. In: Lannoite- ja kasviainestypen hyväksikäyttö ja typen häviö. Biologisen typensidonnan ja ravinnetypen hyväksikäytön projekti. Julkaisu 13. Helsinki: SITRA. p. 75–108. ISBN 951-563-081-9

– 1992. Kasvinravitseminen. In: Heinonen, R. (ed.). Maa, viljely ja ympäristö. Porvoo: WSOY. p. 173–254. ISBN 951-0-17090-9.

– 1994. Soil air composition and nitrous oxide emission in freezing and thawing soils. In: 15<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Acapulco, Mexico, July 1994. Transactions, volume 3b, Commission II: Poster Sessions. [Vienna]: International Society of Soil Science. p. 252–253. ISBN 568-6201-15-7.

– & **Simojoki, A.** 1998. Effect of soil wetness on air composition and nitrous oxide emission in a loam soil. *Agricultural and Food Science in Finland* 7: 491-505.

**Joki-Tokola, E., Mattila, P., Elonen, P. & Tanni, R.** 1998. Naudan lietalannan prosessoinnin

ja levitystekniikan vaikutus säilörehunurmen saatoon, rehun laatuun ja ammoniakkin haihtumiseen. In: Sipilä, I. & Pehkonen, A. (eds.). Karjanlannan ympäristöystävällinen ja kustannustehokas käyttö. MMM:n karjanlantatutkimusohjelman 1995–97 loppuraportti. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Julkaisuja 87. Helsinki: Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. p. 34–56. ISBN 951-687-022-8.

**Järvenpää, M. & Maunu, T.** 1994. Biomassan tuotannon talous maataloilla. In: Järvenpää, M. et al. (eds.). Bioenergian tuotanto elintarviketuotannosta vapautuvalla peltoalalla. Työtehoseuran julkaisuja 333. Helsinki: Työtehoseura ry. p. 66–94. ISBN 951-788-205-X.

**Kaiser, E.-A., Kohrs, K., Kücke, M., Schnug, E., Heinemeyer, O. & Munch, J.C.** 1998a. Nitrous oxide release from arable soil: importance of N-fertilization, crops and temporal variation. *Soil Biology & Biochemistry* 30: 1553–1563.

–, **Kohrs, K., Kücke, M., Schnug, E., Munch, J.C. & Heinemeyer, O.** 1998b. Nitrous oxide release from arable soil: importance of perennial forage crops. *Biology and Fertility of Soils* 28: 36–43.

**Kammann, C., Grünhage, L., Müller, C., Jacobbi, S. & Jäger, H.-J.** 1998. Seasonal variability and mitigation options for N<sub>2</sub>O emissions from differently managed grasslands. *Environmental Pollution* 102, S1: 179–186.

**Kasimir-Klemedtsson, Å., Klemedtsson, L., Berglund, K., Martikainen, P., Silvola, J. & Oenema, O.** 1997. Greenhouse gas emissions from farmed organic soils: a review. *Soil Use and Management* 13: 245–250.

–, **Weslien, P. & Klemedtsson, L.** Emission of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O from farmed organic soil in Sweden. Manuscript. (Ref. Klemedtsson et al. 1999).

Kemira Agro 1998. Lannoitteiden myynnin jakautuminen maaseutukeskusalueittain. Lannoitusvuosi 1996/97. Kekäläinen, A. (ed.). Helsinki: Kemira Agro Oy. 12 p.

**Kiiskinen, T.** 1996. Ympäristöystävällisyys broilerin ruokinnassa. Seminaarijulkaisu. Rehuraisio ympäristöseminaari 21.8.1996: laatu – tehokkuus – ympäristö. Raisio: Rehuraisio. p. 17–19.

**Klemedtsson, L., Kasimir - Klemedtsson, Å., Esala, M. & Kulmala, A.** 1999. Inventory of N<sub>2</sub>O emission from farmed European Peatlands. In: Freibauer, A. & Kaltschmitt, M. (eds.). Approaches to greenhouse gas inventories of biogenic sources in agriculture. Universität Stuttgart/IER.

