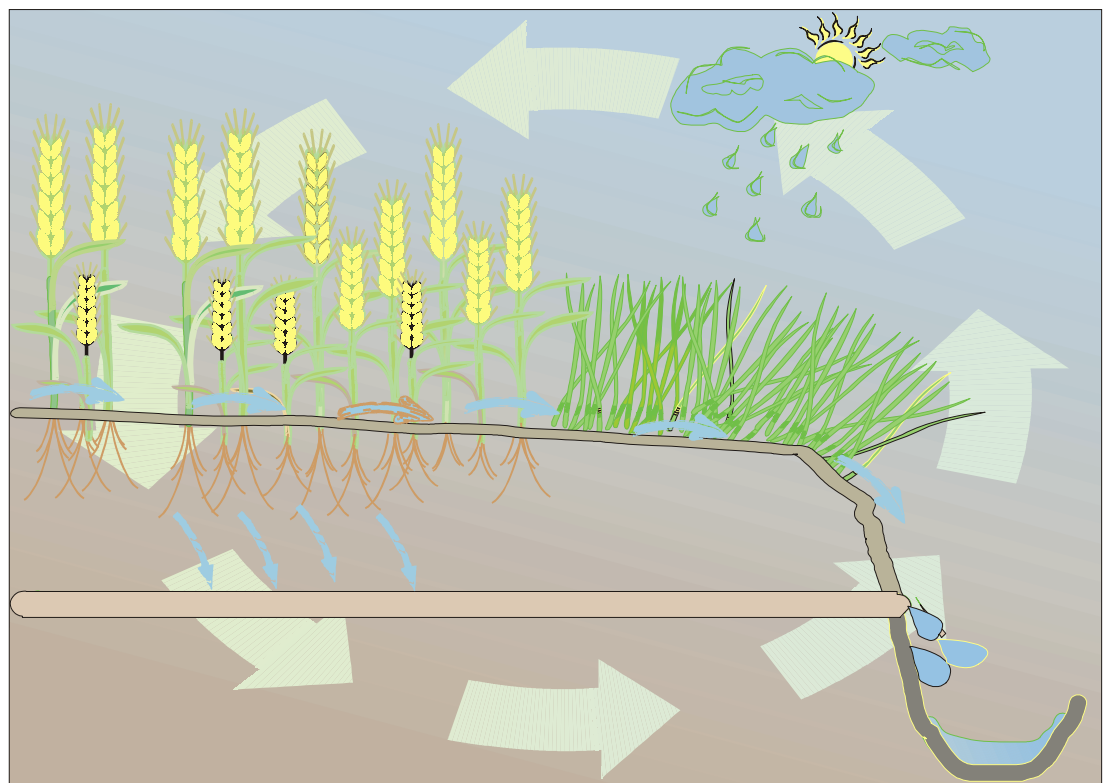


**Juha-Matti Katajajuuri, Torsti Loikkanen,
Katri Pahkala, Jaana Uusi-Kämppä, Pasi Voutilainen,
Sirpa Kurppa, Pirkko Laitinen, Hannu Mikkola,
Tapani Kivinen & Seppo Salo**

Ympäristöhallintaa tukevan tietopohjan kehittäminen osana maatilojen laatu järjestelmää Case: Rehuohran elinkaariarviointi



Ympäristöhallintaa tukevan tietopohjan kehittäminen osana maatilojen laatu järjestelmää Case: Rehuohran elinkaariarviointi

Juha-Matti Katajajuuri & Torsti Loikkanen

VTT Kemiantekniikka

Katri Pahkala, Jaana Uusi-Kämpä, Pasi Voutilainen,
Sirpa Kurppa, Pirkko Laitinen, Hannu Mikkola & Tapani Kivinen

Maatalouden tutkimuskeskus

Seppo Salo

Maaseutukeskusten Liitto



ISBN 951-38-5675-5 (nid.)

ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-5676-3 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/>)

Copyright © Valtion teknillinen tutkimuskeskus (VTT) 2000

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

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

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

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

VTT Kemianteeniikka, Ympäristöteeniikka, Biologinkuja 7, PL 1403, 02044 VTT
puh. vaihde (09) 4561, faksi (09) 456 7043

VTT Kemiteeniik, Miljöteeniik, Biologigränden 7, PB 1403, 02044 VTT
tel. växel (09) 4561, fax (09) 456 7043

VTT Chemical Technology, Environmental Technology,
Biologinkuja 7, P.O.Box 1403, FIN-02044 VTT, Finland
phone internat. + 358 9 4561, fax + 358 9 456 7043

Kansikuva: Kaarina Grék

Toimitus Kerttu Tirronen

Otamedia Oy, Espoo 2000

Katajajuuri, Juha-Matti, Loikkanen, Torsti, Pahkala, Katri, Uusi-Kämpä, Jaana, Voutilainen, Pasi, Kurppa, Sirpa, Laitinen, Pirkko, Mikkola, Hannu, Kivinen, Tapani & Salo, Seppo. Ympäristönhallintaa tukevan tietopohjan kehittäminen osana maatalojen laatujärjestelmää. Case: Rehuohran elinkaariarviointi [Developing data production on environmental impacts into the quality management of Finnish farms. Case: Life cycle assessment on barley production]. Espoo 2000. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2034. 134 s. + liitt. 4 s.

Avainsanat agriculture, barley, quality management, environmental impacts, data systems, LCA, nutrients, climatic change, global warming, acidification

Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää elinkaari metodologiaa soveltamalla ympäristöhallintaa tukevaa tietopohjaa osaksi maatalojen laatujärjestelmää. Integroitu laatu- ja ympäristöjärjestelmä palvelisi kotimaisen elintarviketuotannon liiketoimintaketjun kehittämistä ja takaisi laadultaan, terveellisyydeltään ja ympäristömyötäisyydeltään korkeatasoisten elintarvikkeiden tuottamista kuluttajille sekä edistäisi kotimaisen elintarviketuotannon kilpailukykyä.

Elinkaariarviointia ei ole paljonkaan sovellettu maataloustuotteiden ympäristökuormitusten ja -vaikutusten tutkimiseen, joten siihen liittyy useita erityiskysymyksiä ja kehittämistarpeita. Tutkimuksen pilottikohteena oli rehuohran tuotantoprosessi alkaen kynnöstä ja päätyen navettaan karjan rehuksi, ja se sisälsi myös mm. panostuotannon, pakkaukset ja kuljetukset. Viljatilat oletettiin sijaitsevan savimaa-alueella. Mahdolliset pohjavesikuormitukset rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle. Energiankulutuksen ja päästöjen ohella tarkasteltiin vaikutuksia ilmaston lämpenemiseen, rehevöitymiseen ja happamoitumiseen. Arvotusvaihetta ei näiden ympäristöongelmien kesken tehty.

Valittujen vaikutusluokkien osalta viljelymaasta aiheutuvat kuormitukset olivat suhteellisesti keskeisin ympäristökuormitusten ja -vaikutusten aiheuttaja rehuohran tuotantoketjussa. Huuhtoutumat dominoivat odotetusti rehevöittäviä vaikutuksia. Typpioksiduulipäästöt viljelymaasta sekä kalkin käytöstä vapautuva hiilidioksidi olivat keskeisiä ilmaston lämpenemispotentiaalin aiheuttajia. Näiden arviointiin liittyy kuitenkin epävarmuuksia. Myös lannoitteiden valmistus todettiin rehuohran elinkaaren kannalta keskeiseksi tekijäksi. Sen osuus primäärienergiakertymästä ja ilmaston lämpenemispotentiaalista oli suhteellisen suuri. Muita keskeisiä ympäristökuormitusten aiheuttajia olivat mm. viljan kuivaaminen ja työkoneiden käyttö. Viljelyn välitön energiankulutus oli lähes 50 % rehuohraketjun kokonaisenergiatarpeesta. Lannoitteiden valmistusketjujen osuus kokonaisenergian kulutuksesta oli yli 40 %. Energiaintensiivisten vaiheiden ohella lannoitteista haihtuva ammoniakki oli keskeinen happamoitumista aiheuttava lähde.

Parannustoimia kannattaisikin kohdentaa maatalouspanosten mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön, tavoitteena niiden optimointi. Energiankulutuksen vähentämismahdollisuuksia kannattaisi tarkastella erityisesti viljan kuivaamisessa. Lisäksi on paljon tekijöitä, kuten torjunta-aineiden käyttö ja viljelytoimien vaikutukset maisemaan ja biodiversiteettiin, joiden osuutta rehuohran tuotannon ympäristölaatuun on vaikea arvioida ja jotka vaatisivat jatkotutkimusta. Torjunta-aineista tehtiin alustava tehoainekohtainen arviointi siitä, kuinka paljon niitä päätyy luontoon, mutta tästä aiheutuvia ympäristövaikutuksia tutkimuksessa ei arvioitu. Biodiversiteettimuutosten integroimiseksi elinkaari-tutkimukseen hahmoteltiin vaihtoehtoisia lähestymistapoja.

Elinkaarimenetelmän kehittämisen ohella ja siihen liittyen on tarvetta tuottaa maatalouden tuote- ja olosuhdekohtaisempia päästötietoja sekä kehittää näihin liittyvää epävarmuuden arviointia ja hallintaa. Tuotettuja tietoja voidaan hyödyntää maatalojen ja elintarviketuotannon tuotteiden ja prosessien kehittämisessä sekä asiakasinformaationa. Pidemmän aikavälin tavoitteena on sisällyttää elinkaari pohjaisia tietoja myöhemmin kehitettävään kansalliseen laatutietopankkiin. Pilottiversio maatalojen tiedonhallinnan ohjelmistosovelluksesta kehitettiin jo tämän tutkimuksen yhteydessä.

Hankkeeseen osallistuvat ovat arvioineet, ettei elinkaari pohjaiselle lähestymistavalle ole vartenotettavaa metodologista vaihtoehtoa. Kehittämällä maatalous- ja elintarviketuotannon liiketoimintaketjujen laadun- ja ympäristöasioiden hallintaa systemaattisesti voidaan kilpailukykyä parantaa ja välttää lopputuotteiden arvoa heikentävät seikat. Saadun kokemuksen pohjalta elinkaari pohjaisten tietojen tuottamista laajennetaan elintarviketeollisuudessa.

Katajajuuri, Juha-Matti, Loikkanen, Torsti, Pahkala, Katri, Uusi-Kämpä, Jaana, Voutilainen, Pasi, Kurppa, Sirpa, Laitinen, Pirkko, Mikkola, Hannu, Kivinen, Tapani & Salo, Seppo. Ympäristönhallintaa tukevan tietopohjan kehittäminen osana maatalojen laatujärjestelmää. Case: Rehuohran elinkaariarviointi [Developing data production on environmental impacts into the quality management of Finnish farms. Case: Life cycle assessment on barley production]. Espoo 2000. Technical Research Centre of Finland, VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 2034. 134 p. + app. 4 p.

Keywords agriculture, barley, quality management, environmental impacts, data systems, LCA, nutrients, climatic change, global warming, acidification

Abstract

The goal of the study was to produce life cycle based environmental data to be integrated into quality management systems of Finnish farms. An integrated management system would support the development of the whole foodstuff production chain, and would promote the production of high-quality, healthy and environmentally friendly foodstuff products to consumers, and also the competitiveness of domestic foodstuff production.

As LCA has not previously been applied much for the assessment of agricultural products, several specific issues and development needs had to be dealt with. As a pilot case the production of feed barley, right from the ploughing in the field to the feeding table of cattle houses, was used. The study also included production of fertilisers and other inputs of barley production as well as their packaging and transportation. Arable land was assumed to situate in clay ground area. Ground water effects were excluded from the study. In addition to emission and primary energy calculations, global warming potential (GWP) and environmental impacts on eutrophication and acidification were assessed. Any valuation method was not applied.

According to the LCA results obtained within chosen impact categories, the environmental load from the arable land was the primary cause for environmental impacts in feed barley production. As expected, washouts dominated eutrophication impacts. Main sources of global warming potential were nitrous oxide emissions from agricultural soil and carbon dioxide emissions from the use of lime. However, there are uncertainties in those emission estimates. The production of fertilisers was also found to be an essential contributor. It's relative share of primary energy consumption and GWP was relatively high. Other important pollution sources are i.a. drying of grain and the use of agricultural machinery. The energy consumption in agricultural processes were almost 50% of the total energy consumption. Correspondingly, the share of the production of fertilisers

was over 40% of the total energy consumption. In addition to these energy intensive phases, ammonia volatilisation from fertilisers contributed essentially to acidification.

According to the above mentioned results, the main improvement options relate the optimisation of using agricultural inputs. The opportunities of decreasing the use of energy relate especially to drying of barley grains. Moreover, cultivation may affect many other environmental issues. The effects of using pesticides and changes in landscape and on biodiversity are difficult to estimate, and thus should be further studied. An estimation of the amount of active ingredients that will release to the nature from the use of pesticides, was done in the study, but consequent environmental impacts were not estimated. The possibilities of integrating changes of biodiversity into LCA were examined.

In addition and in relation to LCA methodology development, one of the main future research topic is the need to produce product and circumstance related emission data and to develop related uncertainty assessment within LCA context. Produced data can be used for product and process development in agricultural farms and foodstuff industry, and furthermore for improved customer information. In the long run, the aim is to transfer LCA based data on foodstuffs into a national quality databank which is under development. In this study a pilot software for LCA data management in farms was already developed.

The project partners have assessed that the LCA approach is the most systematic and comprehensive way of exploring environmental burden and impact data on products and processes. Consequently, the development of the quality and environmental management all through the foodstuff value chain systematically supports the improvement of competitiveness of Finnish agricultural and foodstuff production and elimination of unacceptable defects of final products. On a basis of achieved experiences, LCA data production will be extended in Finnish foodstuff industry.

Alkusanat

Esitutkimus *Ympäristöhallinnan ja sen tietojärjestelmän kehittäminen maatalojen laatu- ja tietojärjestelmän osaksi* ("Rehu-LCA") toteutettiin 1998–99 ympäristöklusterin tutkimusohjelman projektina. Projektin taustalla on tarve tuottaa maatalouden ja elintarviketeollisuuden tuotteista ja -prosesseista niiden laatuun ja ympäristönäkökohtiin liittyviä elinkaari pohjaisia tietoja, joita voidaan käyttää sekä tuotteiden ja prosessien kehittämisen tukena että asiakasinformaationa. Tavoitteena on viedä näitä tietoja sekä maataloille kehitettävään tiedonhallintajärjestelmään että myöhemmin kehitettävään kansalliseen tiedonhallintajärjestelmään. Elinkaari pohjaisen tiedon tuottamista pilotoitiin tutkimuksessa rehuohralla. Hanke on osa Suomen maatalouden laatu- ja tietojärjestelmä hanketta, jossa luodaan kauppaan ja teollisuuteen tuotteita toimittaville maataloille ISO 9002 ja ISO 14 001 -standardin mukainen laatu- ja tietojärjestelmä.

Tutkimuksen päärahoittajana toimi ympäristöministeriö. Lisäksi tutkimusta rahoittivat ja siihen tietoa tuottivat Maaseutukeskusten Liitto (MKL), Suomen Rehu Oy (Cultor Yhtiöt), Valio Oy, Broilertalo Oy, Kemira Agro Oy ja UPM-Kymmene Metsä. Tutkimuksen toteuttivat VTT Kemiantekniikan Ympäristötekniikan tutkimusalueeseen kuuluva Teollisuuden ympäristötalouden tutkimusryhmä hankkeen vastuuyksikkönä sekä Maatalouden tutkimuskeskuksen (MTT) luonnonvarojen, kasvintuotannon ja maatalousteknologian tutkimusyksiköt.

Tutkimuksen vastuullisina johtajina olivat erikoistutkija Torsti Loikkanen (VTT) ja professori Sirpa Kurppa (MTT) sekä projektipäällikköinä tutkijat Juha-Matti Katajajuuri (VTT) ja Pasi Voutilainen (MTT). Tutkimuksen johtoryhmään osallistuivat ylitarkastaja Heikki Latostenmaa ympäristöministeriöstä, laatujohtaja Pirjo Jokipii Maaseutukeskusten Liitosta, kehityspäällikkö Kari Kilttilä Suomen Rehu Oy:n edustajana, tutkimuspäällikkö Kari Larjava VTT Kemiantekniikasta, kehityspäällikkö Juha Nousiainen ja ympäristöpäällikkö Matti Pankakoski Valio Oy:sta, hankintapäällikkö Jari Mustonen ja Mari Laihonen Broilertalo Oy:stä sekä ryhmäpäällikkö Jari Peltonen Kemira Agro Oy:stä.

Tutkimuksen projektiryhmään osallistuivat laatu- ja tietojärjestelmä kehittäminen Seppo Salo Maaseutukeskusten liitosta, kehityspäälliköt Jaakko Helenius ja Kari Kilttilä Suomen Vilja Oy:stä (Cultor-Yhtiöt), kehityspäällikkö Juha Nousiainen Valio Oy:stä, Mari Laihonen Broilertalo Oy:stä, Stephan Vermeulen Kemira Agro Oy:stä ja ympäristöinsinööri Anna Ilomäki Kemira Engineering Oy:stä Kemira Agro Oy:n edustajana. Lisäksi useat henkilöt mainituista yrityksistä osallistuivat aktiivisesti hankkeessa tarvittavien tietojen keräämiseen, josta heille suuri kiitos! VTT Kemiantekniikasta hankkeeseen osallistuivat tutkija Juha-Matti Katajajuuri, erikoistutkija Torsti Loikkanen sekä tutkijat Mikko Hongisto ja Sirpa Torkkeli. Maatalouden tutkimuskeskuksen Luonnonvarojen tutkimusyksik-

köstä hankkeeseen osallistuivat tutkijat Jaana Uusi-Kämpä ja Pasi Voutilainen sekä professori Sirpa Kurppa, Kasvintuotannon tutkimusyksiköstä tutkijat Katri Pahkala ja Pirkko Laitinen sekä Maatalousteknologian tutkimusyksiköstä (Vakola) tutkijat Hannu Mikkola ja Tapani Kivinen. Lisäksi tutkimukseen toteuttamiseen ja kommentointiin osallistuivat useat tutkimuslaitosten edustajat. Heistä erityiskiitokset VTT:n Jaakko Kuismalle, Helena Mälkille ja Tarja Turkulaiselle sekä MTT:n Martti Esalalle, Kaarina Grékille, Reija Hietala-Koivulle, Ritva Mäkelä-Kurtolle ja Olli Rantaselle. Lukujen 1, 2, 3.3, 3.4, 4.4.3, 5.2, 5.3, 6 ja 8 valmistelusta vastasi VTT Kemiantekniikka. MTT vastasi luvuista 3.1, 3.2, 4 (paitsi kohta 4.4.3) ja 5.1. Maaseutukeskusten liitto vastasi luvusta 7 sekä osallistui lukujen 1 ja 3.3 kirjoittamiseen. Luku 3.3 sisältää myös osallistuvien yritysten laatimat aiheita konkretisoivat tiiviit tapauskuvaukset, caset. Raportti on viime kädessä hyvän synteesin ja lämpimän yhteistyön tulos, jonka eteen kaikki osapuolet ovat työskennelleet aktiivisesti.

Tekijät, joulukuu 1999.

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ.....	3
ABSTRACT	5
ALKUSANAT.....	7
LYHENNELUETTELO	12
1. TUTKIMUKSEN TAUSTA JA TAVOITTEET.....	13
2. YMPÄRISTÖHALLINNAN YLEISET KEHITYSTRENDIT	16
2.1 Itseohjauksen merkitys ympäristönsuojelussa.....	16
2.2 Ympäristöhallinnan merkitys laadunhallinnassa.....	18
2.3 Ympäristöhallinnan menetelmät ja elinkaariarviointi	19
2.4 Elinkaariarvioinnin pääpiirteet	20
3. ELINTARVIKETUOTANNON KEHITYS JA YMPÄRISTÖNSUOJELU.....	23
3.1 Maatalouden ja elintarviketuotannon kehitysnäkymät.....	24
3.2 Ympäristövaatimusten kehitysnäkymät maataloudessa	25
3.3 Ympäristöhallinta maatalouden laadunhallinnan osana	27
3.3.1 Case: Suomen Rehu	28
3.3.2 Case: Valiomaito	29
3.4 Maatalous, elintarviketuotanto ja elinkaariarviointi.....	30
4. MAATALOUDEN KESKEISIÄ YMPÄRISTÖNÄKÖKOHTIA.....	32
4.1 Ravinnekierto ja vesistöjen rehevöityminen	32
4.1.1 Maatalous vesistöjen kuormittajana – lannoitteiden käyttö.....	33
4.1.2 Maatalouden fosfori- ja typpikuormituksen suuruus	35
4.1.3 Vesi- ja ravinnetaseet.....	36
4.1.4 Peltoviljelyn ravinnekuormitus.....	38
4.1.5 Kasvin lannoitetyypen otto	39
4.2 Ilmastonmuutos	41
4.3 Happamoitumiseen vaikuttavat päästöt.....	44
4.4 Maisema ja biodiversiteetti	45
4.4.1 Maisema.....	45
4.4.2 Hiilitase.....	46
4.4.3 Biodiversiteetti.....	46
4.5 Kasvinsuojelu ja ympäristökuormitukset	51
4.5.1 Torjunta-aineiden käyttö.....	52
4.5.2 Torjunta-aineiden kulkeutuminen ja käyttäytyminen ympäristössä.....	53

4.5.3	Torjunta-aineiden hajoaminen maaperässä.....	54
4.5.4	Torjunta-aineiden kulkeutuminen maaperässä	55
4.5.5	Muokkauksen vaikutus torjunta-aineiden kulkeutumiseen	56
4.5.6	Huuhtoutumiskenttätutkimuksia.....	57
4.6	Otsonin muodostuminen.....	58
4.7	Ekotoksisuus.....	58
4.8	Viljelijöiden terveysvaarat	60
5. TAPAUSTUTKIMUS: REHUOHRAN TUOTANTOPROSESSIN		
ELINKAARIARVIOINTI.....		
5.1	Rehuohran tuotanto	62
5.1.1	Rehuohran tuotanto Suomessa.....	62
5.1.2	Tapaustutkimuksessa tarkasteltavan ohrtilan määrittely	62
5.1.3	Rehuohran tuotannon yksikköprosessit	63
5.2	Tavoitteen ja soveltamisalan määrittely	67
5.2.1	Tavoitteet	67
5.2.2	Soveltamisala.....	67
5.2.3	Tiedon keruun periaatteita ja lähteitä	70
5.2.3.1	Biologinen kasvintuotanto	70
5.2.3.2	Maatalousprosessit.....	71
5.2.3.3	Maatalouspanosten valmistus, käyttö ja käytöstä aiheutuvat ympäristökuormitukset	72
5.2.3.4	Tuotantohyödykkeiden valmistus.....	79
5.2.3.5	Energianhankinta ja -tuotanto.....	80
5.3	Tulokset ja niiden tulkinta.....	80
5.3.1	Inventaarioanalyysi.....	81
5.3.1.1	Viljelyn välitön energiankulutus.....	81
5.3.1.2	Rehuohran tuotannon elinkaari.....	83
5.3.2	Vaikutusarviointi	91
5.3.2.1	Rehevöityminen.....	92
5.3.2.2	Ilmaston lämpeneminen.....	95
5.3.2.3	Happamoituminen.....	97
5.3.2.4	Muut vaikutusluokat, normalisointi ja painottaminen.....	98
5.3.3	Yhteenvedo ja jatkotutkimusaiheita	99
6. ELINKAARIARVIOINNIN SOVELTAMISEEN MAATALOUDESSA		
LIITTYVIÄ ERITYISPIIRTEITÄ SEKÄ KEHITYSTARPEITA.....		
6.1	Toiminnallinen yksikkö.....	102
6.2	Panos-tuotosajattelu maataloudessa	103
6.3	Tiedon keruu ja lähteet	104
6.4	Paikka- ja olosuhderiippuvuus	106
6.5	Maatalous ympäristöhaittojen vastaanottajana.....	107

6.6	Biodiversiteetti ja maisema	107
6.7	Tarkastelun laajentaminen ihmiseen?.....	107
6.8	Epävarmuuksien hallinta	108
7.	TIETOJÄRJESTELMÄN JA PILOTTIOHJELMISTON KEHITTÄMINEN	109
7.1	Kehittämisen tavoitteet	109
7.2	Kehittämisen periaatteet	110
7.3	Tekninen toteutus	111
7.4	LCA-pilottiohjelmistosta saadut kokemukset ja kehittämistarpeet.....	112
8.	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	115
8.1	Tausta ja tavoitteet.....	115
8.2	Yleiset tulokset	115
8.3	Rehuohran tuotannon elinkaariarvioinnin tulokset	117
8.4	Tietojärjestelmän kehittäminen	118
8.5	Jatkosuunnitelma	119
	LÄHDELUETTELO	121
	LIITTEET	
	Inventaarioanalyysin tulokset	A1
	Vaikutusarvioinnissa käytetyt kertoimet	B1
	Kehitetyn LCA-pilottiohjelmiston käyttöliittymäikkuna	C1

Lyhenneluettelo

ABC	toimintokustannuslaskenta (Activity Based Costing)
APME	Euroopan muovituottajien järjestö (Association of Plastics Manufacturers in Europe)
BAT	paras käyttökelpoinen tekniikka (Best Available Technique)
BS	brittiläinen standardi (British Standard)
CBA	kustannushyötyanalyysi (Cost Benefit Analysis)
CEA	kustannustehokkuustarkastelu (Cost Effectiveness Analysis)
CEFIC	Euroopan kemianteollisuuden järjestö (European Chemical Industry Council)
EAA	Euroopan alumiinituottajien järjestö (European Aluminium Association)
EFMA	Euroopan lannoitetuottajien järjestö (European Fertilizer Manufacturers' Association)
EMAS	ympäristöasioiden hallinta- ja auditointijärjestelmä (Eco-Management and Auditing Scheme), alkujaan tarkoitettu teollisuusyrityksille, mutta vuoden 2000 alusta suunnattu myös muille organisaatioille
EIA	ympäristövaikutusten arviointi (Environmental Impact Assessment)
EMS	ympäristöjärjestelmä (Environmental Management System)
EPIs	ympäristöindikaattorit (Environmental Performance Indicators)
ERA	ympäristöriskien arviointi (Environmental Risk Assessment)
FADN	Euroopan yhteisön maatalouden kirjanpidon tietoverkosto (Farm Accountancy Data Network)
IDEA	IIASA:n ja VTT:n kehittämä tietokanta- ja laskentaohjelmisto (An International Database for Ecoprofile Analysis)
IISI	kansainvälinen terästeollisuuden järjestö (International Iron and Steel Institute)
IPCC	Hallitustenvälinen ilmastopaneeli (Intergovernmental Panel on Climate Change)
ISO	kansainvälinen standardisointiorganisaatio (International Organisation for Standardisation)
LCA	elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment), aiemmin elinkaarianalyysi (Life Cycle Analysis)
SETAC	ympäristötoksikologian ja -kemian järjestö (Society of Environmental Toxicology and Chemistry)
TCA	kokonaiskustannusten arviointi (Total Cost Assessment)
TQM	laatujohtaminen (Total Quality Management)

1. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Ympäristövaikutusten hallinnassa on elintarviketeollisuudessa ja maataloudessa tehty joiltakin osin jo paljon työtä sekä vapaaehtoisesti että viranomaismääräysten perusteella. Kokonaiskuva ympäristövaikutuksista sekä näihin perustuvista ympäristöasioiden hallinnan tarpeista maataloustuotannon ja elintarviketeollisuuden liiketoimintaketjussa on kuitenkin vielä monilta osin puutteellinen. Erityisesti tämä koskee tietoja elintarvikkeiden valmistuksen elinkaaren eri vaiheista. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli alustavan kokonais kuvan luominen näistä seikoista jatkotoimien suunnittelua ja toteuttamista varten. Painopisteenä oli elinkaari pohjaisen tiedon tuottaminen elintarvikeketjun alkupäässä maataloilla sekä siihen liittyvä tiedonhallinta. Hankkeessa myös arvioitiin elinkaariarviointimenetelmän soveltuvuutta ylipäätään maataloustuotantoon. Tutkimuksen yleisinä tavoitteina oli myötävaikuttaa elintarvikeketjun laadun- ja ympäristöhallintaan ja edistää siten kotimaisen maatalouden ja elintarviketuotannon kilpailukykyä sekä laadultaan ja ympäristömyötäisyydeltään korkeatasoisten elintarvikkeiden tuottamista kuluttajille.

Ympäristöasioiden ja laatuajattelun kytkeminen maatalojen tuotantoon edellyttää tutkimusta ja suunnittelua. Meneillään olevassa Suomen maatalouden kansallisessa laatuhankeessa (ks. esim. Jokipii & Niemelä 1997) tarkastellaan elintarviketuotannon ja kulutuksen koko ketjua, alkutuotantoa maataloilla eri vaiheineen ja tuotantosuuntineen, kuljetusta jalostettavaksi, teollista jalostustoimintaa, pakkaamista ja muuta jatkokäsittelyä, varastointivaiheita, tukkukauppaa (myös vientiä), vähittäiskauppaa, kulutusta, elintarvikejätteiden muodostumista, jätteiden hyötykäyttöä sekä kaatopaikkakäsittelyä. Tavoitteena on, että koko ketju olisi laatu- ja ympäristötiedoiltaan läpinäkyvä. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin ketjun alkupäätä, kauppaan ja teollisuuteen tuotteita toimittavien maatalojen ympäristöhallintaa. Hankkeessa keskityttiin maatalouden ympäristökuormitusta sekä sen suhteen parannusta ja kehittämistä ajatellen olennaisimpiin kysymyksiin. Kokonaiskuva maatalojen tuotteiden ja tuotantoprosessien ympäristökuormituksesta ja erityisesti ympäristövaikutuksista on monilta osin puutteellinen. Erityisesti tämä koskee tietämystä elinkaaren aikaisista ympäristökuormituksista, jotka olivat tämän tutkimuksen painopistealueena.

Maatalouden kansallisen laatuhankeksen yhtenä tavoitteena on kehittää maatilakohtaiset tietokannat vuorovaikutteisiksi valtakunnallisen laatatietokannan kanssa. Tämän tutkimuksen konkreettisenä tavoitteena oli tuottaa tähän maatilakohtaiseen tietokantaan tärkeitä elinkaariarviointiin pohjautuvia taustatietoja. Näitä voidaan hyödyntää ensinnäkin maataloilla investointien tai esimerkiksi eri tuotantosuuntia koskevien vaihtoehtojen kannattavuuden ja ympäristömyötäisyyden vertailussa sekä tuotannon menetelmien, järjestelmien, tekniikoiden jne. laadun ja ympäristömyötäisyyden kehittämisessä ja parantamisessa. Toisaalta nämä tiedot ovat olennaista informaatiota maataloustuotteita

jalostaville yrityksille elintarvikeketjun eri vaiheissa, loppukuluttajille, viranomaisille ja muille sidosryhmille.

Tutkimuksen ensisijaisina tarkastelukohteina olivat maataloustuotteet ja -prosessit. Näiden ympäristövaikutukset vaihtelevat tilojen erikoistumissuuntien – esimerkiksi viljan- ja rehuntuotanto, maidontuotanto, lihantuotanto, metsätalous – mukaisesti. Eri tuotantosuunnissa on yhtäältä geneerisiä piirteitä ja toimintoja (maan muokkaustekniikat, lannoitteiden käyttö, traktoreiden ja muiden maatalouskoneiden käyttö) ja toisaalta poikkeavia piirteitä ja toimintoja (sähkö- ja energiaintensiivisyys, säilytyksen ja varastoinnin järjestäminen tiloilla, kuljetusmuodot jatkojalostukseen jne.). Erilainen tilakoko ja sijainti asettavat tarkasteluille erityisvaatimuksiaan. Nämä kaikki seikat aiheuttavat eroja ympäristöhallinnan ja elinkaariarvioinnin tarpeisiin, kohdentamiseen, tuloksiin sekä siten myös eri maatalouden tuotantosuuntien kestävä kehityksen ehtoihin.

Elinkaariarvioinnin käytännön pilotointikohteena oli rehuviljan (ohra) tuotantoprosessi. Pilottitutkimuksessa etsittiin vaihtoehtoisia tietolähteitä vertailtaviksi ja pyritään löytämään luotettavimmat ja käyttökelpoisimmat tietolähteet sekä tälle tapaustutkimukselle että myös tutkimustyön jatkolle. Tavoitteena oli tunnistaa keskeisiä ongelmia niin tiedon keruun kuin elinkaariarviointimenetelmän soveltamisessa maatalouteen. Pilottitarkastelu kattaa rehuohran tuotantovaiheet maan kynnöstä navettaan karjan rehuksi päättymiseen asti sekä ketjuun liittyvän panostuotannon. Saatavan kokemuksen pohjalta tarkastelu laajennetaan myöhemmässä vaiheessa Suomen maatalouden muiden tuotantosuuntien prosesseihin (muu viljantuotanto, maidontuotanto, lihantuotanto, broilerin- tuotanto, jne.) sekä koko elintarviketeollisuuden kattavan elinkaaritiedon tuottamiseen.

Tutkimus toteutettiin osana Suomen maatalouden laatujärjestelmähanketta, jonka tavoitteena on luoda kauppaan ja teollisuuteen tuotteita toimittaville maataloille ISO¹ 9002 -standardin mukainen laatujärjestelmä (TQM²). Maaseutukeskusten Liitto aloitti 1994 Laadulla menestykseen -neuvontateeman, jonka tavoitteena oli laatuajattelun ja laatujärjestelmien käyttöönotto maatalojen ja maaseutuyritysten työvälineinä. Hankkeen alussa toteutettujen pilottihankkeiden perusteella oli nähtävissä, että laatutyö mahdollisimman laajasti toteutettuna tukee suomalaisten elintarvikkeiden menestymistä kovenevassa kilpailussa. Samaan aikaan 1995 oli aloitettu laajamittainen työ ympäristöohjelmien laatimiseksi maataloille. Tarve syntyi Suomen liityttyä Euroopan yhteisöön, jolloin tilakohtaisten tukien ehdoksi oli asetettu maatilalle laadittu ympäristöohjelma.

¹ International Organisation for Standardisation

² Total Quality Management

Laadulla menestykseen -teemalle nimettiin 1996 koko tuotantoketjun kattava johtoryhmä, jonka vuonna 1997 korvasi maa- ja metsätalousministeriön nimittämä elintarvikkeiden kansallinen laatujohtoryhmä. Sen tehtäväksi annettiin (1) elintarvikkeiden laatuun perustuvan kansallisen kilpailustrategian johtaminen, (2) laatuohjelman sisällön ja laatuavoitteiden valmistelu sekä (3) niiden yhteensovittaminen laatuun perustuvaan vientistrategiaan. Ympäristölaadusta laadittiin vuonna 1998 maa- ja metsätalousministeriön johdolla selvitys, jonka tuottama tarkennettu käsitteistö ja tavoitteen asettelu liitetään laatustrategiaan.

Kansallisen strategian tavoitteena on, että vuoden 2006 syksyllä koko tuotantoketju toimii kokonaisuena laatu- ja turvallisuusketjuna ja kaikilla ketjuun kuuluvilla osapuolilla on laatu- ja turvallisuusjärjestelmät. Strategian mukaan turvallisten ja korkealaatuisten elintarvikkeiden tuottamisen lähtökohtina ovat kuluttajien tarpeet, kannattavuus ja kilpailukyky sekä ihmisten, eläinten ja luonnon kunnioittaminen. Tuotantoketjulle on määritelty seuraavat arvot: asiakkaan tyytyväisyys, kannattavuus, kestävän kehityksen mukainen toiminta ja toiminnan eettisyys. Ympäristölaadusta strategia toteaa, että Suomen elintarviketuotannon tavoitteena on tuottaa elintarvikkeita kestävän kehityksen periaatteiden mukaisesti. Maatilojen osalta strategia merkitsee, että kaikille maatiloille, jotka tuottavat tuotteita kaupalle tai teollisuudelle, rakennetaan toimivat laatu- ja turvallisuusjärjestelmät vuoteen 2006 mennessä.

Suomen maatalouden laatu- ja turvallisuusjärjestelmähanke sekä kansallinen strategia ja tahtotila antavat tälle tutkimukselle vaativat lähtökohdat. Tutkimus jatkotoimineen täydentää kansallista laatu- ja turvallisuusjärjestelmän kehittämistä ulottamalla tarkastelun elintarvikkeiden ja -prosessien elinkaari- ja ympäristövaikutusten tietojen tuottamiseen lopullisena tavoitteenaan yhä kestävämmät kotimaiset kuluttajavalmiut ja niiden myötä tuotannon ympäristösuorituskyvyn jatkuva parantaminen.

Yhteydet muuhun alan tutkimukseen

Hanke koordinoitiin ympäristöklusterihankkeen 'Tavanomaisen ja luonnonmukaisen maataloustuotannon elinkaariset ympäristövaikutukset ja niiden merkitys kuluttajien valinnalle' kanssa näille hankkeille muodostetun yhteisen johtoryhmän välityksellä. Lisäksi hankkeiden välillä pidettiin yhteinen seminaari, johon osallistuivat hankkeiden tutkijat sekä rahoittajat.

2. Ympäristöhallinnan yleiset kehitystrendit

2.1 Itseohjauksen merkitys ympäristönsuojelussa

Suomessa, kuten muissakin kehittyneissä teollisuusmaissa, ympäristökysymykset on vähitellen tiedostettu yhdeksi taloudellisen toiminnan olennaiseksi reunaehdoksi. Yhteiskunnan ohjaus on aiempina vuosikymmeninä toiminut tärkeänä ympäristönsuojelun moottorina ja sillä on roolinsa jatkossakin. Sen ohella ja sen sijastakin suuntaus on tulevaisuudessa kuitenkin kasvavasti yritysten ja kuluttajien oma-aloitteisessa ympäristöhallinnassa. Tällöin ympäristönsuojelua toteutetaan erilaisten sidos- ja intressiryhmien asenteiden ja niiden muutosten mukaisesti ja edistetään oma-aloitteista ohjausta viranomaisohjauksenkin avulla. Näin ympäristöseikoista on muodostumassa kilpailutekijä.

Ympäristökysymykset ohjaavat yhtenä osatekijänä yritysten osakkaiden, alihankkijoiden, kuluttajien ja muiden sidosryhmien toimintaa. Eri sidosryhmät edellyttänevät vastedes kasvavasti, että kunkin yrityksen, tuotantopanosten ja kulutukseen tarkoitettujen hyödykkeiden kilpailukyky ympäristökysymyksissä kyetään osoittamaan läpinäkyvästi vertailuja ja valintoja varten. Siten ympäristökysymykset voivat vaikuttaa välittömästi kilpailukykyyn.

Konkreettisissa ympäristönsuojelutoimissa kiinnitetään kasvavasti huomiota tuotteisiin, tuotanto- ja tuotejärjestelmiin, palveluihin sekä niitä käyttävien kuluttajien käyttäytymiseen, tottumuksiin ja niiden muuttamiseen. Vähitellen on ymmärretty ja hyväksytty, että tuotteet valmistusprosesseineen, erilaisten energianmuotojen käyttö, palvelujen tuottaminen ja muut taloudelliset aktiviteetit voidaan saattaa ekologisesti kestävämmälle pohjalle vain tarkastelemalla ja vertailemalla kattavasti tuottamisvaihtoehtojen elinkaarien ympäristökuormituksia ja -vaikutuksia.

Ympäristömyötäisen toiminnan kehittämiseen vaikuttavat yhtäaikaisesti monet tekijät. Kuluttajien ja muiden intressitahojen sekä sidosryhmien asenteiden muuttuminen ympäristömyötäiseen suuntaan on keskeinen edistävä muutosvoima. Tämä koskee yritysten johtoa ja henkilöstöä, omistajia, sijoittajia, alihankkijoita, kilpailijoita, tuotteiden ostajia, kuluttajia ja kuluttajaryhmiä, kotitalouksia sekä viranomaisia. Oma vaikutuksensa kehitykseen on myös ympäristönsuojelua tärkeänä pitävillä kansalaisliikkeillä.

Tiedotusvälineet heijastavat linjauksissaan tapahtuneita asennemuutoksia, joihin ne toisaalta myös itse vaikuttavat. Laatu- ja ympäristöstandardit antavat yhdenmukaisia ja suositeltavia kehyksiä, toimintatapoja, malleja, muistilistoja ja muuta systematiikkaa ympäristöhallinnalle. Mitä harmonisoidumpaan ja standardoidumpaan suuntaan kuljetaan, sitä paremmin yritykset sekä niiden intressiryhmät voivat benchmarking-tyyppisesti verrata keskinäistä suorituskykyään erilaisissa ympäristökysymyksissä ja

sitä läpinäkyvämmiin nämi seikat ovat osoitettavissa ja raportoitavissa eri sidosryhmille ja suurelle yleisölle.

Ympäristönsuojelu kulkee yleensä käsi kädessä tuotantopanoksia säästävien sekä tuotantoa ja tuottavuutta parantavien toimien ja innovaatioiden kanssa (energiaa ja raaka-aineita säästävä teknologia). Tästä syystä ympäristökysymysten ja teknisen innovaatio-toiminnan integroiminen toisiinsa sisältää runsaasti kilpailukyvyn kehittämistä koskevia mahdollisuuksia.

Ympäristöongelmien syntyä, taustaa ja monimutkaisia kausaalisuhteita koskevan tieteellisen tiedon ja ymmärryksen kasvu on vakuuttanut yhä laajemmat piirit siitä, että kysymyksessä ovat todelliset ongelmat. Yhä paremmat, tieteellisesti perustellut taustatiedot luovat pohjan yhä tehokkaammalle ympäristönsuojelulle sekä paikallisesti (mm. Itämeren leväongelmat) että globaalisti (mm. kasvihuonekaasujen vaikutus ilmastonmuutokseen).

Ympäristökysymyksillä on esimerkiksi ympäristöonnettomuuksien yhteydessä huomattava välitönkin taloudellinen merkityksensä. Ennallistamis- yms. korvaukset saattavat nousta hyvinkin korkeiksi ja joidenkin tapahtuneiden onnettomuuksien yhteydessä yrityksen imagon heikkenemisen lisäksi sen osakkeiden arvo on alentunut merkittävästi. Tällaiset kouriintuntuvat esimerkit toimivat osaltaan taloudellisista menetyksistä varoittavina esimerkkeinä ja voivat jouduttaa ennaltaehkäiseviä suojelutoimia.

Kuluttajien, yritysten osakkeenomistajien ja muiden erilaisten sidosryhmien asenteiden muutokset eivät koske vain ympäristökysymyksiä, vaan laajemminkin tuotantotoiminnan ja kulutuksen eettisiä periaatteita, esimerkiksi lapsityövoiman käyttöä. Paitsi ympäristöasioiden mukaan, yritysten osakkeiden arvoja "reitataan" nykyisin kasvavasti myös eettisten periaatteiden mukaan. Eettisiä investointirahastoja toimii jo Yhdysvalloissa ja Isossa-Britanniassa ja eettistä reittoausta tekevät siihen erikoistuneet yritykset. Vaikka alueen kehitysnäkymiä tulevaisuudessa on vaikea ennustaa, sen merkityksen vähittäinen kasvu näyttää ilmeiseltä, ja siihen tulisi siten valmistautua.

Lisäksi kiinnostus ympäristöasioiden hoitoon ei rajoitu esimerkiksi vain yritykseen, jonka osakkeisiin sijoittaja harkitsee sijoittavansa tai yritykseen, jonka tuotteita kuluttaja harkitsee ostavansa. Ympäristövastuu nähdään tätä laajempaan kattaen yrityksen tuotantoprosessin lisäksi sen energia- ja raaka-ainepanoksia koskevan alihankinnan sekä tuotteen käytön ja käytöstä poiston ympäristövaikutukset. Näin ollen ympäristövastuu kattaa yrityksen tuotteiden ja tuotannon koko elinkaaren. Tulevaisuudessa koko ketju on hallittava yhä paremmin koko elinkaaren osalta. Siksi elinkaariajattelu ja elinkaariarviointi menetelmänä ovat nousseet tärkeiksi seikoiksi ympäristöasioihin perustuvan kil-

pailukyvyn arvioimisessa. Tuotteen arvoon saattavat siis vaikuttaa monet muutkin kuin itse tuotteen ominaisuudet.

2.2 Ympäristöhallinnan merkitys laadunhallinnassa

Ympäristöhallinnan kehitys on erityisesti kuluvan vuosikymmenen aikana nivoutunut yhä läheisemmin laadunhallinnan kehittämiseen. Nykyaikaisen laadunhallinnan juuret ovat Japanin teollisuudessa 1950-luvun alkupuolella, jolloin maan yritykset kehittivät laatutoimintaa yhdysvaltalaisen konsulttien (Deming, Juran) avulla. Osittain systemaattisen laatutoiminnan, osittain muiden johtamiseen ja organisaatioihin liittyvien tuotantotehokkuutta parantavien toimien takia japanilaisyritysten kansainvälinen kilpailukyky nousi länsimaiden tasolle ja niiden ohi. Tämän siivittämänä yritykset myös Yhdysvalloissa ja Euroopassa lähtivät kehittämään laatutoimintaansa erityisesti 1980-luvulta lähtien.

Laatutoiminnan perustana olivat aluksi kansalliset laatustandardit (esimerkiksi Ison-Britannian BS³-järjestelmä). Vähitellen laatutoiminnan periaatteita ja sovelluksia alettiin kehittää kansainvälisenä yhteistyönä ISO-järjestelmän puitteissa ja yritysten laadunhallintaa kehitettiin siinä harmonisoitujen periaatteiden mukaisesti.

Laatujärjestelmät ja -standardit kuten ISO 9000 keskittyvät tuotantoprosessien ja tuotteiden (kuten paperi, autot, ym.) laadun varmistukseen, ja myös palvelutoimintaan on kehitetty omat standardisovellutuksensa. Ympäristöasioiden merkityksen kasvettua 1980-luvun loppupuolella ja 1990-luvun alkupuolella kokonaislaadunhallintaa alettiin täydentää ympäristöhallintaa koskevilla standardeilla. Ympäristöhallinta on ollut mukana mm. laatupalkintokriteereissä.

Ympäristöhallintaa koskevien standardien kehittäminen perustui aluksi BS-järjestelmään. Euroopan unionin piirissä kehitettiin EMAS⁴-ympäristöjärjestelmää ja kansainvälistä ISO-järjestelmää alettiin täydentää ympäristöhallintaa koskevalla ISO 14000 -sarjalla. Yritykset ovat vähitellen luoneet laatujärjestelmiensä rinnalle erilliset ympäristöjärjestelmät tai sitten integroineet laatu- ja ympäristöasioiden hallinnan yhdeksi laadunhallinnan kokonaisuudeksi. Vastedes ympäristökilpailukyvyn varmistamiseksi ja jaettuun ympäristövastuuseen perustuvien velvoitteiden suorittamiseksi on

³ British Standard

⁴ Eco-Management and Auditing Scheme

välttämätöntä, että elinkaariarviointi sisällytetään yritysten kokonaislaadunhallinnan osaksi.

2.3 Ympäristöhallinnan menetelmät ja elinkaariarviointi

Yrityksen ympäristöpolitiikka muodostuu ympäristöjohtamisesta ja kaikkien erilaisten ympäristönsuojelutoimien ja sitä tukevien menetelmien ja menettelytapojen soveltamisesta. Ympäristöhallinnan merkityksen kasvun myötä parannetaan ja kehitetään ympäristöhallinnan johtamista, organisointia, menettelytapoja, tietoperustaa sekä ympäristöhallinnan menetelmiä. Riittävä tietopohja ja kehittyneet työkalut ovat välttämättömiä niin ympäristöhallinnan kuin siihen perustuvan kilpailukyvyn kehittämisessä. Ympäristöhallinnan menettely- ja johtamistapoja sekä niitä tukevia päätöksenteon tukimenetelmiä on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Ympäristöhallinnan menettely- ja johtamistapoja sekä näitä tukevia päätöksenteon tukimenetelmiä (Loikkanen et al. 1999).

Ympäristöhallinnan menettely- ja johtamistapoja	Ympäristöhallintaa ja -johtamista tukevia päätöksenteon tukimenetelmiä
Ympäristöjohtaminen ja -politiikka	Ympäristövaikutusten arviointi, EIA (Environmental Impact Assessment)
Ympäristöjärjestelmä, EMS (Environmental Management System)	Elinkaariarviointi, LCA (Life Cycle Assessment)
Ympäristöauditointi	Ympäristöriskien arviointi, ERA (Environmental Risk Assessment)
Ympäristöraportointi	Ympäristölaskentatoimi
Ympäristömerkintä	Kokonaiskustannusten arviointi, TCA (Total Cost Assessment)
Jaettu tai laaja ympäristövastuu (Product Stewardship)	Kustannushyöty- ja -tehokkuustarkastelut, CBA, CEA (Cost Benefit/Effectiveness Analysis)
Ekotehokkuus (Eco-Efficiency)	Ympäristöindikaattorit, EPIs (Environmental Performance Indicators)
Ympäristöä koskeva suorituskyky (Environmental performance)	

Yritysten ohella ympäristöhallintaa tukevia menettely-, organisointi- ja johtamistapoja ja -menetelmiä voivat hyödyntää myös ympäristöhallinto, kuluttajajärjestöt ja muut intressiryhmät. Ympäristöhallinnan menetelmiä tukevia apuvälineitä on nykyisin saatavissa runsaasti valmiina ohjelmistopaketteina. Lähtötiedot on kuitenkin useimmiten kerättävä tapauskohtaisesti. Ympäristöhallinnan menetelmien keskeisiä kehittämiskohteita

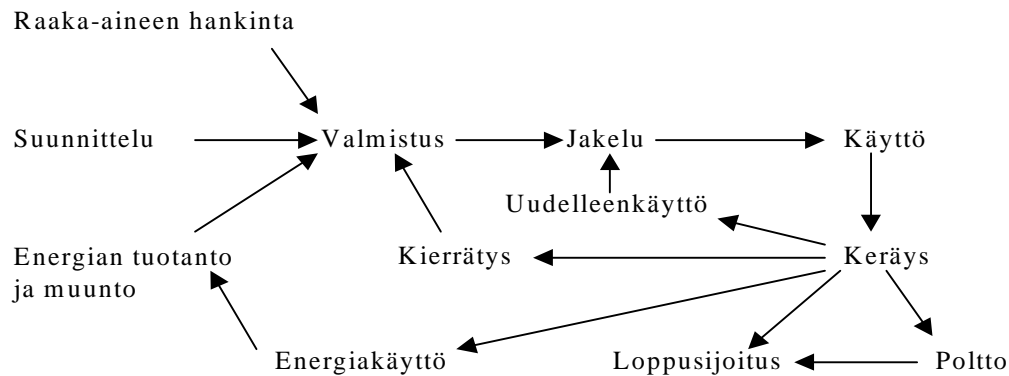
ovat mm. monipuolisten kustannustarkastelujen kehittäminen, päästöjä ja ympäristövai-
kutuksia koskevan tietopohjan parantaminen sekä ympäristöjohtamista ja muuta ympä-
ristöhallintaa palvelevien, ympäristökysymyksiin liittyvää suorituskykyä kuvaavien
indikaattoreiden kehittäminen.

Elinkaariajattelulla ja elinkaariarvioinnilla on olennainen rooli ympäristöjohtamisessa
sekä sitä tukevissa ympäristöhallinnan menetelmissä. Ympäristöjohtamisen synonyymi-
nä voidaan käyttää myös elinkaarijohtamista (esim. Niskala & Mätäsaho 1996). Toi-
saalta elinkaariarviointi on yksi yrityksen keskeisiä ympäristöhallinnan menetelmiä.

2.4 Elinkaariarvioinnin pääpiirteet

Elinkaariarviointi (Life Cycle Assessment, LCA⁵) on kokonaisvaltainen menetelmä
tuotteen tai toiminnon koko elinkaaren aikaisten ympäristökuormitusten ja niiden vai-
kutusten selvittämistä ja arviointia varten. Elinkaariarviointia on Suomessa toistaiseksi
sovellettu lähinnä teollisuusprosessien ja niiden tuotteiden arviointiin. LCA:n nykytilaa
ja kehittämistarpeita Suomessa on tarkasteltu Loikkasen et al. (1999) toimesta.

Tuotteen elinkaari voidaan jakaa mm. kuvassa 1 esitettyihin vaiheisiin, raaka-aineen
hankinta ja prosessointi, suunnittelu, energian tuotanto ja siirto, tuotteen valmistus, ja-
kelu, käyttö, uudelleenkäyttö ja huolto, kierrätys tai muu hyödyntäminen ja lopullinen
hävitys sekä näihin kuuluvat kuljetukset.



Kuva 1. Tuotteen elinkaari.

Elinkaariarviointi tapahtuu määrittämällä energian kulutus, käytetyt luonnonvarat ja
raaka-aineet, aiheutuneet päästöt (maahan, veteen ja ilmaan) sekä muut ympäristöräsi-

⁵ aiemmin käytettiin termiä Life Cycle Analysis, myös LCA

tukset ja arvioimalla näiden vaikutuksia ympäristöön. Elinkaariarviointi käsittää nyky-metodologian mukaisesti pääsääntöisesti neljä vaihetta (SFS-EN ISO 14040 1997):

- (i) Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely (Definition of goal and scope), jossa määritellään mm. selvityksen tavoitteet ja aiottu soveltamiskohde, selvityksen kohteena oleva tuotejärjestelmä ja siihen liittyvät rajaukset sekä toiminnallinen yksikkö.
- (ii) Inventaarioanalyysi (Life cycle inventory analysis), jossa määritellään tuotejärjestelmään kuuluvat ympäristökuormitukset, eli kaikki syötteet (esim. käytetyt luonnonvarat) ja tuotokset (esim. ilma- ja vesipäästöt) toiminnallista yksikköä kohden. Tuotejärjestelmä tarkentuu inventaarioanalyysiä tehtäessä ja muodostuu kaikista materiaalisesti, energeettisesti ja logistisesti toisiinsa kytkeytyvistä toiminnoista, yksikköprosesseista, jotka tarvitaan tuottamaan määrätty tuote tai palvelu.
- (iii) Vaikutusarviointi (Life cycle impact assessment), jossa päämääränä on arvioida potentiaalisia ympäristövaikutuksia inventaarioanalyysin tulosten perusteella. Useimmiten ympäristökuormitukset jaetaan ympäristövaikutusluokkiin (luokittelu), minkä jälkeen arvioidaan, mikä on kunkin kuormituksen osuus ko. vaikutusluokassa (luonnehdinta). Nämä vaikutukset voidaan suhteuttaa jonkin laajemman alueen vastaaviin vaikutuksiin, jolloin saadaan käsitys siitä, missä vaikutusluokissa tarkasteltu kohde aiheuttaa suurimmat suhteelliset vaikutukset (normalisointi). Eri vaikutusluokkia voidaan mahdollisesti vielä arvottaa suhteessa toisiinsa (painotus), jolloin niiden keskinäistä merkitystä pyritään arvioimaan.
- (iv) Tulosten tulkinta (Life cycle interpretation), jossa inventaarioanalyysin ja vaikutusarvioinnin tuloksia arvioidaan ja tarkastellaan asetettujen tavoitteiden ja soveltamisalan mukaisesti.

Elinkaariarviointi on kuitenkin hyvin tapauskohtainen ja iteratiivinen prosessi, jonka käytännön suorittamiseksi ei löydy yksiselitteisiä ohjeita. Aiemmin elinkaariarviointimetodologiaan (ks. esim. Consoli et al. 1993) kuului myös parannusarviointi (Improvement Assessment), joka nykyisin sisältyy käytännössä tulosten tulkintavaiheeseen, jossa esitetään päätöksentekijöille johtopäätöksiä ja mahdollisia suosituksia, kuten missä prosessin tai elinkaaren osassa tarvittaisiin parannustoimia.

Elinkaariarvioinnin tärkeimpänä vaiheena voidaan pitää tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyä, koska siinä annetaan ne keskeiset puitteet ja periaatteet, joiden mukaan arviointi suoritetaan. Inventaarioanalyysiin liittyvä tiedonhankinta on menetelmän työ-

län vaihe, mutta selvitysten mahdollistamiseksi on olemassa joitain yleisesti hyväksytyjä, julkisia inventaariotietoja. Tällä hetkellä näihin kahteen ensimmäiseen vaiheeseen liittyvät tehtävät ja niissä noudatettavat periaatteet on standardoitu (SFS-EN ISO 14040 1997 ja SFS-EN ISO 14041 1998) ja hyväksytty useissa elinkaaritutkimusyhteisöissä. Siitä huolimatta näihin vaiheisiin sisältyy lukuisia valintoja, jotka tekijä joutuu tekemään ja joihin ei ole olemassa yksiselitteisiä vastauksia mainituissa standardeissakaan. Myös vaikutusarvioinnin osalta ISO:n standardisointityö on jo melko pitkällä.

Analysointia varten järjestelmästä muodostettava malli on kuitenkin käytännössä aina todellista esikuvaansa yksinkertaisempi. Yksinkertaistuksia joudutaan tekemään monella tasolla ja monissa kohdin järjestelmää. Tämän vuoksi niiden seuraaminen ja vaikutusten arvioiminen lopputuloksen kannalta on usein hyvin vaikeata. Tämä tuottaa ongelmia erityisesti vertailevien tutkimusten tuloksia sovellettaessa. Selkeät ja tasapuolisesti vertailtavia järjestelmiä kohtelevat mallinnusperiaatteet ovat elinkaaritutkimuksen hyväksyttävyyden keskeinen ehto.

Vaikutusten arvioinnissa ei vielä juurikaan ole yleisesti hyväksytyjä menetelmiä ja menettelymalleja. Pohjoismaisessa LCA-suosituksessa (Lindfors et al. 1995) esitellään yleisesti tunnettuja menetelmiä. Ongelmana on mm. yhdenmukaisten vaikutusarviointimenetelmien kehittäminen moninaisille ympäristövaikutuksille. Lisäksi alueelliset erot vaikuttavat vaikutusarviointiprosessiin. Arvotus on elinkaariarvioinnin subjektiivisin vaihe, joskin arvioinnin joka vaiheen suorittaminen edellyttää tiettyjä valintoja, joten subjektiivisuutta on mahdotonta sulkea pois. Ympäristövaikutuksia tutkitaan tosiasiallisina, biologisina, fysikaalisina ja kemiallisina prosesseina eikä niitä voida yhteismitalistaa arvottamatta. Vaikutusten arvo puolestaan riippuu itse vaikutuksen lisäksi arvioijan arvostuksista, jotka ovat muuttuvia aikakauden ilmiöitä. Näin ollen kaikki ympäristövaikutusten merkittävyyttä ja koskevat päätelmät ja päätökset sisältävät enemmän tai vähemmän arvostuksenvaraisia seikkoja. Tutkimus ja menetelmäkehitys on tällä alueella kuitenkin vilkasta. Suomessakin on vuoden 1998 aikana muodostettu elinkaariarviointia toteuttavien keskuudessa epävirallinen foorumi suomalaista vaikutusarviointikeskustelua varten.

3. Elintarviketuotannon kehitys ja ympäristönsuojelu

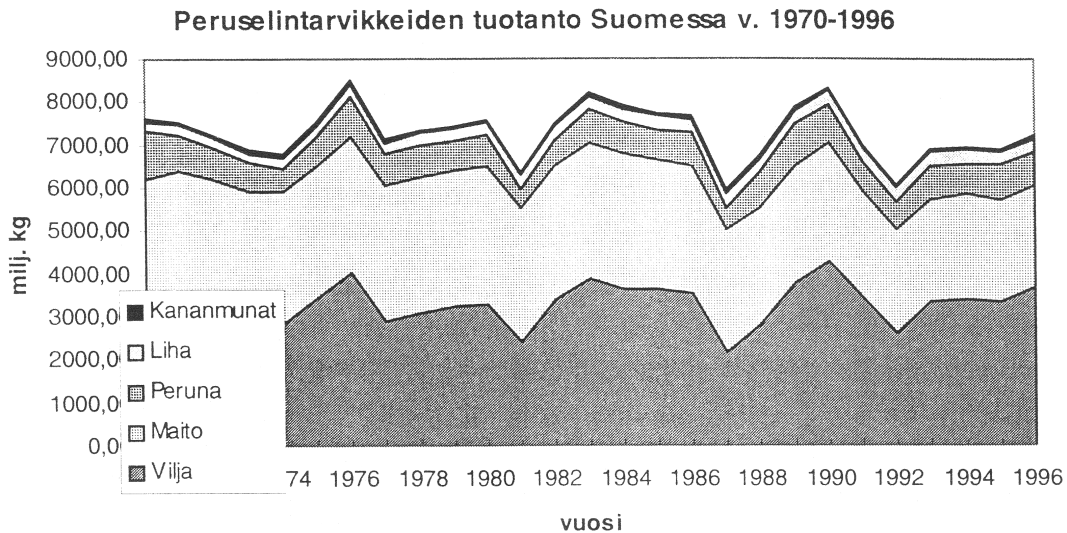
Suomessa elintarviketuotannon tausta on pienissä perheviljelmissä, joiden tuotantorakenne oli varsin monipuolinen, ja huomattava osa tuotteista kulutettiin suoraan viljelijäperheessä. Tuotannon rakenne alkoi kehittyä voimakkaasti 1960–70-luvuilla, jolloin maatalous koneistettiin ja eri tuotantosuuntien voimakas alueellinen keskittyminen ja erikoistuminen alkoivat. EU:n ja varsinkin Agenda 2000:n (eli komission esitykset unionin laajenemisesta, maatalous- ja rakennepolitiikan uudistamisen peruslinjoista sekä keskipitkän aikavälin rahoituskehityksestä) myötä saattaa syntyä vielä huomattava uusi keskittymisaalto, jos viherrehupohjaisesta maidontuotannosta siirrytään väkirehupohjaiseen intensiivituotantoon. Tämä olisi rakenteellisesti hyvin suuri muutos, joka löisi vahvan leimansa Euroopan maaseutuvaltaisimman maan maisemaan.

Maatalouden ympäristökysymyksistä torjunta-aineiden käyttö tuli ensimmäisenä kriittisen tarkastelun kohteeksi 1960-luvun lopulla. Kyseessä on globaali ongelma, johon Suomessakin puututaan lainsäädännöllisin menetelmin. Teollisuuden vähennettyä vesistökuormitustaan maatalouteen liittyvä eroosio ja ravinnekuormitus alkoivat korostua. Tätä tilannetta on pyritty hallitsemaan ensisijaisesti tukitoimin, mutta myös tiukentuvien määräyksin ja tavoiteohjelmin. Vallitsevana on kuitenkin ollut luonnonsuojelullinen näkökulma, jossa luonnon arvo ja taloudellisten riskien arvo ovat olleet vastakkain. Tästä esimerkkinä voidaan pitää luonnonmukaista eli luomutuotantoa, jonka tuotantoala on kasvanut suhteellisen nopeasti viime aikoina. Vuonna 1999 luomutuotantoa oli 135 500 ha eli 6,3 % kokonaistuotantoalasta (Kasvintuotannon tarkastuskeskus 1999a). Tähän mennessä teollisuudesta ympäristön kautta maatalouteen kohdistuneet saastehaitat ovat olleet vähäisiä tai ainakin kohtuullisen alueellisia.

Maatilan tuotantoa on perinteisesti tarkasteltu tilakokonaisuutena olipa kyse tuotantotaloudesta tai ympäristökysymyksistä. Myös ympäristötukeen liittyviä suunnitelmia toteutettiin, ja laatu järjestelmiä on rakennettu tilakohtaisina. Toisaalta maatalouden ympäristövaikutuksia on pyritty rajoittamaan kansallisin ja alueellisin määräyksin, esimerkiksi mm. nitraattiherkät alueet. Ympäristönsuojelu on pääosin liitetty vesistöjen ja maaseudun suojeluun sekä kestäväan kehitykseen. Vasta aivan viime vuosina, maataloustuotteiden alkuperätietokantojen kehittämisen käynnistyttyä, ympäristöön liittyvät asiat on voitu sitoa tuotantoketjuun, ja tämä on avaamassa mahdollisuuksia kytkeä ympäristötekijät myös lopputuotteisiin. Samanaikaisesti avautuu uusi näkökulma maatalouden ympäristövaikutusten täsmällisempään määrittämiseen, haittojen kohdistettuun poistoon ja myös ympäristöön liittyvien toimien taloudellisten vaikutusten arviointiin tuotantoketjussa.

3.1 Maatalouden ja elintarviketuotannon kehitysnäkymät

Elintarvikkeet ovat ihmiselle asumisen yms. seikkojen ohella keskeisiä välttämättömyyshyödykkeitä. Kuvassa 2 on esitetty kotimaisten peruselintarvikkeiden tuotantomäärät vuosilta 1975–1996.



Kuva 2. Kotimaisten peruselintarvikkeiden tuotantomäärät vuosilta 1975–1996.

Keskeisiä maataloustuotannon toimintaympäristössä tapahtuneita muutoksia ovat maatalousmarkkinoiden ja elintarvikekaupan kansainvälistyminen sekä niiden vaikutukset alan rakenteeseen ja kilpailutilanteen kehitykseen.

Kuluttajien arvoissa ja asenteissa tapahtuvat muutokset ohjaavat kehitystä. Ympäristökysymysten kasvava merkitys kuluttajien ja eri sidosryhmien arvoissa ja asenteissa vaikuttaa yhtenä osatekijänä kasvavasti tuotantoon. Vastedes suuri yleisö edellyttäne maataloilta ja muilta elintarviketuotantoketjun yrityksiltä aktiivista ja läpinäkyvää ympäristöpolitiikkaa. Sen seurauksena ympäristöhallinnasta on tulossa elintarvikkeiden tuotantoketjussa toimiville yrityksille tärkeä kilpailutekijä. Mitä nopeammin yritykset selvittävät ympäristövaikutuksensa sekä kehittävät ja tekevät tunnetuksi ympäristöhallintatoimensa, sitä paremman kilpailuedun ne saavat kilpailijoihinsa nähden.

Suomalaisella elintarviketuotannolla on sellaisia vahvuuksia, jotka voivat luoda perustan kansallisesti ja kansainvälisesti yhä kilpailukykyisemmälle toiminnalle. Esimerkiksi Professori Hannu Saloniemen pitämän esitelmän (1999) mukaan ”Suomalaiset kotieläimet ja niiden tuotteista valmistetut elintarvikkeet ovat osoittautuneet erinomaisen riskittömiksi ja ihmisten terveyden kannalta turvallisiksi.” Kotimaisen elintarviketuotannon vahvuudet halutaan säilyttää ja niitä halutaan edelleen vahvistaa määrätietoisella

laatutyöllä, johon on asianmukaisesti integroitu maatalouden kestävän kehityksen turvaavat periaatteet.

3.2 Ympäristövaatimusten kehitysnäkymät maataloudessa

Sekä EU:n että Suomen maatalouspolitiikka on aiemmin kehittynyt ilman merkittävää ympäristönsuojelun ja -hallinnan näkökulmaa. Maatalouden ympäristönäkökohdat on vasta viime vuosina pystytty jossain määrin integroimaan yleiseen maatalouspolitiikkaan. Ympäristönsuojelun hallinnollinen ohjaus maatalouden kohdalla kehittynee Suomessa tältä osin jatkossakin. Ympäristö ja kestävä kehitys ovat nousseet keskeiseen asemaan EU:n politiikassa, ja ympäristöstä halutaan yksi peruspilari koko maaseutupolitiikalle. Uusituissa Euroopan yhteisön ja unionin perussopimuksissa (ns. Amsterdamin sopimuksissa) kestävä kehitys otetaan yhdeksi päätavoitteeksi, ja sillä on täten vaikutuksensa myös maatalouteen ja sen kehittämistarpeisiin. Ympäristökysymysten saamaan laajaan huomioon vaikuttavat maataloustuotannon, energian kulutuksen, liikenteen ja teollisuuden tuotannon kasvun myötä lisääntyvät ympäristökuormitukset ja -vaikutukset. Ympäristöasiat tulisi ottaa huomioon kaikessa maatalouteenkin liittyvässä toiminnassa.

Agenda 2000:n ympäristö- ja laatumääräyksillä vaikutetaan suoraan niin ympäristön kuin elintarvikkeidenkin laatuun. Agenda 2000 vaikuttaa erilaisiin maataloustukea koskeviin ehtoihin, jotka ovat tulevaisuudessakin maataloudelle tärkeitä reunaehtoja. Maataloutta ohjaavia tukia ovat esimerkiksi maatalouden ympäristötuki (vuosille 2000–2006 laadittu ohjelma luovutettiin maa- ja metsätalousministerille 28.5.1999 ja on mennyt EU:n hyväksyttäväksi syksyllä 1999) ja luonnonhaittakorvaus, joita voidaan käyttää tulonmenetysten kattamiseen ja toiminnan ohjaukseen. Ympäristötuen tarkoituksena on korvata tuotantoympäristön suojelemiseen tai kunnostamiseen liittyviä toimia tai korvata ympäristön suojelusta aiheutuvia tulonmenetyksiä. Tuesta korkeintaan 20 % voi olla toiminnan kannustinta. Ympäristöhaasteisiin vastaaminen edellyttää kuitenkin ympäristöpolitiikkaan liittyvän yhteisen säännösten ja sen valvonnan parempaa täytäntöönpanoa. Yksittäisiä tavoitteita ovat EU:n tasolla esimerkiksi torjunta-aineiden käytön tarkempi seuranta ja siihen perustuen niiden käytön merkittävä vähentäminen.

Maatalouden ympäristövaatimukset heijastuvat paitsi Euroopan unionin mutta myös kotimaisten säädösten ja tavoitteiden kautta. Valtioneuvosto on antanut 19.3.1998 periaatepäätöksen vesiensuojelun tavoitteista. Maatalouden osalta tavoitteena on vuoteen 2005 mennessä vähentää fosfori- ja typpikuormitusta, kumpaakin 50 % vuoden 1990–1993 tasosta. Tavoitteiden toteutuessa fosforikuormituksen taso olisi 1650 t/v ja typpi-kuormituksen osalta 16 500 t/v (Ympäristöministeriö & Tilastokeskus 1997).

Tiukentuvat vaatimukset asettavat haasteita maatalouden ympäristökuormitusten tutkimustyölle sekä erityisesti tuotannon kehitystyölle ja tuottajien koulutukselle. Tähän mennessä on kiinnitetty erityistä huomiota maatalouden ravinnepäästöihin, jotka pääsevät pelloilta veden ja eroosioaineksen mukana vesistöihin. Tulevaisuudessa yhä suurempi huomio kiinnitetään ilmapäästöihin, esim. typpioksiduuliin ja luonnon monimuotoisuuteen (biodiversiteettiin) kohdistuviin vaikutuksiin. Myös pohjavesialueiden suojelu ravinteilta, torjunta-aineilta ja levätoksiineilta tulee entistä tärkeämmäksi.

Kuten edellä kuvattiin, vapaaehtoinen itsesääntely ympäristöasioissa on kasvanut. Sen avulla voidaan monissa tapauksissa päästä joustaviin ja kustannustehokkaisiin ratkaisuihin. Sidosryhmät vaativat tuotteilta koko elinkaaren kattavia tarkasteluja mukaan lukien kustannukset. "Aiheuttaja maksaa" -periaate on edelleen ympäristönsuojelun kustannusten jaon keskeinen pääperiaate, jolla pyritään ohjaamaan tuotantoa ja kulutusta mahdollisimman pitkälle ympäristöressurssien niukkuutta vastaavasti. Aiheuttajan vastuun selvittäminen ei ole kuitenkaan aina yksiselitteistä.

Tulevaisuudessa elintarvikkeiden tuotantoketjut täytyy todentaa mahdollisimman aukottomasti luotettavin menettelyin tuotantoympäristön valvonnan lisäksi. Luomujärjestelmälle kehitetyt toimintatavat saattavat yleistyä varsinaisen luomutuotannon ulkopuolellakin. Tuotteille tehtäen ympäristöselosteet asiakkaiden vaatimuksesta. Kansanterveyslaitoksen kansallisen ympäristöterveysohjelman tavoitteena on taata muun muassa merkintäjärjestelmän avulla kuluttajien mahdollisuudet saada riittävät tiedot elintarvikkeiden turvallisuudesta ja laadusta ottamalla huomioon tuotteen koko elinkaari. Kuluttajilla tulee olla saatavilla tietoa siten, että he voivat itse arvioida elintarvikkeiden turvallisuutta ja terveellisyyttä. Kuluttajien käsityksiä ympäristöystävällisten elintarvikkeiden laadusta ja arvoista on tutkinut mm. Tiilikainen (1998). Erityisen konkreettinen ja kriittinen tilanne tuotteisiin liittyvästä tiedon tarpeesta on esimerkiksi allergioita sairastavilla ihmisillä. Sekä yrityksiin että kuluttajiin suuntautuva informaatio-ohjauksen merkitys nousee esiin myös esimerkiksi ympäristöjärjestelmien sekä muiden vapaaehtoisten toimien ja sopimusten myötä.

Mainitut pyrkimykset ja tavoitteet eivät lähde kuitenkaan ainoastaan ympäristöasioista, vaan maatalouden tulisi pyrkiä lähentymään kohti kestävää tasapainoa, jossa maatalouden toiminnot, sen tehokkuus ja taloudellisuus sekä luonnonvarojen käyttö ja muut ympäristöasiat olisivat tasapainossa toistensa suhteen. Vaatimukset ja vapaaehtoiset toimet täydentävät tässäkin toisiaan ja maatalouden sekä maaseudun kestävä kehityksen seurantaan on laadittu oma kansallinen mittaristonsa (ks. Maa- ja metsätalousministeriö 1999).

3.3 Ympäristöhallinta maatalouden laadunhallinnan osana

Suomalainen vilja on tutkimuksin todettu puhtaaksi ja suomalaisten elintarvikkeiden laatua pidetään kansainvälisesti hyvänä (Isosaari 1997). Maatalouden laatujärjestelmien tulisi toimia vakuutuksina siitä, että eläinten hyvä terveys ja viljan puhtaus säilyvät myös tulevaisuudessa (Isosaari 1997). Suomen maatalouden laadunhallintaa on alettu kehittää määrätietoisesti.

Kansalliseksi tavoitteeksi on asetettu läpinäkyvä tuotantoketju, joka toimii kokonaisena vuoteen 2006 mennessä. Ketjussa tehtävän laatutyön pohjana on kokonaisvaltainen laadunhallinta. Syntyvät hallintajärjestelmät ovat todennettavissa mm. ISO-standardeilla. Maatiloilla työ on aloitettu laatujärjestelmien rakentamisella. Laatujärjestelmien osaksi on liitetty aikaisemmin tiloille laaditut ympäristöohjelmat. Tavoitteena on laajentaa laatujärjestelmiä ja integroida niihin ympäristö- ja turvallisuusjärjestelmät. Luomuviljelyjärjestelmässä on sekä laatu- että ympäristöjärjestelmän piirteitä (ks. esim. Kasvintuotannon tarkastuskeskus 1999b).

Maaseutukeskusten Liitto on kehittänyt maatiloille prosessipohjaisen mallin laatujärjestelmien rakentamista varten. Mallin avulla laatutyö on saatu helpommaksi ja hallittavammaksi. Valmiista mallista on laadittu myös tietokoneohjelma, Thema TQM, jonka avulla rakennus- ja ylläpitotyö on nopeampaa ja tehokkaampaa. Thema TQM sisältää mahdollisuuden rakentaa laatu-, ympäristö- ja turvallisuusjärjestelmät. Ohjelmiston avulla rakennettuja laatu- ja ympäristöjärjestelmiä on sertifioitu, jotta on voitu osoittaa niiden vastaavan kansainvälisten standardien vaatimuksia.

Maatilojen laatutyössä kuvataan tuotantoprosesseja. Prosessikuvausten perusteella syntyi ajatus liittää elinkaaritarkastelu maatilojen työkaluksi ja samalla osaksi ympäristöjärjestelmää. Tavoitteena on siirtää aikaisemmin asiantuntijoiden suorittaman elinkaariarviointityön tulokset tietokantaan, jota voidaan hyödyntää erillisen yritysten ja maatilojen käyttöön tarkoitetun tuotantoprosessien kuvausohjelman avulla. Erityisenä tavoitteena on helppokäyttöisen tietokoneavusteisen työkalun rakentaminen maatilojen tuotantoprosessien ympäristövaikutusten tunnistamiseen ja toiminnan kehittämiseen.

Suomalaisille elintarvikkeille halutaan kehittää kotimaisen tuotannon vahvuuksiin perustuvaa lisäarvoa. Käytännössä rakenteilla onkin elintarvikealan yhteinen laatupankki. Sen tarkoitus on kertoa suomalaisen elintarviketuotannon vahvuuksista ja yhdistää tuotannon historia- ja alkuperätiedot. Tietoja voidaan käyttää hyödyksi haluttaessa selvittää tuotteen alkuperää ja tuotantotapaa. Elinkaaritiedot tulevat olemaan olennainen osa laatupankkiin kerättäviä tuotantotietoja. Tavoitteena on yhdistää koko tuotantoketjun elinkaaritiedot ja tarkastella tuotteiden ympäristökuormituksia koko elinkaaren mittaisesti.

Maatalouden laadunhallinnan kehittäminen on alkanut erityisesti elintarviketeollisuuden sopimusviljelmiltä. Elintarviketeollisuudelle laatu- ja ympäristökysymykset tuotteen alkupäässä ovat osa kilpailukykyä. Siten ympäristövastuu on tälläkin alalla yksittäistä yritystä (tuottajatasoa) laajempi kattaen yrityksen tuotantoprosessin lisäksi sen energia- ja raaka-ainepanoksia koskevan alihankinnan sekä tuotteen käytön ja käytöstä poiston ympäristövaikutukset. Toisin sanoen ympäristövastuu kattaa yrityksen tuotteiden ja tuotannon koko elinkaaren. Koko arvo- ja elinkaariaketjun on oltava kunnossa sekä laadun että ympäristöhallinnan osalta. Tästä syystä elinkaariajattelu ja elinkaariarviointi menetelmänä ovat nousemassa tärkeiksi seikoiksi ympäristöasioihin perustuvan kilpailuvyyn arvioimisessa ja kehittämisessä myös maataloudessa.

3.3.1 Case: Suomen Rehu

Suomen Rehussa laatu- ja ympäristöjärjestelmät ovat osa jokapäiväistä toimintaa elintarviketuotannon arvoverkossa. Toiminnan lähtökohtana on asiakkaan menestyminen ja yhteistyökumppaneiden kanssa solmitut laatusopimukset. Ympäristön suojeleminen kulkee rinnakkain laatukriteerien kanssa. Seuraavassa kuvatut viljantuotannon kehitysprojektin tavoitteet on kirjattu käytännön kehitystoimintana ja osana raaka-aineen hankintaa Suomen Rehun laatu- ja ympäristöjärjestelmiin.

Suomen Rehun ja Maaseutukeskusten Liiton yhteinen viljantuotannon kehitysprojekti liittyy merkittävänä osana maatilojen viljantuotannon laatu- ja ympäristöjärjestelmien rakentamiseen. Tutkimuksessa mukana olevalta noin 400 tilalta kerättävä viljelypäiväkirjamateriaali antaa luotettavaa käytännön viljelytietoa toteutettujen viljelytoimien vaikutuksista sadon määrään ja laatuun. Samalla saadaan arvokasta tietoa viljelyyn käytettyjen tuotantopanosten käytön tehokkuudesta ja ravinteiden hyötysuhteesta. Viljelyn ympäristövaikutuksiin vaikuttavista tekijöistä voidaan materiaalin perusteella laskea lohko-kohtaisia typen ja fosforin ravinnetaseita.

Viljaprojektin toiminta ei perustu vain tilojen toiminnan seuraamiseen vaan tavoitteena on aktiivisesti kehittää viljantuotantoa ja kasvukauden seurantaan käytettäviä mitta- ja havaintomenetelmiä, jolloin tuotantopanosten käyttöä voidaan tarkentaa kasvukauden aikana. Projektin puitteissa on testattu Suomen Rehun kehittämää ISO-VILJA[®]-teknologian mukaista viljelyn seurantamenetelmää. Menetelmän mukaan kasvukauden aikana viljakasvustoja seurataan aktiivisesti, tehdään fyto- ja lämpösummakertymään perustuva lohko-kohtainen satoennuste, määritetään kasvuston typpi-tilanne lehtivihreämittauksella, havainnoidaan kasvuston tauti- ja tuholais-tilanne ja tehdään havaintojen ja mittauksien perusteella suositus suositeltavista viljelytoimista ottaen huomioon tavoiteltava sadon laatu ja toimien taloudellinen kannattavuus. Syksyllä sadonkorjuun ja sadon laadun analysoinnin jälkeen lasketaan lohko-kohtaiset ravinnetaset

typen ja fosforin osalta eli katsotaan kuinka paljon annetuista ravinteista oli sitoutunut kasvukauden aikana jyväsatoon ja olkiin ja paljonko ravinteista jäi mahdollisesti käyttämättä peltoon. Laskennan jälkeen tilalla tehdään suunnitelma seuraavan vuoden viljelyä varten, jossa edelliskesän kokemukset otetaan huomioon.

Esimerkkinä ravinnetaseista typen hyväksikäyttöastetta on laskettu tutkimustiloilla vuosina 1996–1998. Tulosten mukaan tutkimustiloilla annetusta typpilannoituksesta ohra-kasvusto on pystynyt sitomaan keskimäärin 78–88 %. Vastaavina vuosina koko maan ohran viljelyssä kasvustot pystyivät hyödyntämään keskimäärin 57–66 % annetusta typpilannoituksesta. Taloudellisesti tämä merkitsee sitä, että tutkimustiloilla lannoitekustannus oli keskimäärin 13–17 p/tuotettu viljakilo, kun se ohranviljelyssä keskimäärin oli vastaavina vuosina 17–25 p/tuotettu viljakilo.

ISO-VILJA[®] -teknologian mukaan syksyn viljasadosta analysoidaan perinteisten laatu-tekijöiden ohella ohran tärkkelyspitoisuus sekä ajantasaisella otantamenetelmällä viljan raskasmetalli- ja torjunta-ainejäämiä sekä hygieeninen laatu (haitallisia bakteereja, homeet sekä hometoksiinipitoisuuksia). Tehtailla tunnetaan joka hetki käytettävän viljaraaka-aineen laatu, jolloin rehunvalmistusprosessia voidaan jatkuvasti optimoida raaka-aineiden laadun mukaan.

Viljaprojektista saatuja tuloksia hyödynnetään viljantuotannon laatuopetuksessa viljelyn tilakohtaisessa kehittämisessä, erilaisissa viljaliikkeiden järjestämissä viljelijätilaisuuksissa ja taustamateriaalina neuvonnan ja hallinnon käytössä arvoverkko-toimintamallin mukaisesti.

3.3.2 Case: Valiomaito

Valiomaidon laatu järjestelmä alkaa maitotilalta ja jatkuu katkeamattomana kaupan hyllylle. Laatu ketjun joka vaihe (maidontuotanto - keräily - jalostus - myynti) on ohjeistettu laatu käsikirjoissa. Laatu järjestelmien perustana ovat ISO 9001/9002 -standardit. Standardin mukaisuuteen ei ole kuitenkaan pyritty kaikissa ketjun vaiheissa, vaan standardit on hyödynnetty soveltuvin osin. Sen sijaan jalostavalla teollisuudella on kattavat, sertifioitavat laatu- ja ympäristö järjestelmät.

Jokaiselle maidontuottajalle on jaettu Maidon laatu käsikirja, josta löytyvät maidon tuotannon valiolaiset periaatteet ja perusohjeet. Ohjeiston lähtökohtana on tuottaa mahdollisimman hyvälaatuista raakamaitoa jalostavan teollisuuden tarpeisiin. Myös ympäristönäkökohdat on huomioitu ohjeissa. Tuottaja sitoutuu laatu käsikirjan ohjeiston noudattamiseen solmiessaan laatusopimuksen osuuskunnan kanssa. Eri osuuskunnissa laatuso-

pimuksen on solminut 50–99 % tuottajista. Sopimustilojen auditoinnit aloitetaan kuluvana vuonna.

Osuuskunnat järjestävät tuottajilleen laatukoulutusta, joka on tärkeä osa valiolaisten laatuketjun vahvistamista. Tuottajien erilaiset lähtökohdat ja resurssit huomioivan ”Maitotilan kehitysportaiden” perusideana on, että tuottajat voivat kehittää omaa tilaansa omien kykyjensä ja resurssiensa mukaan. Laatukoulutuksessa käydään läpi erityisesti maidon laatukäsikirjan ohjeistoa ja sen soveltamista tilatasolla. Toinen painopistealue on eläinten terveydenhuolto, jota viedään läpi erityisinä projekteina. Tähän mennessä yli 1 000 valiolaista maidontuottajaa on osallistunut 5–10-päiväisiin laatukoulutuksiin ja tämän vuoden aikana koulutukset alkavat ja jatkuvat entistä useammassa osuuskunnassa.

Tunnustuksena hyvästä panostuksesta laatuun, eläinten hyvinvointiin ja tilan ympäristöön, maitotila voi saada erityiset kriteerit täytettyään VALIO Maitotila -opasteen.

3.4 Maatalous, elintarviketuotanto ja elinkaariarviointi

Tulevaisuudessa on tavoitteena integroida ympäristöasiat osaksi maatalouden kokonaisvaltaista laatuajattelua. Tämä on tärkeää myös maataloustuotteita jalostavalle teollisuudelle, joiden asiakkaat edellyttävät kasvavasti alkutuotteiden ympäristömyötäisyyden osoittamista. Laatujärjestelmiä ja ympäristöhallintaa koskevien standardien soveltamisessa ja kehittämisessä maataloudessa ja koko elintarvikeketjussa on syytä olla muihin nähden etujassa kilpailukyvyä varmistamiseksi. Koetellut menetelmät ja menettelytavat parantavat mahdollisuuksia vaikuttaa myös tulevien standardien muotoutumiseen.

Koska elinkaariarviointi on alun perin kehitetty ensisijaisesti teollisten prosessien ja niiden tuotteiden arvioinnille, tulisi LCA:n soveltamisessa maatalouteen huomioida sen erityispiirteet. Tähän liittyviä ongelmia on käsitelty pilotoinnissa esiin tulleiden kysymysten kautta luvussa 6. Suomessa elinkaariarviointia yleisesti koskevassa tutkimuksessa on tähän mennessä keskitytty teollisiin prosesseihin ja tuotteisiin. Suomessa aiemmin tehdyistä elinkaari pohjaisista maatalouteen liittyvistä tutkimuksista voitaisiin mainita Ranteen (1995) tutkimus elintarvikkeiden energiakertymistä. Maatalouden elinkaari pohjainen ympäristökuormitusten arviointi LCA:n avulla on Suomessa vasta nyt toden teolla alkamassa, mutta Keski-Euroopassa asiaa on tutkittu jo muutama vuosi. Maatalouteen sovellettavasta LCA-metodologiasta alan asiantuntijat eivät kuitenkaan ole vielä yhtä mieltä, vaan sen kehittämiseksi tehdään parhaillaan työtä Euroopassa.

Maatalouden ja elintarviketuotannon elinkaariarvioinnista on meneillään useita kansainvälisiä aktiviteetteja niin tapaustutkimuksina kuin metodologian kehittämiseksi.

Mainittakoon erityisesti LCAnet on Food -verkosto (LCAnet Food 98). Verkoston tavoitteena on

- i) muodostaa eurooppalainen verkosto elintarviketuotannon elinkaariarvioinnille ja sitä toteuttaville tai hyödyntäville tahoille,
- ii) arvioida LCA-metodologian nykytila elintarviketuotannon osalta keskittyen erityisesti sovelluksiin ja tietoaukkoihin,
- iii) kehittää strateginen LCA tutkimusohjelma, jonka pääpaino olisi elintarviketuotannossa ja
- iv) tehdä aloite ja edistää elintarviketuotantoon liittyvää eurooppalaista LCA-tietopankkia.

LCAnet Food:n ja muiden vastaavien verkostojen kautta on saatavissa ja vaihdettavissa eri maiden kesken alan kokemuksia. Toisaalta verkostot nopeuttavat osaltaan yhdenmu-
kaisten periaatteiden ja käytäntöjen soveltamisessa lisäten tulosten luotettavuutta ja käyttöarvoa.