Band 53. Proceedings of the Workshop at Lökeberg, Sweden, 9–10 July 1998 in behalf of the EU Concerted Action FAIR3-CT96-1877 "Biogenic Emissions of Greenhouse Gases Caused by Arable and Animal Agriculture". Stuttgart: Universität Stuttgart/IER. p. 79–94. ISSN 0938-1228.

–, **Weslien, P., Kasimir Klemedtsson, Å., Silvola, J., Maljanen, M., Martikainen, P., Dörsch, P., van den Pol-van Dasselaar, A., Oenema, O., Corré, W., Holtan-Hartwig, L., Bakken, L., Christensen, S., Priemé, A., Jensen, N.O., Klein Gunnewiek, H.J.T. & Leffelaar, P.A.** Greenhouse gas emissions from farmed organic soils. Presented at EU meeting in Orvieto 1997. In press. (Ref. Klemedtsson et al. 1999).

**Knowles, R.** 1993. Methane: Processes of production and consumption. In: Harper, L.A. et al. (eds.). Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change. ASA Special Publication no. 55. Proceedings of a symposium sponsored by Divisions A-3 and S-3 of the American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. Denver, CO, 28 October 1991. Madison, WI: ASA, CSSA, SSSA. p. 145–156. ISBN 0-89118-113-X.

**Koizumi, H., Kontturi, M., Mariko, S., Nakadai, T., Bekku, Y., & Mela, T.** 1999. Soil respiration in three soil types in agricultural ecosystems in Finland. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B, Soil and Plant Science* 49: 65–74.

KOM(97) 599 lopullinen 1997. Tulevaisuuden energia: uusiutuvat energialähteet. Yhteisön strategiaa ja toimintasuunnitelmaa koskeva valkoinen kirja. Komission tiedonanto. 26.11.1997. Bryssel: Euroopan yhteisöjen komissio. 36 p. ISBN 92-78-28538-2.

KTM 1999a. Kioton mekanismit ja Suomi. Soveltamisen lähtökohtia. Työryhmän mietintö. Kauppa- ja teollisuusministeriön työryhmä- ja toimikuntaraportteja 4/1999. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö. 125 p. ISBN 951-739-451-9.

– 1999b. Uusiutuvien energialähteiden edistämishjelma. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Julkaisuja 4/1999. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto. 33 p. ISBN 951-739-516-7.

**Kähäri, J., Mäntylahti, V. & Rannikko, M.** 1987. Suomen peltojen viljavuus 1981–1985. Helsinki: Viljavuuspalvelu Oy. 60 p.

**Känkänen, H.** 1994. Viherkesanto elävöittää maata. Koetointia ja käytäntöä 51 (22.2.1994): 8.



**Käyhkö, V., Klemetti, V. & Kokkonen, J.** 1994. Suopeltojen käyttömahdollisuus turvetuotantoon – eri lähteissä olevat tiedot, niiden saatavuus ja käytettävyyys turvetutkimuksessa. Oulu: Suo Oy. 44 p.

**Laine, J.** (ed.) 1996. Suot. In: Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (eds.). Ilmastonmuutos ja Suomi. Helsinki: Yliopistopaino. p. 107-126. ISBN 951-570-296-8.

**Lal, R.** 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO<sub>2</sub>-enrichment. *Soil & Tillage Research* 43: 81–107.

**Lassey, K.R. & Ulyatt, M.J.** 1999. Enterically fermented methane, with emphasis on sheep emissions: a contribution to 'Methane from domestic livestock', for IPCC meeting on Good Practice in Inventory Preparation: Agricultural Sources of Methane and Nitrous oxide, Wageningen, the Netherlands, 24–26 Feb 1999. 11 p.

**Lemola, R. & Turtola, E.** 1998. Kasvipeitteisyys, eroosio ja ravinnekuormitus. Kirjallisuuskatsaus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja B 18. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 28 p. ISSN 1238-9943, ISBN 951-729-531-6.

**Leppänen, A. & Esala, M.** 1995. Keväisen mineraalityypianalyysin käyttö lannoitustarpeen ennustamisessa. Esitutkimus. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 1/95. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 29 p. ISSN 0359-7652.