4. Maatalouden keskeisiä ympäristönäkökohtia

Maatalous on monilta osin tiiviimmässä vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa kuin teollisuus. Maatalous saa aikaan erilaisia positiivisia ja negatiivisia ympäristövaikutuksia ja maatalouteen vaikuttavat erilaiset teollisuuden, liikenteen, energiantuotannon ja jätehuollon aiheuttamat ympäristökuormitukset. Viljelyn ja ympäristön yhteensovittaminen on ollut jo ensimmäisten kaupunkien ja kulttuuriyhteiskuntien ajoista lähtien keskeinen asia ihmiselle. Maailman ja tiedon muuttuessa erilaisten ympäristönäkökohtien arvo ja merkittävyys ovat vaihdelleet, ja aivan uusia näkökulmia on avautunut. Esimerkiksi eroosion aiheuttaman maaperän köyhtymisen rinnalle on noussut eroosioaineksen mukana huuhtoutuvien ravinteiden aiheuttama vesistöjen rehevöityminen. Elinkaariarvioinnin kokonaisuuden hahmottamiseksi on hyvä tunnistaa viljan viljelyyn liittyvät tärkeimmät ympäristöhaasteet ja niihin vaikuttavien tekijöiden merkitys. Tässä tutkimuksessa on keskitytty seuraavien maatalouden kannalta keskeisten ympäristöhaasteiden tarkasteluun:

- vesistöjen rehevöityminen
- ilmastonmuutoksen aiheuttamat vaikutukset
- happamoituminen
- muutokset maisemassa ja biodiversiteetissa
- torjunta-aineiden käytön vaikutukset
- otsonin muodostuminen
- ekotoksisuus.

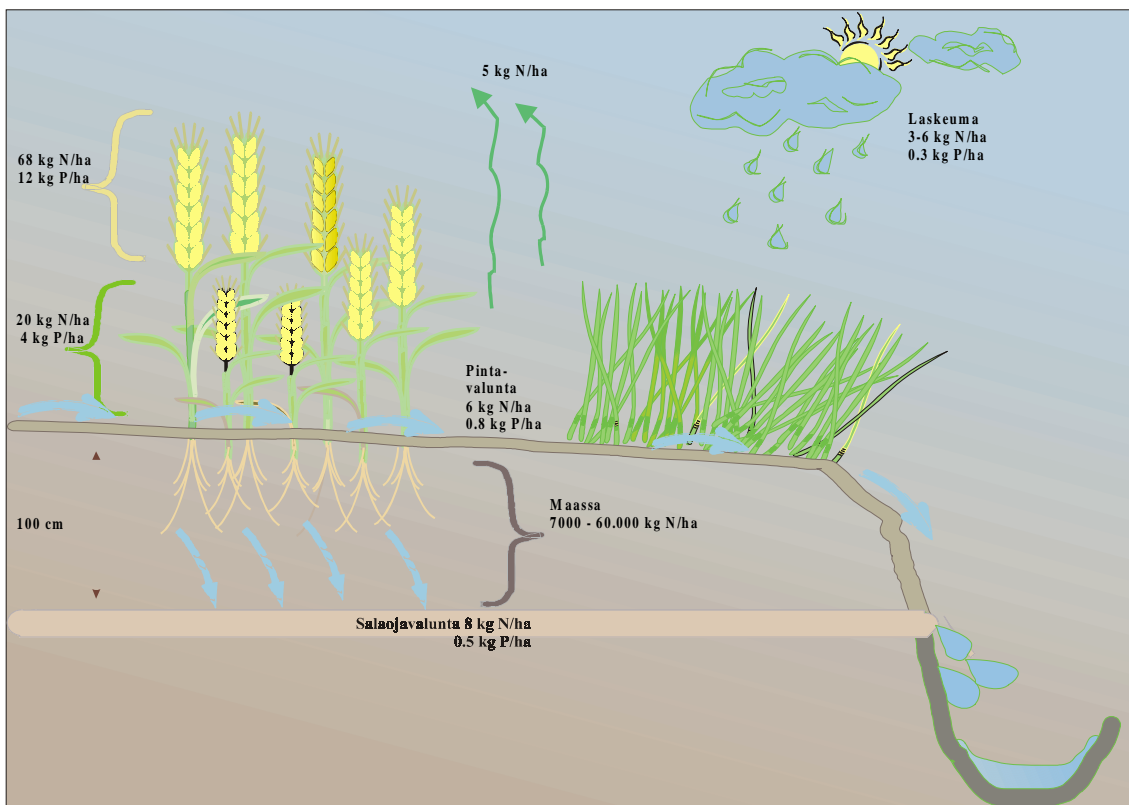
Eroosio, viljavuuden säilyttäminen sekä monet muut ympäristöön liittyvät kysymykset ovat tällä hetkellä tiiviin tutkimustyön kohteena. Näiden kysymysten mukaan ottaminen elinkaaritutkimuksiin on perusteltua mm. vertailtaessa erilaisia viljelymenetelmiä. Luvun loppupuolella tarkastellaan myös viljelijöiden terveysvaaroja.

4.1 Ravinnekierto ja vesistöjen rehevöityminen

Järvivesiemme sekä Perämeren rannikkovesien minimiravinne on yleensä fosfori. Eri-tyisesti liuenneen fosforin kuormitus aiheuttaa niissä rehevöitymistä sekä sinileväkukintoja. Typpikuormituksen suurin haitta on Suomenlahden ja Selkämeren rannikkove-

sien ja joidenkin järvien rehevöityminen sekä paikoittain kaivovesien nitraattipitoisuuden kohoaminen.

Maatalouden hajakuormituksen arvioidaan olevan suurin yksittäinen ihmisen toiminnan aiheuttama vesistökuormittaja teollisuus- ja taajamajätevesien puhdistuksen parannuttua viime vuosikymmeninä (Rekolainen 1989). Tosin myös maataloudessa on tehty paljon ravinnekuormituksen vähentämiseksi. Ongelmana vain on se, että kuormitus ei tule piste-kuormituksena, vaan fosforin ja typen huuhtoutumien lähteet ovat alueellisia. Kuvassa 3 on esitetty viljanviljelystä aiheutuvia keskimääräisiä typpi- ja fosforihuuhtoumia sekä typpipäästöjä ilmaan.



Kuva 3. Typen ja fosforin ravinnetase savimaalla ohranviljelyssä, kun lannoitus on 100 kg N/ha ja 18 kg P/ha ja keskimääräinen jyväsato 4 000 kg/ha sekä valkuaispitoisuus 12 % Uusi-Kämpän (julkaisematon tieto) mukaan (piirros Kaarina Grék).

4.1.1 Maatalous vesistöjen kuormittajana – lannoitteiden käyttö

Tuotannon yksipuolistuminen maataloilla sekä luonnonvaraisten kosteikkoalueiden häviäminen lisäsivät maatalouden vesistökuormitusta 1970- ja 1980-luvuilla. Etelä- ja Lounais-Suomessa on erikoistuttu viljanviljelyyn sekä sianlihan, kananmunien ja broilereiden tuotantoon. Nurmiviljelyn vähenemisen ja paikoitellen myös vähäisen syysviljojen viljelyn takia pellot ovat keväällä ja myöhäissyksyllä ilman eroosiolta suojaavaa

kasvipeitettä. Yksipuolinen viljely, runsas väkilannoitteiden käyttö sekä tehokkaat koneet ja muokkausmenetelmät ovat alentaneet myös maan humuspitoisuutta sekä tiivistyneet maita. Nämä kaikki tekijät yhdessä ovat lisänneet ravinteiden huuhtoutumisriskiä. Lietelannan levittäminen jokivarsipelloille on aiheuttanut sekä ravinteiden että ulostepe- räisten mikrobien huuhtoutumisvaaraa.

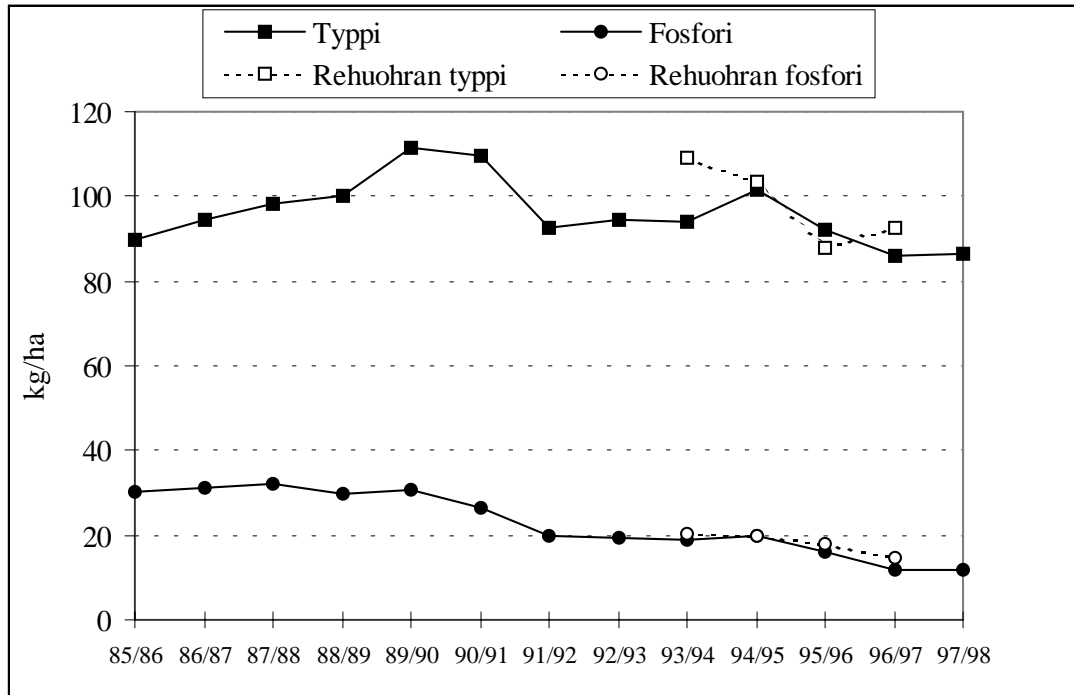
Lypsykarjanhoito ja nurmiviljely puolestaan ovat keskittyneet Keski- ja Itä-Suomeen sekä Pohjanmaalle. Nurmiviljely vähentää eroosiota ja typen huuhtoutumista. Se saattaa kuitenkin lisätä fosforihuuhtoumia, jos fosforia sisältävää lannoitetta levitetään nurmen pintaan, josta sadevesi huuhtelee varsinkin fosforia. Eläinmäärän kasvaessa tiloilla lanta on jouduttu levittämään paljon pienille peltoaloille. Usein lanta on levitetty tuotantorakennuksen vieressä oleville pelloille lyhyen kuljetusmatkan takia. Siten tietyillä karjantuotantoalueilla ja tilakeskusten viereisillä pelloilla maan fosforipitoisuus on yleensä huomattavasti suurempi kuin kauempana tilakeskuksesta olevilla viljelymailla.

Viime vuosina on ollut havaittavissa vähäistä ravinnekuormituksen vähenemistä (Grönroos et al. 1998b). Tähän ovat ilmeisesti vaikuttaneet maatalouden ympäristötukiehdossa esitetyt fosforin ja typen enimmäismäärät peltohehtaaria kohti sekä myös kotieläintilojen väheneminen. Vaikutusta lienee ollut myös luomutuotannon kasvulla yhdestä prosentista kuuteen prosenttiin (Kasvintuotannon tarkastuskeskus 1999a). Esimerkiksi typpikuormitus on vähentynyt typpilannoituksen pienentyessä. Myös lannoitefosforin myynti on alentunut 60 % viimeisen vuosikymmenen aikana ja oli enää keskimäärin 12 kg P/ha (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 1998). Karjanlannassa levitetään keskimäärin 5 kg P/ha (Maa- ja metsätalousministeriö 1998). Eli keskimäärin noin 17 kg fosforia levitetään peltohehtaarelle. Yli-Hallan (1999) mukaan keskimääräinen vuosittainen fosforilannoitustarve (väkilanta + karjanlanta) olisi noin 22 kg/ha, joten peltomaiden fosforipitoisuudet ovat pienenevässä. Siten myös fosforihuuhtoutumat saattavat vähentyä tulevaisuudessa. Nurmien fosforilannoituksen pienentyminen on vähentänyt myös liukoisen fosforin huuhtoutumaa nurmen viljelyalueilla. Toisaalta kevenettyyn muokkaukseen siirtymisen on arvioitu lisäävän liukoisen fosforin huuhtoutumaa maan eteläisimmissä osissa.

Lannoitteiden käyttö oli korkeimmillaan 1980- ja 1990-lukujen vaihteessa, jonka jälkeen se on laskenut. Typen ja fosforin keskimääräiset hehtaariohaiset myyntimäärät on esitetty kuvassa 4. Samassa kuvassa näkyvät myös rehuohran lannoituksessa käytetyt ravinnemäärät vuosina 1994–1997 Etelä-Suomen A-tukialueella.

Lannoitus tapahtuu pääsääntöisesti suunnitelmallisesti viljavuustutkimuksen tietojen, kasvilajin ja satotavoitteen perusteella. Myös lannan sisältämät ravinteet otetaan huomioon lannoituksessa, mikä osaltaan heijastuu fosforilannoitteiden myynnin vähenemiseen. Lannoitteiden käytön vähentymiseen on osaltaan vaikuttanut tietämyksen lisää-

tyminen aiempaa optimaalisemmista lannoitemääristä (ks. esim. kohta 3.3.1). Väkilannoitteissa ja karjanlannassa viljelykasveille annetun typen käyttö vuonna 1997 oli noin 10 % ja fosforin käyttö 30 % vähäisempää kuin vuonna 1994 ennen EU:n ympäristötukikautta. Huippulannoitustasot ovatkin poistuneet maatalouden ympäristötukea saavilta tiloilta (Maa- ja metsätalousministeriö 1998).



Kuva 4. Väkilannoitteissa myytyjen kasviravinteiden määrä viljeltyä pellohehtaaria kohden vuosina 1985/86–1997/98 (kg/ha) (Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus 1998) sekä lannoitteiden käyttömäärä (kg/ha) rehuohran viljelyssä Etelä-Suomessa vuosina 1994–1997 (Maa- ja metsätalousministeriö 1998).

4.1.2 Maatalouden fosfori- ja typpikuormituksen suuruus

Maatalouden osuus ihmisen aiheuttamasta vesistöjen typpi- ja fosforikuormituksesta on yli 50 %. Maataloudesta aiheutuvan totaalifosforikuorman lasketaan olevan 3 300 tonnia ja typpikuorman 33 000 tonnia vuodessa (Ympäristöministeriö & Tilastokeskus 1997). Leville käyttökelpoisen fosforin osuus on keskimäärin 28 % peltoviljelyn kokonaisfosforikuormituksesta eli 560–1120 tonnia vuodessa (Ekholm 1998). Peltoviljelystä aiheutuvan ravinnekuormituksen ja peltomailta luontaisesti huuhtoutuvien ravinteiden osuuksia on hankala erottaa toisistaan. Luonnonhuuhtoutumasta aiheutuvaksi fosforikuormitukseksi on arvioitu 1 800 tonnia ja typpikuormitukseksi 45 000 tonnia vuodessa. Laskeuman mukana fosforia tulee noin 400 tonnia ja typpeä 6 940 tonnia vuodessa (Ympäristöministeriö & Tilastokeskus 1997).

Yhdeksi vesiensuojelun tavoitteeksi on esitetty maataloudesta aiheutuvan fosfori- ja typpikuormituksen puolittamista vuoteen 2005 mennessä (Ympäristöministeriö 1998). Kuormitusta pyritään pienentämään erityisesti peltoeroosiota vähentävillä ja ravinteiden hyötykäyttöä lisäävillä viljelytekniikoilla ja -käytännöillä. Vesiensuojelun tavoitteet otetaan huomioon myös maatalouden ympäristötukijärjestelmässä vuosille 2000–2006.

4.1.3 Vesi- ja ravinnetaseet

Vesi suotautuu mikrohuokosten, madonreikien, juurikanavien ja halkeamien kautta salaojiin. Kun maa on jäässä tai tiivistynyt, vesi ei pääse virtaamaan huokosia pitkin alas päin, vaan virtaa pellon pintaa pitkin. Veden pintavirtailu helposti erodoi eli irrottaa ja kuljettaa maa-ainesta mukanaan. Sääoloilla, rinteiden kaltevuudella ja pituudella sekä valunnan jakautumisella pinta- ja salaojavalunnan kesken, on suuri vaikutus eroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen. Eroosion ja ravinnetappioiden vuosittaiseen vaihteluun vaikuttavat lumen sulaminen ja rankat sateet etenkin silloin, kun maa ei ole kattavasti kasvipeitteinen. Ravinnehuuhtoumien vuosittaiset vaihtelut voivat olla hyvinkin suuria samalla peltolohkolla mm. sääolojen mukaan. Myös viljelytekniikka voi vaikuttaa veden virtailuun sekä eroosioon ja ravinnehuuhtoumiin. Tutkimusten mukaan kynnön poisjättäminen voi huonontaa maan pintakerroksen vedenjohtavuutta ja kykyä varastoida vettä (Pitkänen 1997), mikä saattaa lisätä pintavaluntaa ja eroosiota. Varsinkin kasvukaudella suuri osa vedestä haihtuu maan ja kasvien kautta ilmaan.

Ravinteita maa saa lannoitteista, kuolleesta kasvi-, eläin- ja mikrobiaineksesta sekä laskeumasta. Lisäksi typensitojakasvit ottavat lisätyyppiä ilmakehästä. Kasvit pystyvät käyttämään hyväkseen lannoitteena annettua fosforista ja typestä vain osan. Osa lannoitefosforista pidättyy niin tiukasti maa-ainekseen, etteivät kasvit voi sitä käyttää. Lannoitetyyppiä pidättyy lähinnä pieneliötoiminnan tuloksena orgaanisessa muodossa. Ravinteita poistuu pellolta pääasiassa korjatun sadon sekä salaoja- ja pintavalunnan mukana ja haihtumalla ilmaan.

Typpi

Suomalainen viljelymaa sisältää juuristokerroksessa typpeä noin 7 000–60 000 kg/ha. Määrät ovat pienimmät kivennäismaissa ja suurimmat eloperäisissä maissa (Sippola 1981). Tavallisesti typestä 90–95 % on orgaanisessa muodossa. Loppuosa typestä on huuhtoutumiselle altista nitraatti- tai ammoniumtyyppiä. Keväällä maassa on mineraalityyppiä keskimäärin alle 40 kg/ha viljan ja nurmen viljelyn jälkeen (Leppänen & Esala 1995). Runsaimmin mineraalityyppiä on kesannoidussa sekä syksyllä karjanlantaa saaneissa maissa.

Typen kierto luonnossa on hyvin monimutkainen. Typpi kiertää niin eloperäisten kuin epäorgaanisten olomuotojen sekä toisaalta maan, kasvi- ja eläinkunnan sekä ilmakehän välillä. Lahottajapienieliöt vapauttavat ammoniumtyypeä kuolleesta kasvi- ja mikrobiaineksesta sekä orgaanisesta aineksesta. Osa ammoniumtypestä joutuu mikrobimassaan, kasvien käyttöön tai hapettuu nopeasti nitraattitypeksi. Nitraattityppi pidättyy maahan heikosti, kun taas ammoniumtyppi pidättyy maahiukkasten pinnoille melko voimakkaasti. Nitraatti kulkeutuu helposti veden mukana juurten ulottuville, mutta se voi myös huuhtoutua pohja- ja pintaveteen. Huuhtoutuvasta tyyppistä 80–90 % on leville käyttökelpoisessa muodossa. Nitraatti voi myös denitrifioitua vähän happea sisältävässä maassa typpioksiduuli- tai typpikaasuksi.

Typen kuormitusta vähennetään parhaiten lannoittamalla peltoa viljeltävän kasvin tarpeen ja maan luontaisen tuottokyvyn mukaan. Myös karjanlannan talvilevityksen lopettamisella, karjanlannan multaamisella ja lietteen sijoittamisella pintalevityksen sijasta voidaan huomattavasti vähentää typpipäästöjä sekä veteen että ilmaan. Viherkesannoinnin suosiminen avokesannon sijasta, aluskasvit sekä välikasvin kylväminen aikaisin korjatuille avomaavihannespelloille ovat suositeltavia toimia typen huuhtoutuman vähentämiseksi (Lemola & Turtola 1998).

Fosfori

Suurin osa pellolta huuhtoutuneesta fosforista kulkeutuu pintavalunnan mukana eroosioainekseen sitoutuneena. Salaojavedessä fosforia huuhtoutuu yleensä vähemmän. Fosforikuormitusta lisäävät runsas pintavalunta sekä eroosio, kasvipeitteetön maa, pinta-maan korkea fosforipitoisuus, lannan fosfori, pintalannoituksena annettu fosfori sekä joskus myös kyntämättä viljely.

Noin neljäsosa pelloilta huuhtoutuvasta fosforista on liukoisessa heti leville käyttökelpoisessa muodossa (Ekholm 1998). Liuennut fosfori voi vapautua maa-aineksesta tai pellon pinnalle jätetystä hajoavasta kasviaineksesta. Vapautumista voi tapahtua myös joki- sekä järvivesissä ajan kuluessa tai ympäristöolojen muuttuessa. Esimerkiksi syvänteiden hapenpuute ja pH:n muutos lisäävät fosforin vapautumista vesistöjen pohjasedimentistä.

Fosforin kuormitusta vähennetään parhaiten estämällä pintavalumien syntymistä ja eroosiota pellolla sekä käyttämällä vähemmän fosforilannoitteita suuren fosforipitoisuuden omaavilla mailla. Myös pellon ja vesistön väliin jätetyillä suojakaistoilla ja -vyöhykkeillä voidaan estää eroosioaineksen mukana kulkeutuvan fosforin joutumista veteen. Sen sijaan liunneen fosforin kulkeutumista vesistöön suojavyöhykkeet eivät juurikaan estä (Uusi-Kämpä 1998).

4.1.4 Peltoviljelyn ravinnekuormitus

Viljelyalueilla keskimääräisen fosforikuormituksen on arvioitu olevan 0,65–0,95 kg ja typpikuormituksen 10–22 kg peltohehtaarilta. Happamalla sulfaattimailla huuhtoutuu vuosittain 0,2 kg fosforia ja 15 kg typpeä hehtaarilta. Luonnonhuuhtoutumaksi arvioidaan fosforin osalta 0,017–0,14 kg/ha ja typen osalta 0,43–2,8 kg/ha (Rekolainen et al. 1995). Märkälasseuman mukana ammonium- ja nitraattityppeä tulee enimmillään noin 6 kg/ha Etelä-Suomen rannikolla ja 2,7 kg/ha Ähtäri-Punkaharju-linjalla vuodessa (Leinonen, Ilmatieteenlaitos, 1999, suullinen tiedonanto).

Jokioisten savimaalla pelkässä ohranviljelyssä nitraattityppeä huuhtoutui 6,5–16,5 kg/ha (keskimäärin 11,1 kg/ha) ja nurmiviljelyssä 2,3–7,1 kg/ha (keskimäärin 5,4 kg/ha) (Turtola & Jaakkola 1985). Ohramaasta fosforia huuhtoutui 0,5–1,6 kg/ha (keskimäärin 1,2 kg/ha) ja nurmesta 0,4–2,6 kg/ha (keskimäärin 1,6 kg/ha) vuodessa. Ohramaasta huuhtoutuneesta kokonaisfosforista kolmasosa ja nurmesta huuhtoutuneesta fosforista kaksi kolmasosaa oli liukoisessa muodossa.

Suurimmat typpi- ja fosforikuormat ovat avokesantomaalla (Turtola & Jaakkola 1987, Ylärinta et al. 1993). Lysimetrikokeissa typpeä huuhtoutui avokesannoidulta savimaalta keskimäärin 65 kg/ha ja hietamaalta peräti 100 kg/ha vuodessa (Ylärinta et al. 1993). Ohran viljelyssä typpihuuhtoutuma on suurempaa kuin nurmiviljelyssä, koska nurmi käyttää typpeä koko kasvukauden. Nurmen kynnön jälkeen typpeä saattaa kuitenkin mineralisoitua runsaasti kasvi- ja juuristomassasta lisäten nitraattitypen huuhtoutumista.

Fosforikuormitus on ollut nurmenviljelyssä suurempaa kuin ohranviljelyssä. Syynä tähän on ollut nurmen pintalannoitus, joka lisää maan pintakerroksen fosforipitoisuutta. Juuri maan pintakerros on alttiina valumaveden huuhteluvaikutukselle. Eroosioherkällä suuren fosforiluvun omaavalla maalla eroosioainekseen sitoutuneen fosforin kuormitus saattaa olla jopa 6 kg ja liunneen fosforin toista kiloa hehtaarilta vuodessa (Turtola & Puustinen 1998).

Tasaiseksi muokatulla maalla veden hetkellinen varastointikyky on pienempi ja pintavalumariski suurempi kuin kynnetyllä maalla (Pitkänen 1997). Kynnön poisjättämisen on todettu vähentävän typen huuhtoutumista talvikaudella. Sen sijaan seuraavana kasvukautena sängin jälkeiseltä orasmaalta saattaa huuhtoutua runsaasti lannoitetyypeä, jos kylvä epäonnistuu. Kynnettyyn maahan verrattuna monivuotinen nurmi ja viljansänki vähensivät eroosiota sekä partikkelifosforin kuormitusta 3–70 %, mutta liunneen fosforin kuormitus pintavalunnassa kasvoi 10–170 % kasvipeitteisyyden takia (Turtola & Puustinen 1998). Syynä liukoisen fosforin huuhtoutumiseen oli helppoliukoisen fosforin pitoisuuden nousu pintamaassa, kun maata ei sekoitettu yhtä syvältä kuin kynnettäessä.

Taulukko 2. Sänkimaassa erodoituneeseen maa-ainekseen sitoutuneen fosforin (Part.-P), liunneen fosforin (Liuk.-P), kokonaistypen ja eroosioaineksen kuormitus (kg/ha) vuodessa Aurajoen ja Jokioisten koekentillä (Turtola & Puustinen 1998, Lemola & Turtola 1998). Aurajoen koekentällä kerättiin vain pintavalunta. Jokioisten kokeessa kerättiin sekä pinta- että salaojavalunta. Eroosioaineksen määrä on määritetty haihduttamalla vesi näytteestä ja punnitsemalla jäljelle jääneen haihdutusjäännöksen massa.

	Part.-P kg/ha	Liuk.-P kg/ha	Kokonaistyyppi kg/ha	Eroosioaines (kok. määrä) kg/ha
Kynnetty				
<u>Aurajoki</u>	2,8–6,1	0,5–0,7	9,3–19	1 700–3 300
<u>Jokioinen</u> , pintav.	0,38 (0,05–0,7)	0,01–0,03	1,45 (0,8–2,1)	435 (70–800)
Salaojavalunta	0,85 (0,5–1,2)	0,07–0,08	13 (12–14)	865 (690–1 040)
Sänkimuokattu				
<u>Aurajoki</u>	0,8–5,8	0,5–1,1	1,9–7,6	540–3 100
<u>Jokioinen</u> , pintav.	0,46	0,059	2,3	540
Salaojavalunta	0,72	0,07	12	895
Sänki				
<u>Aurajoki</u>	0,4–2,8	0,5–1,3	1,9–7,6	200–1 400
<u>Jokioinen</u> , pintav.	0,24 (0,2–0,3)	0,044	2,2 (1,2–3,2)	280
Salaojavalunta	0,73 (0,3–1,1)	0,074	11 (8,9–14,0)	870 (500–1 300)

Aurajoen kokeessa pellon kaltevuus ja maan fosforipitoisuus olivat huomattavasti suuremmat kuin Jokioisten kokeessa. Aurajoen syysvehnäkokeessa pintavalunnan mukana kulkeutui 1,5–3,6 kg eroosioainekseen sitoutunutta fosforia, 0,4–0,6 kg liunnutta fosforia, 7,5–13 kg typpeä ja 1 000–2 200 kg eroosioainesta hehtaarilta vuodessa (Turtola & Puustinen 1998).

4.1.5 Kasvin lannoitetyypen otto

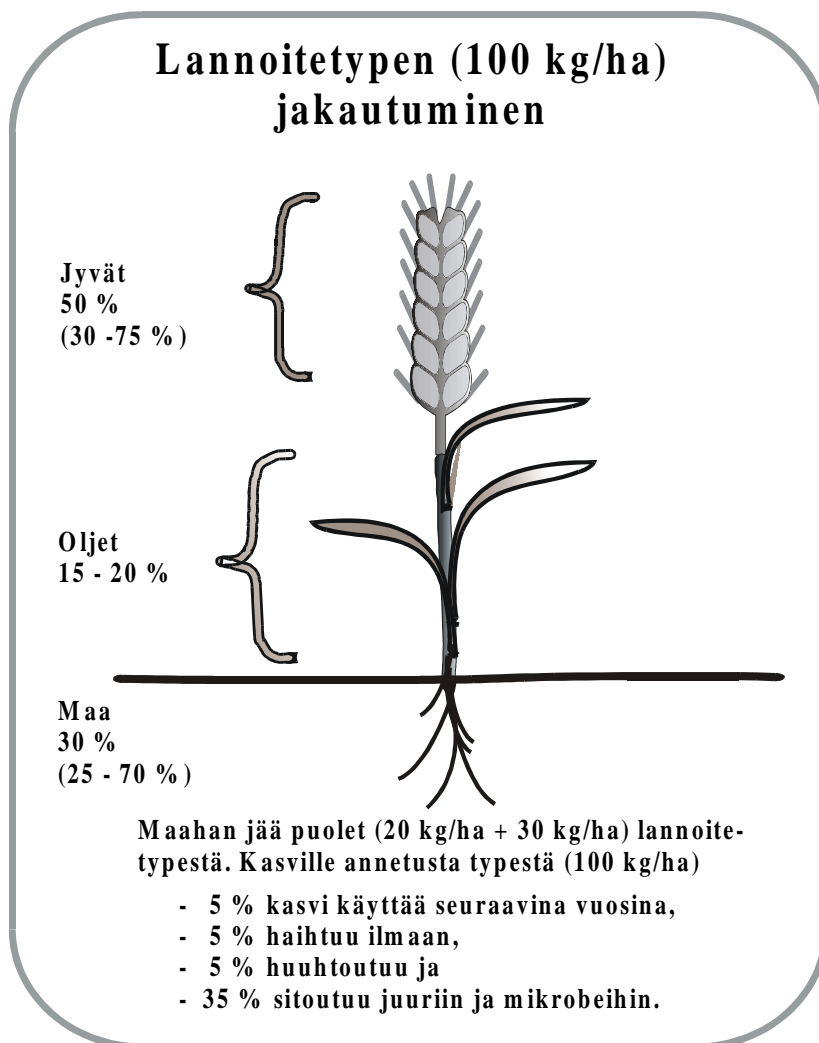
Kasvin typenottoa on tutkittu antamalla kasville typpilannoitteena ¹⁵N-merkittyä typpeä ensimmäisenä koevuotena. Merkityn typen kerääntymistä jyviin, olkiin, maahan sekä

valumaveteen on seurattu 4 vuotta. Vehnän ja ohran jyväsadossa poistuu noin puolet lannoitetypestä (Esala 1993, Ylärinta et al. 1993). Suosiollisissa kosteusoloissa lannoitetyypen hyväksikäyttö voi olla peräti 65–75 %, mutta kuivana kasvukautena ja suurilla lannoitemäärillä se saattaa jäädä alle 30 %:n (Esala 1998). Noin puolet annetusta tyypestä jää maahan: 15–20 % jää olkien mukana ja 30 % pidättyy muun muassa kasvin juuriin ja maan mikrobeihin (Esala 1993). Malli on hyvin yleistävä ja poikkeukset ovat suuria.

Lannoitusvuotta seuraavan vuoden sato ottaa edellisvuonna lannoitteen mukana tulleesta tyypestä alle 5 % ja toisen jälkivaikutusvuoden sato ottaa enää vajaan prosentin (Esala 1993, Ylärinta et al. 1993). Suuri osa maahan jääneestä tyypestä huuhtoutuu tai denitrifioituu, mutta osin tyyden kohtalo on epäselvä.

Kasveilta maahan käyttämättä jäänyt lannoitetyppi on yleensä muokkauskerroksessa. Se on lähes täysin orgaanisessa aineksessa. Mikrobit sisältävät annetusta lannoitetypestä 2–3 %. Pieni osa tyypestä voi olla myös helposti huuhtoutuvaa mineraalityppeä. Kuivuus ja yllilannoitus voivat kuitenkin lisätä huuhtoutumiselle alttiin mineraalityypen määrää maassa.

Kasvukauden huuhtoutuvat tai denitrifioituvat typpihävikit ovat yleensä alle 5 % (Esala 1998). Poikkeuksellisen suuret sateet lannoituksen jälkeen voivat huuhtoa tyypeä syvemmälle maahan pois kasvien juurten ulottuvilta varsinkin hieta- ja savimailla. Lannoitetyypen huuhtoutuma on lannoitusvuonna vähäistä, mutta seuraavina vuosina se kasvaa. Lysimetrikokeessa ensimmäisenä koevuonna annetusta lannoitetypestä huuhtoutui yhteensä 0,2–1,8 kg/ha neljän vuoden aikana (Ylärinta et al. 1993). Pienin huuhtoutuma oli savimaassa ja suurin läpäisevässä hietamaassa. Laboratoriotutkimusten mukaan jopa 10–20 % lannoitteen tyypestä voidaan menettää typpikaasuna (Dowdell & Webster 1984). Kuvassa 5 on hahmoteltu lannoitetyypen (100 kg N/ha) jakautumista kasviin ja ympäristöön vaihteluineen.



Kuva 5. Lannoitetypen, 100 kg N/ha, jakautuminen kasviin ja ympäristöön. Ylilannoituksen ja erilaisten sääolosuhteiden takia lannoitetypen hyväksikäyttöaste voi vaihdella. Suluissa kuvataan mahdollista vaihtelua. Kuva Esalan (1993, 1998) mukaan Kaarina Grék.

4.2 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutos on yksi merkittävimmistä globaaleista ympäristövaikutuksista. Termin ilmaston lämpeneminen (kasvihuoneilmiö) sijasta käytetään nykyisin termiä ilmastonmuutos (mm. IPCC⁶ ja SETAC⁷). Tämä johtuu siitä, että nykykäsityksen mukaan osassa

⁶ Intergovernmental Panel on Climate Change

⁷ Society of Environmental Toxicology and Chemistry

maapalloa ilmasto kylmenee. Näin voisi teoriassa käydä myös Suomessa mm. mikäli Golf-virrassa tapahtuu muutoksia. Ilmastonmuutoksesta voi olla myös hyötyä maataloudelle Suomessa, mikäli ilmasto lämpenee ja kasvukausi pitenee. Mahdollisten sateiden lisääntyessä on kuitenkin vaara, että maanviljely käy jopa mahdottomaksi nykyisellä konekannalla. Ilmastonmuutoksen todellisia vaikutuksia ei tarkalleen tiedetä, mutta ilmastonmuutoksesta oletetaan olevan globaalisti enemmän haittaa kuin hyötyä. Siksi myös Suomi on sitoutunut vähentämään kasvihuonepäästöjä.

Merkittävimmät ilmastonmuutokseen vaikuttavat päästöt ovat tämänhetkisen tiedon mukaan hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄), typpioksiduuli (N₂O) ja halogeeniyhdisteet (esim. CFC, HCFC ja HFC). Maatalousmaat ovat tärkeitä päästölähteitä sekä nieluja useille kasvihuonekaasuille, kuten hiilidioksidille, metaanille ja typpioksiduulille. Kaatopaikkojen ohella karjatalous on Suomen merkittävin metaanipäästöjen aiheuttaja. Peltoviljely puolestaan aiheuttaa lähes puolet ihmisen toiminnan aiheuttamista typpioksiduulipäästöistä. Vähintään 30 %:n kasvipeitteisyys maan pinnalla voi vähentää pellon kasvihuonekaasupäästöjä sekä pidättää paremmin hiiltä maassa (Lal 1997).

Hiilidioksidi (CO₂)

Soiden raivaaminen viljelyyn sekä maan muokkaus tehostavat maan orgaanisen aineksen hajoamista ja lisäävät siten hiilidioksidin virtaa ilmakehään. Turvepellolta vapautuu noin 15 tonnia hiilidioksidia hehtaarilta vuodessa. Suomen 300 000 suopeltohehtaarin kokonaishiilidioksidipäästö on lähes 5 miljoonaa tonnia vuodessa (Kuusisto et al. 1996, s. 183). Maataloudessa hiilidioksidia vapautuu merkittäviä määriä ilmaan myös kalkituksen seurauksena.

Hiilidioksidia vapautuu myös esimerkiksi työkoneiden dieselmoottoreiden ja kuivurien lämmityskattiloiden palamistuotteina. Tätä voidaan vähentää menetelmillä, jotka vähentävät polttoaineen kulutusta. EU on asettanut raja-arvoja myös työkoneiden päästöille. Asteittain tiukkenevat raja-arvot vähentävät uusien traktoreiden päästöjä. Alhaisemmat päästöarvot saavutetaan myös traktoreilla, joilla on hyvä hyötysuhde, ts. polttoaineenkulutus tehtyä työtä kohden (g/kWh) on pieni. Kuivauksen energiankulutukseen tulisi kiinnittää myös riittävästi huomiota, sillä fossiilisilla polttoaineilla käytettävä kuivuri on suurin yksittäinen hiilidioksidipäästöjen aiheuttaja tilatasolla. Kuivauksessa syntyviä päästöjä voidaan vähentää hyvällä hyötysuhteella ja käyttämällä puhtaita polttoaineita. Välillisiä CO₂-päästöjä syntyy myös polttoaineiden hankinnassa ja jalostuksessa.

Typpioksiduuli (N₂O)

Typpioksiduuli eli dityppioksidi yleisnimekseen ilokaasu (N₂O) on yksi tärkeimmistä kasvihuonekaasuista ja yläilmakehän otsonin tuhoajista. Sitä vapautuu maasta denitrifikaatio- ja nitrifikaatioprosesseissa maan mikro-organismien toimesta. Molemmissa prosesseissa N₂O on välituote, joka osittain vapautuu ilmakehään. Maan huono ilmanvaihto, märkyys ja korkeahko lämpötila edistävät denitrifikaatiota. Typpioksiduulipäästöjen on todettu lisääntyvän roudan sulamisen sekä rankkasateiden jälkeen (Flessa et al. 1995). Maatalouden N₂O-päästöjä on Suomessa arvioitu IPCC-ohjeiden mukaan (Pipatti 1997). Maahan jääneistä kasvijätteistä vapautuu typpioksiduulia arviolta 330 tuhatta tonnia (noin 0,1–0,2 kg/ha). Väkilannoitteista aiheutuvien suorien typpioksiduulipäästöjen arvioidaan olevan 3 300 tonnia vuodessa (Pipatti 1999) eli 1,8 kg typpioksiduulia hehtaarilta. Noin 300 000 suopeltohehtaarilta arvioidaan vapautuvan 4 000 tonnia typpioksiduulia eli noin 14 kg/ha (Kuusisto et al. 1996, s. 122, 192). Orgaanisten maatalousmaiden N₂O-päästöt on havaittu mineraalimaiden päästöjä suuremmiksi, sillä suurin osa N₂O:n tuottajamikrobeista on heterotrofisia bakteereja, jotka tarvitsevat orgaanista hiiltä. Orgaanisen viljelymaan typpioksiduulipäästöt (6,8–14,9 kg/ha) ovat huomattavasti suuremmat kuin metsämaan typpioksiduulipäästöt (1,9 kg/ha) (Liikanen 1997). Etelä-Suomessa hienorakeisella kivennäismaalla päivittäinen typpioksiduulipäästö oli kesäaikana keskimäärin 11 g/ha (Jaakkola & Simojoki 1998).

Viljelymailta vapautuu denitrifikaation takia noin 4 kg typpeä hehtaarilta vuosittain (Johnsson et al. 1987). Denitrifikaatiossa ja nitrifikaatiossa typpioksiduulin osuuden arvellaan olevan 6–10 %. Typpioksiduulia saattaa nitrifikaatiossa muodostua runsaammin kuin denitrifikaatiossa. Etelä-Saksassa tehdyssä kokeessa vuosittaisten N₂O-typipäästöjen mitattiin olevan peräti 9,6–6,8 kg N/ha vehnämaasta (Flessa et al. 1995). Bouwmanin (1996) mukaan N₂O-N -päästöt voidaan arvioida matemaattisella kaavalla $1 \text{ kg} + 0,0125 \times \text{lisätyn typen määrä}$. Kaavassa vakioitu 1 kg viittaa N₂O-päästöjen keskimääräiseen taustapäästö määrään. N₂O-N -päästön osuus 1,25 % käytetystä mineraalitypestä on sama arvo, jonka IPCC (1996b) on ottanut ohjeistukseen kansallisten typpioksiduulipäästöjen laskemiseen. Maatalouden N₂O-päästöjen arviointiin liittyy suuri epävarmuus, eikä päästöarvoissa ole pystytty riittävästi ottamaan huomioon Suomen erityispiirteitä eikä eri maalajien vaikutuksia. Jatkossa Maatalouden tutkimuskeskus alkaa mitata suomalaisten viljelymaiden typpioksiduulipäästöjä, jolloin tarkemmat N₂O-päästöjen määrät selviävät.

Metaani (CH₄)

Metaanin tärkeimmät lähteet ovat karjatalous, jätteiden ja jätevesien käsittely sekä suot ja kosteikot. Maatalouden metaanipäästöt ovat peräisin pääasiassa kotieläinten ruuan-sulatuksesta (73 000 tonnia/v) ja lannasta (10 000 tonnia/v) (Pipatti 1999). Pipatin

(1997) mukaan “metaanin muodostumiseen vaikuttavat muun muassa eläintyyppi, eläimen ikä, kunto, paino ja energiankulutus sekä ruokinnan määrä ja laatu. Tehokkaalla ruokinnalla pystytään päästöjä tuotettua liha- tai maitokiloa kohti vähentämään, vaikka päästöt eläintä kohti kasvaisivatkin” (Pipatti 1997). ”Viljelyillä turvemailla metaanipäästöt ovat noin 2 kg/ha eli yhteensä 800 tonnia vuodessa. Päästöt ovat erittäin pienet verrattuna ravinteisten luonnontilaisten soiden metaanipäästöihin” (Kuusisto et al. 1996, s. 122, 192).

4.3 Happamoitumiseen vaikuttavat päästöt

Tärkeimmät happamoittavat yhdisteet ovat rikkidioksidi (SO_2), typen oksidit (NO_x) ja ammoniakki (NH_3). Ilmasta maahan happamoittavia yhdisteitä tulee märkälasseumana sateen mukana sekä ns. kuivalasseumana, jolla tarkoitetaan kaasuina ja hiukkasina tulevia aineksia.

Fossiilisten polttoaineiden poltossa ilmaan joutuva rikkidioksidi (SO_2) aiheuttaa happamoitumista liukenemalla helposti veteen muodostaen rikkihapoketta (H_2SO_3). Rikkidioksidi voi myös edelleen hapettua rikkitrioksidiksi (SO_3), joka veden kanssa reagoi-
dessaan muodostaa rikkihappoa (H_2SO_4). Toisaalta rikki (S) on kasveille tärkeä ravintoaine, jota lisätään peltoon lannoituksen yhteydessä. Kasvi ottaa rikin kahdenarvoisena anionina (SO_4^{2-}) juurillaan maasta.

Polttomoottorin korkeassa lämpötilassa muodostuu ilman typpikaasun ja hapen reagoi-
dessa typpioksidia, joka helposti hapettuu typpidioksidiksi (NO_2). Näistä käytetään yhteistä lyhennystä NO_x . Typpidioksidi poistuu ilmakehästä nitraattityyppinä tai typpihappona, jota syntyy useiden välivaiheiden kautta (Hartikainen 1992)

Sekä maasta että kasveista voi vapautua ammoniakkia, joka myös on potentiaalinen happaman laskeuman aiheuttaja. Maatalous aiheuttaa Suomen ammoniakkipäästöistä yli 80 %, joka muodostaa noin 20 % maan kokonaistyyppipäästöistä. Maatalouden ammoniakkipäästöistä yli 90 % aiheutuu kotieläintaloudesta karjan ja turkiseläinten ammoniakkipäästöjen ollessa noin 32 000 tonnia (Grönroos et al. 1998a). Happamissa maissa lannoitetyypestä haihtuu arviolta 0–5 % ammoniumtyyppinä ilmaan (Niskanen et al. 1990). Väkilannoitteista peräisin olevien ammoniakkipäästöjen arvioidaan olevan 1 800 tonnia. Kymmeniä kiloja ammoniakkia hehtaarilta voi haihtua myös tuleentuvista kasveista tietyissä oloissa runsaan lannoituksen tai täydennyslannoituksen seurauksena. Typen oksidien ja ammoniakin merkitys happamoittavina yhdisteinä vaihtelee suuresti muun muassa vastaanottavan ekosysteemin mukaan (Seppälä & Jouttijärvi 1997).

Kuiva- ja märkälasseuman (mukaan lukien mm. NH_4 -tyypin potentiaalisen nitrifioitumisen aiheuttama vetyionituotanto) happamoittavan vaikutuksen neutraloimiseksi vuosittain tarvittava kalkkimäärä jää Suomen oloissa tavallisesti muutamaan kymmeneen kiloon CaCO_3 :a hehtaarille (Hartikainen 1992).

Maaperän happamoituminen voi mm. edistää raskasmetallien liukenemistä kasveille käyttökelpoisempaan eli haitallisempaan muotoon sekä pohjaveteen. Tällä on suora yhteys ekotoksisuuteen, jota tarkastellaan erikseen luvussa 4.7. Happamoituminen saattaa ajan mittaan myös lisätä ravinteiden huuhtoutumista.

4.4 Maisema ja biodiversiteetti

4.4.1 Maisema

Suomessa on vain n. 8 % (n. 2,5 milj. ha) avointa viljelymaisemaa koko maa-alasta, joten sekä pienet että suuret peltokuviot ja laidunmaat kaikkialla maassa ovat tärkeitä avoimen maiseman säilyttämisen kannalta.

Lähes kolmannes aktiivituloista on poistunut tuotannosta Suomessa 1990-luvulla. Maatiloja oli v. 1997 n. 91 000 toimivaa aktiivituloa. Tilojen vähennyttyä tuotanto on erikoistunut, ja varsinkin kotieläintuotanto on keskittynyt yhä harvemmille tiloille. Maatalouden rakenteen muuttuminen on johtanut tuotantoyksiköiden kasvuun ja yhtenäistänyt peltoalueita. Peltojen salaojitusten tukeminen on vähentänyt avo-ojia (52 % koko maan peltoalasta salaojitettu) (Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos 1998, Ympäristöministeriö 1992).

Viljelymaiseman monimuotoisuus aluetasolla on kokonaisuudessaan vähentynyt ja tällä muutoksella on varmasti myös merkitystä viljelyalueiden lajibiodiversiteettiin. Maankäyttökuvioiden lukumäärä on vähentynyt viljelymaisemassa (esimerkiksi Yläneen 24 km^2 :n tutkimusalueella v. 1958 maankäyttökuvioita oli 7 923 niin v. 1997 kuvioita oli 1 804 kpl). Suuri muutoksen aiheuttaja on ollut avo-ojien väheneminen, sillä samalla alueella esim. v. 1993 oli enää 1/10 avo-ojia jäljellä siitä määrästä mitä niitä oli v. 1958 ilmakuviosta tulkittavissa. Lisäksi aikaisemminkin aloiltaan suuret maankäyttötyypit kuten pelton ja metsäkuvioiden alat ovat kasvaneet. Vesistöjen suoja-alueiden alat Yläneellä olivat kasvaneet todennäköisesti ympäristötukikauden toimien vuoksi 32 % vuoden 1993 tilanteesta vuoteen 1997, mutta vesien suoja-alueita oli vielä 27 % vähemmän v. 1997 kuin v. 1958. Tähän ovat vaikuttaneet osaltaan myös valtaojien ja purojen oikaisut, jolloin vanhat uoma-alueet ja tulva-alueet ovat hävinneet (Hietala-Koivu 1999).

Tuotantotapojen muutokset, kuten torjunta-aineiden käyttö, maanmuokkausmenetelmien muutokset, monokulttuurin suosiminen ja maitotilojen sitä kautta laidunnuksen harvinaistuminen, heijastuvat suoraan maatalousympäristön lajien esiintymiseen ja runsauteen (Maa- ja metsätalousministeriö 1999).

4.4.2 Hiilitase

Humuspitoisuuden on todettu viime vuosikymmeninä alentuneen vajaan prosentin vuodessa (Erviö 1995). Syynä humuksen vähenemiseen pidetään viljanviljelyn monokulttuuria sekä karjanlannan käytön ja nurmiviljelyn loppumista. Erityisesti avokesanointi lisää orgaanisen aineksen häviämistä. Viljanviljelyssä maahan palautuvat kasvinjätteet eivät täysin korvaa hiilen menetystä. Tosin kymmenen vuoden jaksolla maan humuksen muutosta olkien poiston tai maahan kynnön seurauksena ei ole pystytty osoittamaan (Erviö & Talvitie 1995).

Viljelykasvit sitovat runsaasti hiiltä, mutta se vapautuu takaisin ilmakehään ihmisten ja kotieläinten välityksellä. Maan hiilimäärää lisäävät kasvien juuret sekä maahan kynnettävät oljet ja muut kasvinosat. Orgaanisen aineksen joutuminen kosketuksiin hapen kanssa nopeuttaa hajoamista. Siksi maan orgaanisen aineksen hajoaminen on sitä nopeampaa, mitä enemmän maata muokataan. Kevennetty muokkaus säästää maan orgaanisen aineksen määrää tavanomaiseen muokkaukseen verrattuna (Lal 1997). Koeoloissa myös kasvijätteen silppuamisen maan pintaan on todettu hidastavan orgaanisen aineksen hajoamista.

Turvemaassa on runsaasti hiiltä, jota vapautuu soita ojitettaessa ja muokattaessa. "Turpeen hajoamisen takia hiiltä vapautuu ilmaan noin 4 000 kg/ha vuodessa, mikä merkitsee lähes miljoonan tonnin vuotuista päästöä viljelykäytössä olevilta soilta. Turvepellolla nurmen juuriston on arvioitu kasvattavan elinaikanaan hiilivarastoa 1 200–2 000 kg/ha ja viljan 1 200 kg/ha. Juuriston hengitys ja hajoaminen aiheuttavat kuitenkin hiilipäästöjä, jonka suuruus on 1 900–2 000 kg/ha vuodessa" (Kuusisto et al. 1996, s. 121). Muuttumattomissa viljelyolosuhteissa hiilen sitoutumisen ja hajoamisen on katsottu olevan tasapainossa (Wolf & Janssen 1991).

4.4.3 Biodiversiteetti

Biodiversiteetti eli biologinen monimuotoisuus jaetaan WRI:n ym. (1992) mukaisesti kolmeen hierarkkiseen luokkaan (geenit, eliölajit ja ekosysteemit). Toisaalta biodiversiteetillä tarkoitetaan usein geneettisellä (geeniaineksen monimuotoisuus), lajistollisella (lajien runsaus) ja elinympäristöjen (habitaattien) tasoilla vallitsevaa vaihtelua (ks. esim.

Haukioja 1995). Biodiversiteetti on hyvin laaja ja monitahoinen käsite, eikä sen yksikäsitteinen määrittely ole välttämättä tarpeenkaan.

Elinkaariarvioinnissa biodiversiteettiin kohdistuvat tarkastelut liittyvät vaikutusten arviointivaiheeseen, mutta toistaiseksi ei ole käytettävissä menetelmää, jolla ekologiset vaikutukset voitaisiin kytkeä tyydyttävästi elinkaariarvioinnin tarkastelukehikkoon. Ekosysteemien sisäisten vuorovaikutusten suuri määrä ja kausaalisuhteita koskevan tiedon epävarmuus tekevät vaikutusfunktioiden muodostamisesta äärimmäisen vaikean, käytännössä usein mahdottoman tehtävän.

Elinkaariarvioinnissa tuotannon eri vaiheissa syntyvät ympäristöä kuormittavat tekijät suhteutetaan haluttuun tuotteeseen tai palveluun (toiminnalliseen yksikköön). Em. suhteen pienentämisyrittäminen ei sinänsä ota huomioon tuotannon absoluuttista mittakaavaa alueellisena tekijänä. Toisaalta ekosysteemien suojeluyritysten kannalta juuri alueellinen näkökulma on keskeinen. Vaikka yksittäisen toiminnon päästöt tuotettua hyödykettä kohden vähenisivät, saattaa toiminnan mittakaavan kasvaminen johtaa siihen, että laitoksen läheisyydessä oleva kohde, esim. puskurikapasiteetiltaan vähäinen metsäalue, kuormittuu kriittisen tason yli, jolloin vaikutusten voimakkuus alkaa kasvaa suhteellisesti enemmän kuin tuotannon määrä ja lopulta kohteen arvo menetetään. Näitä ongelmia pyritään hallitsemaan ympäristölaatuunormein.

Ekologisten vaikutusten arviointi monimutkaistuu erityisesti silloin, kun laitoksen lähiympäristön ja siinä elävien lajien sietokyky kuormittaville tekijöille on epälineaarinen. Marginaalisen lisäpäästön aiheuttama haitta laskettuna prosessia tietyllä ajanhetkellä kuvaavan tilanteen perusteella voi siis esimerkiksi riippua aiempien päästöjen ja niistä aiheutuneen laskeuman määrästä, jotka saattavat olla täysin riippumattomia elinkaariarvioinnissa tarkasteltavasta tuotejärjestelmästä. Tämä tilanne on esimerkki vaikutusten arviointiin liittyvästä kohdentamisongelmasta ajan suhteen.

Vastaavan kaltainen ongelma voidaan esittää suhteessa paikkaan: monien toimintojen kuormittaessa eri tavoin samaa ekosysteemiä on aiheutuneita vaikutuksia sangen vaikeaa kohdistaa erilaisille kuormittaville tekijöille. Ympäristön reseptorit voivat olla herkkiä kertymille mutta myös jonkin olosuhdetekijän muutokselle. Silloin, kun elävän luonnon kohteisiin vaikuttavat monet kuormittavat tekijät yhtäaikaaisesti, on yleensä hyvin vaikea osoittaa yksittäisen haitanaiheuttajan osuus seurauksista.

Luonnon monimuotoisuuden arvioinnin näkökulma on yleensä alueellinen ja pinta-alan sidoksissa. Tämä aiheuttaa, ettei sitä voida suoraan kytkeä elinkaariarvioinnissa tarkasteltavaan, alueellisesta dimensiosta kokonaan riippumattomaan kehukseen, joka kiinnittyy tuotteeseen. Jos biodiversiteetin suojelua kuitenkin pidetään merkittävänä yhteiskunnallisena päämääränä, tulisi sen kuvaaminen yhdistää muuhun tuoteinformaatioon,

jotta asiakkaat voisivat vaikuttaa arvostuksillaan tuotannollisiin toimiin. Luonnon monimuotoisuuden mittaaminen on kuitenkin osoittautunut äärimmäisen visaiseksi tehtäväksi, mikä johtuu käsitteen monitahoisuudesta ja sateenvarjomaisuudesta. Laajimmassa merkityksessään sillä tarkoitetaan koko maapallon luontoa ja kaikilla sen tasoilla esiintyvää vaihtelua. Se siis sisältää valtavan määrän erilaisia luonnonilmiöitä, minkä vuoksi yksikäsitteinen määrittely tuskin on mahdollista (Monni & Lankinen 1995). Monnin ja Lankisen (1995) raportissa todetaan lisäksi, että biodiversiteetin arviointiin soveltuvissa mittausten menetelmissä olennaista on se, miten näiden menetelmien avulla on mahdollista erottaa luonnonsuojelun kannalta keskeisiä monimuotoisuuden piirteitä. Koukin (1993) mukaan käytännössä biodiversiteettiä voidaan pyrkiä mittaamaan joko lajiston tai elinympäristöjen (habitaattien) tai molempien avulla.

Diversiteetin mittaamisessa joudutaan valitsemaan jokin tietty tarkastelun taso. Näitä voivat olla yksittäisen habitaatin, esim. peltolohkon, habitaattien välisen (metsä- ja peltolohkon) tai vielä laajemman alue-ekologisen tason tarkastelut. Biodiversiteetin arvioiminen on siis altis paikan paradoksille: kohteen arvo riippuu siitä, mitä sen ympärillä on. Jokin peltolohko voi olla keskeisellä paikalla esim. ekologisten käytävien kannalta, jolloin sillä olevat 'askelkivet' saattavat olla keskeisiä monimuotoisuuteen vaikuttavia tekijöitä. Näin ollen sellaisen mittarin kehittäminen, joka kytkeytyisi yksinomaan tarkasteltavaan tuotevirtaan, ei ole yksinkertaista (kenties täysin mahdotonta) vaan diversiteetin paikkariippuvuus ja vaikutusten kytkeytyminen lähiympäristöön ovat seikkoja joiden huomioon ottaminen elinkaariarvioinnin kehyksessä muodostaa vaikean, metodologista kehitystyötä edellyttävän haasteen.

Pinta-alaperusteiden luokittelun lisäksi diversiteettiä voidaan tarkastella erilaisten ominaisuuksien perusteella. Lähtökohtana voi olla lajistollinen, taksonominen tai toiminnallinen diversiteetti. Lajistollisen diversiteetin arvioinnissa lähtökohtana ovat lajimäärät. Taksonomisen diversiteetin arviointi perustuu lajien sukulaissuhteiden arviointiin. Toiminnallisen diversiteetin arvioinnissa otetaan lisäksi huomioon se, että lajit ovat toiminnallisesti erilaisessa asemassa luonnossa. Tässä ajattelussa otetaan huomioon se, että jonkin tai joidenkin lajien häviäminen ekosysteemistä saattaa vaikuttaa muihin lajeihin tai ekosysteemin toiminnan kannalta keskeisiin biogeokemiallisiin prosesseihin (Kouki 1993). Tarkentuneiden luokitusten jälkeen ajaudutaan kuitenkin vääjäämättä arvottamisongelmiin sen suhteen, miten lajien uhanalaisuutta, harvinaisuutta ja tyypillisyyttä painotetaan. Näitä tekijöitä on painotettu mittausten yhteydessä Suomessa mm. valtakunnallisten suojeluohjelmien laatimisessa (Kouki 1993). Rossin (1993) mukaan myöskään elinympäristötyyppien painottamiseen ei ole olemassa yksiselitteistä laskentamenetelmää tai vakiintunutta käytäntöä.

Biodiversiteetin mittaamiseksi joudutaan tekemään ainakin seuraavanlaisia valintoja:

1. Miten vaikutusalue ja -aika rajataan?

Tarkastellaanko esimerkiksi aluetta, joka kattaa vain pellon, ojat ja pientareet vai kytetäänkö tarkasteluun myös 'tuotantoalueen' ulkopuolisia osia kuten lähimetsiä, valtaojia ja jokia, joissa pelloilta ja muista tuotannollisista aktiviteeteistä tuleva kuormitus aiheuttaa ekologisia muutoksia? Toisaalta myös rajaukset aikatasolla ovat yhtä tärkeitä: tarkastellaanko vuositason tilannetta vai pitempiä ajanjaksoja, joissa esim. viljelykiertojen, eläinten laidunnuksen ja sääolojen vaikutukset tulisivat otetuksi huomioon.

2. Mitä ekosysteemien osia tarkastellaan?

Kohdistetaanko tarkastelu ainoastaan maaekosysteemiin (erityisesti maaperään ja kasveihin), vai ollaanko myös kiinnostuneita sen kytkennästä vesiekosysteemiin ja vaikkapa lintuihin hyönteismäärien kautta? Miten tarkastellaan habitaattien välisiä reunavaiikutuksia?

3. Minkä diversiteettiä mitataan?

Tarkastellaanko toiminnan vaikutusalueella olevien lajien kokonaismäärää vai yksilöiden määrää? Miten lajien harvinaisuutta tai niiden taksonomista etäisyyttä painotetaan? Miten palautumattomiin muutoksiin johtavia ilmiöitä painotetaan?

4. Mitä vaikutuspolkuja otetaan huomioon?

Tarkastellaanko vain suoria vaikutuksia diversiteettiin, kuten viljelyn tilantarvetta, viljelytoimien eroja (esim. maan tiivistymiskehitys) ja verrataanko muutoksia suhteessa aiempaan diversiteettitilanteeseen (peltojen raivaus ja sen vaikutukset pirstoutumiskehitykseen)? Pyritäänkö näiden lisäksi arvioimaan kuormittavien tekijöiden maa- ja vesiekosysteemissä aiheuttamia vaikutuksia?

5. Miten luonnonolojen erot otetaan huomioon?

Voidaanko vaikutuksia esim. Etelä-Suomessa lainkaan verrata vastaavan toiminnan seurauksiin Pohjois-Suomessa? Miten voidaan ottaa huomioon vanhojen kulttuuriympäristöjen, niittyjen, ahojen ja ketojen uhanalaisten lajien tarpeet (173 uhanalaista lajia, Rassi et al. 1991) sekä suuret alueelliset erot lajien yhteisörakenteessa? Mitä ongelmia luokittelu esim. eliömaakuntien avulla (esim. Rossi 1993) aiheuttaa luokkien reuna-alueilla? Voidaanko kehittää alueellisia metsäalueiden pirstoutuneisuutta kuvaavia indeksejä, joihin tilan pirstoutumisvaikutusta voitaisiin verrata?

6. Voidaanko luotettavia yleistämiskelpoisia vaikutusfunktioita muodostaa?

Onko ylipäättänsä mahdollista muodostaa tiettyyn kuormittavaan tekijään liittyviä elollisen luonnon kohteiden haittoja ennustavia vaikutusfunktioita ja soveltaa niitä käytännön tilanteissa, joissa monet muut taustamuuttujat ovat tuntemattomia? Onko tietämys eliöryhmien sietokyvystä erilaisille päästökomponenteille operationalisoitavissa olevalla tasolla?

Biodiversiteetin käsitteen moniulotteisuuden vuoksi on varsin todennäköistä, ettei mikään yksittäinen indeksi voi kuvata kaikkia kiinnostuksen kohteena olevia vaikutustyyppisiä vaan tarvitaan useita indikaattoreita mielenkiintoisten aihealueiden 'peittämiseksi'. Lisäksi edellytettäneen yksityiskohtaisia paikkaan sidottuja tapaustarkasteluita, joiden yleistämismahdollisuuksista saadaan tietoa vasta, kun aineistoa on kertynyt riittävästi.

Maatalouden biodiversiteettivaikutusten arviointimahdollisuudet

Tiedostaen edellä mainitut ongelmat, olisi kenties kuitenkin mahdollista muodostaa yksinkertaisia mittareita, joilla voitaisiin olettaa olevan 'jotakin tekemistä luonnon monimuotoisuuden kanssa'. Näiden mittareiden soveltamisessa aika- ja paikkarajaukset lienevät keskeisiä ja ilmeisesti niiden tulisi ottaa huomioon viljelykierron ja säävaihteluiden vaikutuksia. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi

- i) tarkastelualueelta käyttöön otetun energiavirran suhde alueelle saapuvaan energiavirtaan,
- ii) tuotannon piirissä olevan alueen suhde tilakokoon,
- iii) humuksen määrän muutokset,
- iv) pellon ja metsän välisen reunaviivan (ja muiden hoitamattomien reunavyöhykkeiden) pituus suhteessa pinta-alaan,
- v) avainbiotooppien (esim. purot, sarkaojat, lähteiköt, niityt, kedot, hakamaat, jne) pinta-alan suhde kokonaispinta-alaan jne.

Lienee selvää, että tällaisten indikaattoreiden muodostaminen olisi oman tutkimuksen arvoinen hanke. Biodiversiteetin mittareiden perustutkimus käyttökelpoisiksi työkaluiksi onkin koettu tärkeäksi (Oikari 1994), mutta käytännön sovelluksia elinkaariarviointiin liittyen ei ole edelleenkään tiedossa.

Tarkemmat kartoitukset voisivat paljastaa tilan alueelta biologisesti arvokkaita habitaatteja, joten ainakin periaatteessa myös habitaatitason diversiteettiä voisi olla mahdollista kuvata indekseihin. Kaikkien indeksien ei tarvitsisi olla määrällisiä, vaan myös laadullisia (kyllä/ei-tyyppisiä) tietoja voidaan hyödyntää asiakkaiden informoinnissa. Tämä on mahdollista, jos päätöksentekokehys on avoin eikä perustu yksinomaan elinkaariarviointiin vaan myös muuhun saatavissa olevaan tietoon. Päätöksenteon moniulotteisuus korostuu erityisesti silloin, kun tavoiteltavia päämääriä on useita (laatu, tuotantokustannukset, ympäristövaikutukset). Kvalitatiivisia seikkoja voisi liittyä esimerkiksi viljelytoimien ajoitukseen, joilla saattaa olla vaikutuksia mm. hyönteisten kautta lintujen lisääntymismahdollisuuksiin ja mehiläisten hunajantuotantoon (torjunta-aineet). Tällaisten vaikutustyyppien hallinta voitaisiin toteuttaa vaikkapa aikakriteerillä, jolla varmistettaisiin se, ettei tiettyinä haitallisina aikoina suoritettaisi toimia.

Kysymys siitä, onko luontovaikutusten kannalta parempi, että viljellään pientä aluetta tehokkaasti ja jätettäisiin jokin alue toimenpiteiden ulkopuolelle vai se, että viljellään laajempaa aluetta tehottomammin säästämällä sen sisäisiä vaihtelevia habitaatteja, lienee tutkimisen arvoinen ongelmakokonaisuus, johon ei tässä yhteydessä voida perehtyä tarkemmin ja josta yleistämiskelpoisia totuuksia lienee hyvin vaikea löytää.

Geneettisen tason diversiteetin tarkasteleminen sekä geenimuunneltujen lajikkeiden käyttö ovat seikkoja, joita tulisi jatkossa tarkastella 'geneettisen eroosion' ja 'biologisen saastumisen' ehkäisemiseksi.

4.5 Kasvinsuojelu ja ympäristökuormitukset

Ennen kuin kasvinsuojeluaineet saavat myyntiluvan Suomessa, ne on rekisteröitävä (Torjunta-aineasetus 19.5.1995). Kasvinsuojeluaineita rekisteröitäessä tulee niiden tehokkuudesta sekä terveys- ja ympäristövaikutuksista olla riittävästi tietoa, sillä silloin hyväksytään myös myyntipäällyksen teksti käyttöohjeineen ja mahdollisine käytön rajoituksineen. Torjunta-aineeksi ei saa hyväksyä valmistetta, jonka käytöstä tarkoitukseensa voisi aiheutua ilmeistä vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.

Aineiden käyttö on sallittu vain käyttöohjeessa mainittuun kohteeseen ja siinä mainitulla tavalla. EU:n tasolla tehoaineet hyväksytään ja arvioidaan yhteisesti EU:n Kasvinsuojeludirektiiviin (Council directive concerning the placing of plant protection products on the market 91/414/EC) perustuen, jolloin toisessa EU maassa hyväksytty valmiste voidaan hyväksyä myös muussa EU maassa, jos maiden ympäristöolot eivät oleellisesti poikkea toisistaan.

4.5.1 Torjunta-aineiden käyttö

Suomessa oli vuonna 1997 myynnissä noin 330 torjunta-aineiden kauppavalmistetta ja noin 160 erilaista tehoainetta. Kauppavalmisteita myytiin 2 755 tonnia. Tehoaineiksi laskettuna myynti oli 1 034 tonnia. Torjunta-aineiden myynti on vähentynyt noin puoleen 1980-luvun lukemista (*Kemia-Kemi*-lehden vuosittaiset tilastot, Hynninen & Blomqvist 1998). Tosin käsittelyalat ovat pienentyneet hitaammin kuin myyntimäärät. Tämä johtuu osaksi 1980-luvulla markkinoille tulleiden pienannosherbisidien (ns. gramma-aineet) yleistymisestä. Esimerkiksi rikkakasvien torjuntaan näitä aineita käytetään 4–20 g/ha. Samaan tarkoitukseen tarvitaan fenoksihappoherbisidejä 1–2 kg/ha.

Vuonna 1994 myyntimääristä laskettu keskimääräinen torjunta-aineiden käyttö Suomessa oli 0,7 kg tehoaineita viljeltyä peltohehtaaria kohti (Hynninen & Blomqvist 1995). Vastaavasti laskettuna uusimman eurooppalaisen julkisen tilaston mukaan vuonna 1996 Suomessa käytettiin noin 0,5 kg ja esimerkiksi Saksassa noin 3 kg/ha, Espanjassa 1,8 kg/ha, Ranskassa 4,8 ja Alankomaissa 10,4 kg/ha tehoaineita viljeltyä peltohehtaaria kohti (Eurostat 1998). Vertailu voitaisiin tehdä vastaavasti myös tuotettua satomäärää kohden. Tällaiseen vertailuun ei löydy suoraan taustatietoja, mutta suomalaisen kasvukauden lyhyden ja olosuhteiden vuoksi suomalainen satotaso on pienempi kuin näissä muissa maissa. Tuotantoon suhteutetut luvut johtaisivat muiden maiden lukujen suhteelliseen parantumiseen. Em. hehtaaria kohden suoritettu vertailu ei myöskään ota huomioon sitä, että näissä muissa maissa kasvihuonetuotanto on selvästi laajempaa kuin Suomessa, joka vaikuttaisi erityisesti Alankomaiden tuloksiin.

Torjunta-aineiden alueellista ja kasvikohtaista käyttöä vuonna 1994 on arvioitu MATYVA⁸-projektin yhteydessä (Laitinen et al. 1996). Arvio sisältää peltoviljelykasveista viljat, perunan ja öljykasvit. Suurin osa torjunta-aineista käytettiin kevätiljojen viljelyssä (62 %). Seuraavina olivat peruna (13 %), sokerijuurikas (12 %) ja kesanto (7 %). Syysviljoilla, nurmi-, heinä- ja öljykasveilla käyttö oli n. 2,5 % kokonaiskäytöstä. Ohranviljelyssä käytettiin noin 624 tehoainetonnin torjunta-aineita. Keskimääräinen käyttö koko ohranviljelyalalle laskettuna oli 1,26 kg tehoaineita hehtaarilla. Valtaosa aineista (85 %) käytettiin rikkakasvien torjuntaan, kuten taulukosta 3 ilmenee.

⁸ Maatalouden tuotantovaihtoehtojen ympäristötaloudelliset vaikutukset -projekti

Taulukko 3. Torjunta-aineiden arvioitu käyttö ohranviljelyssä vuonna 1994. Keskimääräisellä käytöllä tarkoitetaan torjunta-aineiden käyttöä koko ohran viljelyalaa kohti laskettuna. (Laitinen 1999, julkaisematon MATYVA-aineisto).

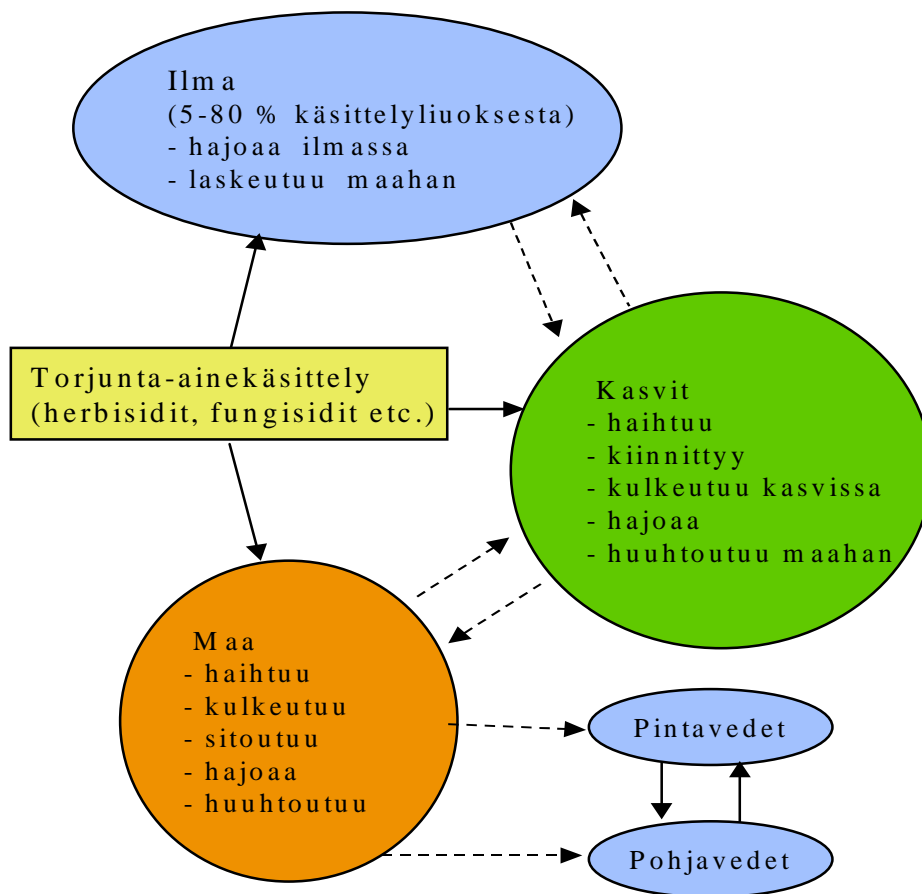
Ohran viljelyala:	499 300	Ha			
Keskimääräinen käyttö:	1,3	kg tehoaineita/ha			
Käyttö yhteensä:	627	tn tehoaineita/koko viljelyala			
	Torjunta-aineiden käyttö käyttökohteittain				
	Rikka-	Kasvun-	Tuho-	Kasvitaudit	
	kasvit	Säätö	eläimet	Peittaus	Ruiskutus
Käsitelty ala (ha)	356 850	71 680	39 970	156 124	32 410
Käsitelty ala (% viljelyalasta)	70,6	14,2	7,9	30,9	6,4
Käsittelmäärä (kg/ha tehoainetta)	1,5	0,3	0,3	0,35	0,125
Keskimääräinen käyttö (kg/ha)	1,07	0,04	0,02	0,11	0,01
Käyttö koko ohrantuotannossa (tn)	535	22	12	55	4
Käyttö (% torjunta-aineiden käytöstä)	85,4	3,4	1,9	8,7	0,6

4.5.2 Torjunta-aineiden kulkeutuminen ja käyttäytyminen ympäristössä

Kasvinsuojelutoimien yhteydessä torjunta-ainetta joutuu torjuntakohteen (esim. rikkakasvi tai tuhoeläin) lisäksi ilmakehään ja täten mahdollisesti peltojen lähialueille, maaperään sekä viljelykasviin ja lopulta myös vesistöihin (kuva 6). Maan ominaisuudet, kasvin aineenvaihdunta sekä ilmasto vaikuttavat torjunta-aineen pysyvyyteen ja liikkuvuuteen näissä kohteissa (Arnold & Briggs 1990, Seppälä 1997).

Torjunta-aineen ominaisuuksista ovat tärkeitä kemiallinen reaktiivisuus, höyrynpaine, fotolyttinen stabiilius ja pidättymisominaisuudet. Maan ominaisuuksista mainittavia ovat orgaanisen aineksen pitoisuus, veden määrä ja virtaus, lajitekoostumus, pH ja mikrobiologiset ominaisuudet. Ilmakehään torjunta-ainetta voi joutua ruiskutuksen yhteydessä pisaroina tai se saattaa höyrystyä kulkeutuvien pisaroiden pinnalta (Liikanen 1998). Ilmakehään joutuvan torjunta-aineen määrään vaikuttavat aineen ominaisuuksien (höyrynpaine, vesiliukoisuus, molekyylipaino) lisäksi levitystapa, ruiskutustekniikka, ajankohta sekä ruiskutushetkellä ja sen jälkeen vallinnut säätila. Parhaissakin ruiskutusolosuhteissa torjunta-ainetta lähtee ilmapvirtausten mukaan 5–10 %. Lavosen (1998) mukaan suurimmat ongelmat nykyisessä kemiallisessa kasvinsuojelussa liittyvätkin hävik-

keihin. Lavosen mukaan (1988) torjunta-aineista päätyisi kohteeseensa keskimäärin vain n. 10 %.



Kuva 6. Kasvinsuojeluaineiden kulkeutuminen eri kohteisiin.

4.5.3 Torjunta-aineiden hajoaminen maaperässä

Torjunta-aineet hajoavat vedeksi, hiilidioksidiksi ja epäorgaanisiksi suoloiksi. Hajoaminen voi tapahtua useissa vaiheissa, joissa muodostuu uusia yhdisteitä (metaboliitteja), joiden hajoaminen voi olla nopeampaa tai hitaampaa kuin alkuperäisen yhdisteen. Vastaavasti ne voivat olla alkuperäistä ainetta haitallisempia tai haitattomampia.

Torjunta-aineiden hajoamisnopeutta kuvataan puoliintumisajalla ($T_{1/2}$, tai T_{50}). Sillä tarkoitetaan ajanjaksoa, jonka kuluessa puolet kunkin jakson alussa olleesta ainemäärästä on hajonnut. Nopeasti hajoavana pidetään ainetta, jonka puoliintumisaika on alle viikko, kohtalaisen hitaasti hajoavana, jos aine puoliintuu 1–3 kuukaudessa ja erittäin hitaasti hajoavana, jos puoliintumisaika on yli 8 kuukautta.

Torjunta-aineen hajoamisnopeus riippuu mm. ympäristön lämpötilasta, maan happamuudesta ja valon ja mikrobiston kyvystä hajottaa yhdistettä. Koska sekä kemialliset

että mikrobiologiset reaktiot ovat yleensä hitaampia maan syvemmissä kerroksissa kuin pellon pinnassa, on torjunta-aineiden hajoaminenkin syvemmillä hitaampaa (Torstenson 1987, Heinonen-Tanski 1986).

On esitetty, että jopa 95 % torjunta-aineista hajoaisi mikrobiologisesti. Mikrobiologinen hajoaminen hidastuu tai pysähtyy kuitenkin kuivina kausina, kun maassa ei ole riittävästi kosteutta. Hapekkaita oloja vaativien mikrobien toiminta estyy maan ollessa vettynyt, jolloin mikrobeilla ei ole riittävästi happea käytettävissään. Myös lämpötilan aleneminen lähelle nollaa hidastaa hajottamista. Yleensä ajatellaan, että mikrobitoiminta pysähtyy lähes kokonaan maan jäätyessä. Suomen oloissa hajoamista hidastavia jaksoja on runsaasti, ja hajoaminen kestää meillä kauemmin kuin kirjallisuudessa yleensä esitetään.

Jotkut matemaattiset simulointimallit huomioivat lämpötilan vaikutuksen torjunta-aineiden hajoamiseen käyttämällä ns. Arrheniuksen yhtälöä, jonka mukaan lämpötilan aleneminen $+20^{\circ}\text{C}$:sta $+10^{\circ}\text{C}$:een merkitsee puoliintumisajan kasvamista 2,2-kertaiseksi ja se on noin viisinkertainen 0°C :ssa (olettaen, että muut tekijät pysyvät vakioina) (Boesten et al. 1996).

4.5.4 Torjunta-aineiden kulkeutuminen maaperässä

Torjunta-aineen kemialliset ominaisuudet sekä monet maaperästä ja säästä johtuvat seikat vaikuttavat niiden kulkeutumiseen maaperässä. Vesistöihin torjunta-aineita joutuu huuhtoutumalla tai maahiukkasiin sitoutuneina eroosiossa ja jossain määrin myös tuulten ja sateiden mukana.

Aineiden kulkeutumista maassa arvioidaan yleisimmin niiden vesiliukoisuuden ja orgaaniseen ainekseen sitoutuvuuden perusteella. Näiden ominaisuuksien mukaan aineet luokitellaan kuuteen ryhmään, joiden ääripäinä ovat erittäin kulkeutuva ja kulkeutumaton. Veteen hyvin liukeneva aine on usein myös hyvin kulkeutuva, mutta heikosti liukenevakin aine saattaa kulkeutua veden mukana ja joutua pohjavesiin.

Huuhtoutumiseen ja sitoutumiseen vaikuttavat myös muut tekijät, kuten maaperän saviaineksen määrä ja sen ominaisuudet sekä maan happamuus. Maaperän koostumuksella on siten ratkaiseva merkitys torjunta-aineiden kulkeutumisessa. Torjunta-aineiden sitoutuminen eri maalajeihin vaihtelee sen mukaan, millaisia kemiallisia sidoksia ne voivat maahiukkasten kanssa muodostaa. Sidoksen lujuus, orgaanisen aineksen hajoaminen sekä veden virtausnopeus maan pinnalla tai huokosissa vaikuttavat siihen, miten nopeasti sitoutunutta ainetta vapautuu. Maan tai veden happamuuden muutokset vaikuttavat joidenkin aineiden sitoutumiseen ja hajoamiseen. Esimerkiksi pellon voimakas

kalkitseminen saattaa vapauttaa maahan sitoutuneita torjunta-aineita, jotka sitten joko hajoavat tai kulkeutuvat veden mukana muualle (Torstensson 1987).

4.5.5 Muokkauksen vaikutus torjunta-aineiden kulkeutumiseen

Muokkaus vaikuttaa veden kulkeutumiseen maassa eli siihen, mikä osuus pellolle tulevasta vedestä poistuu pintavalunnassa tai suotautuu syvemmälle joko salaojiin tai pohjaveteen saakka. Siten se vaikuttaa myös veden mukana kulkeutuvien torjunta-aineiden käyttäytymiseen pellossa. Lisäksi muokkaus siirtää ja sekoittaa muokkauskerroksessa olevia torjunta-aineita (Laitinen & Tuhkanen 1998).

Kynnytyssä maassa salaojavalunnan osuus kokonaisvalunnasta on suurempi ja pintavalunnan osuus pienempi kuin muissa muokkausmenetelmissä. Muokkaamattomassa maassa pintavalunnan osuus on suurempi ja suotautuvan veden osuus pienempi kuin kynnytyssä maassa. Kevennytyssä syysmuokkauksessa suotautuvan veden osuus vähenee ja pintavalunnan osuus kasvaa kyntöön verrattuna. Muutoksen suuruudesta on saatavilla vähän mittaustuloksia, mutta valunnat asettunevat jonnekin kynnon ja muokkaamattoman vaihtoehdon väliin.

Muokkauksen vaikutus torjunta-aineen käyttäytymiseen riippuu siitä, miten lujasti aine on sitoutunut maahan: Maahan sitoutuva torjunta-aine kiinnittyy maan pintakerrokseen ja sitä poistuu pelloilta pintavesissä joko veteen liuenneena tai kiintoaineksen mukana. Muokkauksessa torjunta-aine sekoittuu syvemmälle ja sen kulkeutuminen kohti jankkoa nopeutuu. Koska torjunta-aineet sitoutuvat pääasiassa orgaaniseen ainekseen, ne liikkuvat vähähumuksisessa jankossa herkemmin kuin muokkauskerroksessa ja voivat kulkeutua salaojavesiin saakka. Muokkauksen jälkeen tällaista torjunta-ainetta on vähemmän pintavesissä, mutta sitä saattaa esiintyä salaojavesissä.

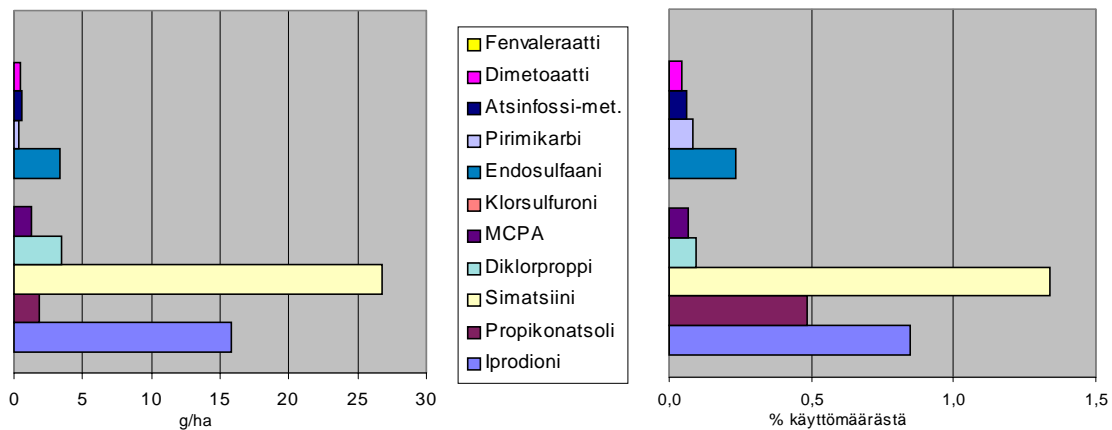
Maahan heikosti sitoutuva ja helposti kulkeutuva torjunta-aine liikkuu veden mukana helposti ja kulkeutuu suotautuvien vesien mukana pellon pinnasta syvemmälle. Tällöin sen poistuminen pintavalunnan mukana on vähäisempää. Muokkaus nostaa jo syvemmälle kulkeutunutta torjunta-ainetta pintaan, ja sitä voi poistua aiempaa enemmän pintavesien mukana.

Torjunta-aineiden kulkeutumista ennustettaessa mallintaminen edellyttää sekä torjunta-aineiden että maan hydrologisten ominaisuuksien tuntemista. Myös viljelyaikataulut ja muokkausmenetelmät on kuvattava (Laitinen & Tuhkanen 1998).

4.5.6 Huuhtoutumiskenttätutkimuksia

Eräiden torjunta-aineiden kulkeutumista ja hajoamista on tutkittu MTT:n huuhtoutumiskentällä Toholammilla vuosina 1993–1998 (kuva 7). Tutkimukset osoittavat huomattavasti pidemmän torjunta-aineiden viipymän pellossa, kuin mitä kansainvälisten tulosten perusteella olisi ennalta osattu arvioida. Joitakin tutkimuksessa mukana olleita torjunta-aineita, kuten MCPA⁹:ta, diklorproppia, propikonatsolia ja iprodionia sekä niiden hajoamistuotteita esiintyi maassa ja valumavesissä vielä 2–3 vuoden kuluttua käsittelystä (Kurppa & Laitinen 1999). Maan pintakerroksessa (0–5 cm) useiden aineiden pitoisuudet olivat yleensä suurempia kuin syvemmillä. Jos maata ei syksyllä kynnetty, torjunta-aineita esiintyi sekä kesän että talven pintavaluntavesissä. Talvella veden torjunta-ainepitoisuudet olivat yleensä pienempiä kuin kesällä. Koska vettä tuli talvella paljon, muodostivat talvikauden torjunta-ainepäästöt kuitenkin huomattavan suuren osan kokonaispäästöstä. Kyntö vähensi veden pintavaluntaa ja lisäsi salaojavaluntaa. Niinpä syyskynnön (1996) jälkeen torjunta-aineita havaittiin salaojavesissä, mutta ei talven pintavaluntavesissä (Kurppa & Laitinen 1999).

Torjunta-aineiden kokonaispäästö pintavesiin on samaa suuruusluokkaa kuin valuma-aluemittauksissa. Tulosten perusteella voidaan olettaa, että torjunta-ainepäästöt pellolta ovat yleisemminkin 0,01–1,0 % käsittelymääristä (Laitinen et al. 1996).



Kuva 7. Torjunta-aineiden huuhtoutuminen pintavaluntavesien mukana Toholammilla huuhtoutumiskentällä vuosina 1993–1998. Selitteen viisi ylintä ainetta ovat tarkoitettu tuhohyönteisten torjuntaan, neljä seuraavaa rikkakasvien torjuntaan ja kaksi alinta kasvitautien torjuntaan. Aineiden vertailtavuuden vuoksi on huuhtoutuneista torjunta-ainemääristä laskettu niiden prosentuaalinen osuus käyttömäärästä (Kurppa & Laitinen 1999).

⁹ 4-kloori-2-metyylifenoksisietikkahappo

4.6 Otsonin muodostuminen

Alailmakehän otsonipitoisuudet ovat Suomessa melko korkeita, keskimäärin 40–100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. MTT:n tutkimuksissa Jokioisilla suurimmat pitoisuudet, 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, on mitattu kasvukauden aikana kesäkuussa (Ojanperä et al. 1994).

Otsonin muodostuminen riippuu meteorologisista oloista ja lähinnä kulloisestakin alailmakehän CO-, NO_x-, ja VOC (NMVOC) -pitoisuustasosta. Merkittävin vaikutus otsonin muodostumiseen on typen oksideilla jotka luovuttavat happiatomeja muille aineille, mm. hapelle (O₂), jolloin syntyy otsonia (O₃).