**Liikanen, A.** 1997. Orgaanisten maatalousmaiden dityypiksidin tuotto. Opinnäytetutkielma. Kuopio: Kuopion yliopiston ympäristötieteen lait. 96 p.

Maaseudun Tulevaisuus 1999. Typpipäästöjä voi vähentää myös rajoittamalla valkuaisruokintaa 83, 70 (22.6.1999): 5.

Maatilatilastollinen vuosikirja 1999. SVT. Maa-, metsä- ja kalatalous 1999:12. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. 262 p. ISSN 0784-8404

**Maljanen, M., Liikanen, A., Corre, W., Silvola, J. & Martikainen, P.J.** Nitrous oxide emissions during snow-free and winter periods from farmed or forested organic soils in eastern Finland. Manuscript. (Ref. Klemmedtsson et al. 1999).

**McTaggart, I.P. & Smith, K.A.** 1996. Nitrous oxide emissions from arable and grassland soils: Effect of crop type and nitrification inhibitors. In: Transactions of the 9<sup>th</sup> Nitrogen Workshop. Braunschweig, September 1996. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig. p. 523–526.

Metsätalastollinen vuosikirja 1999. SVT. Maa-, metsä- ja kalatalous 1999:6. Helsinki: Metsätutkimuslaitos. 352 p. ISBN 951-40-1705-6.

**Milandt, J. & Ambus, P.** 1999. Methane emissions in sewage sludge amended agricultural soil and a nearby forest site. In: International Conference "Biogenic Emissions of Greenhouse Gases Caused by Arable and Animal Agriculture - Processes, Inventories, Mitigation". 13–15 October 1999, Haus der Wirtschaft, Stuttgart, Germany. Programme, Abstracts, List of Participants. Stuttgart: IER, University of Stuttgart. [p. 109].

MMM 1998. Maatalouden ympäristöohjelma 1995–1999. Seurantatyöryhmän loppuraportti. Työryhmämuistio 1998: 5 MMM. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 102 p.

**Mosier, A.R.** 1993. Nitrous oxide emissions from agricultural soils. In: Amstel, A.R. van (ed.). International IPCC Workshop, Methane and Nitrous Oxide, methods in national emissions inventories and options for control. Proceedings. RIVM Report no. 481507003. EUROASE Hotel, Amersfoort, The Netherlands, 3–5 February 1993. Bilthoven: RIVM. p. 273–285. ISBN 90-6960-043-9.

–, **Delgado, J.A., Cochran, V.L., Valentine, D.W., Parton, W.J.** 1997. Impact of agriculture on soil consumption of atmospheric CH<sub>4</sub> and a comparison of CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O flux in subarctic, temperate and tropical grasslands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49: 71–83.

–, **Duxbury, J.M., Freney, J.R., Heinemeyer, O. & Minami, K.** 1998a. Assessing and mitigating N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils. *Climatic Change* 40: 7–38.

–, **Duxbury, J.M., Freney, J.R., Heinemeyer, O., Minami, K. & Johnson, D.E.** 1998b. Mitigating agricultural emissions of methane. *Climatic Change* 40: 39–80.

–, **Kroeze, C., Nevison, C., Oenema, O., Seitzinger, S. & Cleemput, O. van** 1998c. Closing the global N<sub>2</sub>O budget: nitrous oxide emissions through the agricultural nitrogen cycle. OECD/IPCC/IEA phase II development of IPCC guidelines for national greenhouse gas inventory methodology. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52: 225–248.

–, **Schimel, D., Valentine, D., Bronson, K. & Parton, W.** 1991. Methane and nitrous oxide fluxes in native, fertilized and cultivated grasslands. *Nature* 350: 330–332.