Pleijelin et al. 1997 ja Ojanperän et al. 1994 mukaan suuret otsonipitoisuudet aiheuttavat kasvin lehden kestävyysajan lyhenemistä ja siten satotappioita. Otsonin myrkyllisyyttä eliölle kuvaa se, että sitä käytetään juomaveden puhdistukseen. Suomessa viljelyalueilla vallitsevan nykyisen otsonitason ei ole kuitenkaan todettu aiheuttavan kokeellisissa tutkimuksissa satotappioita suhteessa ilmaan, jonka otsonipitoisuus on 1/3 nykyisistä normaaliarvoista (Ojanperä et al. 1994).

Otsonin muodostumista aiheuttavia päästöjä viljelyssä aiheutuu työkoneissa ja kuivurissa käytettävän polttoaineen palamisesta (NO_x, CO ja VOC). Päästöjen vähentämistä ohjaavat EU:n asteittain tiukkenevat raja-arvot työkoneiden päästöille. Kaukokulkeutumisella on merkittävä vaikutus maassamme havaittuihin pitoisuuksiin (Seppälä & Jouttijärvi 1997).

4.7 Ekotoksisuus

Ekotoksisuudella tarkoitetaan ympäristölle vaarallisten aineiden aiheuttamaa haittaa ekosysteemissä. Myrkyllisyysvaikutukset voivat olla joko akuutteja tai kroonisia. Ekotoksisuus on yksi merkittävimmistä ympäristövaikutuksista. Maataloudessa ekotoksisuutta aiheuttavat pääasiassa torjunta-aineet (ks. luku 4.5) sekä raskasmetallit, joita joutuu maahan sekä luonnollisista lähteistä että ihmisen toiminnan tuloksena. Useimmiten maahan päätyvien raskasmetallien lähteinä ovat laskeumat ilmasta ja erilaiset maanparannustoimet (mm. jätevesilietteet, kaupalliset fosfaatti-, kalium- ja typpilannoitteet, kalkitukseen käytetyt aineet, torjunta-aineet, lanta) (Moolenar 1998).

Maaperän saastumista aiheuttavat kaikki ihmistoiminnot: asuminen, teollisuus, liikenne, energiantuotanto sekä myös maa- ja metsätalous. Maaperän kemiallinen saastuminen on kasvanut viimeisen sadan vuoden aikana ennen kaikkea yhteiskunnan teollistumisen myötä. Orgaaniset aineet hajoavat maassa yleensä joko hitaammin tai nopeammin. Sen sijaan raskasmetallit ovat sellaisia alkuaineita, etteivät ne hajoa käytännöllisesti katsoen

koskaan. Niiden viipymä maassa saattaa olla tuhansia vuosia. Siksi raskasmetallien pitoisuudet maaperässä ovat jatkuvasti kasvaneet kaikkialla maapallolla. Vaikka ilmaan joutuvia raskasmetallipäästöjä on onnistuttu tehokkaasti vähentämään ilmansuojelutoimin, kuormitukset muista lähteistä ovat vielä niin suuria, että maaperän raskasmetallipitoisuudet kasvavat edelleen. Raskasmetalleista voidaan oikeutetusti puhua “aikapommeina”. Raskasmetallit kertyvät maahan ja eliöihin ja ovat jo melko pieninä pitoisuuksina myrkyllisiä kaikille eliöille.

Merkittävimpinä raskasmetalleina myös maatalouden kannalta pidetään kadmiumia (Cd), lyijyä (Pb) ja elohopeaa (Hg). Maasta nämä aineet voivat siirtyä satoihin ja yleensä ravintoketjuihin. Ihmisen lisäksi maaperän pieneliöt ovat hyvin herkkiä raskasmetalleille, erityisesti kadmiumille, koska se on maassa joko liukoisessa tai helposti liukenevassa muodossa. Kadmiumista noin 40 % on kasveille käyttökelpoisessa muodossa. Vastaavasti elohopeasta ja lyijystä on käyttökelpoisessa muodossa vain n. 5 %. Suurimman osan kadmiumsisällöstään kasvit ottavat juurillaan maasta. Sen sijaan lyijy ja elohopea joutuvat kasveihin pääasiassa ilmasta lehtien kautta (Mäkelä-Kurto 1998). EU:n riskianalyysin mukaan jo nykyiset viljelymaidemme liukoisen kadmiumin pitoisuudet voivat aiheuttaa pienuudestaan huolimatta vaaraa maaperän pieneliöille kaikkialla muualla paitsi aivan pohjoisimmalla viljelyvyöhykkeellä (Ministry of Agriculture and Forestry 1997).

Peltomaidemme liukoisen kadmiumin määrän todettiin lisääntyneen noin 30 %:lla aikavälillä 1974–1987 (Erviö et al. 1990), kun fosforilannoitteen raaka-aineena käytettiin afrikkalaista kadmiumpitoista raakafosfaattia. Siirryttäessä käyttämään kotimaista lähes kadmiumitonta raakafosfaattia sekä fosforilannoituksen vähentyessä lannoitteista peltoon tuleva kadmiumkuormitus on 1990-luvulla laskenut OECD-maiden alhaisimmaksi. Noin 90 % suomalaisväestön kadmiumin saannista on peräisin kasvikunnan tuotteista. Suomessa kadmiumin saanti ravinnosta on kansainvälisesti vertaillen erittäin pientä eikä aiheuta terveysriskiä (Ministry of Agriculture and Forestry 1997). Maatalouden tutkimuskeskus seuraa viljelymaiden puhtautta kahdessa eri hankkeessa, joista toisessa selvitetään maaperän laatua 10–15 vuoden välein samoista 750 yksittäisten viljelijöiden peltolohkoista ja toisessa viiden vuoden välein samoista 150 Maatalouden tutkimuskeskuksen tutkimusasemien peltolohkoista (Mäkelä-Kurto 1998).

Euroopassa tärkein kadmiumlähde on fosforilannoitteet (Eurostat, European Commission 1995). Eurooppalaisten fosforilannoitteiden keskimääräinen kadmiumpitoisuus on keskimäärin 138 mg kilossa fosforia (60 mg Cd/kg P₂O₅) (Davister 1996), kun se Suomessa on vain 1–5 mg/kg P (Ministry of Agriculture and Forestry 1997 & Moolenaar 1999). Tämä on huomattavasti alle maa- ja metsätalousministeriön päätöksen (N:o 45/1994), jonka mukaan pelto- ja puutarhalannoitteissa saa olla kadmiumia enintään 50 mg fosforikiloa kohti ja muissa kuin fosforia sisältävissä lannoitteissa 3 mg kilossa. Suomalaiset

fosforilannoitteet ovat puhtaudessaan maailman huippuluokkaa. Muita viljelymaan kadmiumlähteitä ovat ilmasta tuleva laskeuma ja karjanlanta (Mäkelä-Kurtto 1998).

Viljelymaiden tärkein lyijylähde on ollut lyijytetty bensiini. Vuonna 1994 Suomessa siirryttiin lyijyttömään bensiiniin. Siten omat lyijypäästöt liikenteestä loppuivat (Mäkelä 1996). Vajaa puolet ravinnon lyijystä on peräisin kasvikunnan tuotteista (Tahvonen 1994).

Elohopean pääasiallinen saanti on peräisin kalatuotteista. Elohopeapitoisten peittausainesten käyttö kiellettiin Suomessa 1992. Tätä aikaisemmin peitatus siemenen mukana peltohehtaarille joutui noin viisi grammaa elohopeaa vuodessa (Mäkelä-Kurtto 1987).

Suomalaiseen viljelymaahan kohdistuva raskasmetallikuormitus on huomattavasti pienentynyt niin kadmiumin, lyijyn kuin elohopeankin osalta 1980-luvun alun jälkeen ilmansuojeluun, lannoitukseen, maanparannukseen, jätteiden hyötykäyttöön ja kasvinsojeluun liittyvien tiukkojen säädösten ansiosta (Mäkelä-Kurtto 1998). Tulevaisuuden haasteena on kuitenkin jätteiden entistä laajempi hyväksikäyttö kasvintuotannossa ja hyötykäytön vaikutukset viljelymaiden ja satojen puhtauteen.

4.8 Viljelijöiden terveysvaarat

Yleisimpiä terveysvaaroja viljelijän työssä ovat pölyt, epämukavat työasennot, melu, kemikaalit sekä tapaturmat. Usein myös viljelijöiden lapset altistuvat pölyille ja melulle ollessaan vanhempien mukana tuotantorakennuksissa tai traktorissa. Pölyjä syntyy muun muassa kylvötöissä, viljan puinnissa, kuivauksessa, siirrossa ja jauhatuksessa sekä eläinten hoidossa (Louhelainen 1997).

Kuivaa maata muokattaessa ja lannoitteita käsiteltäessä epäorgaanista pölyä nousee ilmaan. Maapölyn haitallisimpia komponentteja ovat kvartsi ja asbesti, jotka voivat aiheuttaa syöpää.

Tuotantorakennuksissa voidaan altistua eläinten karva-, iho-, vilja-, heinä- tai jauhopölylle. Viljan korjuu-, varastointi- ja jauhatustöissä vaarana ovat itse viljapölyn lisäksi viljan mukana tulleet homesienet, bakteerit ja niiden hajoamistuotteet, sädesienet ja punkit. Homeitiöitä saattaa vapautua hengitysilmaan myös käsiteltäessä kosteina varastoituja rehuja ja kuivikkeita. Myös tuotantorakennusten rakenteissa ja ilmanvaihtokanavissa voi syntyä mikrobikasvustoa, jos niiden suunnittelu, käyttö ja ylläpito ovat olleet virheellisiä. Biologiselle pölylle altistuminen voi aiheuttaa yskää, hengityksen vinkumista, kuumetta ja vilunväreitä sekä homepölykeuhko-oireita. Esimerkiksi hengitystie-

allergian riski on maataloudessa kahdeksan kertaa suurempi kuin muulla työssä olevalla väestöllä keskimäärin (Louhelainen 1997, Suutarinen 1999).

Maatiloilla tapahtuu myös työtapaturmia. Tilakoon ja viljelijän työmäärän kasvaessa lisääntyvät myös onnettomuus- ja tapaturmariskit (Pyykkönen 1999). Esimerkiksi kaukana tilakeskuksesta sijaitsevien lisämaiden takia viljelijä joutuu entistä useammin liikumaan suurilla ja hitailla työkoneilla vilkasliikenteisillä maanteillä. Myös viljelijän osa-aikaisuus lisää tapaturmien riskiä, koska peltotöitä tehdään päätyön ohella iltaisin ja viikonloppuisin. Kiire ja isot koneet saattavat aiheuttaa vakavia onnettomuuksia viljelijälle, joka työskentelee usein yksin tilallaan.

5. Tapaustutkimus: Rehuohran tuotantoprosessin elinkaariarviointi

5.1 Rehuohran tuotanto

5.1.1 Rehuohran tuotanto Suomessa

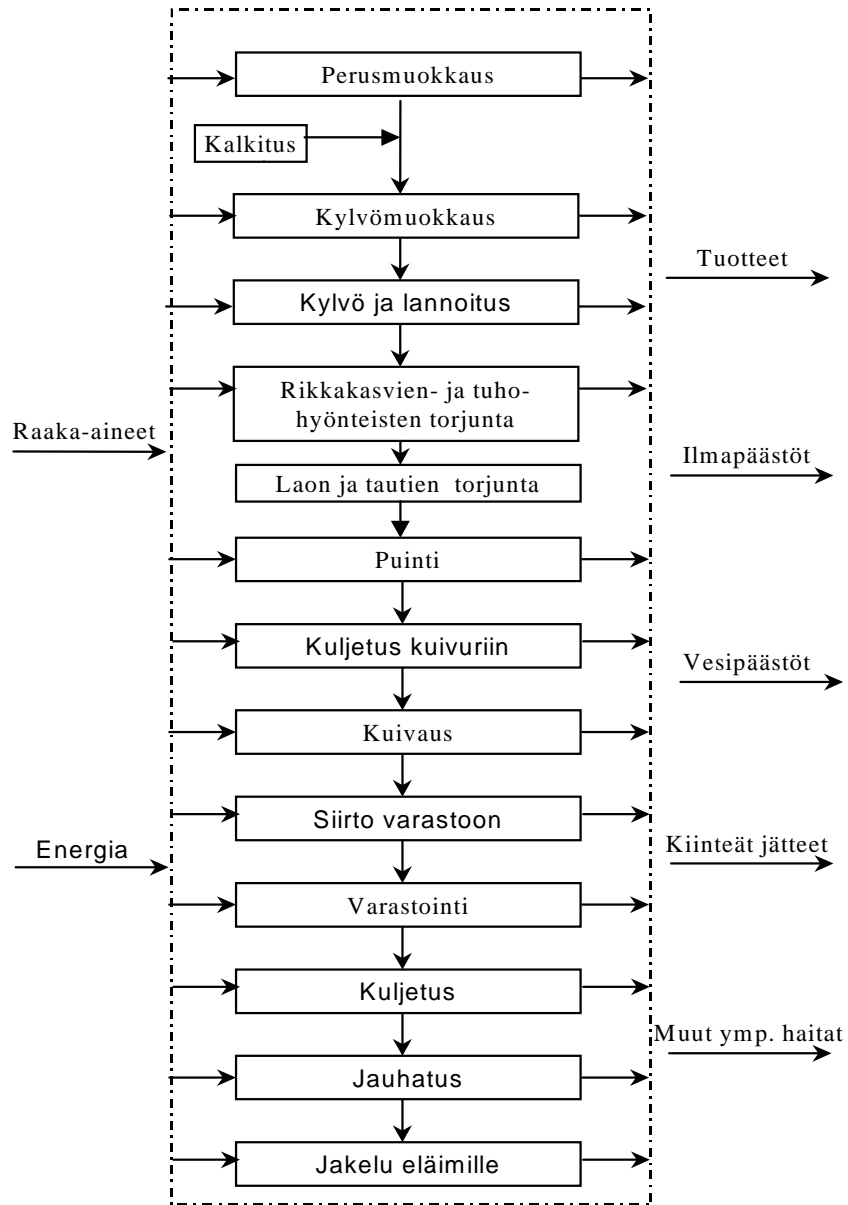
Rehuviljaksi katsotaan Suomessa pääasiassa ohra ja kaura. Rehuksi voidaan jauhaa myös leipäviljäksi kelpaamatonta vehnää. Tässä tapaustutkimuksessa käsitellään esimerkkinä ohran tuotantoprosessia, sillä ohra on tärkein rehuviljamme ja sitä viljellään vuosittain noin 0,5 milj. hehtaaria. Vuonna 1997 rehuohran viljelyala oli 466 700 ha ja kokonaissato 1 573,9 milj. kg. Keskimääräinen hehtaarisato koko maassa oli samana vuonna 3 370 kg/ha. Pitkäaikainen hehtaarisadon keskiarvo vuosilta 1992–1996 on 3 290 kg/ha (Tietokappi 1997). Etelä-Suomessa (I ja II) vyöhykkeillä sijaitsevien sadontarkkailutilojen keskisato ohrasta oli vuosina 1996 ja 1997 noin 3 900 kg/ha ja yleisimmät ohralajikkeet Arve 33 %, Mette 16 % ja Loviisa 10 % (Viljaotanta v. 1996 ja 1997).

5.1.2 Tapaustutkimuksessa tarkasteltavan ohratilan määrittely

Koska viljan viljelyyn liittyy runsaasti sekä paikallis- että sääoloista ja menettelyta-voista jne. johtuvia vaihtelun lähteitä, tutkimuksessa tarkastellaan tässä vaiheessa riittä-
vän tyypillistä ja edustavaa rehuviljan tuotantoprosessia. Tässä luvussa on kuvattu rehu-
ohran viljelyn yksikköprosessit Etelä-Suomessa sijaitsevilla 40 ha:n viljatilalla, jossa
ohraa viljellään puhtaana kasvustona (ei nurmen suojaviljana). Ohran (33 ha) lisäksi
tilalla viljellään viljelykierrossa syysviljaa (5 ha). Vuoden 1998 mukainen kesantovaa-
timus oli 5 % peltoalasta. Tässä tutkimuksessa valittiin vastaavasti 2 ha pellostä sänki-
kesantoalaksi. Kasvipeitteisyysvaatimus (30 %) täydentyy näiden lisäksi ohratuotan-
nosta sänkimuokattavan alan määrällä. Ohran jyvä- ja olkisadon on oletettu olevan 4
000 kg (jyvien kosteus noin 13 %), kun satoindeksinä pidetään 0,5. Ohran puintikosteus
on keskimäärin noin 22 %. Tarkastelu kattaa tuotantovaiheet alkaen perusmuokkauk-
sesta ja päätyen navettaan karjan rehuksi.

Ohra kylvetään Etelä-Suomessa keskimäärin 12.5. (Mukula et al. 1977). Kylvömuok-
kaus tehdään välittömästi (1–2 pv) ennen kylvää. Kasvusto saavuttaa 2-lehtivaiheen
(rikkatorjunta) keskimääräisten sääolojen vallitessa 10.6. ja korrenkasvun 2-
solmuasteen (kasvunsääderuiskutus) 20.6. Ohra puidaan keskimäärin 7.8. eli 87 päivää
kylvöstä (Arve lajike) (Vuorinen 1998).

Kuvassa 8 on yksinkertaistettu esitys rehuohran tuotannon yksikköprosesseista elinkaariarviointikehikossa. Yksikköprosesseja tarkastellaan yksityiskohtaisesti kohdassa 5.1.3.



Kuva 8. Rehuohran tuotanto yksikköprosesseittain elinkaarikehikossa.

5.1.3 Rehuohran tuotannon yksikköprosessit

Perusmuokkaus (kyntö tai sänkimuokkaus)

Ohrapelto kynnetään tai sänkimuokataan puinnin jälkeen syksyllä. Kyntösyvyys on 20–3 cm. Auran työleveys 120 cm ja kyntönopeus 6–8 km/h. Auran vetämiseen tarvitaan

traktori, jonka moottoriteho on 55–60 kW. Perusmuokkauksen yhteydessä myös oljet tulevat käännettyiksi maahan.

Osa ohra-alasta sänkimuokataan, mikä tässä tapauksessa on tarpeen EU:n kasvipeitteisyysvaatimuksen (30 % peltoalasta) täyttämiseksi. Sänkimuokkaukseen, joka tehdään kahteen kertaan, käytetään yleensä kultivaattoria ja muokkaussyvyys on 12–15 cm. Kultivaattorin työleveys on 2,5 m ja sen vetämiseen tarvitaan moottoriteholtaan 60 kW:n traktori. Nopeus on 7–10 km/h. Jos kesantoala (2 ha) on sänkikesantona, kasvipeitteisyysvaatimus (30 % peltoalasta) täyttyy, kun ohra-alasta sänkimuokataan vuosittain 5 ha ja loput 28 ha kynnetään.

Kalkitus

Kalkituksen tekee yleensä erikoistunut kalkitusurakoitsija. Koneena käytetään 120 hv:n traktoria ja levitysvaunua, jonka työleveys on 12 m. Kalkitus suoritetaan talvella viiden vuoden välein. Kalkkia levitetään noin 7 000 kg/ha.

Kylvömuokkaus (tasausäestys ja kylvömuokkaus)

Kylvömuokkaus tehdään välittömästi ennen ohran kylvöä. Sen tärkein tavoite on tasata pellon kosteutta ja tuottaa kasvin kasvulle muutenkin otolliset kasvuolot. Etelä- ja Lounais-Suomen savimailla kuivuminen on yleisin ongelma, ja siksi kynnös tai sänkimuokattu pelto kannattaa muokata tasausäkeellä jo ennen varsinaista kylvömuokkausta. Tasausäestys on ajankohtainen, kun viilujen harjat ovat kuivuneet harmaiksi, mutta viilujen välissä maa on vielä kostea. Tasausäes on 2–4 -palkkinen lata, jonka työleveys 5 metriä. Ajonopeus on 5–7 km/h tunnissa, ja äkeen vetämiseen tarvitaan moottoriteholtaan 40–45 kW:n traktori.

Kylvömuokkaus on tasausäestystä seuraava työvaihe. Se voi olla myös kevään ensimmäinen työvaihe siinä tapauksessa, että tasausäestys ei ole ollut tarpeen. Kylvömuokkauksen tavoitteena on muokata pellon pintaan 5–7 senttimetrin paksuinen, melko hienojakoinen maakerros, joka hidastaa veden haihtumista. Kylvömuokkaukseen käytetään S-piikkiäestä, jonka työleveys on 4,0 m. Äkeellä on ajettava yleensä kahdesta kolmeen kertaan, jotta pellon pinta saadaan muokattua riittävän hienoksi. Äkeen sopiva muokausnopeus 7–10 km/h ja sen vetämiseen tarvitaan traktori, jonka moottoriteho on 60–65 kW.

Kylvö ja lannoitus

Kylvösiemenestä noin 4/5 on omaa, siemeneksi kunnostettua viljaa (KTTK 1996) eli yleensä viljelijä kylvää omalla tilalla tuotettua, edellisen vuoden peittaamatonta satoa.

Peitattua siementä kylvetään noin 25 % ohra-alasta. Peittausaineen tarkoituksena on ehkäistä siemenlevinteisiä kasvitauteja. Peittaukseen käytetään yleisesti nestemäistä Täyssato S (tehoaine karboksiini ja imatsaliili) -peittausainetta tai ostosiemenen ollessa kyseessä Fungazil A 25:ta (tehoaine imatsaliili).

Kylvö ja lannoitus tehdään yhdellä ajokerralla käyttäen kylvö-lannoituskonetta, jonka työleveys on 2,5 m. Kone sijoittaa ohran siemenet 12,5 cm välein oleviin riveihin noin 5 cm:n syvyyteen ja rakeisen lannoitteen 25 cm välein oleviin riveihin, jotka sijaitsevat vähän syvemmällä kuin siemenrivit. Siemeniä käytetään 450 kpl/m² (Vuorinen 1998) eli noin 190 kg/ha, jos itävyys on 95 %. Kylvö-lannoituskoneessa on yleensä myös jyräpyörästö, joka tiivistää kylvöksen. Erillinen jyräys on tarpeen vain poikkeustapauksissa – esimerkiksi, jos pellon pinnalla on runsaasti kiviä. Jos kylvölannoitin on nostolaitesovitteinen, sen vetämiseen tarvitaan moottoriteholtaan 50 kW:n traktori. Hinattavan koneen vetämiseen riittää noin 10 kW pienitehoisempi traktori.

Lannoitteena käytetään moniravinteisia lannoitteita, jotka sisältävät typpeä (N), fosforia (P) ja kaliumia (K) sekä muita kasville tarpeellisia kivennäisaineita. Ohran lannoitustarve on 100 kg N, 18 kg P ja 30 kg K/ha, jos ohraa viljellään savimaalla, jonka viljavuusluokka on fosforin ja kaliumin osalta tyydyttävä ja tavoiteltu satotaso 4 t/ha. Näitä ravinnesuhteita lähimpänä on tässä tapauksessa Pellon Y4 -lannos (NPK 20-4-7), jonka käyttömäärän ollessa 500 kg/ha saadaan hehtaarille 100 kg typpeä, 20 kg fosforia ja 35 kg kaliumia. Yhtenä vuonna neljästä voidaan käyttää Pellon typpi Y-lannosta (NPK 26-2-3) 385 kg/ha, jolloin 4 vuoden ajalle tasattuna ravinnemäärät vuosittain ovat 100 kg N, 17 kg P ja 29 kg K/ha.

Rikkakasvien ja tuhohyönteisten torjunta

Rikkakasvit torjutaan, kun viljan oraassa on 2–4 lehteä tai viimeistään sen alkaessa muodostaa sivuversoja (10.6.). Viljakasvusto peittää tällöin noin 40–50 % maan pinnasta, rikkakasvien peittävyys on tätä vähemmän. Herbisidi (esim. fenoksihappovalmiste tai pienannosherbisidi) sekoitetaan veteen, jota käytetään 200 l/ha. Ruiskun koko on yleensä 600–800 l, työleveys 10–12 m ja ajonopeus 6–7 km/h. Tuhohyönteiset torjutaan tarvittaessa eli keskimäärin kerran neljässä vuodessa. Dimetooattia sisältävää torjuntaainetta (esim. Roxion) sekoitetaan herbisidiseokseen.

Kasvitautilien ja laon torjunta

Jos on tarvetta torjua ohrasta härmää tai laikkutauteja, vilja ruiskutetaan propikonatsoli (Tilt GL) tai prokloratsi (Sportac 45 EC) -valmisteella viljojen korrenkasvun aikaan. Tautitorjunta voidaan yhdistää laontorjuntaruiskutukseen, jolloin kasvunsääde (Cerone, Terpal) ja fungisidi ruiskutetaan samalla ajokerralla.

Puinti ja kuljetus kuivuriin

Ohra puidaan noin viikon kuluttua keltatuleentumisesta, kun jyvän kosteus on keskimäärin 22 %. Leikkuupuimuri on joko oma (uutena tai käytettynä ostettu) tai vuokra-
puimuri. Puimurin työleveys on 3,0 metriä ja sen kapasiteetti ohran puinnissa on noin hehtaari tunnissa. Vilja kuljetetaan pellolta kuivuriin traktorin perävaunulla, jonka kapasiteetti on 10 m³ eli noin 6 000 kg. Ohraa viljeltäessä saadaan jyvien lisäksi myös olkea yhtä paljon kuin jyviäkin. Osa oljesta kulkee puimurin silppurin läpi takaisin peltoon ja osa jää pystyyn sänkenä.

Kuivaus

Vilja on lähes aina liian kostea varastointia silmällä pitäen ja siksi se on kuivattava. Vilja kuivataan lämminilmakuivurissa 16–20 m³:n erinä (9 600–12 000 kg) noin 13 %:n kosteuteen. Myyntiviljan ylin sallittu kosteus on 14 %.

Siirto varastoon

Vilja varastoidaan kuivurin yhteyteen rakennettuihin silloihin, jonne se siirretään kuivurista elevaattorilla. Jos silot ovat etäällä kuivurista, voidaan joutua käyttämään ruuvi- tai tasokuljettimia. Elevaattori ja muut kuljettimet ovat sähkökäyttöisiä.

Varastointi ja kuljetus myllyyn

Varastoinnin aikana ei tarvita koneita, mutta varastoinnin päättyessä vilja siirretään elevaattorilla tai ruuvikuljettimella myllyyn tai traktorin perävaunuun.

Jauhatus ja jakelu eläimille

Eläinten rehuksi käytettävä vilja jauhetaan sähkökäyttöisellä vasara- tai valssimyllyllä. Jauhon hienousaste vaikuttaa jauhamisen energiankulutukseen. Tapaustutkimuksessa tarkasteltava rehun hienousaste on karkeahko. Valssimyllyn energiankulutus on 5–9 Wh/kg ja vasaramyllyn 15–30 Wh/kg. Myllystä vilja johdetaan rehunjakovaunuun tai ruokinta-automaattiin ja jaetaan eläimille (lypsykarjalle).

Yksikköprosessiketjun ovat kuvanneet MTT:n Katri Pahkala ja Hannu Mikkola. Koneketjujen kuvaamiseen on käytetty myös Maatalouskoneiden ryhmäkoetusraportteja vuosilta 1977–1991 sekä MMM:n ohjeita tukiehdoista (Hakuopas 1998, Perustuki maataloilille 1998).

5.2 Tavoitteen ja soveltamisalan määrittely

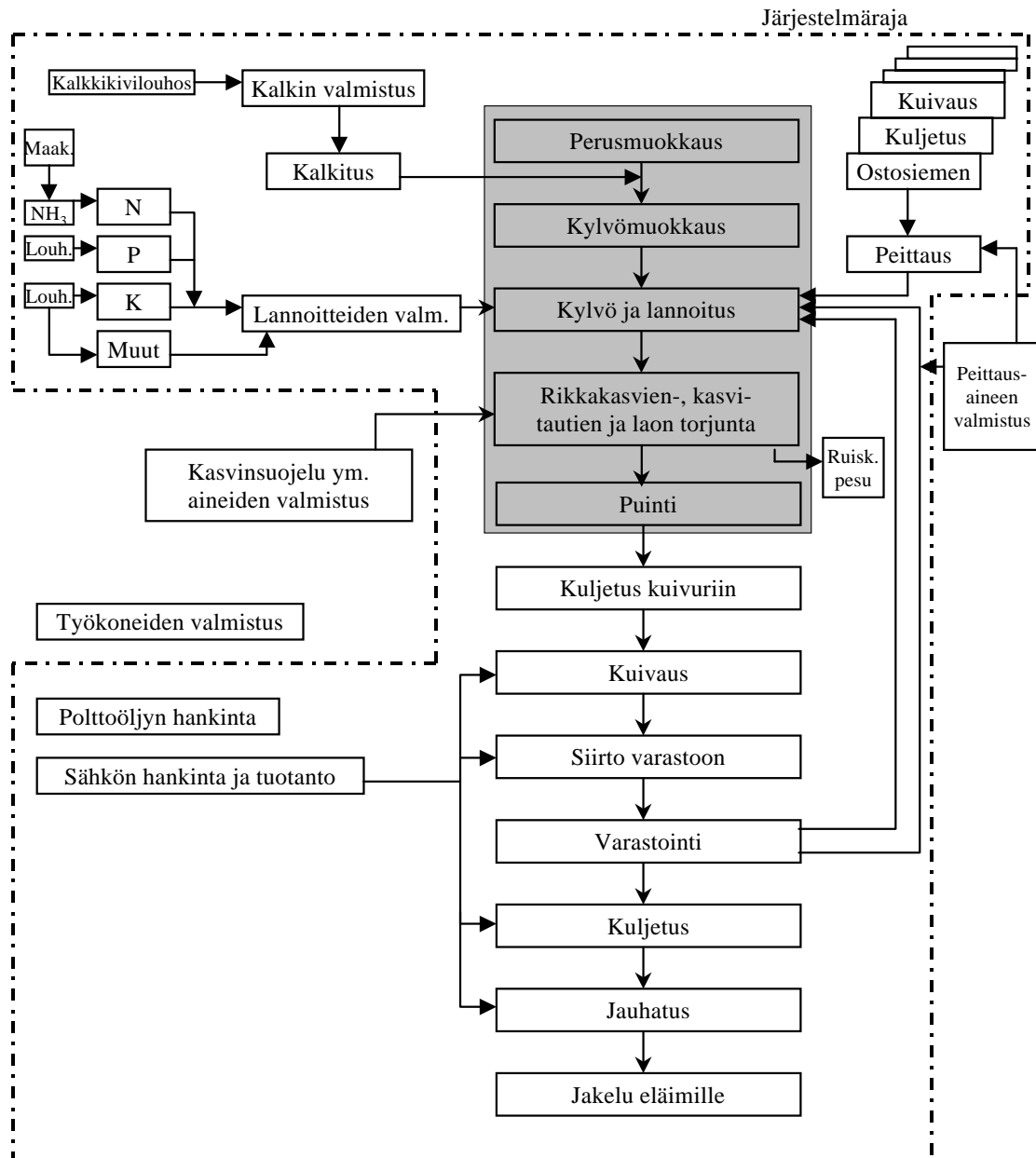
Maatalouden elinkaariarviointi poikkeaa osin oleellisesti esimerkiksi teollisten prosessien arvioinnista, jossa syötteiden ja tuotoksien välillä on nähtävissä selvä riippuvuus. Lisäksi olosuhdetekijöiden osuus maataloudessa on huomattavasti suurempi kuin teollisuudessa. Tämä vaikuttaa tietojen keruuseen ja siihen liittyviin epävarmuuksiin. Maataloudessa esimerkiksi viljelymaa on yksi syöte sadon aikaansaamiseksi, ja sen määrän ja laadun muutokset tulisi huomioida yhtenä indikaattorina elinkaariarvioinnissa. Maankäytön ja maan laadun muutokset eivät kuitenkaan ole kovin yksiselitteisesti määriteltävissä, minkä lisäksi niiden kohdentaminen tuotteille on ongelmallista. Maatalouden erityispiirteiden vuoksi LCA:han liittyvän tiedon vaatimuksia ja tiedon keruun taustaoletuksia ja periaatteita on esitetty tarkemmin seuraavissa luvuissa. Yleisellä tasolla elinkaariarvioinnin maatalouteen soveltamisen erityispiirteitä ja kehitystarpeita on käsitelty luvussa 6.

5.2.1 Tavoitteet

Elinkaariarviointia sovellettiin laatujärjestelmäpuitteisiin, jolloin oli tarpeen tehdä joitakin yksinkertaistuksia ja kompromisseja. Tarkasteltu tuotejärjestelmä rajauksineen on esitetty kuvassa 9. Tutkimuksen yhtenä tavoitteenä oli arvioida LCA-menetelmän soveltuvuutta maataloustuotteiden ympäristökuormitusten arviointiin. Pilottitutkimuksessa esitettiin vaihtoehtoisia tietolähteitä eri muuttujista ja tekijöistä, vertailtiin niitä ja valittiin mahdollisimman validit tietolähteet laskelmien pohjaksi. Tutkimuksessa myös kartoitettiin keskeisiä ongelmakohtia niin tiedon keruun kuin LCA-metodologian maatalouteen soveltamisen kannalta jatkoa ajatellen. Tämä palvelee tutkimuksen laajentamis- ja jatkamistarpeita. Toisaalta tiedoissa tulisi usein ottaa huomioon paikalliset, alueelliset, ilmastolliset ym. erot, mutta toisaalta tietojen tulisi olla riittävän keskimääräisiä johtopäätösten tekemiseksi.

5.2.2 Soveltamisala

Toiminnalliseksi yksiköksi, jota kohden lopputulokset lasketaan, valittiin 1 000 kg lypsykarjalle toimitettavaa, jauhettavaa rehuohraa (13 %:n kosteudessa).



Kuva 9. Rehuohran tuotannon yksinkertaistettu elinkaari ja sen rajaukset. Kuvan keskellä kulkee viljelyyn liittyvä koneketju. Katkoviivan sisäpuolelle rajattu alue on tapaustutkimuksessa tarkasteltu tuotejärjestelmä. Maankäyttöön liittyvät prosessit erottuvat harmaasta taustaväristään. Työkoneiden valmistusta ja polttoöljyn hankintaa ei ole yhdistetty näkyvästi niitä seuraaviin prosesseihin, mutta ne liittyvät koko koneketjuun kynnöstä jauhatukseen. Luvuissa 5.1.2.3 ja 5.2.2 on esitetty järjestelmään liittyviä rajauksia ja valintoja yksityiskohtaisesti.

Rehuohran tuotejärjestelmään liittyvän elinkaaren tarkastelu sisälsi viljelyn osalta pelloilla tapahtuvat prosessit (kyntö, äestys, kylvö, kasvinsuojeluaineiden levitys, korjuu ym.) sekä vastaavasti viljelymaalta aiheutuvat kuormitukset (ravinnehuuhtoutumat, NH₃- ja N₂O-päästöt). Pelloilla tapahtuva työ sisälsi traktorin ja työkoneiden kuluttamat

polttoaineet sekä niiden kulutuksesta aiheutuvat päästöt. Kasvintuotannosta inventoitiin siemenviljan ja hiilidioksidin kulutus, käytetyt ravinteet ja kasvinsuojeluaineet sekä niiden käytöstä aiheutuvat kuormitukset. Viljan jatkokäsittelyyn sisältyivät rehuohran kuljetukset ja siirrot, kuivaus, varastointi ja jauhatus. Lisäksi tarkasteluun sisältyivät panostuotanto lannoitteiden, ostosiementen ja kalkin osalta, kuljetukset, kuljetuspolttoaineiden hankinta ja valmistus, energianhankinta ja -tuotanto sekä pakkauksien valmistus.

Rajaukset maan vertikaalisessa suunnassa

Kuvassa 9 harmaalla taustavärillä esitetyn viljelymaan käyttö rajattiin sisältäväksi maan pintakerroksen (noin metrin syvyyteen) sekä pintavedet kuvan 3 mukaisesti. Pohjavedet rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle, vaikka ne ovatkin keskeisiä esimerkiksi käyttökelpoisen juomaveden kannalta.

Maantieteelliset ja alueelliset rajaukset

Rehuohran viljelyn oletettiin tapahtuvan II vyöhykkeen alueella Etelä-Suomessa savi-maa-alueella. Lisäksi paikallisilla olosuhteilla, kuten maan 'laadulla', kaltevuudella tai vesistön läheisyydellä, saattaa olla merkittävä vaikutus ympäristövaikutusten kannalta. Vesistön vieressä olevien peltojen kuormitus saattaa olla suurempaa kuin kauempana vesistöstä olevilla pelloilla, koska ojassa virtaava vesi puhdistuu jonkin verran ennen kuin se laskee vesistöön. On kuitenkin muistettava, että ravinteita kulkeutuu ojavesien mukana kaukaisemmiltakin pelloilta.

Ajalliset rajaukset ja viljelykierron huomiointi

Järjestelmää tarkasteltiin yhden vuoden aikana tuotetun rehuohratonnin kannalta ottaen kuitenkin huomioon viljelykierron aikana tehtävät muutokset, joilla on merkitystä tarkasteluvuodelle. Tarkasteluvuotena 40 hehtaarin viljatilalla ohraa oletettiin viljeltävän puhtaana kasvustona (ei nurmen suojaviljana). Viljelykierrossa ohran (33 ha) lisäksi oletettiin tilalla viljeltävän syysviljaa (5 ha). Vuosittain noin 5 % pelloista on sänkikesantoa, eli tässä tapauksessa 2 ha. Sänkikesannon osalta tapahtuvat huuhtoutumat allokoitiin viljalajien alojen suhteessa niiden tuotannolle. Vastaavasti esimerkiksi kalkitus tehdään tavallisesti vain viiden vuoden välein. Tässä käytetty kalkkimäärä jaettiin tasaisesti sen vaikutusajalle.

Inventaario- ja vaikutusluokat

Tutkimuksessa käsitellyt inventaarioluokat olivat pääosin primäärienergian kulutus, kasvinsuojeluaineiden käyttö tehoaineina, tyypilliset ilma- ja vesipäästöt sekä torjunta-

ainekuormitukset. Myös muita viljelijän kannalta oleellisia inventaarioparametrejä, kuten polttoaineiden kulusta tarkasteltiin.

Olki viljelyn sivutuotteena

Viljelyn sivutuotteena syntyy olkea määrällisesti yhtä paljon kuin viljaa. Tutkimuksessa oletettiin, että oljet kynnetään takaisin maahan eikä niitä siis käytetä varsinaisina tuotteina. Täten aiheutuneita ympäristökuormituksia ei tarvinnut allokoida tuotteiden (vilja ja olki) kesken, vaan allokointi vältettiin laajentamalla järjestelmätarkastelua kattamaan myös oljen käsittely.

Viljelymaalta aiheutuvien suorien ympäristökuormitusten arviointi

Viljelymaalta aiheutuvien suorien ympäristökuormitusten arviointiin liittyy epävarmuuksia, jotka on hyvä tiedostaa. Tässä tutkimuksessa ne (typpi- ja fosforihuuhtoutumat sekä NH_3 - ja N_2O -päästöt ilmaan) arvioitiin sen mukaan, paljonko peltoviljelyn arvioitiin lisäävän ravinnepäästöjä luonnontilaiseen alueeseen verrattuna. Taustarvoina käytettiin metsämaita mitattuja ravinnehuuhtoumia ja typpioksiduulipäästöjä. Tosin pellot on yleensä raivattu ravinteikkaille metsämaita, joissa päästöt saattoivat alunperinkin olla hieman suuremmat kuin nykyisillä, melko karuilla metsämailla. Kohdassa 5.2.3.3 viljelymaan kuormitusten arviointia kuvataan yksityiskohtaisesti kunkin päästötyypin osalta erikseen.

5.2.3 Tiedon keruun periaatteita ja lähteitä

5.2.3.1 Biologinen kasvintuotanto

Viljan kasvun aikana hiilidioksidia sitoutuu viljaan siten, että hiiltä on sekä jyvissä että oljessa 35–45 % (Wolf & Janssen 1991; Peltonen, Kemira Agro Oy, 1999, e-mail-tiedonanto). Esimerkiksi 40 %:n hiiliosuus vastaisi hehtaarisatoa kohden n. 10 t hiilidioksidin sitoutumista olkeen ja jyviin. Lisäksi hiiltä sitoutuu mm. juuriin. Viljan käyttö (esim. karjan ruokinta) ei varsinaisesti sisälly tutkimukseen, joten hiilidioksidin vapautuminen takaisin ilmakehään kotieläinten tai ihmisten välityksellä jätettiin huomioimatta. Todellisuudessa viljassa oleva hiili vapautuu hiilidioksidina ja osa mahdollisesti metaanina elinkaarensa jossain vaiheessa. Vilja tavallaan toimisi näiden järjestelmärajausten puitteissa siis hiilinieluna, mutta kokonaisuuden (karjan mukaan ottaminen ym.) kannalta tuloksia ei ole näin mielekästä esittää. Vastaavasti sänkeen ja maahan takaisin kynnetyihin olkiin sitoutunut hiili vapautuu maasta takaisin ilmakehään elinkaarensa jossain vaiheessa.

Näin ollen kokonaishiilitaseen oletettiin tutkimukseen valituissa muuttumattomissa viljelyoloissa olevan tasapainossa, eli kasvustoon, juuriin ym. sitoutuneen biogeneettisen CO₂:n oletetaan vapautuvan myöhemmin takaisin ilmakehään hiilidioksidina.

5.2.3.2 Maatalousprosessit

Traktorien koneketjut

Koneketjujen ja eri työvaiheissa tarvittavien konetehojen määrittäminen perustui MTT:n Maatalousteknologian tutkimusyksikön kokemukseen maatalouskoneiden testauksesta sekä testaajien kokemukseen käytännön viljelystä. Työkoneiden oletettiin olevan noin viiden vuoden ikäisiä, mikä huomioitiin koneiden päästöjen arvioinnissa. Käytetyt traktorit olivat 40–60 kW:n tehoisia traktoreita, paitsi kalkitukseen käytetty traktori 90 kW. Näiden yleisimpien traktoreiden polttoaineiden maksimikulutukset olivat välillä 13–18 l/h.

Keskimääräisiä polttoaineenkulutuksia työkoneille ovat esittäneet mm. Audsley et al. (1997) sekä Palonen & Oksanen (1993), joiden tietoja käytettiin tutkimuksessa vertailutietoina. Tässä tutkimuksessa selvitettiin keskimääräisten kulutusten lisäksi myös eri työvaiheiden polttoaineenkulutuksia ja niiden eroja. Tarvittava polttoainemäärä eri työvaiheissa arvioitiin työsaavutuksen (ha/h), kuormitusprosentin (prosenttia maksimitehosta) ja traktorin maksimikulutuksen (l/h) perusteella. Eri työvaiheissa polttoaineenkulutus vaihteli suuresti kuormitusprosentin vaihdelta rikkatorjunnan 20 %:sta kylvömuokkauksen 85 %:iin. Myös traktorimoottorin ja voimansiirron öljyn kulutus huomioitiin tutkimuksessa.

Koneiden työsaavutukset määritettiin työnmenekkien perusteella. Työnmenekkejä eri viljelyvaiheissa on tutkinut Suomessa kattavasti Työtehoseura. Työnmenekit eri työvaiheissa perustuivat Työtehoseuran maataloustiedotteeseen (14/1992). Näissä huomioidaan suoritusajan lisäksi myös apu- ja valmisteluajat.

Työkoneiden päästölaskelmat perustuivat tutkimuksen tekohetkellä uusimpaan suomalaiseen alan selvitykseen (Mäkelä & Tuominen 1998). Siinä olevat päästökertoimet perustuvat EU:n määrittelemiін uusien työkoneiden päästönormiarvoihin (Andrias et al. 1994). Tämän lisäksi tietolähteinä olivat Purasen (1992) tutkimus sekä moottorivalmistajan (Ylivakeri, Sisu-Diesel, 1999, suullinen tiedonanto) tiedonannot. Tässä hankkeessa tarkasteltiin ja vertailtiin em. lähteitä, ja päädyttiin lopulta käyttämään Mäkelän ja Tuomisen (1998) tutkimuksen arvoja. Päästölaskennassa käytettiin traktorien ikäkertoimia Mäkelän ja Tuomisen (1998) tutkimuksen mukaisesti.

Kuivaus

Vilja oletettiin kuivattavan lämminilmauivurissa 16–20 m³:n erinä (9 600–12 000 kg) 22 % kosteudesta noin 13 % kosteuteen. Lämminilmauivurissa käytetään polttoaineena kevyttä polttoöljyä. Sen lisäksi tarvitaan sähköä puhaltimen, kuljettimien ja valaistuksen voimanlähteeksi. Näitä vastaavat energiankulutustiedot määritettiin Työtehoseuran maataloustiedotteen (5/92) perusteella. Vaihtoehtoisena tapana olisi kuivata vilja kylmäilmakuivurissa, johon pitäisi kerralla mahtua noin puolet koko viljamäärästä eli 80 000 kg.

Maatalouden kuivurien päästöistä ei löytynyt kovinkaan luotettavaa tietolähdettä. Kuivurien päästöjen arvioimiseksi vertailtiin Tilastokeskukselta saatuja tietoja (Grönfors, Tilastokeskus, 1998, kirjallinen tiedonanto), polttimon valmistajalta saatuja tietoja (Oilon, 1998), ETH¹⁰-tietokannan tietoja (10 kW:n kattila) sekä Nesteen (1997b) ilmoittamia tietoja. Maataloudessa käytettävissä kevytöljykattiloissa ei käytetä savukaasujen puhdistuslaitteita. Näin ollen oletettiin, että Nesteen (1997b) ilmoittamien (kevyen polttoöljyn käyttö lämmityspolttoaineena) päästöarvojen vaihteluvälin maksimiarvot olisivat kelvollisia arvioita kuivurien päästöistä. Näiden arvojen havaittiin olevan lähellä polttimon valmistajan ilmoittamia tietoja. Tilastokeskukselta saadut päästötiedot olivat puutteellisia. ETH-tietokannasta soveltuvien tietojen olivat 10 kW:n kattiloita koskevat keskimääräiset tiedot, mutta ne olivat monen päästöparametrin arvosta liiaksi erilaisia kuin muut lähteet. Kuivurien päästöjen osalta päätettiin käyttää lopulta Nesteen (1997b) ilmoittamia arvoja. Valintaa tuki myös se, että Nesteen ilmoittamat arvot ovat julkiset.

5.2.3.3 Maatalouspanosten valmistus, käyttö ja käytöstä aiheutuvat ympäristökuormitukset

Lannoitteet

Lannoitustarve ohralle on 100 kg N, 18 kg P ja 30 kg K/ha viljellessä ohraa savimaalla, jonka viljavuusluokka on fosforin ja kaliumin osalta on tyydyttävä ja tavoiteltu satotaso 4 000 kg/ha. Ympäristötuen ehtojen mukaisesti annetut ravinnemäärät voidaan tasata neljän vuoden ajalla siten, että ne ovat keskimäärin vuotta kohden 100 kg N, 17 kg P ja 29 kg K/ha, mikä vastaa 375 kg Pellon Y4 -lannosta ja 96 kg Pellon typpi-Y -lannosta.

¹⁰ Eidgenössische Technische Hochschulen ylläpitämä elinkaaritietokanta (Frischknecht et al. 1994)

Lannoitteiden käytöstä sekä viljelytoimista aiheutuvia päästöjä on tarkasteltu laajasti jo luvussa 4. Ravinnetasetta on hahmoteltu luvun 4.1 kuvissa 3 ja 5. Ravinteita kulkeutuu veteen sekä erodoituneen maa-aineksen mukana. Kohdan 5.2.2 kohdassa "Viljelymaalta aiheutuvien suorien ympäristökuormitusten arviointi" on kuvattu peruserä, miten viljelymaalta aiheutuvia suoria ympäristökuormituksia on tässä tapaustutkimuksessa arvioitu. Em. kohdan mukaisesti kokonaistypen luonnonhuuhtoutumaksi arvioitiin 1 kg/ha ja kokonaisfosforin vastaavasti 0,1 kg/ha. Liuenneen fosforin ja erodoituneen maa-aineksen kuormituksesta luonnontilaisilla alueilla ei ole paljoa tutkimustietoa. Luonnontilaisten alueiden maanviljavuusfosfori on melko alhainen, joten liuenneen fosforin huuhtoutumankin voidaan olettaa olevan vähäistä. Myös eroosio on vähäistä luonnontilaisilla metsäalueilla, koska maata ei muokata ja maanpinta on kasvillisuuden peitossa.

Kokonaistypen ja -fosforin sekä eroosioaineksen päästöt kynnetyltä savimaalta arvioitiin MTT:n Luonnonvarojen tutkimuksen asiantuntijaryhmässä. Kynnetyn ohraan kokonaistypikuorman arvioitiin olevan 14 kg/ha ja kokonaisfosforikuorman 1,3 kg/ha. Edellä esitettyjen tausta-arvojen vähentämisen jälkeen pellon kokonaistypikuormaksi saatiin 13 kg/ha ja totaalifosforikuormaksi 1,2 kg/ha. Leville käyttökelpoisen liuenneen fosforin osuuden arvioitiin olevan 28 % kokonaisfosforista (Ekholm 1998) ja liuenneen typen (nitraatti-, ammonium- ja nitriittitypen) osuuden 85 % kokonaistypestä. Sänkimuokatun ja sänkimaan eroosio ja ravinnekuormitus arvioitiin Turtolan ja Lemolan (1999) tulosten mukaan.

Ravinteiden osalta vain liukoisessa muodossa olevat typpi ja fosfori huomioitiin laskelmissa, koska muut em. ravinteiden huuhtoutumat (esim. orgaaniseen ainekseen sitoutunut typpi) eivät vaikuta rehevöitymiseen. Arvio valumaveden liukoisessa muodossa oleva fosforista sisälsi heti liukoisessa muodossa olevan fosforin sekä myös eroosioainekseen sitoutuneesta fosforista sen osan, joka ajan myötä saattaa muuttua liukoiseen muotoon (Ekholm 1998).

Taulukossa 4 on esitetty arvoidut ravinnehuuhtoutumat ja eroosiokuormitus ohraanviljelyyn käytetystä savimaasta eri muokkausmenetelmillä. Taulukossa on eroteltu kokonaistyyppi (Kok-N), liukoisessa muodossa oleva typpi (Liuk-N), kokonaisfosfori (Kok-P), liukoisessa muodossa oleva fosfori (Liuk-P) sekä erodoituva kokonaisaines. Tiedot on esitetty erikseen kynnetylle, sänkimuokatulle ja sänkenä olevalle maalle. Kynnetyn maan osalta on myös esitetty lukuarvojen vaihteluvälit. Ohrahehtaarilta aiheutuvien huuhtoumien lisäksi tilan sänkikesannon osuuden huuhtoumia allokoitiin tutkitulle rehuohrajärjestelmälle pinta-alojen suhteessa. Näin tehtiin viljelykierron vaikutuksen huomioimiseksi koko järjestelmän kannalta. Toiminnallista yksikköä kohden laskettaessa typpihuhtoumista vähennettiin vielä niistä vapautuvat epäsuorat typpioksiduulipäästöt ilmaan.

Taulukko 4. Arvioidut ravinnehuuhtoutumat ja eroosikuormitus (kg/ha) ohranviljelyyn käytetystä savimaasta.

Ohramaa	Kok-N	Liuk-N	Kok-P	Liuk-P	Eroosioaines
Kynnetty	13 (7,6–19,4)	11	1,2 (0,5–1,6)	0,336	1700 (200–7000)
Sänkimuok.	12	10	1,2	0,437	1500
Sänki	10	8,5	1,0	0,437	1400

Typen päästöistä ilmaan ammoniumtyyppinä, typpioksiduulina (N₂O) ja typpikaasuna on hyvin vähän mittaustietoa Suomen oloissa. Ammoniumtyyppiä arvioitiin haihtuvan ilmaan tyyppinä 0,5 % sijoituslevitetyn lannoitteen tyyppinä (Grönroos et al. 1998a). Pintaan levitettävästä lannoitteesta tyyppinä haihtuisi enemmän.

Typpioksiduulipäästö vaihtelee muun muassa alueittain, sääolojen, vuodenajan, maala-
jin ja viljelykasvin mukaan. Viljelymaalta tapahtuvat suorat typpioksiduulipäästöt ar-
vioitiin IPCC:n (1996b) ohjeiden mukaan, jolloin N₂O-N -päästöiksi saatiin 1,25 % lan-
noitetyypin määrästä. Ennen suorien N₂O-päästöjen laskemista on käytetystä N-
lannoitteen määrästä vähennetty siitä haihtuva ammoniakki. Luvussa 5.2 esitettyjen
luonnontilaisten päästöjen laskennassa tulee toisaalta huomata, että mittauksissa metsä-
maan N₂O-päästö on ollut vain 0,05–0,1 kg N₂O hehtaarilta vuodessa, kun se esimer-
kiksi Bouwmanin (1996) esittämässä yhtälössä (ks. luku 4.2) on 1 kg N₂O-N/ha. Ra-
vinteikkaassa metsämaassa avohakkuuta seuraavana vuonna päästö voi nousta noin yh-
teen kiloon hehtaarilta vuodessa, mutta laskee sen jälkeen nopeasti (Kuusisto et al.
1996). Niin sanottuja epäsuoria typpioksiduulipäästöjä tulee viljelymaasta, kun pelloilta
vesistöön huuhtoutuneesta tyyppinä osa denitrifioituu ja haihtuu ilmaan typpioksiduulina.
Arviolta 2,5 % huuhtoutuneesta tyyppinä poistuu epäsuorien typpioksiduulipäästöjen mu-
kana ilmaan. Tällä tavoin saatuihin kokonaistyyppioksiduulipäästöihin liittyy siis mer-
kittävää epävarmuutta, jota on tarkasteltu mm. tulosten osalta kohdassa 5.3.1.2 kohdassa
Ilmapäästöt.

Lannoitteiden valmistuksen ympäristökuormitus huomioitiin aina mineraaliraaka-
aineiden hankinnasta lähtien kuljetuksineen valmiiksi tuotteiksi. Tiedot saatiin kotimai-
selta lannoitevalmistajalta (Ilomäki, Kemira Agro Oy, 1999, kirjallinen tiedonanto), ja
ne sisälsivät luonnonvarojen ja energian kulutukset sekä aiheutuneet päästöt. Tiedot
olivat erikseen molemmista käytetyistä lannoitteista.

Lannoitteiden valmistustiedot saatiin suoraan sellaisinaan teollisuudesta. Koska kysei-
sillä valmistusketjuilla oli tietyiltä osin keskeinen merkitys lopputuloksille, vertailtiin
tietoja seuraavanlaisesti. Koska lannoitteiden osalta keskeisiä ympäristökuormituksia
aiheutuu ammoniakkin tuotantovaiheen energian kulutuksesta (sekä polttoaineena että

tuotteeseen sitoutuvana energiana), ammoniakkin valmistuksen tietoja vertailtiin CEFIC:n¹¹ julkaisemiin tietoihin (Boustead 1997) sekä EFMA:n¹² (1995) julkaisemiin BAT-tietoihin¹³. Vertailun perusteella tutkimuksessa ainakin ammoniakkin tuotannosta käytetyt tiedot vaikuttivat luotettavilta ja edustivat uutta tuotantoteknologiaa. Lisäksi suuntaa antavasti vertailtiin typpihapon tuotannon N₂O-päästöjä Norsk Hydron (1999) ilmoittamiin vastaaviin tietoihin.

Suomessa valmiiden lannoiteseoksien kuljetusmatka on keskimäärin 200 km. Kuljetuksen ympäristökuormitukset on määritetty NTM:n tietojen perusteella (NTM 1999). Lannoitteet pakataan joko suur- tai piensäkkeihin. Tässä tapauksessa lannoitteet oletetaan pakattavaksi 600 kg lannoitetta sisältäviin suursäkkeihin. Ulkosäkit on valmistettu polypropeenista ja sisäsäkit polyeteenistä. Suursäkkien valmistus on sisällytetty laskelmiin raaka-aineiden hankinnasta lähtien eli öljyn hankinnasta lähtien. Tietolähteenä on käytetty APME:n¹⁴ vuonna 1998 päivitettyjä lukuja (alkuperäinen julkaistu lähde: Boustead 1993). Nämä luvut on muunnettu vastaamaan muita tutkimuksessa käytettyjä lukuja. Tämä liittyy lähinnä tiettyjen sähköntuotantotapojen muuntoon kansainvälisen käytännön mukaiseksi (Tilastokeskus 1999). Käytön jälkeen lannoitesuursäkit eivät ole materiaalipaksuutensa vuoksi kierrätettävissä, vaan ne päätyvät kaatopaikalle.

Kalkki

Maaperän oikealla pH-tasolla on huomattava merkitys viljelymaan satoisuuteen. Viljelymaan ollessa Suomessa luonnostaan hapanta pH-tasoa korjataan viljelyoloille paremmaksi kalkituksen avulla. Kalkitus suoritetaan yleensä viiden vuoden välein. Keskimääräisenä kalkkimääränä voidaan pitää 7000 kg/ha/5v. Tässä tapauksessa sen oletetaan jakautuvan tasaisesti ko. ajanjaksolle, jolloin rehuohran tuotannolle käytetystä kalkin määrästä on kohdennettu viidennes, eli 1 400 kg/ha. Kalkituksessa vapautuvan hiilidioksidin määrää on arvioitu IPCC:n (1996a) ohjeiden pohjalta. Tutkimuksessa tehtyjen laskelmien perusteella IPCC:n ilmoittama 'hiilikerroin' dolomiittikalkista vapautuvalle hiilidioksidille oli teoreettisesti laskettuna liian pieni. Tehtyjen laskelmien

¹¹ European Chemical Industry Council

¹² European Fertilizer Manufacturers' Association

¹³ Best Available Technique

¹⁴ Association of Plastics Manufacturers in Europe

perusteella vapautuvaksi CO₂-määräksi arvioitiin 477 kg käytettyä kalkkitonnia kohden, joka on noin 7 % suurempi kuin IPCC:n (1996a) vastaava arvo.

Kalkin valmistuksen (murskaus, jauhaminen ja kuivaus) tiedot ovat kotimaiselta magneesiumpitoisen dolomiittikalkin tuottajalta (Westerberg, Partek Nordkalk Oy, 1999, kirjallinen tiedonanto). Tiedot kattavat vaiheet tehtaalta tuotteeksi kuljetuksineen. Kuljetus tiloille tapahtuu säiliöautoilla. Kalkin louhinnan tiedot ovat EAA:n¹⁵ tietokannasta (EAA 1998). Tietojen todettiin olevan samaa suuruusluokkaa IDEA-tietokannan¹⁶ (Lübker et al. 1991) tietojen kanssa. Kalkin valmistusketjusta saadut tiedot olivat niukat. Toisaalta niiden mukaan arvioitu kalkin valmistuksen ympäristökuormitusten osuus tutkituista vaikutusluokista koko elinkaaren ajalta oli suhteellisen pieni.

Torjunta-aineet

Rehuohran, kuten muidenkin viljelykasvien kemiallinen kasvinsuojelu toteutetaan tiloilla tarpeen mukaan. Torjuntatarve ja kasvinsuojelutoimet vaihtelevat vuosittain sekä ajallisesti että laadullisesti kasvintuhoojien esiintymisen, sään ja halutun satotason mukaan. Tässä tapaustutkimuksessa on huomioitu vähintään 4 t/ha satotasoon tarvittavat toimet sääoloiltaan normaalina vuonna.

Torjunta-aineet sisältävät yhden tai useamman tehoaineen lisäksi myös muita aineita. Samaan tarkoitukseen on hyväksytty tavallisesti useita eri kauppavalmisteita. Tässä tutkimuksessa on valittu kuhunkin tarkoitukseen yleisesti käytössä oleva valmiste (Lallukka 1998), ja ne on esitetty taulukossa 5. Edellytyksenä on ollut myös, että valmisteiden ympäristövaikutuksista on ollut saatavissa riittävästi tietoa.

Torjunta-aineet ruiskutetaan kasvustoon vesiliuoksena, ja vettä oletetaan käytettävän 200 l/ha, ja ruiskun tilavuudeksi oletetaan 800 l. Poikkeuksena on peittäus. Siinä siemenet käsitellään torjunta-aineella ennen kylvöä.

Peitattua siementä kylvetään noin 25 % ohra-alasta. Tutkimuksessa on tämän mukaisesti oletettu, että esimerkkitalalla ohran kylvöalasta kylvetään 75 % peittaamattomalla siemenellä, 20 % ostosiemenellä, joka on peitattu Fungazil A 25:llä (tehoaine imatsaliili),

¹⁵ European Aluminium Association

¹⁶ An International Database for Ecoprofile Analysis, IIASA:n ja VTT:n kehittämä tietokanta- ja laskentaohjelmisto.

sekä 5 % tilalla Täyssato S (tehoaine karboksiini ja imatsaliili)-peittausaineella peittamalla siemenellä.

Taulukko 5. Rehuohran viljelyssä käytetyt torjunta-aineet ja niiden levitysaika keskimäärin.

Valmisteen nimi	Valmisteen käyttömäärä	Tehoaineen/aineiden nimi	Tehoaineen käyttömäärä
Peittaus ennen kylvöä (12. toukokuuta)			
Täyssato S neste	200 ml/100 kg siementä	Karboksiini/imatsaliili	190/9,5 g/ha
Fungazil A 25 neste	200 ml/100 kg siementä	Imatsaliili	9,5 g/ha
Rikkakasvien (joka vuosi) ja tuhohyönteisten torjunta (noin joka neljäs vuosi) samalla ajokerralla (10. kesäkuuta)			
Duplosan Super (rikkakasvit)	1,5 l/ha	MCPA/diklorproppi/mekoproppi-P	360/698/285 g/ha
Roxion (tuhohyönt.)	0,4 l/ha	Dimetoaatti	160 g/ha
Kemira-kiinnite	0,1 l/ha	C5-C10-alkyyliifenoli-polyglykolieetteri	100 g/ha
Laon ja kasvitautien torjunta samalla ajokerralla (20. kesäkuuta) noin joka neljäs vuosi			
Tilt GL (kasvitaudit)	0,2 kg/ha	Propikonatsoli	125 g/ha
Cerone (laontorjunta)	0,3 l/ha	Etefoni	144 g/ha
Kemira-kiinnite	0,1 l/ha	C5-C10-alkyyliifenoli-polyglykolieetteri	100 g/ha

Keväällä siemenestä itävät kaksisirkkaiset rikkakasvit torjutaan herbisidiruiskutuksella. Herbisidiksi on valittu tässä tapauksessa fenoksihappoja sisältävä Duplosan Super, joka on edelleen yleisesti käytössä. Viljelyksiltä saatetaan joutua muutaman vuoden välein torjumaan kemiallisesti myös juolavehnää ja jopa hukkakauraa, mutta näitä toimia ei ole otettu huomioon niiden epäsäännöllisyyden vuoksi.

Kasvitautien ja laon torjunta tehdään samalla ajokerralla tankkiseoksena. Toimenpide ei yleensä kannata taloudellisesti rehuohran 4 t/ha satotasolla normaalivuonna (viljan hinta 60 p/kg: pitäisi saada noin 700 kg/ha sadonlisäys), joten se tehdäänkin vain noin joka neljäs vuosi. Tässä tutkimuksessa valittiin härmän ja laikkutautien torjunta-aineeksi propikonatsoli (Tilt GL) ruiskutettavaksi viljojen korrenkasvun aikaan yhdessä kasvun-säätteen (Cerone) kanssa.

Tyhjentyneet torjunta-ainepakkaukset huuhdellaan ruiskusäiliöön tilalla. Tyhjen pakkausten hävittämisestä on ohjeet pakkauksissa. Jokaisen torjunta-aineruiskutuksen jälkeä ruisku pestään seuraavasti: esipesu pellolla letkulla päältä ja sisältä (noin 120 litraa vettä), varsinainen pesu pesuliuksella, jota käytetään 20 % ruiskun tilavuudesta (noin 160 litraa vettä) ja huuhtelu 2 kertaa (160+160 litraa vettä). Ruiskun pesuun kuluu vettä yhteensä noin 600 litraa. Tiloille suositellaan perustettavaksi ns. biopeti, jolle tähteeksi jäänyt ruiskute ja tankin pesuvedet voidaan ruiskuttaa. Biopedit ovat Ruotsissa nykyisin jo yleisiä.

Torjunta-aineiden valmistuksesta pyrittiin hankkimaan tietoa hankkeen aikana, mutta ne valmistajat, joihin oltiin yhteydessä ilmoittivat, ettei tuotekohtaista inventaariotietoa ole saatavilla. Asiaa selvitettiin myös yhdessä Kasvinsuojeluteollisuus ry:n kanssa. Tilanne on tällä hetkellä kansainvälisestäkin se, ettei ainakaan julkisiin LCA-laskelmiin soveltuvaa tuotekohtaista tietoa ole tällä hetkellä käytännössä saatavissa. Audsleyn et al. (1997) mukaan torjunta-aineiden tuotannolla ei olisi oleellista merkitystä viljelyn elinkaaren ympäristökuormitukseen. Arvio perustunee kuitenkin lähinnä energiankulutukseen.

Torjunta-aineiden ympäristökuormitukset perustuvat pitkälti saatavilla oleviin tietolähteisiin (mm. Knisel 1993, Tomling 1998, Liikanen 1998) ja niistä Maatalouden tutkimuskeskuksen Pirkko Laitisen tekemään asiantuntija-arvioon. Torjunta-aineiden käyttäytymistä ja kulkeutumista mallinnettiin ICECREAM-mallilla niiden aineiden osalta, joista oli saatavilla mallintamiseen tarvittavat parametrit (Salo et al. 1993, Rekolainen & Posch 1993, Laitinen & Tuhkanen 1998).

Ympäristökuormitusta käsiteltiin kahdessa vaiheessa: käsittelyhetkellä (vaihe 1) ja vuoden jaksolla käsittelyn jälkeen (vaihe 2). Vaiheessa 1 ruiskute jakautuu ilman, kasvien ja maanpinnan kesken. Vaiheessa 2 osa kasvustoon joutuneesta torjunta-aineesta hajoaa ja osa huuhtoutuu maahan. Maahan joko ruiskutustilanteessa tai myöhemmin kasvustosta sinne huuhtoutunut aine hajoaa ja/tai kulkeutuu veden mukana syvemmälle maahan tai pellon ulkopuolelle tai sitoutuu maa-ainekseen. Näitä vaiheita arvioitiin aineen ominaisuuksien ja maalajin sekä muokkausmenetelmän perusteella. Ympäristökuormitusta arvioitaessa käytettiin taulukon 6 mukaisia oletuksia.

Torjunta-aineiden ympäristövaikutuksia ei pystytä vielä arvioimaan. EU:ssa on meneillään torjunta-aineiden ympäristöriskien arviointimenetelmien evaluointi, jonka tavoitteena on valita riskinarvioinnissa käytettävät menetelmät ja parametrit (Consentred Action on Pesticides Environmental Risk (CAPER)). Joidenkin aineiden arviointi on jo lähiaikoina mahdollista.

Taulukko 6. Torjunta-aineiden ympäristökuormitusten arvioinnissa käytettyjä oletuksia.

<p><u>Vaihe 1: Torjunta-aineen jakautuminen käsittelyhetkellä</u></p> <ul style="list-style-type: none">i) Käsittelyt tehdään optimiolosuhteissa: tyyni, mieluummin pilvinen sää.ii) Ilmavirtojen mukaan lähtee enintään 10 % ruiskutteesta.iii) Peittauksessa päästöt ilmaan ovat minimaaliset.iv) Ruiskutteen jakautuminen kasvuston ja maan kesken on arvioitu kasvuston peittävyuden perusteella.
<p><u>Vaihe 2: Torjunta-aineen jakautuminen ympäristöön kasvukauden aikana</u></p> <ul style="list-style-type: none">i) Maalaji on vähähumuksinen savi. Pelto on salaojitettu ja muokkaus on kevennetty syysmuokkaus. Sää on keskiarvo 30 vuoden ajalta.ii) Ilmaan joutuva osuus on suurempi kuin ruiskutushetkellä vain, jos aine on haihtuva.iii) Maahan joutuva osuus on suurempi kuin ruiskutushetkellä, jos aine ei hajoa lehdillä nopeasti ja on herkästi huuhtoutuva (jos huuhtoutumisfraktio lehdiltä on suurempi kuin 0.5).iv) Osa kasvustoon joutuneesta torjunta-aineesta hajoaa kasvustossa, osa huuhtoutuu maahan ja osa haihtuu ilmaan.v) Edellä mainittuja vaiheita on arvioitu aineiden ominaisuuksien (vesiliukoisuus, haihtuvuus, huuhtoutuvuusfraktio lehdiltä, hajoavuus maassa ja lehdillä, kulkeutuvuus maassa perusteella), mikäli ainekohtaisia tietoja on ollut saatavilla.vi) Pintavesiin joutuvaa osuutta on arvioitu (1) MTT:n omien tutkimusten (Pihlava 1998) ja hollantilaisen ”Yardstick for pesticides” ohjelman perusteella. Siinä oletetaan, että kasvuston ollessa alle 25 cm korkea, pintavesiin huuhtoutuu 2 % torjunta-aineesta. Jos kasvusto on korkeampi, huuhtoutuu 1 % (Reus & Leedertse 1998).

5.2.3.4 Tuotantohyödykkeiden valmistus

Tuotantorakennusten ja koneiden rakentaminen rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle. Niiden käyttöaikoja (Laine 1998) ja mahdollisia tietolähteitä kuitenkin kartoitettiin (mm. IISI¹⁷, APME, valmistajat). Johtopäätösten tueksi tehtiin joitakin karkeita laskelmia. Kunnossapidon vaatimat syötteen ja tuotokset ovat tarkastelussa mukana traktorin moottorin ja voimansiirron öljyn osalta.

¹⁷ International Iron and Steel Institute

5.2.3.5 Energianhankinta ja -tuotanto

Järjestelmässä kulutettavan energian (sähkö ja polttoaineet) tuotantoketjut sisällytettiin laskelmiin primäärienergianlähteiden hankinnasta lähtien. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että maatalouskoneissa käytettävän polttoöljyn ympäristökuormitusten laskenta ulottui aina raakaöljyn hankintaan saakka. Kevyen polttoöljyn hankinnan osalta tietolähteenä käytettiin Bakkanen et al. tutkimusta (1994) ja Nesteeltä saatuja tietoja (Neste Ekotase 1997a).

Sähkön tuotannon oletettiin vastaavan suomalaista keskimääräistä sähköntuotantoa vuoden 1997 mukaisesti (Tilastokeskus 1998, Adato Energia 1999). Sähkön tuotannon päästöt saatiin pääosin Heikkiseltä (Fortum Power and Heat Oy, 1999, kirjallinen tiedonanto), joita täydennettiin VTT:ssä olevan IDEA-laskentaohjelmistomallin päästötiedoilla, jotka perustuvat Eidgenössische Technische Hochschulen (ETH) ylläpitämään elinkaaritietokantaan (Frischknecht et al. 1994) sekä polttoprosessien osalta suomalaisten polttolaitoksien tietoihin. Sähkön tuottamiseen tarvittavien polttoaineiden hankinnasta aiheutuvat päästöt otettiin Frischknechtin et al. tutkimuksesta (1994). Sähkön muuntamiseksi primäärienergiaksi käytettiin apuna Frischknechtin et al. (1994) tutkimuksen päivitettyä versiota (1996) polttoaineketjuista, mutta vesi-, tuuli- ja ydinvoimalla tuotettu sähkö muunnettiin uuden kansainvälisen käytännön mukaisesti (Tilastokeskus 1999). Polttoaineiden osalta käytettiin laskelmissa ylempiä lämpöarvoja. Sähkön ja lämmön yhteistuotannon syötteet ja tuotokset allokoitiin energiaperiaatteen mukaan.

5.3 Tulokset ja niiden tulkinta

Maatalouden ympäristöhallintaa tukevan tietopohjan kehittämisen pilotoinnin kohteeksi valittiin rehuohran elinkaariarviointi. Koska viljan viljelyyn liittyy runsaasti sekä paikallis- että sääoloista ja menettelytavoista ym. johtuvia muuttujia, jouduttiin tutkimuksen kuluessa tekemään useita valintoja ja rajauksia, joilla on vaikutuksensa lopputuloksiin. Tehtyjä oletuksia, valintoja ja rajauksia on kuvattu seikkaperäisesti luvuissa 5.1 ja 5.2. Tavoitteena oli kuvata riittävän tyypillistä ja edustavaa rehuviljan tuotantoprosessia, joka oli hyödynnettävissä jatkotutkimuksissa. Elinkaariarvioinnin periaatteita ja sen eri vaiheita on puolestaan esitelty lyhyesti luvussa 2.4.

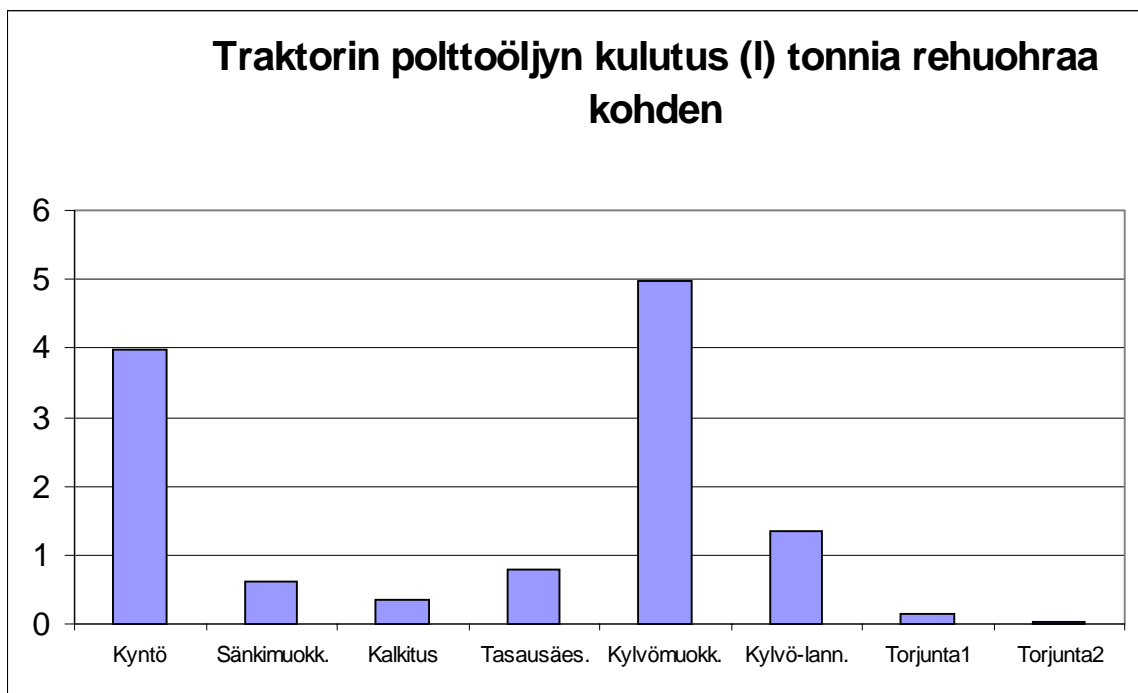
Tulokset on laskettu ja esitetty toiminnallista yksikköä, 1 000 kg karjalle toimitettavaa, jauhattavaa rehuohraa (13 %:n kosteudessa) kohden. Toiminnalliseen yksikköön sekä keskeisiin rajauksiin liittyviä yksityiskohtia on raportoitu tarkemmin tutkimuksen soveltamisalan määrittely -luvussa (luku 5.2).

5.3.1 Inventaarioanalyysi

Liitteessä A on esitetty rehuohran tuotannon inventaariotiedot keskeisten parametrien osalta. Esimerkiksi sähkön hankinnalle ja tuotannolle olisi määriteltävissä satoja ympäristöparametrejä (ks. esim. Frischknecht et al. 1994), mutta tässä tutkimuksessa päätettiin tutkittavaa ympäristöparametriluettelo rajata tarkoituksenmukaiseksi pilottitutkimuksen kannalta.

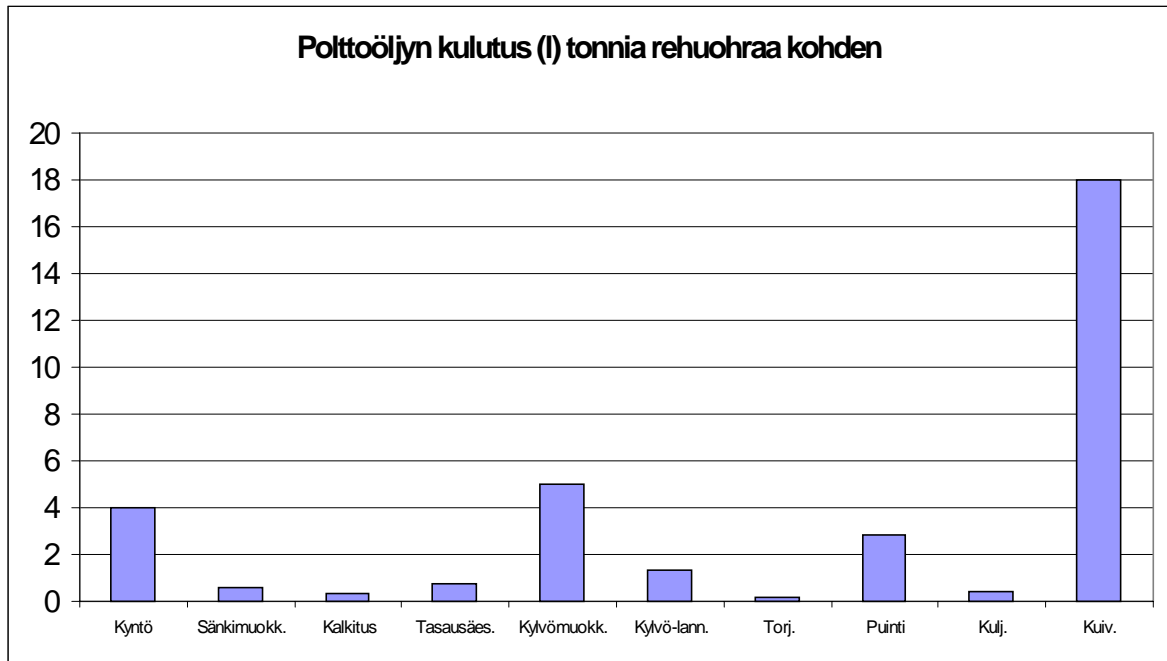
5.3.1.1 Viljelyn välitön energiankulutus

Viljelyn eri työvaiheet ja yksikköprosessit on kuvattu yksityiskohtaisesti kohdassa 5.1.3. Valitut prosessit pyrkivät kuvaamaan riittävän tyypillistä ja edustavaa tilaa, jossa satotasotavoitteena on 4 000 kg/ha. Viljelyyn liittyvän traktorin ja siihen liitetyn kaluston käytöstä aiheutuva polttoöljyn kulutus on esitetty kuvassa 10. Polttoöljyä kuluu selvästi eniten raskaassa kylvömuokkauksessa ja kynnössä. Näiden jälkeen eniten polttoöljyä kuluu kylvölannoituksessa. Torjunta-aineiden levitykseen kuluu vähiten polttoainetta.



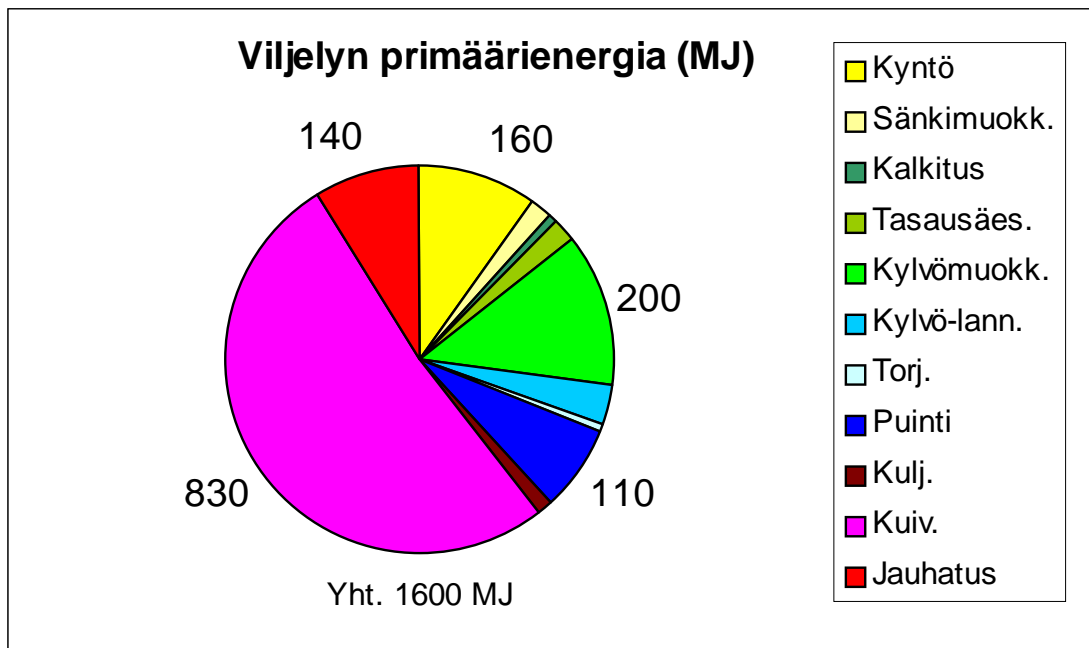
Kuva 10. Traktorin ja siihen liitetyn kaluston käyttöön liittyvä kevyen polttoöljyn kulutus työvaiheittain 1 000 kg rehuohraa kohden. Torjunta1 on vuosittain tehtävä rikkakasvien- ja tuhohyönteisten torjunta, ja torjunta2 joka 4. vuosi tehtävä laon- ja tautien torjunta.

Kuvassa 11 on esitetty viljelyyn liittyvä polttoöljyn kulutus yksikköprosessittain. Kuivaus muodostaa noin puolet kevyen polttoöljyn kokonaiskulutuksesta. Kuivauksen, kylvömuokkauksen ja kynnön lisäksi polttoöljyä kuluu suhteellisen paljon puinnissa.



Kuva 11. Kevyen polttoöljyn kokonaiskulutus työvaiheittain 1 000 kg rehuohraa kohden.

Kevyen polttoöljyn ohella tilalla käytetään sähköä. Tämä kuluu pääosin kuivauksessa. Tilojen lämmitystä ei ole tutkimuksessa huomioitu. Jotta tilan välitöntä kokonaisenergian kulutusta voitaisiin vertailla vaiheittain, täytyy eri energialajit muuttaa vertailukelpoiseen muotoon primäärienergiaksi. Tällä tarkoitetaan kaikkea sitä energian kulutusta, joka on tarvittu em. polttoaineiden ja sähkön hankintaan ja tuotantoon. Esimerkiksi sähkönkulutuksen muuttaminen primäärienergiaksi em. tavalla riippuu mm. käytetystä sähköntuotantotavasta, polttoainejakaumasta ja yhteistuotannon osalta käytetystä allokoitiperiaatteesta, jotka on kuvattu kohdassa 5.2.3.5. Viljelyyn käytetyt polttoaineet ja sähkö primäärienergiaksi muutettuna on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Viljelyn välitön kokonaisenergiankulutus työvaiheittain primäärienergiaksi muunnettuna 1 000 kg rehuohraa kohden. Kuvaan merkitty lukuarvoina (MJ) viljelyn ne vaiheet, joissa primäärienergiaa kuluu eniten.

Polttoöljyn kulutuksen yhteydessä jo mainittujen työvaiheiden (kuivaus, kylvömuokaus, kyntö ja puinti) lisäksi myös viljan jauhatus kuluttaa suhteellisen paljon energiaa. Kaiken kaikkiaan viljan kuivaukseen kuluva energia on yli puolet tilan rehuohran tuotantoon tarvitsemasta primäärienergiankulutuksesta. Tämän perusteella tulisi parannus- ja kehitystoimia kohdistaa erityisesti viljan kuivaukseen, esimerkiksi kehittämällä hyvän hyötysuhteen omaavia kattiloita ja mahdollisia lämmön talteenottoratkaisuja.

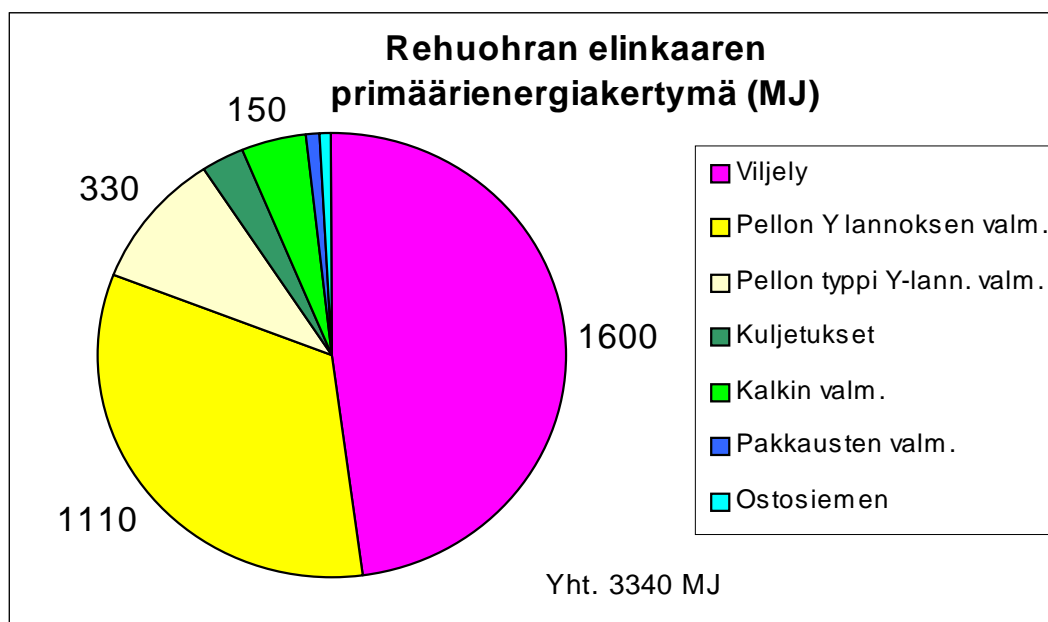
Viljelyyn välittömästi liittyviä muita ympäristökuormituksia aiheutuu mm. lannoituksesta, kalkituksesta ja torjunta-aineiden käytöstä. Näitä on aiemmin käsitelty luvussa 4. Näiltä osin tulokset esitetään seuraavassa luvussa, joka käsittelee koko rehuohran tuotannon elinkaarta aina panostuotantoa myöten.

5.3.1.2 Rehuohran tuotannon elinkaari

Edellä tarkasteltujen tuotannon yksikköprosessien lisäksi rehuohran elinkaari sisältää myös panostuotannon, pakkauksien valmistuksen, kuljetukset jne. Tähän liittyvät ra-
jaukset on esitetty yksityiskohtaisemmin tutkimuksen soveltamisalan määrittelyn yhteydessä (kohta 5.2.2).

Primäärienergia

Kuvassa 13 on esitetty rehuohran elinkaaren aikana käytetty kokonaisenergia primäärienergiana rehuohran elinkaaren vaiheiden mukaan jaoteltuna. Viljelyyn liittyvien työvaiheiden osuus elinkaaren aikaisesta primäärienergian kulutuksesta on lähes puolet. Sen jakautumista on tarkasteltu jo edellisessä luvussa. Lannoitteiden valmistusketjujen osuus primäärienergiankulutuksesta on noin 43 %, ja se jakautuu kahden eri lannoitteen kesken. Tämä johtuu siitä, että halutun satotason saavuttamiseksi luvussa 5.1 mainituissa olosuhteissa ravinnemääriä täytyy tasata kerran neljässä vuodessa Pellon tyyppi Y-lannoksella. Kolmena vuonna neljästä käytetään Pellon Y4-lannosta.



Kuva 13. Rehuohran elinkaaren aikainen primäärienergiakertymä 1 000 kg rehuohraa kohden laskettuna. Ostosiemen sisältää tarvittavan siementuotannon koko tuotantoketjuun vastaten tässä tutkitun rehuohran ketjua.

Muilla rehuohran elinkaaren vaiheilla on tämän tapaustutkimuksen mukaan suhteellisen pieni merkitys kokonaisenergiankulutukselle. Esimerkiksi kalkin valmistusketjun osuus elinkaaren aikaisesta kokonaisenergian kulutuksesta on n. 5 %. Tuloksia tulkittaessa tulee kuitenkin pitää mielessä tutkimuksessa tehdyt valinnat, oletukset ja rajoitukset. Esimerkiksi kuljetusten osuus voi mm. kuljetusmatkojen pituuksien, autotyyppien ja lastien täyttöasteiden mukaan olla huomattavasti suurempikin.