- Myllys, M.** 1998. Soiden viljely. In: Vasander, H. (ed.). Suomen suot. Helsinki: Suoseura. p. 64–71. ISBN 951-97826-0-5.
- Mäntylähti, V.** 1999. Peltojen viljavuuden kehitys. In: Maan viljavuus- ja kasvinravitsemuspäivä, Jokioinen, 15.4.1999. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 1-2.
- Nykänen, H., Alm, J., Lång, K., Silvola, J. & Martikainen, P.J.** 1995. Emissions of CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> from a virgin fen and a fen drained for grassland in Finland. *Journal of Biogeography* 22: 351–357.
- , **Regina, K., Silvola, J., Alm, J. & Martikainen, P.J.** 1996. Fluxes of CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O and CO<sub>2</sub> on virgin and farmed peatlands in Finland. In: Laiho, R., Laine, J. & Vasander, H. (eds.). Northern peatlands in global climatic change. Publications of the Academy of Finland 1/96. Proceedings of the International Workshop held in Hyytiälä, Finland, 8–12 October 1995. p. 136–140. ISBN 951-37-1865-4.
- Nykänen-Kurki, P. & Känkänen, H.** 1996. Role of undersowing in cereal crop rotation under extreme climatic conditions. In: Schröder, J.J. (co-ordinator). Long term reduction of nitrate leaching by cover crops. Duration: December 1994–December 1997. First progress report of EU Concerted Action (AIR3) 2108. Reporting period: December 1994–December 1995. Wageningen: Agricultural Research Department. Research Institute of Agrobiology and Soil Fertility. p. 86–98.
- Näsi, M.** 1996. Valkuaisen hyväksikäytön tehostaminen munivien kanojen ruokinnassa. Seminaarijulkaisu. Rehuraision ympäristöseminaari 21.8.1996: laatu – tehokkuus – ympäristö. Raiasio: Rehuraisio. p. 14–16.
- O'Hara, G.W. & Daniel, R.M.** 1985. Rhizobial denitrification: A review. *Soil Biology & Biochemistry* 17: 1–9.
- Oravainen, H., Järvenpää, M., Ryynänen, S. & Tuomi, S.** 1995. Biopolttoaineiden tuotanto sekä käyttö kiinteistö- ja aluelämmityksessä – tutkimus- ja kehitystyön suuntaaminen vuosille 1996–98. Bioenergia, Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 9. Jyväskylä: VTT Energia. 84 p. ISBN 952-9500-74-2.
- Paustian, K., Andrén, O., Janzen, H.H., Lal, R., Smith, P., Tian, G., Tiessen, H., Noordwijk, M. van & Woormer, P.L.** 1997. Agricultural soils as a sink to mitigate CO<sub>2</sub> emissions. *Soil Use and Management* 13: 230–244.
- , **Cole, C.V., Sauerbeck, D. & Sampson, N.** 1998. CO<sub>2</sub> mitigation by agriculture: an overview. *Climatic Change* 40: 135–162.
- Peltola, J.** 1996. Kasvihuoneilmiö – bioenergian käyttönäkymät Yhdysvalloissa. In: Ajankohtaista maatalouden ympäristöekonomiaa. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Tiedonantoja 205. Helsinki: Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. p. 109–188. ISBN 952-9538-61-8.
- Peltonen, J., Virtanen, A. & Haggren, E.** 1995. Using a chlorophyll meter to optimize nitrogen fertilizer application for intensively-managed small-grain cereals. *Journal of Agronomy and Crop Science* 174: 309–318.
- Pipatti, R.** 1997. Suomen metaani- ja dityppioksidipäästöjen rajoittamisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus. VTT Tiedotteita 1835. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. ISBN 951-38-5117-6. Available from Internet <http://www.inf.vtt.fi/pdf/tiedotteet/1997/T1835.pdf>
- 1999. Anthropogenic methane and nitrous oxide emissions in Finland in 1990–1997. In: Finland's national greenhouse gas inventory to the UN's Framework Convention on Climate Change, years: 1990, 1995–1997. Helsinki: Ministry of the Environment. Appendix 2, 8 p.
- Pitkänen, J.** 1988. Aurattoman viljelyn vaikutukset maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ja maan viljavuuteen. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 21/88. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 62–162. ISSN 0359-7652.
- Powlson, D.S., Goulding, K.W.T., Willison, T.W., Webster, C.P. & Hütsch, B.W.** 1997. The effect of agriculture on methane oxidation in soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49: 59–70.
- Priemé, A., Christensen, S., Dobbie, K.E. & Smith, K.A.** 1997. Slow increase in rate of methane oxidation in soils with time following land use change from arable agriculture to woodland. *Soil Biology and Biochemistry* 29: 1269–1273.
- Pulkkinen, J.** 1999. Typen hallinta avomaan vihanneviljelyssä. *Leipä leveämmäksi* 47, 3: 34–35.
- Puolanne, J.** 1992. Puhdistamolietteen loppusijoitus – katsaus eri maiden käytäntöön. *Vesitalous* 33, 4: 10-12.
- Reicosky, D.C.** 1997. Tillage-induced CO<sub>2</sub> emission from soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 49: 273–285.
- Ruser, R., Flessa, H. & Beese, F.** 1996. Plant-type and N-fertilizer dependent variation of nitrous oxide emissions. In: Transactions of the 9<sup>th</sup>

Nitrogen Workshop. Braunschweig, September 1996. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig. p. 539–542.

**Sahramaa, M.** 1998. Peltöenergia monipuolistaa polttoainevalikoimaa. *Bioenergia – Tutkimusohjelman tiedotuslehti* 3/98: 41–42.

**Sauerbeck, D.R.** 1999. CO<sub>2</sub> emissions and C sequestration by agriculture – perspectives and limitations. In: International Conference “Biogenic Emissions of Greenhouse Gases Caused by Arable and Animal Agriculture – Processes, Inventories, Mitigation”. 13–15 October 1999, Haus der Wirtschaft, Stuttgart, Germany. Programme, Abstracts, List of Participants. Stuttgart: IER, University of Stuttgart. [p. 37].

**Savolainen, I.** (ed.) 1996. Suomen kasvihuonekaasujen päästöt ja nielut. In: Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (eds.). *Ilmastonmuutos ja Suomi*. Helsinki: Yliopistopaino. p. 179–196. ISBN 951-570-296-8.

**Schimel, J.P., Holland, E.A. & Valentine, D.** 1993. Controls on methane flux from terrestrial ecosystems. In: Harper, L.A., Mosier, A.R., Duxbury, J.M. & Rolston, D.E. (eds.). *Agricultural ecosystem effects on trace gases and global climate change*. ASA Special Publication no. 55. Proceedings of a symposium sponsored by Divisions A-3 and S-3 of the American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. The symposium was held in Denver, CO, 28 October 1991. Madison, WI: ASA, CSSA, SSSA. p. 167–182. ISBN 0-89118-113-X.

**Selin, P., Klemetti, V., Käyhkö, V., Lehtovaara, J., Rinttilä, R., Nyrönen, T. & Sänkiahö, S.** 1999. Turpeen käyttö ja ilmaston muutos. Yhteenveto suopeltojen ja metsäojitetettujen alueiden merkityksestä hiilitaseen kannalta. [Jyväskylä]: Vapo Oy. 32 p.

**Seppänen, H. & Matinlassi, T.** 1998. Maatilojen ympäristöhoito-ohjelmat 1995–1997. Helsinki: Maaseutukeskusten liitto. 19 p.

**Sipilä, K., Moilanen, A., Solantausta, Y. & Wilén, C.** 1997. Peltobiomassojen käyttömahdollisuudet energiasektorilla. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Tutkimuksia ja raportteja 19/1997. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö. 66 p. ISBN 951-739-282-6.

**Smith, K., Bouwman, L. & Braatz, B.** 1999. Nitrous oxide: direct emissions from agricultural soils. Background paper for IPCC Workshop on Good Practice in Inventory Preparation: Agricultural Sources of Methane and Nitrous Oxide. 24–26 February 1999, Wageningen, the Netherlands.

**Smith, K.A., Thomson, P. E., Clayton, H., McTaggart, I.P. & Conen, F.** 1998. Effects of temperature, water content and nitrogen fertilisation on emissions of nitrous oxide by soils. *Atmospheric Environment* 32: 3301–3309.

Suomen tilastollinen vuosikirja 1998. SVT. Helsinki: Tilastokeskus. 93. 679 p. ISBN 951-727-440-8.

**Tahvanainen, L. & Rytkönen, V.-M.** 1997. Energiapajun viljely ja sen kannattavuus peltomailla. Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. Tiedonantoja 58. Joensuu: Joensuun yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. 62 p. ISBN 951-708-545-1.