Myöskään työkoneiden valmistusta yhtenä maatalouden keskeisenä panoksena ei tässä tutkimuksessa tarkasteltu. Työkoneiden valmistuksen, teräksen sulatuksen jne. vaiku-

tusta kokonaisuuteen ei ole tiettävästi tutkittu kovin yksityiskohtaisesti. Yksinkertaisenkin laskelmien avulla voidaan kuitenkin olettaa, että valmistuksen suhteellinen merkitys on huomattavan suuri erityisesti puimurilla, jonka tehollinen käyttöaika Suomessa on hyvin pieni. Pääomahyödykkeiden valmistuksen energiankulutuksen suhteellinen osuus elinkaaren kokonaisenergiasta on vaihdellut tutkimuksissa välillä 10–40 % (Audsley et al. 1997). Näin ollen jatkossa normaalisti LCA:n ulkopuolelle rajattujen koneiden ja rakennustenkin valmistuksen ympäristökuormitukset tulisi sisällyttää maatalouden elinkaaritutkimuksiin. Tilanne on päinvastainen kuin esimerkiksi kuorma-autoilla, joilla valmistuksen osuus ympäristökuormituksesta suhteessa käytön aikaisiin kuormituksiin on pieni jatkuvan, pitkän käyttöajan vuoksi.

Ilmapäästöt

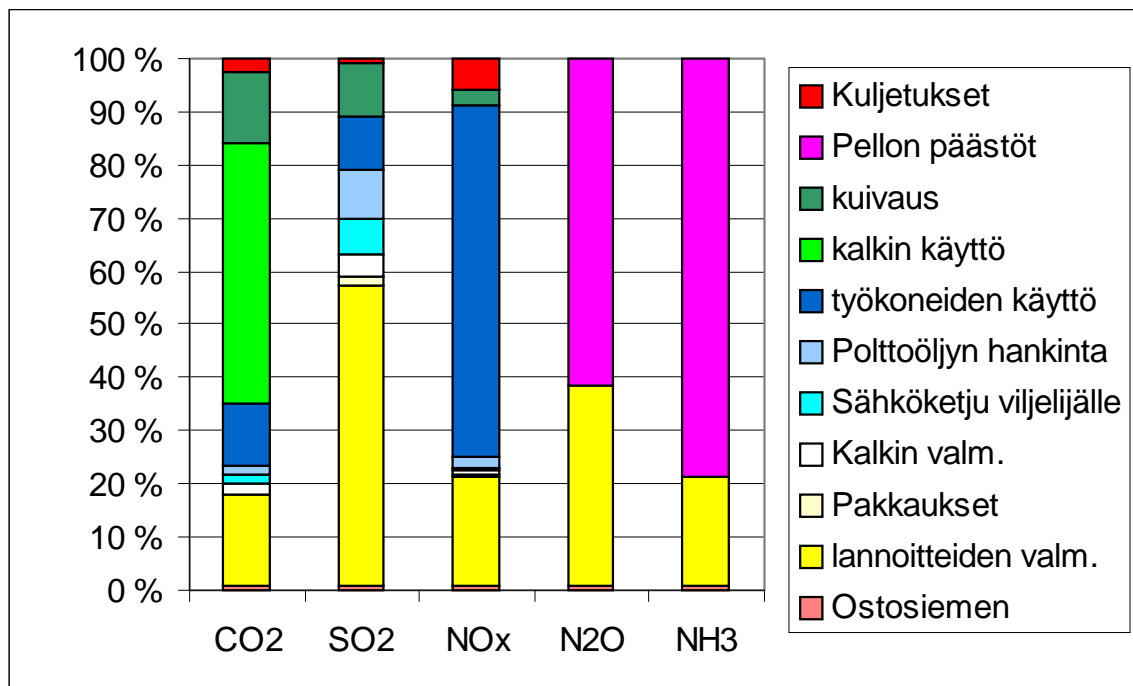
Aiemmin esitetyn mukaisesti tässä pilottitutkimuksessa päädyttiin tarkastelemaan rajattua joukkoa erilaisia päästökomponentteja. Keskeisiä elinkaaren aikaisia ilmapäästökomponentteja on esitetty kuvassa 14 suhteellisina osuuksina elinkaaren eri vaiheisiin jaettuna.

Hiilidioksidin kannalta merkittävin lähde on kalkituksen jälkeen hiljalleen kalkista vapautuva hiili. IPCC:n (1996a) perusteiden mukaisesti tutkimuksessa oletettiin, että kaikki kalkituksessa käytetty hiili vapautuu hiilidioksidina ilmaan (ennemmin tai myöhemmin). Vapautuvan hiilidioksidin määrä vaihtelee todellisuudessa jonkin verran riippuen esimerkiksi maan happo-emäs -tasapainosta. Joka tapauksessa suurin osa kalkissa olevasta hiilestä vapautuu. Näin ollen kalkituksen seurauksena vapautuvan hiilidioksidin määrä on vähintään samaa suuruusluokkaa tai suurempikin kuin mitä viljelyyn liittyvien työkoneiden käytöstä sitä aiheutuu.

Hiilidioksidipäästöjä aiheutuu suhteellisen paljon fossiilisten polttoaineiden käytöstä työkoneissa ja kuivauksessa sekä lannoitteiden valmistuksesta. Hiilidioksidia sitoutuu kasvukauden aikana merkittäviä määriä kasvustoon, mutta sen kaiken voidaan olettaa vapautuvan takaisin luontoon joko pellolta tai esimerkiksi karjan kautta. Tältä osin hiilidioksiditaseen oletettiin olevan tasapainossa kasvuvaiheen osalta, eikä se näy kuvassa 14. Osa kasvustoon sitoutuneesta hiilestä voi myös vapautua metaanina.

Rikin oksideista yli 50 % vapautuu lannoitteiden valmistusketjun prosesseista. Fossiilisten polttoaineiden käytöstä ja hankinnasta aiheutuu yhteensä n. 30 % rikin oksideista. Rikin oksidien määrät riippuvat energianhankinnan ja -tuotannon osalta mm. polttoaineiden rikkipitoisuudesta sekä käytetyistä rikinpoistolaitteistoista.

Typen oksideista kaksi kolmasosaa aiheutuu työkoneiden käytöstä. Lisäksi niitä muodostuu jonkin verran lannoitteiden valmistuksesta ja kuljetuksista. Työkoneiden NO_x-päästöjen arviointiin vaikuttaa merkittävästi käytettyjen työkoneiden ikä, joka kohdan 5.2.3.2 mukaisesti vaikuttaa koneiden ominaispäästöarvoihin. Tässä konekanta oletettiin viisi vuotta vanhaksi. Mikäli koneet olisi oletettu uusiksi, työkoneiden NO_x-päästöt puoltaisivat alle 60 %:iin koko elinkaaren osuudesta.



Kuva 14. Rehuohran CO₂-, SO₂-, NO_x- N₂O- ja NH₃-päästöjen suhteellinen jakautuminen elinkaaren eri vaiheiden mukaisesti (1 000 kg rehuohraa kohden laskettuna). Absoluuttiset päästöarvot on esitetty liitteessä A.

Pilottitutkimuksessa käytettyjen lähtötietojen perusteella typpioksiduulia arvioidaan vapautuvan elinkaaren ajalta suhteellisesti eniten (yli 60 %) viljelymaalta. Nämä päästöt aiheutuvat monimutkaisten nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosessien seurauksena. Pellolta tapahtuvat typpioksiduulipäästöt on arvioitu IPCC:n (1996b) ohjeiden mukaan, jota on tarkemmin esitetty kohdassa 5.2.3.3. Maatalouden N₂O-päästöjen arviointiin liittyy kaiken kaikkiaan suuri epävarmuus, eikä esimerkiksi IPCC:n päästöarvoissa ole pystytty riittävästi ottamaan huomioon Suomen erityispiirteitä eikä eri maalajien vaikutuksia. Arvioitaessa pellon N₂O-päästöjä esimerkiksi IPCC:n vaihteluvälin puitteissa pelloilta vapautuvan N₂O-päästöjen osuus vaihtelisi n. 50 %:sta lähes 95 %:iin koko elinkaaren ajalta. Joka tapauksessa pelloilta vapautuvilla typpioksiduulipäästöillä on siis merkittävä osuus suhteessa rehuohran elinkaaren kokonais-N₂O-päästöihin. Lannoitteiden valmistusketjun osuus typpioksiduulipäästöistä on vajaat 40 %. Ne aiheutuvat lä-

hinnä typpihapon tuotannosta. Päästö määrä riippuu käytössä olevasta typpihappoprosessin tekniikasta (ks. esim. Pipatti 1997).

Rehuohran elinkaaren ajalla vapautuvasta ammoniakista noin 80 % haihtuu pellolla käytetystä lannoitetyypistä. Toisaalta Suomessa laajalti käytössä oleva sijoituslevityslannoitustekniikka on ammoniakkipäästöjen osalta parempi kuin muualla maailmassa yleisemmin käytetty pintalevitystekniikka. Pintalevityksessä ammoniakkia pääsee haihtumaan helpommin, ja tällöin tutkimuksessa käytettyyn lannoitekäyttömäärään suhteutettuna ammoniakin haihtumismäärät olisivat korkeampia pintalevityksen osalta (ks. esim. Grönroos et al. 1998a ja ECETOC 1994).

Muista kuin kuvassa 14 esitetyistä ilmapäästöistä mainittakoon metaanipäästöt, jotka aiheutuvat pääosin maakaasun hankintaketjusta. Maakaasu on lannoitteiden valmistuksen lähtöraaka-aine. Lisäksi maakaasua sisältyy keskimääräiseen sähköntuotantoketjuun. Karjatalouden metaanipäästöt ovat luvun 4.2 mukaisesti yleisesti suhteellisen suuria, mutta luvun 5.1 ja 5.2 rajausten mukaisesti tässä tapaustutkimuksessa karja ei kuumunut tarkastelukehikkoon.

Ravinnepäästöt vesistöön

Vesistöjen kuormituksen tulokinnassa tulee huomata tässä pilotoinnissa tehty valinta, joka rajaa pohjavedet tarkastelun ulkopuolelle. Ravinnekuormituksen osalta tutkimuksessa keskityttiin jo ennalta merkittävimmiksi arvioituihin päästöparametreihin eli typpeen ja fosforiin, joita huuhtoutuu viljelytoimien (muokkaus ja lannoitus) seurauksena. Pellolta huuhtoutuneet liukoissa muodossa olevat typpi sekä fosfori muodostavat lähes 100 % vastaavista rehuohran elinkaaren aikaisista päästöistä. Näitä on käsitelty yksityiskohtaisesti luvussa 4.1. Tapaustutkimuksen kannalta sekä kokonais- että liukoisen typen ja fosforin määrien arviointiin liittyvät keskeiset valinnat on kuvattu kohdassa 5.2.3.3.

Rehuohra-alan lisäksi huuhtoutumia aiheutuu kohdassa 5.1.2 määritellyltä kasvipeitteisyysvaatimusten mukaisesti huomioiduilta peltoaloilta, joista osa kohdennettiin tarkastellulle rehuohran tuotannolle ja osa muille viljelykierron tuotteille. Ravinnepäästöjen kuormitusten arviointiin liittyy suuria epävarmuuksia riippuen mm. sääoloista, maalaajista, käytetystä lannoitemäärästä, muokkaustavasta, maan kaltevuudesta, vesistöjen läheisyydestä sekä ravinteita sitovista suojaustoista pellon ja vesistön välissä. Näiden tekijöiden ja olosuhteiden huolellisten määrittelyjen jälkeenkin ollaan siinä tilanteessa, että tarkkaa yksityiskohtaista tietoa huuhtoutumista ei ollut saatavilla. Tässä tutkimuk-

nessa huuhtoutumia kuitenkin arvioitiin parhaan olemassa olevan tiedon pohjalta. Huuhtoutumien vaihteluvälit tutkimuksessa määritetyissä olosuhteissa on esitetty kohdassa 4.1.4. Edellä mainituin periaattein ravinnehuuhtoutumiksi saatiin tonnia rehuohraa kohden n. 2,9 kg liukoista typpeä ja 0,1 kg liukoista fosforia. Epäsuotuisissa oloissa huuhtoutumat voivat olla paljon suurempiakin.

Kiinteät jätteet

Maatalouden kiinteitä jätteitä ovat mm. biologiset ja pakkausjätteet. Luvun 5.2.2 määrittelyjen mukaan rehuohran tuotannossa syntyvä olki kynnetään takaisin maahan, jota kautta se vaikuttaa ravinnekiertoon. Näin ollen tilalla syntyy kiinteitä jätteitä lähinnä lannoite- ja torjunta-ainepakkauksista. Rehuohran elinkaaren osalta kiinteitä jätteitä aiheutuu pääosin lannoitteiden valmistusketjusta (mm. kipsi- ja suolajäte) sekä kalkin ja lannoitteiden raaka-ainemineraalien louhinnasta. Toisaalta useissa tapauksissa niin louhitulle sivukivelle kuin lannoiteketjun jätteille on löydetty tai kehitellään hyödyntämis-kohteita.

Torjunta-aineiden ympäristökuormitus

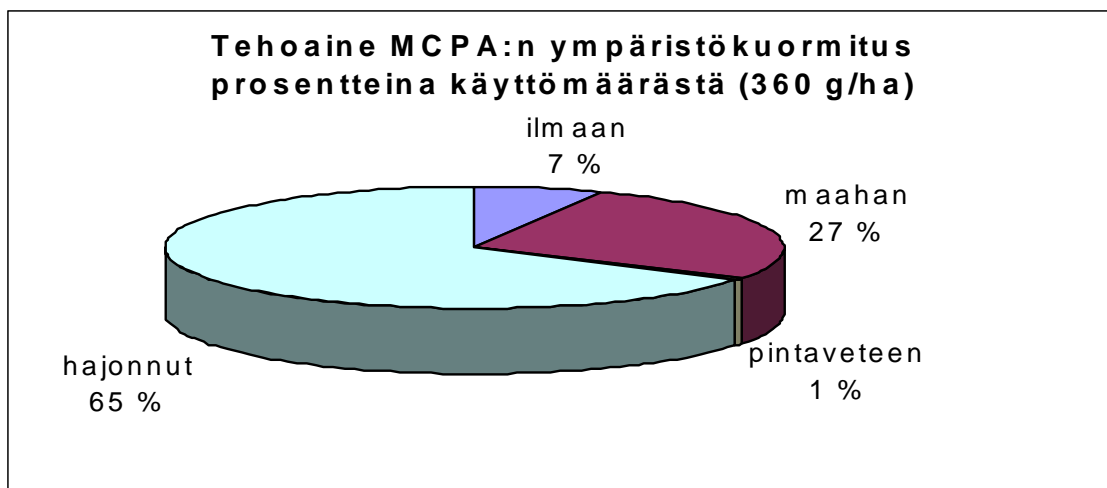
Taulukossa 7 on esitetty rehuohran tuotannossa käytettyjen torjunta-aineiden ympäristökuormitus ilmaan, maahan ja pintavesiin hehtaaria kohden. Pohjavesien mahdollista kuormitusta ei käsitelty tässä tutkimuksessa. Taulukon 7 arviosta puuttuu myös sadon mahdollisesti sisältämien torjunta-ainejäämien osuus.

Etefonia, propikonatsolia ja dimetooattia käytetään vain noin joka neljäs vuosi. Taulukon 7 luvut on laskettu kyseisten aineiden käyttövuodelle, koska lukujen jakaminen esimerkiksi neljällä (neljän vuoden sisällä allokointi tarkasteluvuodelle) olisi mm. kulkeutumisten osalta harhaanjohtavaa. Tehoaineiden käyttö toiminnallista yksikköä kohden on esitetty erikseen taulukossa 8. Vastaavasti peittaukseen käytettävien tehoaineiden (karboksiini ja imatsaliili) ympäristökuormitukset kohdistuvat vain niille alueille, joissa peitattua siementä käytetään. Koska peitattua siementä käytetään noin 25 % konnaissiemenmäärästä, voitaisiin peittauksen tehoaineiden ympäristökuormitukset vastaavasti jakaa neljällä.

Taulukko 7. Arvioitu torjunta-aineiden ympäristökuormitus tehoaineina (g/ha).

Tehoaine	Käyttömäärä (g/ha)	Ympäristökuormitus (g/ha)			
		Ilmaan	Maahan	Pintavesiin	
				Minimi	Maksimi
Etefoni	144	14,4	>21,6	?	?
MCPA	360	>24	>96	0,192	4,8
Dikloropropi	697,5	>46,5	>186	0,465	9,3
Mekopropi-P	285	>19	>76	0,76	3,8
C5-C10-alkyyliifenolip.	100	>10	>40	2	?
Dimetooatti	160	>16	>64	0,064	3,2
Propikonatsoli	125	>12,5	>25	0,5	1,25
Karboksiini	190	0	190	0	0
Imatsaliili	9.8	0	<9,8	>0	>0

Kuvassa 15 on esitetty tehoaine MCPA:n ympäristökuormitus prosentteina ilmaan, maahan ja pintaveteen. Taulukon 7 mukaisesti tulee huomata, että ilma- ja vesikuormitusten osuudet voivat olla myös suurempia kuin kuvassa 15 on esitetty epävarmuuksista johtuen. Suurin osa tehoaineesta hajoaa kuitenkin pidemmällä aikavälillä eikä kuormita ympäristöä.



Kuva 15. Rikkakasvien torjuntaan käytettävän tehoaine MCPA:n ympäristökuormituksen arviointi prosentteina käyttömäärästä (360 g/ha) tapaustutkimukseen valituissa olosuhteissa.

Taulukko 8. Tapaustutkimuksen mukainen torjunta-aineiden kokonaiskäytön (g) jakautuma tehoaineittain 1 000 kg rehuohraa kohden neljän vuoden keskiarvona laskettuna.

Tehoaine	Käyttömäärä (g)
C5-C10-alkyyliifenolip.	32,8
Diklorproppi	183,1
Dimetooatti	10,5
Etefoni	9,4
Imatsaliili	0,6
Karboksiini	2,6
MCPA	94,5
Mekoproppi-P	74,8
Propikonatsoli	8,2

Taulukossa 8 on esitetty tapaustutkimuksen mukaisia tehoaineiden käyttömääriä, jotka tarvitaan 1 000 kg rehuohran vuotuisen tuotantoon satotason tavoitteen ollessa 4 000 kg/ha. Koska kaikkia torjunta-aineita ei käytetä joka vuosi, käyttömäärä on laskettu neljän vuoden keskiarvona. Esimerkiksi dimetooattia käytetään keskimäärin joka neljäs vuosi 160 g/ha, eli 40 g/1000 kg tuotettua jyväsatoa kohden satotason ollessa 4 000 kg/ha. Neljälle vuodelle jaettuna dimetooatin käyttö on 10 g/1000 kg. Kun sadosta vähennetään siemenviljaksi käytettävä osuus, on dimetooatin käyttö jauhatukseen menevää rehuohratonnia kohti vuodessa 10,5 g/ha.

Torjunta-aineiden tehoaineita käytetään määrällisesti selvästi eniten rikkakasvien torjuntaan (lähinnä diklorproppi, MCPA ja mekopropi-P). Tuhohyönteisten-, laon ja kasvitautien torjuntaan käytetään suurin piirtein saman suuruisia määriä.

Vertailtaessa tässä tapaustutkimuksessa rehuohran viljelyyn käytettyjä torjunta-ainemääriä ohranviljelyssä keskimäärin käytettyihin määriin (kohdan 4.5.1 taulukko 3) huomataan, että keskimäärin hehtaaria kohden käytetyt tehoainemäärät ovat jonkin verran pienempiä kuin tässä tutkimuksessa on oletettu. Tämä on järkeenkäypää, koska tässä tutkimuksessa satotasotavoite asetettiin keskimääräistä suuremmaksi, jolloin myös tiettyjä torjunta-aineita täytyy käyttää enemmän tavoitteen saavuttamiseksi. Toisaalta suhteutettaessa torjunta-aineiden käyttö satoon, ovat tämän tapaustutkimuksen ja em. keskimääräiset käyttömäärät käytännössä samat.

Yhdysvaltalaisessa laajassa torjunta-aineohjelmassa on arvioitu torjunta-aineiden käyttöä viljelykasveittain Yhdysvaltain eri osavaltioissa. Ohjelmassa on lisäksi arvioitu mm. sitä, mitä torjunta-aineita eri pinta- ja pohjavesistöissä esiintyy ja kuinka suurina pitoisuuksina (U.S. Geological Survey 1999). Keskimääräiseksi torjunta-aineiden käyttöksi ohran viljelyssä saatiin Yhdysvalloissa n. 0,5 kg/ha, mikä kuulostaa suhteellisen pieneltä verrattuna taulukon 3 tietoihin. Yhdysvaltojen keskimääräisen satotason mukaan (3 150 kg/ha) tämä vastaisi käytöltään n. 0,15 kg/1000 kg ohraa. Laskumenetelmät ja käytetyt aineistot eivät kuitenkaan näissä tapauksissa ole välttämättä täysin vertailukelpoisia.

Tapaustutkimukseen valittujen torjunta-aineiden tehoaineiden käyttömäärät hehtaaria kohden verrattuna Yhdysvalloissa tehtyyn (U.S. Geological Survey 1999) tutkimukseen ovat suhteellisen lähellä toisiaan. Aineistoista löytyi neljä samaa tehoainetta, joista etefonin, dimetooatin ja propikonatsolin käyttömäärät olivat lähes samat, mutta sitä vastoin dimetooatin käyttömäärät Yhdysvalloissa olivat selvästi suuremmat.

Muita kuormituksia

Muihin ympäristökuormituksiin voisi nimetä esimerkiksi eroosion ja pinta-alan käytön. Ravinpestöjen yhteydessä on jo tarkasteltu eroosiota. Eroosion määräksi luvun 4.1 mukaisissa olosuhteissa saadaan n. 460 kg maa-ainesta tuhatta kiloa rehuohraa kohden.

Pinta-alan käyttöä arvioitiin vain viljelyyn tarvittavan alan kannalta, eikä siinä siis huomioitu esimerkiksi kuivurin tai muiden rakennusten vaatimaa alaa. Tällöin 1 000 kg:n rehuohran tuottamiseen tarvitaan pinta-alaa vuosittain noin 0,27 ha. Tämän laskennassa on huomioitu niin sänkikesantona olevan alan kuin siemenviljaksi menevän määrän osuudet. Huomioitaessa käytetyn ostosiemenen tuotantoon tarvittava pinta-ala saadaan toiminnallista yksikköä kohden lähes 0,28 ha pinta-alan tarve.

5.3.2 Vaikutusarviointi

Elinkaariarvioinnin vaikutusarviointivaiheessa kvantifioidut ympäristökuormitukset suhteutetaan ympäristövaikutusluokkiin. Tässä tutkimuksessa valittiin esimerkin omaisesti tarkasteltaviksi seuraavat vaikutusluokat: ilmastonmuutos, rehevöityminen ja happamoituminen. Näistä ilmastonmuutos ja rehevöityminen valittiin erityisesti sen vuoksi, että maatalouden tiedetään vaikuttavan näihin ympäristöongelmiin merkittäväällä tavalla (ks. esim. Kuusisto et al. 1996 ja Seppälä & Jouttijärvi 1997). Happamoituminen valittiin selvitetäväksi vaikutusluokaksi, koska maan happamuudella on oleellinen merkitys

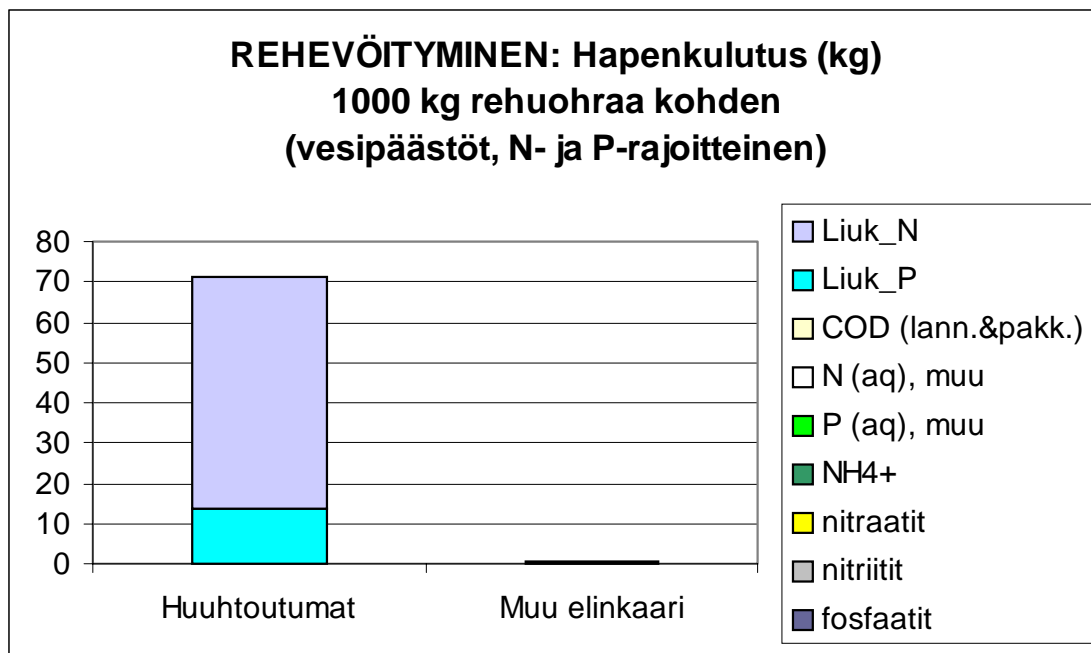
(ks. esim. luku 4.3) maatalouden muihin ympäristövaikutuksiin ja koska toisaalta happamoituminen on melko usein tarkasteltu vaikutusluokka, johon maatalouden päästöt myös jonkin verran vaikuttavat. Näiden lisäksi on olemassa myös monia muita vaikutusluokkia, mutta tässä pilotoinnissa katsottiin riittäväksi tarkastella tuloksia näiden ympäristöongelmien suhteen. Useimpia vaikutusluokkia voidaan tarkastella monella tavalla ja esimerkiksi vaikutusten erilaisin aikajäntein (esim. ilmaston lämpeneminen 20, 100 tai 500 vuoden aikaperspektiivillä).

5.3.2.1 Rehevöityminen

Rehevöitymisellä tarkoitetaan kasvien perustuotannon kasvua. Maatalouden osalta on keskeistä vesien rehevöityminen. Vesissä se ilmenee veden samenessena, vesikasvillisuuden lisääntymisenä sekä planktonlevien ja ranta-alueiden rihmalevien liiallisena kasvuna. Vesien rehevyystaso määritellään kasviplanktonin nettotuotannon avulla: mitä suurempi tuotanto, sitä rehevämpi vesistö. Rehevöitymistä voidaan arvioida myös kasviplankton- ja rihmaleväbiomassojen avulla tai veden ravinnepitoisuuksien perusteella. Rehevöitymisen myötä lajisto muuttuu ja yleensä yksipuolistuu. Vesien rehevöityminen johtaa sinileväkukintojen ja runsaiden leväsiintymien yleistymiseen sekä mm. happikatoon ja kalaston muutoksiin.

Rehevöittäviä yhdisteitä ovat typpi ja fosfori siltä osin kuin ne ovat liukoisessa muodossa. Rehevöitymistä tarkastellaan tässä tutkimuksessa vain vesiekosysteemin kannalta, koska maaekosysteemien rehevöitymisen oletetaan olevan nykyisin Suomessa hyvin vähäinen ongelma (Seppälä 1997). Rehuohran elinkaaren rehevöittävä vaikutusta arvioitiin Lindforsin et al. (1995) tutkimuksessa julkaistujen kertoimien avulla. Vesiekosysteemeissä ravinteiden lisääntynyt määrä johtaa kasvimassan lisääntymiseen. Kasvimassa hajottamiseksi tarvitaan happea. Tätä hapen kulutusta voidaan pitää yhtenä rehevöittämistä kuvaavana indikaattorina. Tällöin myös orgaanisten materiaalien päästöistä aiheutuvaa hapenkulutusta voidaan arvioida suoraan kemiallisen hapenkulutuksen (COD) perusteella. Kuvassa 16 on esitetty tulokset rehevöitymisen osalta, kun sitä tarkastellaan vain vesipäästöjen suhteen ja kun molemmat ravinteet (N ja P) on otettu mukaan rehevöittämistä rajoittavina tekijöinä. Molemmat ravinteet on määritetty siten, että ne sisältävät vain liukoisessa eli kasveille käyttökelpoisessa muodossa olevat ravinteet. Viljelymaalta huuhtoutuvan orgaanisen aineksen vaikutusta ei huomioitu. Käytetyt karakterisointikertoimet on esitetty raportin liitteessä B.

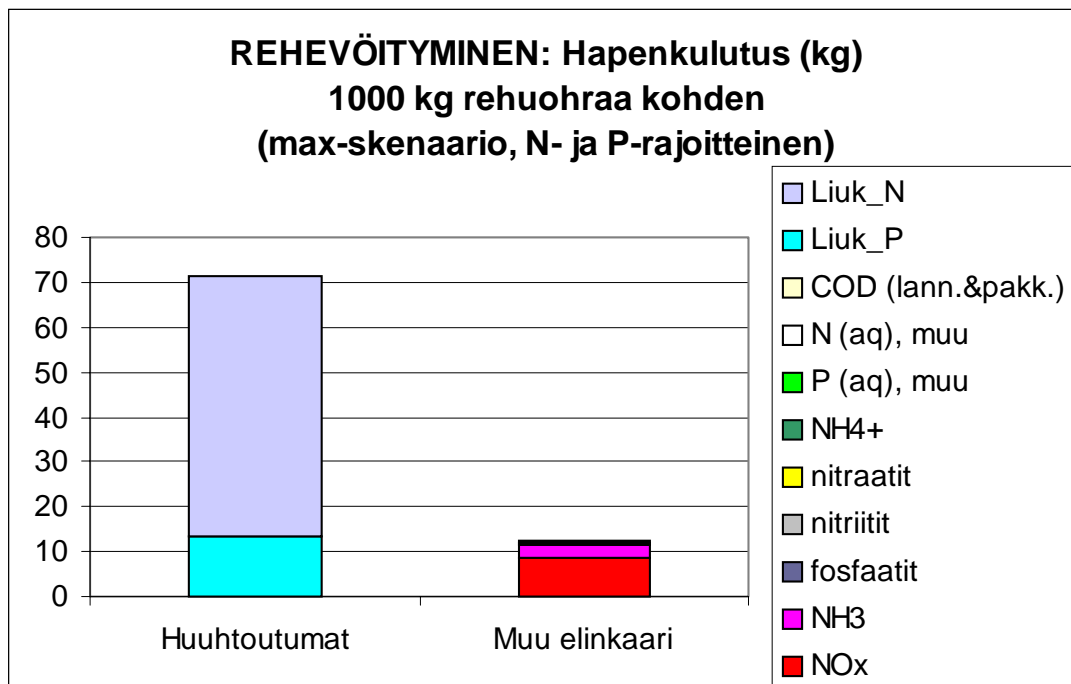
Viljelymaalta huuhtoutuvat ravinnepäästöt dominoivat kuvassa 16 esitetyssä tapauksessa täydellisesti rehuohran elinkaaren aikaista rehevöittävä vaikutusta. Kaikki muut elinkaaren aikana aiheutuvat rehevöittävät päästöt ovat suhteellisesti katsoen hyvin pieniä.



Kuva 16. Rehevöityminen 1 000 kg rehuohran tuotannolle päästökomponeentteihin jaoteltuna. Elinkaari jaettuna 1) viljelymaalta tapahtuviin huuhtoutumiin sekä 2) elinkaaren muihin vaiheisiin aggregoituna. Rehevöitymiseen vaikuttavina tekijöinä huomioitu vain vesipäästöt.

Vesistöjen rehevöitymiseen voivat vaikuttaa myös typpipäästöt ilmaan, mikäli ne päätyvät vesiekosysteemiin. Tätä voidaan lähestyä Lindforsin et al. (1995) mukaisesti arvioimalla em. ilmapäästöjen potentiaalista vaikutusta rehevöitymiseen. Tällöin tilanne kuvaa teoreettista maksimirehevöitymistilannetta. Tulokset on tältä osin esitetty kuvassa 17. Typen ilmapäästöjen potentiaaliset rehevöitymiskertoimet on esitetty liitteessä B. Elinkaaren aikaisista ilmapäästöistä typen oksideilla on suurin rehevöittävä potentiaali. Ne aiheutuvat kuvan 14 mukaisesti pääosin työkoneiden käytöstä. Arvioitaessa rehevöittävä potentiaalia siten, että kaikki rehevöittävät päästöt huomioidaan, viljelymaalta huuhtoutuvat ravinteet ovat suhteellisesti edelleen selvästi merkittävin tekijä rehevöitymiselle. Tämä ei myöskään riipu siitä, onko vesistö typpi- tai fosforirajoitteinen, kuten kuvasta 17 on nähtävissä.

Vaihtoehtoisen tavan rehevöitymisen arvioimisperiaatteella ovat esittäneet Hauschild ja Wenzel (1998). Arviointi perustuu vesieliöiden tunnettuun N/P-suhteeseen ja sen muutoksiin. Tapaustutkimuksessa tehtiin alustavia laskelmia rehevöitymisestä myös tämän mukaan, ja päädyttiin suhteellisesti hyvin samankaltaiseen lopputulokseen kuin edellä on esitetty.



Kuva 17. Rehevöityminen 1 000 kg rehuohran tuotannolle. Elinkaari jaettuna 1) viljelymaalta tapahtuviin huuhtoutumiin ja 2) elinkaaren muihin vaiheisiin aggregoituna. Rehevöitymiseen vaikuttavina tekijöinä huomioitu vesi- ja ilmapäästöt.

Vesistön kunnon ja maantieteellisen sijainnin mukaan on joko typpi tai fosfori yleensä rehevöitymistä rajoittava tekijä. Mikäli fosfori on vesistön rehevöitymistä rajoittava tekijä, tulisi pyrkiä vaikuttamaan pääosin fosforihuuhtoutumien vähentämiseen ja vastaavasti typpirajoitteisissa vesistöissä typpihuuhtoutumien vähentämiseen. Joka tapauksessa ympäristön tilan kannalta olisi varminta vähentää samanaikaisesti sekä P- että N-kuormitusta, erityisesti näiden liukoisessa muodossa olevien yhdisteiden osalta.

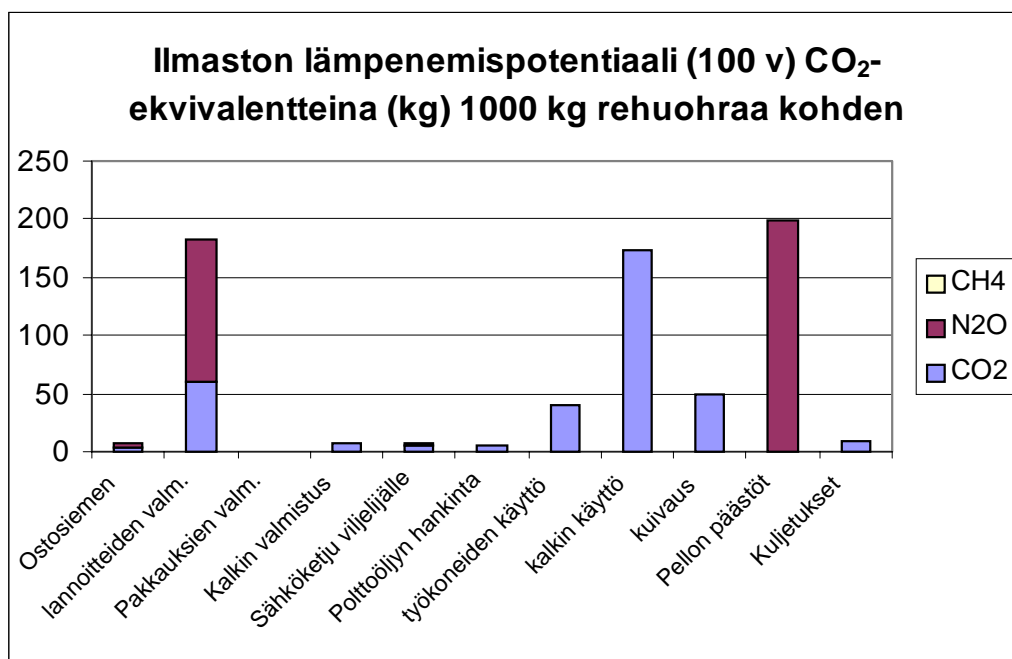
Suomessa järvien ja reittivesistöjen rehevöitymistä rajoittava tekijä on useimmiten fosfori ja jokien osalta typpi. Reittivesistöjen fosforirajoitteisuus aiheutuu pitkälti maatalouden nitraattityppipäästöistä vesistöihin keväällä ja kesällä. Ravinnekuormitusten vaikutuksia arvioitaessa tulisi tietää, miten typpi kulkeutuu ja missä määrin sitä pidättyy sisävesissä. Vaikka typpi ei aiheuttaisikaan rehevöitymistä vesistöalueen yläosissa, voi se olla rajoittava tekijä vesistöalueen alaosissa tai viimeistään merialueella, erityisesti ulapalla (Pietiläinen & Räike 1999). Tapaustutkimuksessa tarkasteltiin rehuohran tuotantoa Etelä-Suomen I- ja II-vyöhykkeillä. Todellisen rehevöitymistä rajoittavan tekijän arviointi näilläkin alueilla on aika- ja paikkariippuvaista. Pietiläisen ja Räiken (1999) mukaan Etelä- ja Länsi-Suomen maatalousvaltaisilla alueilla pienet joet ovat useimmiten typpi- tai yhteisrajoitteisia.

Vaikkakin esimerkiksi fosforin ollessa rehevöitymistä rajoittava tekijä, niin typen merkitys esimerkiksi tiettyihin kasveihin saattaa olla merkittävä. Tarkasteltaessa rehevöittä-

viä päästöjä nousee esiin siis muitakin kysymyksiä, kuten vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen. Kaiken kaikkiaan typpi- ja fosforirajoitteisuus on siis aika- ja paikka-riippuvainen tekijä, joten liian yksioikoisia johtopäätöksiä tulisi välttää.

5.3.2.2 Ilmaston lämpeneminen

Maatalouden ilmastonmuutokseen vaikuttavia tekijöitä on tarkasteltu yleisesti luvussa 4.2. Ilmastonmuutosta on tässä tapaustutkimuksessa arvioitu ilmaston lämpenemispotentiaalin eli GWP:n¹⁸ avulla. Sen avulla voidaan arvioida kasvihuonekaasujen keskinäistä merkitystä. Tässä tutkimuksessa lämpenemispotentiaalia on arvioitu Hauschildin ja Wenzelin (1998) ja IPCC:n (1994) kertoimien mukaan (liite B).



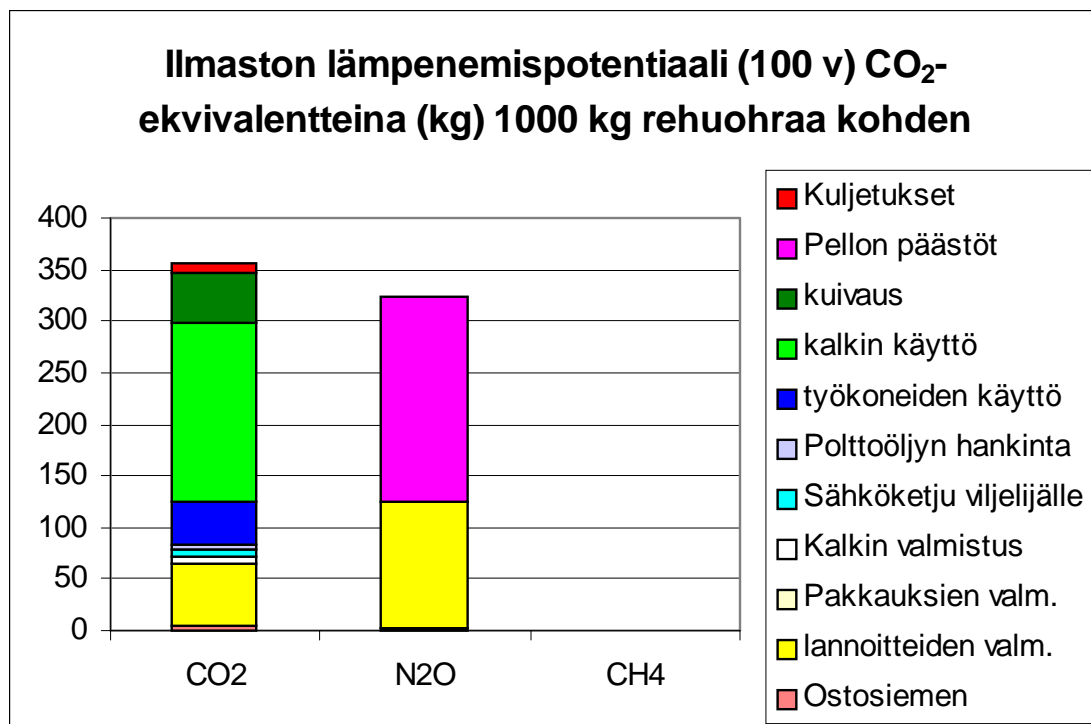
Kuva 18. 1 000 kg:n rehuohran tuotantoa kohden laskettu ilmaston lämpenemispotentiaali elinkaaren eri vaiheissa.

Kuvan 18 mukaan suhteellisesti suurin ilmaston lämpenemispotentiaaliin vaikuttava tekijä on viljelymaan lannoitetyypeistä aiheutuvat suorat ja epäsuorat typpioksiduulipäästöt. Näiden arvioimiseen liittyy kuitenkin merkittäviä epävarmuuksia, joita on kuvattu kohdassa 5.2.3.3. Lannoitteiden valmistusketjusta aiheutuvilla CO₂- ja N₂O-

¹⁸ Global Warming Potential

päästöillä yhteensä näyttäisi olevan lähes yhtä suuri osuus ilmaston lämpenemispotentiaaliin kuin viljelymaan N₂O-päästöillä. Myös kalkituksesta aiheutuvat CO₂-päästöt vaikuttavat lähes yhtä paljon ilmaston lämpenemispotentiaaliin kannalta kuin em. elinkaaren vaiheet. Kohdassa 5.2.3.2 on kuvattu kalkitsemisesta vapautuvan hiilidioksidin arvioinnin lähtökohtia.

Kuvassa 19 on esitetty vastaava lämpenemispotentiaali siten, että vertailu on helppo tehdä eri päästöjen kokonaismäärien suhteen. Kuvasta ilmenee, että hiilidioksidilla on jonkun verran suurempi osuus ilmaston lämpenemispotentiaaliin kuin typpioksiduulilla. Hiilidioksidia aiheutuu elinkaaren useimmista vaiheista kuvista havaittavissa olevia määriä, kun taas typpioksiduulipäästöt aiheutuvat käytännössä kahdesta lähteestä, eli viljelymaalta tapahtuvan denitrifioitumisen seurauksena ja lannoitteiden valmistukseen liittyvästä typpihapon tuotannosta. Lannoitteiden tuotantoketjusta aiheutuvasta ilmaston lämpenemispotentiaalista N₂O-päästöjen osuus suhteessa CO₂-päästöihin on kaksinkertainen. Metaania vapautuu tutkitusta systeemistä niin vähän, ettei se näy kuvissa. Mikäli tutkimuksen rajauksiin olisi sisällytetty lypsykarja, joka käyttää rehuohraa ravinnokseen, olisi metaanin osuus ollut oleellisesti suurempi mm. lypsykarjan ruoansulatuksen aiheuttamien metaanipäästöjen vuoksi.