**Thompson, R.B., Ryden, J.C. & Lockyer, D.R.** 1987. Fate of nitrogen in cattle slurry following surface application or injection to grassland. *Journal of Soil Science* 38: 689–700.

**Tuhkanen, S. & Pipatti, R.** 1999. Uusiutuvien energialähteiden edistämishojelman ympäristövaikutusten arviointi. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Tutkimuksia ja raportteja 23/1999. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto. 80 p. ISBN 951-739-520-5.

**Tuori, M., Kaustell, K., Valaja, J., Aimonen, E., Saarisalo, E. & Huhtanen, P. (työryhmä)** 1996. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset: märehitjät – siat – siipikarja – turkiseläimet – hevoset. 2nd ed. Helsinki: Helsingin yliopisto, kotieläintieteen laitos, Kasvintuotannon tarkastuskeskus, maatalouskemian osasto, Maatalouden tutkimuskeskus, kotieläintuotannon tutkimuslaitos. 99 p. ISBN 951-45-7348-X.

**Turtola, E. & Puustinen, M.** 1998. Kasvipeitteisyys ravinnehuuhtoutumien vähentäjänä. *Vesitalous* 39, 1: 6–11.

UNEP/IUC 1999. Climate change information kit. Updated May 1999. Available from Internet <http://www.unfccc.de/resource/iuckit>

Valtioneuvoston periaatepäätös 21.12.1995 energiapolitiikasta. Cited 15 June, 1999. Available from Internet [http://www.edita.fi/valtviik/v151\\_95.html](http://www.edita.fi/valtviik/v151_95.html)

Valtioneuvoston päätös puhdistamolietteen käytöstä maanviljelyksessä 14.4.1994. N:o 282. p. 803–804.

**Vanhatalo, A.** 1997. Aminohapoilla lisää tuotosta ympäristöä säästäen. In: Salo, R. (ed.). *Maa kasvun antaa*. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 27. Maatalouden tutkimus- ja tuotantopäivät, Jokioinen 5.–7.8.1997. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskes-

kus. p. 76-85. ISSN 1238-9935, ISBN 951-729-497-2.

**Velthof, G.L., Beusichem, M.L. van & Oenema, O.** 1998. Mitigation of nitrous oxide emission from dairy farming systems. *Environmental Pollution* 102, S1: 173–178.

Viljavuuspalvelu 1995. Viljavuustutkimuksen tulokinta peltoviljelyssä. Mikkeli: Viljavuuspalvelu Oy. 30 p. ISBN 952-90-6842-5.

**Wallenius, S.** 1998. Perustuki maataloilille. 1998 maatalouden ympäristötuki. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 32 p.

**Weslien, P., Klemedtsson, L. & Kasimir Klemedtsson, Å.** High greenhouse gas emissions from carrot (*Daucus carota* L.) cropped organic soils. Manuscript. (Ref. Klemedtsson et al. 1999).

**Wihersaari, M.** 1996. Biopoltoaineet ja ympäristö. Loppuraportin luonnos. Kauppa- ja teollisuusministeriö. Tutkimuksia ja raportteja 17/1996. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö. 146 p. ISBN 951-739-176-5.

**Wild, A.** 1993. *Soils and the environment: an introduction*. Cambridge: Cambridge University Press. 287 p. ISBN 0-521-43849-4.

**Wilkinson, J.M.** 1998. *Straw in Europe. A survey of 29 countries*. Lincoln, UK: Chalcombe Publications. 41 p. ISBN 0-948617-41-1.

**Winstead, E.L., Cofer III, W.R. & Levine, J.S.** 1991. Emissions of nitrous oxide from biomass burning. In: Levine, J.S. (ed.). *Global Biomass Burning: Atmospheric Climatic and Biospheric Implications*. Cambridge, MS, USA: MIT Press. p. 376-378. (Ref. Freney 1997).

**Yli-Savola, S.** 1999. Kalkkituotteiden käyttö. In: Maan viljavuus- ja kasvinravitsemuspäivä, Jokioinen, 15.4.1999. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. p. 28-30.

YM 1998. Ilmastonmuutosta koskeva Kioton pöytäkirja. Suomen valtuuskunnan raportti ilmastonmuutoksen puitesopimuksen osapuolikonferenssin kolmannesta istunnosta Kioto 1–10.12.1997. Ympäristöministeriön moniste 34. Helsinki: Ympäristöministeriö.

**Julkaisun sarja ja numero**Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja.  
Sarja A 76**Julkaisu-aika (kk ja vuosi)**

Toukokuu 2000

**Tekijä(t)**

Airi Kulmala ja Martti Esala

**Tutkimushankkeen nimi****Toimeksiantaja(t)**

Maatalouden tutkimuskeskus

**Nimike**

Maatalous ja kasvihuonekaasupäästöt. Kirjallisuuskatsaus

Maatalous voimistaa kasvihuoneilmiötä lisäämällä erityisesti hiilidioksidin, dityppioksidin ja metaanin vapautumista. Tässä kirjallisuuskatsauksessa kuvataan maatalouteen liittyviä kasvihuonekaasujen lähteitä ja nieluja sekä niiden päästöihin vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi esitetään mittaustuloksia suomalaisten maatalousmaiden kasvihuonekaasupäästöistä sekä kerrotaan päästöjen vähentämismahdollisuuksista. Katsaus alkaa perustiedolla Suomen maataloudesta ja lopuksi kuvataan päästöjen laskentaa IPCC-menetelmällä.

Hiilidioksidilähteitä ovat esimerkiksi maan orgaanisen aineksen hajoaminen, polttoprosessit ja kalkitus. Maatalouden keinoin CO<sub>2</sub>-päästöjä voidaan vähentää lisäämällä maahan ja kasvillisuuteen varastoituneen hiilen määrää sekä vähentämällä fossiilisten polttoaineiden kulutusta ja lisäämällä bioenergian tuotantoa. Kalkituksen vähentämiseen ei Suomessa ole juurikaan mahdollisuuksia.

Tärkeimmät dityppioksidilähteet ovat nitrifikaatio ja denitrifikaatio. N<sub>2</sub>O-emissioita voidaan vähentää tehostamalla kasvien kilpailukykyä maassa olevasta tyypestä sekä pitämällä emissioprosessin kesto ja määrä mahdollisimman pienenä. Kotieläinten lannan käsittelyyn tulee kiinnittää erityistä huomiota, sillä lannassa on paljon potentiaalisesti emittoituvaa tyyppiä. Eläinten valkuaisruokintaa kehittämällä voidaan etukäteen vaikuttaa lannasta vapautuvan dityppioksidin määrään.

Metaania vapautuu esimerkiksi kotieläinten ruuansulatuksessa ja lannan orgaanisten aineiden hajotessa anaerobisessa ympäristössä. Maasta metaania vapautuu, jos metaanin tuotanto ylittää hapettamisen. Hyvätuottoinen karja tuottaa maito- tai lihakiloa kohti laskettuna vähemmän metaania kuin heikottuottoinen. Lisääntymiseen tarvittavaa eläinmäärää ja niiden tuottaman metaanin määrää voidaan pienentää keinoilla, jotka tehostavat lisääntymistä. Lannasta vapautuva metaani tulisi hyödyntää energialähteenä tai metaanin muodostuminen tulisi estää pitämällä lanta aerobisissa oloissa.

**Avainsanat:** maatalous, ilmastonmuutos, kasvihuoneilmiö, päästöt, kemialliset yhdisteet, tyyppiyhdisteet, hiilidioksidi, kotieläimet, karjanlanta, ruokinta, dityppioksidi, metaani

**Toimintayksikkö** Maatalouden tutkimuskeskus, Kasvintuotannon tutkimus, Peltokasvit ja maaperä, 31600 Jokioinen

**ISSN**

1238-9935

**ISBN**

951-729-573-1



Tuloksia voi soveltaa luomuviljelyssä

**Myynti:** MTT tietopalveluyksikkö, 31600 JOKIOINEN

Puhelin (03) 4188 2327

Telekopio (03) 4188 2339

**Sivuja**

67 s.

**Hinta**