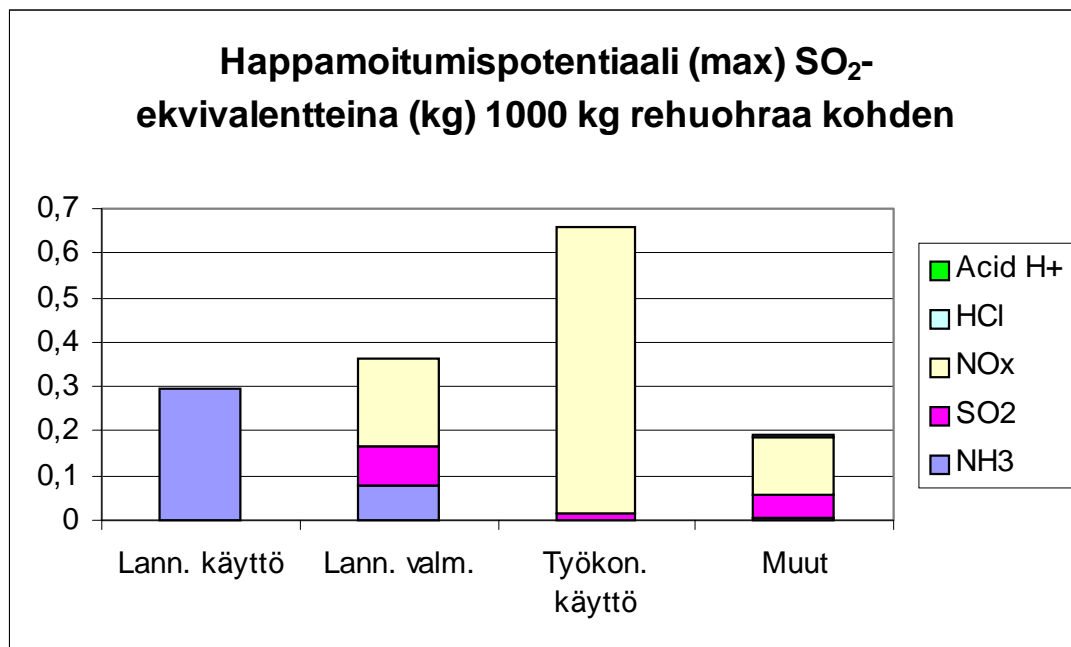


Kuva 19. Ilmaston lämpenemispotentiaali 1 000 kg:n rehuohran tuotantoa kohden laskettuna merkittävimpien päästökomponenttien mukaisessa järjestyksessä.

5.3.2.3 Happamoituminen

Happamoitumisesta voi seurata mm. metsien vaurioita ja lajistomuutoksia vesistöissä. Jotkut lajit voivat esim. hävitä kokonaan. Rehuohran happamoittavaa vaikutusta tarkasteltiin Lindforsin et al. (1995) ja Seppälän (1999) tutkimuksessa julkaistujen kertoimien avulla. Käytetyt karakterisointikertoimet on esitetty liitteessä B. Ne perustuvat maa-ekosysteemissä vapautuvien protonien määrään.

Happamoitumiseen vaikuttavista päästöistä esimerkiksi rikkiyhdisteiden happamoittava potentiaali on määritettävissä suoraan edellisen perusteella (esimerkiksi 2 mol protoneita 1 mol SO₂:ta kohden). Myös vetykloridin (HCl) eli suolahapon happamoittava vaikutus olisi vastaavasti määritettävissä suoraan, mutta se ei kuulunut tässä tapaustutkimuksessa tarkasteltavien päästöparametrien joukkoon. Sitä vastoin typpiyhdisteiden happamoittavaa vaikutusta ei voi yhtä suoraviivaisesti määrittää. Typen oksidien ja ammoniakkin merkitys happamoittavina yhdisteinä vaihtelee paljon vastaanottan ekosysteemin mukaan. Lindfors et al. (1995) ovat esittäneet, että typpiyhdisteiden (NO_x ja NH₃) happamoittava potentiaali on välillä nolasta yhteen mooliin protoneja em. typen yhdisteitä kohden. Lindfors et al. (1995) ovat esittäneet, että happamoitumista tulisi tarkastella näiden molempien ääripäiden suhteen. Nämä ovat ns. minimi- ja maksimihappamoitusskenaariot. Kuvassa 20 on esitetty maksimihappamoitumispotentiaali. Suomen olosuhteissa typpiyhdisteiden happamoittavaksi potentiaaliksi on vastaavasti esitetty 0,6 mol protoneja typpiyhdisteitä kohden (Seppälä 1999).



Kuva 20. Happamoituminen SO₂-ekvivalentteina 1 000 kg rehuohraa kohden Lindforsin et al. (1995) mukaisen maksimiskenaarion mukaan arvioituna.

Tapaustutkimuksessa määritetyn maksimihappamoitumisskenaariossa sekä Suomen olosuhteet huomioivassa skenaariossa (Seppälä 1999) työkoneiden käytöstä aiheutuvat NO_x-päästöt olivat merkittävimpiä. Muita merkittäviä lähteitä olivat lannoitteiden käytöstä haihtuva ammoniakki ja lannoitteiden valmistuksen päästöt kokonaisuudessaan. Tarkasteltaessa Lindforsin et al. (1995) mukaista minimihappamoitumispotentiaalia, olisi lannoitteiden valmistus koko elinkaaren ajalta oleellisin tekijä. Tämä on nähtävissä myös kuvasta 14, jonka mukaan rikin oksidit aiheutuvat pääosin lannoiteteollisuudesta.

5.3.2.4 Muut vaikutusluokat, normalisointi ja painottaminen

Tässä tapaustutkimuksessa rajauduttiin tarkastelemaan edellä käsiteltyjä kolmea maatalouden kannalta keskeistä vaikutusluokkaa energiankulutuksen ohella. Tarkastelluiksi vaikutusluokiksi olisi voitu valita myös muita luokkia. Maatalouden kannalta oleellisia voisivat olla esimerkiksi maan viljavuuden säilyminen, muutokset luonnon monimuotoisuudessa sekä ekotoksisuus.

Elinkaariarvioinnissa edellä kuvattua luonnehdinta- eli karakterisointivaihetta voivat seurata normalisointi ja painottaminen. Normalisoinnilla tarkoitetaan saatujen vaikutusluokkien merkityksen suhteuttamista johonkin kokonaisuuteen. Rehuohran tuotannon tapauksessa suhteuttamiseen voisi harkita vaikutusluokissa esimerkiksi seuraavanlaisia vaihtoehtoja:

- i) tuotteen ravinnesisältöä,
- ii) muiden vastaavan hyödyn tuottavien tuotteiden tuottamista,
- iii) koko tilan aiheuttamaa vaikutusta,
- iv) peltoviljelyn keskimääräistä pinta-alaperustaista vaikutusta,
- v) maataloudelle poliittisesti asetettua tavoitetasoa tai
- vi) Suomen kokonaisvaikutusta.

Normalisointiin siirryttäessä joudutaan tekemään subjektiivinen valinta siitä, mihin saatuja tuloksia suhteutetaan. Valinta tulisi tehdä tutkimuksen käyttötarkoituksen mukaan. Lisäksi suhteuttamiseen käytetyn tiedon tulisi olla kerättyä samojen menetelmien, rajoitusten ja reunaehtojen puitteissa kuin toteutettu tutkimus vertailukelpoisuuden varmentamiseksi.

Painottaminen tai arvottaminen on elinkaariarvioinnin vaihe, jossa yhteismitattomien vaikutusten keskinäistä merkitystä tai tärkeyttä pyritään selvittämään. Tällöin joudutaan turvautumaan pohjimmiltaan subjektiivisiin käsityksiin erilaisten vaikutusten arvosta. Tämän tutkimuksen tavoitteiden kannalta ei ollut tarkoituksenmukaista toteuttaa kumpaakaan edellä mainituista elinkaariarvioinnin vaiheista.

5.3.3 Yhteenveto ja jatkotutkimusaiheita

Tässä luvussa esitetään rehuohran elinkaariarvioinnin tulosten yhteenveto sekä lyhyesti keskeisiä jatkotutkimustarpeita. Pilotoinnin pohjalta tehdyt johtopäätökset esim. ole-massa olevien tietolähteiden soveltuvuudesta elinkaariarviointiin ja elinkaariarviointi-metodologian soveltuvuudesta ylipäätään maatalouteen käsitellään luvun 6 pohdinnois-sa.

Rehuohran elinkaaren aikainen energiankulutus aiheutui pääosin viljelyyn liittyvistä toimenpiteistä ja lannoitteiden valmistusketjuista. Näiden osuus elinkaaren aikaisesta primäärienergiankulutuksesta oli yhteensä yli 90 %. Viljelyn osalta yli puolet kulutuk-sesta aiheutui viljan kuivauksesta.

Hiilidioksidin merkittävin lähde oli kalkituksen jälkeen kalkista ajan mittaan vapautuva hiili. Kalkista vapautuva CO₂-päästö oli samaa suuruusluokkaa kuin viljan viljelyssä tarvittavien työkoneiden ja kuivurien käytöstä aiheutuva CO₂-päästö. Rikin oksideista suurin osa vapautui lannoitteiden valmistuksesta. Typenoksidipäästöt aiheutuivat pää-osin puolestaan työkoneiden käytöstä. Typpioksiduuli oli pääosin peräisin viljelymaan monimutkaisista nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosesseista. Sen arviointiin liittyy kui-tenkin toistaiseksi huomattavia epävarmuuksia, esim. se, että ihmisperäisiä ja luonnon N₂O-päästöjä on vaikea erottaa toisistaan. Ammoniakista noin 80 % aiheutui käytetyn lannoitetyypen haihtumisesta. Vesistöjen rehevöitymisen kannalta keskeisimmät päästöt eli typen ja fosforin huuhtoutumat aiheutuivat tämän tapaustutkimuksen mukaan käy-tännössä lähes kokonaan lannoitteiden käytöstä. Toisaalta ravinnepäästöjen arviointiin liittyy kohtien 4.1 ja 5.2.3.2 mukaisesti vielä runsaasti epävarmuuksia, koska ravinne-kierron ovat hyvin monimutkainen ilmiö.

Viljelymaalta huuhtoutuvat ravinnepäästöt dominoivat rehuohran elinkaaren aikaista rehevöittävää vaikutusta. Ilmaston lämpenemispotentiaaliin eniten vaikuttava tekijä oli tapaustutkimuksen perusteella viljelymaasta aiheutuvat suorat ja epäsuorat typpioksi-duulipäästöt. Näiden lisäksi kalkituksesta ja viljelyyn liittyvien fossiilisten polttoainei-den käytöstä aiheutuvat CO₂-päästöt sekä lannoitteiden valmistuksen ilmaston lämpe-nemiseen vaikuttavat päästöt todettiin suhteellisesti merkittäviksi. Kokonaisuudessaan hiilidioksidipäästöjen osuus oli merkittävämpi kuin typpioksiduulipäästöjen osuus.

Happamoitumisen osalta ei ole varmuutta, mikä olisi suurin yksittäinen vaikuttava tekijä. Oleellisia lienevät joka tapauksessa työkoneiden käytön NO_x-päästöt sekä lannoitteiden valmistus ja viljelymaalta haihtuva ammoniakki.

Arvioitaessa tapaustutkimusta valittujen ympäristövaikutusluokkien (ilmaston lämpeneminen, rehevöityminen, happamoituminen ja energiankulutus) suhteen kokonaisuudessaan voinee viljelymaasta aiheutuvaa kuormitusta (ravinnehuuhtoutumat, denitrifioitunut typpioksiduuli ja kalkin käytöstä vapautuva hiilidioksidi) pitää suhteellisesti keskeisimpänä ympäristökuormitusten ja -vaikutusten aiheuttajana rehuohran tuotannon kannalta. Huuhtoutumat vaikuttavat dominoivasti rehevöittäviin vaikutuksiin. Viljelymaalta vapautuvat typpioksiduulipäästöt ja kalkin käytöstä vapautuvat hiilidioksidi-päästöt olivat keskeisimmät ilmaston lämpenemispotentiaalin aiheuttajat.

Myös lannoitteiden valmistus todettiin rehuohran elinkaaren kannalta merkittäväksi tekijäksi. Se vaikuttaa primäärienergiana määritettyyn kokonaisenergiakertymään sekä ilmaston lämpenemispotentiaaliin. Muita keskeisiä ympäristökuormitusten aiheuttajia olivat mm. viljan kuivaaminen ja työkoneiden käyttö, jotka molemmat vaikuttivat oleellisesti kokonaisenergiankulutukseen sekä energian tuotannosta aiheutuviin ilmapäästöihin. Aiheutuneet ilmapäästöt vaikuttivat oleellisesti niin ilmaston lämpenemispotentiaaliin kuin happamoitumiseenkin.

Koska useisiin kerättyihin päästötietoihin liittyi epävarmuuksia, niin on syytä myös korostaa, että vaihtelut saattavat viestiä myös toiminnan tehostamiseen liittyvistä mahdollisuuksista ja niitä tulisi jatkossa tarkastella yksityiskohtaisemmin. Tapaustutkimuksesta saatujen tulosten perusteella parannustoimia kannattaisi kohdentaa panosten mahdollisimman tehokkaan käytön kehittämiseksi kulloistenkin olosuhteiden mukaan. Energiankulutuksen vähentämismahdollisuuksia kannattaisi tarkastella erityisesti viljan kuivaamisen osalta.

Lisäksi on paljon sellaisia tekijöitä, kuten luonnon monimuotoisuuden ja torjunta-aineiden käyttöön liittyvät kysymykset, joiden suhteellista merkittävyyttä rehuohran tuotannon ympäristökuormitukseen on vaikea arvioida. Näiden kysymysten ratkaisemiseksi tulisi jatkossa käynnistää jatkotutkimuksia. Perustutkimusta tulisi lisätä erityisesti niiden kuormittavien tekijöiden arvioinnissa, joiden osuus tässä tapaustutkimuksessa todettiin keskeiseksi ja joihin sisältyy paljon epävarmuuksia. Hankkeen aikana yksilöidyistä perustutkimustarpeista tiedon tuottamisen tai siihen liittyvän mallintamisen tarpeiden osalta päädyttiin suosittelemaan seuraavia:

- ravinnehuuhtoutumat eri olosuhteissa (maalaji, maanmuokkaus, viljelymaan biologinen aktiivisuus jne.),

- typpioksiduulipäästöt eri olosuhteissa (maalaji jne.) ja
- kalkin käytöstä aiheutuvan hiilidioksidin vapautuminen eri olosuhteissa (happoemästäsapaino jne.).

Viimeiseen kohtaan liittyen hiilitaseen kokonaisarviointia tulisi kehittää. Esimerkiksi orgaanisten aineiden huuhtoutumat ja niiden mahdolliset vaikutukset tulisi liittää maataloustuotteiden elinkaariarviointiin. Viljelymailta ei toistaiseksi ole saatavissa vastaavia BOD- ja COD-indikaattoreihin perustuvia mittausarvoja kuin teollisuuden jätevesistä. Hiilitaseen yhteydessä tulisi myös selvittää viljelykasvista maahan jäävän osan vaikutusta ravinnekiertoon.

Tässä tutkimuksessa arvioitiin maatalouden päästömääriä viljelytoimien aiheuttamien päästöjen mukaan. Toisaalta ihmisen toiminnan aiheuttamia päästöjä ei voi erottaa yksiselitteisesti luonnon päästöistä. Maatalouden kuormitusten arvioinnissa tulisikin jatkossa pohtia luonnon taustapäästöjen huomioimisen periaatteita.

Vaikutustasolla tulisi tuottaa lisää tietoa esimerkiksi toimenpiteiden vaikutuksista biodiversiteetin ja viljavuuden muutoksiin ja ekotoksisuudesta sekä mahdollisuuksista integroida näitä tekijöitä vaikutusarviointiin. Hankkeen aikana identifioitiin myös lukuisia itse elinkaariarvioinnin ja erityisesti inventaarioanalyysin maataloudessa soveltamiseen liittyviä kehitystarpeita, joita on tarkasteltu seuraavassa luvussa.

6. Elinkaariarvioinnin soveltamiseen maataloudessa liittyviä erityispiirteitä sekä kehitystarpeita

Rehuohran tuotantoprosessista toteutettu tapaustutkimus on tuonut esille useita metodologisia, tietopohjan luotettavuuteen ym. seikkoihin liittyviä erityiskysymyksiä, joita liittyy elinkaariarvioinnin soveltamiseen nimenomaan maataloudessa. Tällaisia erityispiirteitä kuvataan tässä luvussa siksi, että

- 1) tunnistettaisiin, ymmärrettäisiin ja voitaisiin ottaa huomioon näitä erityispiirteitä riittävästi muissa myöhemmissä maatalouden elinkaaritutkimuksissa,
- 2) tiedettäisiin millaisia reunaehtoja ja valintatilanteita nämä erityispiirteet maatalouden elinkaaritutkimuksille asettavat sekä
- 3) tunnistettaisiin elinkaarimenetelmän soveltamiseen maataloudessa liittyviä erityisiä kehittämis- ja parantamistarpeita ja -kohteita.

Elinkaariarvioinnin pääperiaatteet ja vaiheet esitettiin lyhyesti luvussa 2.4. Seuraavassa keskitytään tämän tutkimuksen osalta elinkaariarviointimenetelmän tavoitteiden ja soveltamisalan määrittelyyn sekä inventaarioanalyysiin.

Elinkaariarvioinnin tulosten käyttökelpoisuus ja luotettavuus ovat erityisesti riippuvia käytettävien tietojen lähteistä, laadusta ja luotettavuudesta ja siksi seuraavassa pohditaan erityisesti niihin liittyviä ongelmia ja kehitystarpeita. Elinkaariarvioinnin ympäristövaikutusten arviointivaiheeseen liittyy myös monia avoimia kysymyksiä. Koska nämä epävarmuudet liittyvät tätä tutkimusta yleisemmin muihinkin elinkaariarviointeihin ja tarkasteluihin, niitä ei käsitellä tässä yhteydessä laajemmin.

6.1 Toiminnallinen yksikkö

Sen toiminnallisen yksikön valinta, jota kohden tutkittavan kohteen tai järjestelmän tulokset lasketaan, on elinkaariarvioinnissa keskeinen vaihe määriteltäessä tutkimuksen soveltamisalaa. Erityisesti maatalouden ja elintarviketuotannon toiminnallisen yksikön määrittäminen on vaikeaa, koska elintarvikkeella on monta tehtävää. Se on ravinnon lähde, jolloin sitä voidaan tarkastella esimerkiksi kalorien, proteiinien tai kivennäisainesten määränä. Se mikä tai millainen kombinaatio olisi kullekin tuotteelle oikea, riippuu enemmänkin kuluttajasta ja hänen tarpeistaan. Toisaalta elintarvikkeita käytetään myös esimerkiksi mielihyvän tavoittelemiseksi, mikä mutkistaa entisestään toiminnallisen yksikön määrittelyä. Useimmiten ja ehkä liiankin usein elinkaariarviointitutkimuk-

sissa on valittu toiminnalliseksi yksiköksi konkreettinen tuote (esim. pakkaus) eikä niinkään sen tuottamaa palvelua. Tutkimukset tulisikin suunnata enemmänkin itse tuotteen tuottamaan palveluun.

Toiminnallisen yksikön määrittely ja valinta vaikuttavat myös eri tutkimusten vertailtavuuteen. Tässä vaiheessa lähtökohtana voisi olla esimerkiksi se, että toiminnallinen yksikkö määritellään riittävän tarkasti ottaen tutkimuksen käyttötarkoitus huomioon. Jatkossa tulisikin käydä keskusteluja eri tutkimusten vertailujen mahdollisuuksista ja kriteereistä myös kansainvälisesti.

6.2 Panos-tuotosajattelu maataloudessa

Elinkaariarvioinnin peruslähtökohtana on, että elinkaaren eri vaiheissa syntyvät ympäristöä kuormittavat tekijät suhteutetaan haluttuun toiminnalliseen yksikköön, joka voi olla tuote tai palvelu. Tätä helpottaa se, että prosessin syötteiden ja tuotoksien sekä eri prosessien välillä on usein nähtävissä riippuvuus (esim. teollisen prosessin lähtöaineet ja näistä valmistettava tuote). Elinkaariarvioinnin soveltaminen maatalouteen poikkeaa tältä osin oleellisesti esimerkiksi teollisten tuotteiden arvioinnista, joihin tarkoituksiin elinkaariarviointia on alun perin laajasti käytetty. Keskeisiä maataloudessa huomioon otettavia tekijöitä ovat 'varantotyyppiset' ominaisuudet, joiden osuus teollisuusprosesseissa on vähäisempi. Esimerkiksi maaperä kokonaisuudessaan edustaa tällaista varantoa ja se on elinkaariarvioinnissa keskeinen syöte sadon aikaansaamiseksi.

Maaperää tarkasteltaessa on nimenomaan sen laadulla (maan rakenne ja viljavuus) oleellinen merkitys maatalouden tuottavuudelle. Lisäksi tulos riippuu mm. säästä ja muista olosuhdemuuttujista sekä viljelytoimien oikea-aikaisesta toteuttamisesta. Maan käytön ja maan laadun muuttumista ei voida kohdentaa tuotteille (esim. suhteessa tietyn viljalajin satoon) yhtä suoraviivaisesti kuin esim. teollisissa prosesseissa. Tämä johtuu siitä, että maataloudessa esimerkiksi maan laadun muuttuminen tapahtuu monien erilaisten toimien yhteisvaikutuksena. Audsley et al. (1997) ja Cowell (1998) ovat esittäneet, että elinkaaritutkimuksiin olisi tärkeää sisällyttää maan määrän ja laadun muutosten arviointi tutkimuksen tarkasteluajan alun ja lopun välillä. Toisaalta tällaisten vaikutusten systemaattinen tuominen LCA-tutkimukseen vaatii elinkaari metodologian kehittämistä sekä toisaalta perustiedon lisäämistä. Tällaisia seikkoja ovat esimerkiksi maan humuskerroksen muutokset viljelykauden aikana. Monien olosuhdemuuttujien huomiointo monimutkaistaa ketjulaskelmia ja erityisesti tulosten tulkintaa.

Maan laatuun ja sitä kautta viljavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat edellisten lisäksi mm. viljelykierto, maaperän happamuus, maaperän ravinne- ja energiatasapaino sekä torjunta-aineiden käyttö. Viljelykierron osalta tulisi näin ollen huomioida kaikki ne riippu-

vuudet, joita esimerkiksi tilan eri kasvilajien viljelyn välillä on. Tämä johtaa joissain tapauksissa (ks. kohta 5.2.2, ajalliset rajaukset ja viljelykierron huomiointi) esimerkiksi sänkenä olevan alueen ympäristökuormitusten allokointiin tilan tuotteille pinta-alan suhteen tai vastaavasti kalkituksen ja sen valmistuksen ympäristökuormitusten allokointiin ajan suhteen. Ongelmaksi viljelykierron huomioinnissa muodostuu kuitenkin vaikutussuhteiden erittelyn vaikeus. Nämä seikat tulisi tunnistaa ja ottaa huomioon mahdollisuuksien mukaan jo tutkimuksen tavoitteiden ja rajausten määrittelyvaiheessa. Jäljempänä sivuttaviin rajauksiin liittyy esimerkiksi valinta siitä, mitä maan vertikaalisia kerroksia (maa, pinta- ja pohjavesi jne.) sisällytetään tarkasteluun. Tutkimuksen tavoitteiden mukaan tulee myös rajata, missä määrin esimerkiksi tuotantohyödykkeiden valmistus (esim. traktori tai salaajaputket) sisällytetään tutkimukseen.

6.3 Tiedon keruu ja lähteet

Maatalouden erityispiirteiden näkökulmasta voidaan inventaarioanalyysin tiedonkeruun osalta erottaa kaksi toisistaan poikkeavaa lähestymistapaa:

- insinöörimäinen prosessilähestymistapa ja
- maatilän tilakirjanpito.

Perinteisesti kaikessa elinkaariarvioinnissa on lähdetty historiallisten tietojen keruusta eli tiedot perustuvat erilaisiin prosessi- ja tuotekalkyyleihin (vastaisi em. tilakirjanpitoa), joita yritykset keräävät mitä erilaisimpiin tietojärjestelmiinsä. Tilakirjanpidon avulla elinkaariarviointiinkin tarvittavia tietoja olisi ilmeisesti helpommin saatavissa ja hallittavissa. Tällaisista lähtötiedoista laskettujen tulosten käyttöä esimerkiksi strategisessa tuotekehityksessä on kritisoitu alan kirjallisuudessa (ks. esim. Weidema 1998). Strategisen tutkimuksen tueksi käytettävän elinkaariarvioinnin tulisi näiden sijaan perustua pikemminkin tiettyihin teknologioihin ja prosesseihin perustuvaan tietämykseen, jonka pohjalta esim. päästöarvoja voitaisiin arvioida tietyin kertoimin. Maatalouden osalta tämä ”insinöörimäinen” prosessilähestymistapa tarkoittaa erilaisten kertoimien luomista eri päästökomponenteille esim. suhteessa käytettyihin panoksiin ja työtapoihin sekä olosuhteisiin. Ravinnehuuhtoumien arviointi esimerkiksi lannoituksen, maan kaltevuuden, maatyypin, maanmuokkauksen ja sään funktiona on tästä kuvaava esimerkki. Insinöörimäistä lähestymistapaa tukee mm. maatalouden ympäristökuormitusten haju- luonteisuus, joten niitä ei ole käytännössä mielekästä eikä mahdollista mitata siinä laajuudessa kuin niitä tarvittaisiin. Osaltaan nämä kaksi mainittua tiedon keruun lähestymistapaa tukevat ja täydentävät toisiaan, ja jatkossa ne tulisikin integroida. Tilakirjan-

pitoa olisi saatavissa mahdollisesti esim. sopimustuotantoa harjoittavilta tiloilta ja/tai EU:n ylläpitämästä FADN¹⁹:n järjestelmästä. Integroitaessa tilataso insinöörimäiseen lähestymistapaan tulisi paremmin huomioiduiksi tila kokonaisuudessaan reunavyöhykkeineen. Periaatteessa voitaisiin siis ajatella, että tilakirjanpidon kokonaisuutta kuvaavat tiedot allokoidaisiin eri prosesseille ”top-down” -tyyppisesti ja vastaavasti prosessiperustaisia tietoja käytettäisiin ”bottom-up” -tyyppisesti allokation tarkentamiseen, jolloin voitaisiin luoda iteratiivinen ja ajan kuluessa tarkentuva tietoperusta.

Maatilojen käyttämät massavirtoina laskettavat syötteet (lannoitteet, kalkki, torjunta-aineet jne.) ovat ilmeisesti helpoiten saatavissa tilatason tietoina. Nämä ovat periaatteessa allokoidavissa tuotteille, jolloin kohdataan yleisiä tuotekohtaisuuteen liittyviä allokointiongelmia kuten yleensä LCA- tai ABC²⁰-laskennassa. Sinänsä tilatason tiedot (esim. vuosittaiset syötteet ja tuotokset) olisivat helpommin hallittavissa, mutta toisaalta elinkaarihäestymistävän etuna on se, että valintoja voidaan tehdä tuotelähtöisesti. Esimerkiksi kuluttaja on tuskin kiinnostunut maatalon tai maatalouden kokonaisympäristökuormituksesta, vaan valitessaan tuotteita saattaa pikemminkin haluta vertailla eri tai samalla tilalla tuotettujen ohran, rukiin ja vehnän tuotannon ympäristökuormituksia keskenään. Tuottajat puolestaan ovat kiinnostuneita parannustoimia pohtiessaan tuotekohtaisista eroista ja esimerkiksi siitä, missä olisivat hänen suurimmat mahdollisuutensa vähentää aiheutuvaa ympäristökuormitusta, ja missä se olisi kannattavinta. Tätä varten tuoteketjun toimijat tarvitsevat niin prosessi- kuin tuotekohtaista tietoa. EU:n ympäristöpolitiikan tuotelähtöisyyden ulottuvuuden voimistuessa (ks. esim. European Commission 1998) elinkaariarvioinnin korvaavaa lähestymistapaa on tuskin löydettävissä.

Polttoaineen kulutus on eräs tyypillinen maatalouden panos. Sen kulutusta voidaan arvioida prosessilähtöisesti tai osuuksina koko tilan polttoaineenkulutuksesta. Halberg et al. (1999) ovat esittäneet vertailun siitä, miten erilaisiin lopputuloksiin on päädytty käyttämällä prosessilähtöistä tai tilakohtaista lähestymistapaa. Näiden laskelmien mukaan prosesseittain laskettu energian kulutus oli 40 % pienempi suhteessa tilan kokonaisenergiankulutukseen. Tämä selittyy ensinnäkin sillä, että prosessiketjun rajaaminen elinkaariarvioinnissa saattaa johtaa kulutuksen aliarvioimiseen. Kyse on elinkaariarvioinnin klassisesta ongelmasta, tarkastellaanko energiankulutusta prosesseittain vai allokoidamalla yrityksen tai tuotantolaitoksen kokonaiskulutuksesta. Lisäksi viljelijän todellinen käyttäytyminen ei välttämättä kaikissa tapauksissa vastaa esimerkiksi teoreettisesti laskettuja työmenekkejä.

¹⁹ Farm Accountancy Data Network

²⁰ Activity Based Costing, toimintokustannuslaskenta

6.4 Paikka- ja olosuhderiippuvuus

Hankkeen yhdeksi keskeiseksi tavoitteeksi nousi se, että tulosten tulisi olla riittävän paikka- ja olosuhderiippuvaisia. Tämä johtuu siitä, että maatalouden ympäristökuormitukseen vaikuttavat hyvin voimakkaasti sekä maalajit että sääolot, mutta lisäksi myös monet muut tekijät kuten eri viljelijöiden toisistaan poikkeavat toimintatavat. Viimeksi mainittu tekijä rajataan usein tutkimuksen ulkopuolelle esim. siksi, että se monimutkaistaa tiedonkeruuta. Teollisuudessa tämä on helpommin perusteltavissa, mutta maataloudessa viljelijän valintojen rooli voi olla keskeinen. Toisaalta toimenpiteistä johtuvien tai muutoin yllättävien tapahtumien integrointi elinkaariarviointiin on yleistymässä, ja edellyttää tarkkoja tapauskohtaisia tarkasteluja, jolloin ongelmaksi nousevat tiedon julkisuusperiaatteet. Tällöin tarkastellaan useimmiten enemmänkin isohkoja riskejä (kuten onnettomuuksia yms.), joita toimintatapojen valinnasta voi mahdollisesti aiheutua.

Sääolot vaikuttavat maataloustuotannon käytännössä lähes kaikkiin asioihin, mutta ennen kaikkea sadon määrään ja laatuun. Konkreettinen esimerkki tästä on torjunta-aineiden ruiskutus, joiden tehoaineista esimerkiksi kovalla tuulella vain murto-osa päätyy kohteeseensa. Sääolojen ohella maalaji vaikuttaa hyvin vahvasti mm. ravinteiden huuhtoutumamääriin. Koska rehevöityminen on keskeisiä maatalouden ympäristöongelmia, tulisi huuhtoutumista ym. typpipäästöistä pyrkiä laatimaan ravinnetaseet, joissa otetaan huomioon mm. käytetyn lannoituksen, maaperän ravinnemäärät tarkastelun alussa ja lopussa sekä muut näihin ravinteisiin liittyvät ympäristökuormitukset, kuten esim. N_2O - ja NH_3 -päästöt huuhtoutumien lisäksi. Elinkaariarvioinninkin pyrkimyksenä on rakentaa tarkasteltavat systeemit yhä dynaamisemmiksi ja monimuuttujamalleja hyödyntävämmiksi, mutta käytännössä esim. ravinnetaseen voi esittää vain staattisissa oloissa.

Viljelymaan aiheuttamaa suoraa ympäristökuormitusta (ravinnehuuhtoutumat, NH_3 - ja N_2O -päästöt ilmaan) arvioidaan esim. maatyypin ja viljelijän perustoimintatapojen mukaan. Koska luonnossa tapahtuu näitä samoja ilmiöitä ilman viljelyäkin, on pohdittava, pitäisikö peltoviljelyn ympäristökuormituksia arvioida johonkin perustasoon nähden. Ongelmalliseksi tämän hyvältä kuulostavan lähestymistavan tekee se, ettei luonnossa ole olemassa varsinaista perustasoa, johon päästöjä voisi suhteuttaa. Esimerkiksi viljelykäytössä olleen ja luonnontilaisen alueen keskimääräiset huuhtoutumamäärät voivat oleellisesti erota toisistaan.

6.5 Maatalous ympäristöhaittojen vastaanottajana

Luvussa 4.7 tarkastellaan lyhyesti ekotoksisuutta yhtenä vaikutusluokkana. Eräs metodologinen kysymys liittyykin siihen, tulisiko esimerkiksi ilmasta viljelymaahan päätyvät raskasmetallit sisällyttää tarkasteluun, koska ne päätyvät sinne riippumatta tarkasteltavasta tilasta. Kuluttajan näkökulmastahan tuotteeseen liitettyjen tietojen tulisi sisältää tiedot sen puhtaudesta ja jäämättömyydestä riippumatta siitä, mistä jäämät ovat peräisin. Tämä palauttaa ongelman tiedonkeruuvaiheeseen siltä osin, että maaperässä olevien raskasmetallien määrää voitaisiin arvioida joko maaperänäytteiden perusteella tai tarkastelemalla kutakin raskasmetallipäästölähdettä erikseen, jotka liittyvät viljelyyn tai siellä käytettävään panostuotantoon. Raskasmetallit ja happamoittavat laskeumat sekä mahdolliset viljelykasveille aiheutuvat otsonivauriot ovat esimerkkejä siitä, miten maatalous vastaanottaa myös muiden kuin itse maatalouden ympäristöhaittoja. Myös torjunta-aineiden leviäminen torjuntakohteen ulkopuolelle, esimerkiksi viereisen tilan pelolle, on esimerkki tuotteen puhtauteen vaikuttavista asioista. Tällaisten tuotteen ympäristölaatuun liittyvien seikkojen todentaminen tuotteen ominaisuuksina edellyttää laajoja aluekohtaisia, paikallisia ja jopa tilakohtaisia selvityksiä.

Toisaalta jotkut maatalouden ulkopuolelta aiheutuvat ympäristökuormitukset voivat olla maataloudelle hyödyllisiäkin. Esimerkiksi rikkidioksidipäästöistä maahan päätyvä rikki on hyödyllistä eräille kasvilajeille.

6.6 Biodiversiteetti ja maisema

Biodiversiteetin ja maisema-arvojen integrointi maataloustuotteiden elinkaariarviointiin on tulevaisuuden keskeinen haaste. Biodiversiteetin paikkariippuvuus ja vaikutusten kytkytyminen lähiympäristöön ovat seikkoja, joiden huomioon ottaminen elinkaariarvioinnin kehityksessä edellyttää metodologista kehitystyötä. Tätä ongelmaa ja joitain vaihtoehtoisia lähestymistapoja on hahmoteltu luvussa 4.4.

6.7 Tarkastelun laajentaminen ihmiseen?

Elinkaariarvioinnin periaatteena on tarkastella lähtökohtaisesti tuotteen koko elinkaarta. Maataloustuotteiden ja elintarvikkeiden osalta tutkimus päättyy usein siihen, että tuote on kuluttajalla (ja pakkauksen osalta tarkastellaan sen kerääminen, käsittelyt ja hyödyntäminen). On kuitenkin syytä esittää kysymys siitä, tulisiko tarkastelua laajentaa kattamaan myös elintarvikkeeseen liittyvien aineiden kiertokulku takaisin luontoon tai mahdollisesti takaisin maatalouden raaka-ainepanokseksi ihmisen aineenvaihdunnan

kautta. Tällöin tulisi huomioida uusiutuvien luonnonvarojen kestävä käytön kannalta välttämättömän ravinnekierron sulkeminen.

6.8 Epävarmuuksien hallinta

Edellisissä luvuissa on usein tullut esiin, että maatalouden ympäristökuormitustietoihin liittyy suuria epävarmuuksia. Koska maatalouden tuotantovaiheen osuus elintarvikkeen kokonaiskuormituksista voi olla suuri ja koska tuotteen puhtaus rakentuu pitkälti jo maatalousvaiheessa, tulisi kehittää epävarmuuden hallintaa ja siihen liittyvien tarkastelujen kytkemistä elinkaariarviointiin. Yritysten kannalta potentiaalisia parannuskohteita voi löytyä yhtä hyvin niin ns. vuotokohtien tai hot spotien tunnistamisen avulla kuin selvittämällä syitä, joista suuret vaihtelut aiheutuvat. Toisaalta tämä tarkoittaa elinkaarimetodiikan kehittämistä siten, että tulosten tulkinnan yhteydessä voitaisiin arvioida yksittäisistä epävarmuustekijöistä aiheutuvia kokonaistulosten epävarmuusmarginaaleja, kun tiedot on yhdistetty koko elinkaaren ajalta.

7. Tietojärjestelmän ja pilottiohjelmiston kehittäminen

Luvussa 1 käsiteltiin kansallista elintarvikkeiden laatuhanketta, jota tämä tutkimus tukee alkutuotannon ja tässä tapauksessa konkreettisesti juuri rehuohran tuotannon ympäristökuormitustietojen osalta. Kansallisen laatuhankkeen yhtenä tavoitteena on laatu- ja ympäristötiedoiltaan läpinäkyvä ja dokumentoitu elintarviketuotanto. Läpinäkyvyys edellyttää tietojen tuottamisen ohella niiden dokumentointia ja välittämistä elintarviketuotantoketjussa toimivissa yrityksissä sekä niiden välillä tuotannon panoksista lopputuotukseen ja hylkäykseen asti.

Tuotteiden alkuperätiedot sekä tutkitut elinkaari pohjaiset ympäristötiedot tulevat olemaan yhä tärkeämpiä suomalaisen elintarvikkeen kilpailutekijöitä. Toistaiseksi ei kuitenkaan ole tietojärjestelmiä, joissa olisi maatalouden tuotteiden ja prosessien elinkaari pohjaisia ympäristötietoja, joiden avulla voitaisiin identifioida olennaisia ympäristökuormituslähteitä parannus- ja kehitystoimia sekä asiakas- ja muuta sidosryhmäinformaatiota varten. Näitä tarpeita varten tutkimuksen yhteydessä toteutetussa osaprojektissa kehitettiin pilottikäyttöön tietokoneohjelmisto LCA-tietojen laskentaan ja dokumentointiin.

Tietojärjestelmän ja ohjelmiston kehittämisen pohjana toimi luvussa 5 kuvattu elinkaarinarvioinnin pilottitutkimus. Ohjelmistoa kehitettiin rinnakkain varsinaisen elinkaaritutkimuksen kanssa.

7.1 Kehittämisen tavoitteet

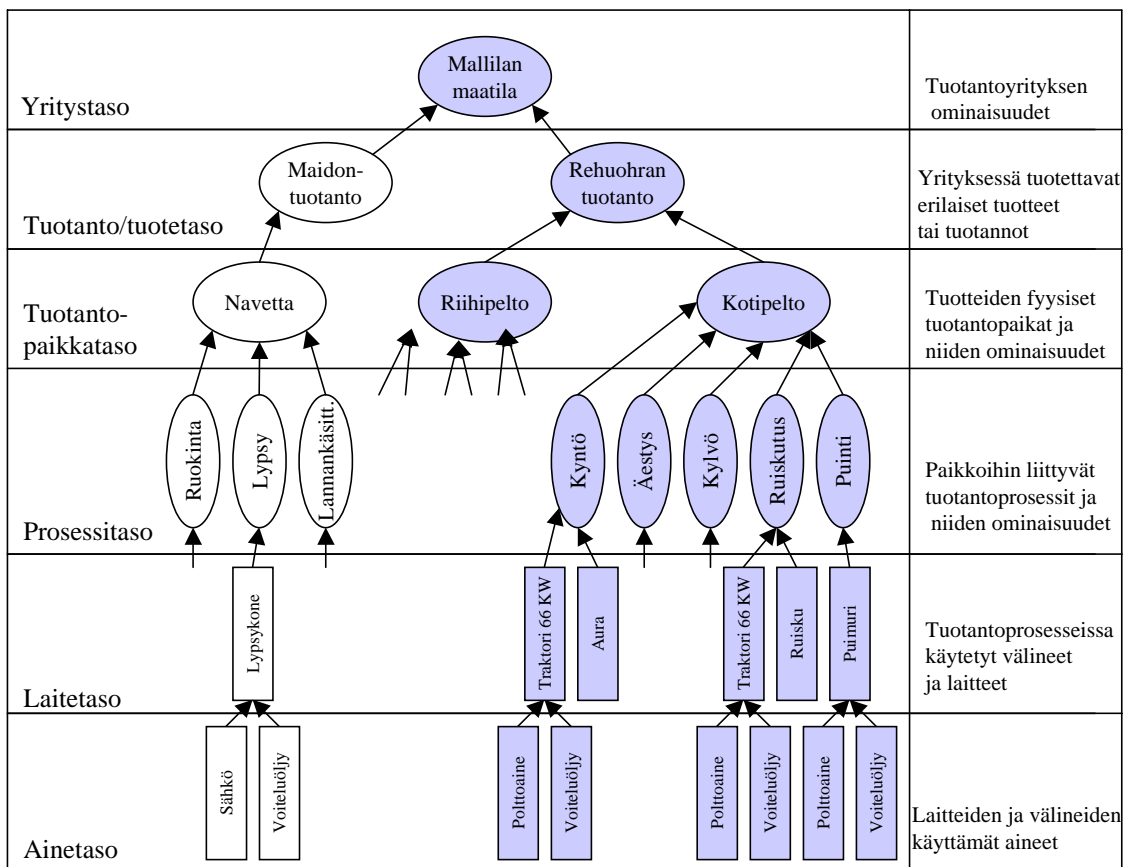
Ohjelmisto-osuuden tavoitteena oli tuottaa maataloilille työkalu, jonka avulla ne voisivat tulevaisuudessa saada tietoja keskeisistä ympäristöä kuormittavista tekijöistä, seurata niiden kehittymistä sekä suunnitella ja tehdä tarvittavia parannustoimia. Mallin avulla voidaan vastedes arvioida esimerkiksi tilojen ympäristökuormituksen osuutta elintarviketuotannon tuotantoketjussa. Viljelijöiden ohella ohjelmiston tietoja voivat hyödyntää myös elintarviketeollisuus, kauppa ja lopputuotteiden kuluttajat. Jotta tuotteiden ja prosessien ympäristönäkökohtia koskevia tietoja pystytään hallitsemaan koko elintarviketuotannon liiketoimintaketjun kattavasti, ohjelmisto pyrittiin suunnittelemaan mahdollisimman yleiskäyttöiseksi. Sen soveltuvuutta tuotantoketjun muiden osien elinkaarilaskelmien laatimiseen ei ollut kuitenkaan mahdollista tämän hankkeen puitteissa vielä testata.

LCA-tietojen laskentaan ja dokumentointiin kehitetty pilottiohjelmisto käyttää hyväksi vakiomuotoista tietokantaa. Ohjelmistoprojektin toisena tavoitteena oli tietokannan ja

sen rakenteen suunnittelu ja kehittäminen. Tutkimuksen yhteydessä kehitettiin tietokoneohjelman demoversio, jonka avulla testattiin ajattelutapojen ja käyttöliittymän toimivuutta. Tavoitteena oli ensinnäkin siirtää elinkaaritutkimuksissa tuotettu tieto sopivasti muotoilluksi tietokannaksi sekä kehittää sitä hyödyntävä sovellus, jolla tieto voidaan viedä yritysten jokapäiväiseksi laskentatyövälineeksi. Pilottiohjelmiston kehittämisen keskeisenä tavoitteena oli testata valittujen periaatteiden toimivuutta.

7.2 Kehittämisen periaatteet

LCA-pilottiohjelmiston perusideana oli elinkaaritutkijoiden tekemän tutkimustyön tuottaman tiedon muotoileminen vakiomuotoiseen tietokantaan sekä hyödyntäminen sen rinnalle rakennettavan, yritysten käyttöön tarkoitetun tietokoneohjelman avulla. Pilottiversion kehittämistä voidaan verrata vesistön virtaus- ja haarautumismalliin (*bifurkaatio*), jossa purot tai joet yhdistyvät alajuoksua kohti aina suuremmiksi joiksi, kunnes kaikki yhtyy lopulta mereen. Malli toimii siten, että mikä tahansa yhtymäkohta valitaan laskentapisteeksi saadaan lasketuksi yläjuoksulta tulevan veden kokonaismäärä, ja veden sijasta mallissa lasketaan tietenkin päästöjä. Periaatetta on havainnollistettu kuvassa 21.



Kuva 21. Hierarkkisen virtausmallin periaate.

LCA-pilottiohjelmisto toteutettiin oliopohjaisena eli ohjelmaan luotiin hierarkkisia oliotasoja, joihin sijoitetut oliot saavat samantyyppisiä ominaisuuksia ja perivät ominaisuuksia toisiltaan. Hierarkkinen malli pyrittiin laatimaan siten, että se palvelisi kaikenlaisten tuotteiden tuottamista. Mallin avulla kuvataan tuotannon rakenne ja riippuvuudet. Siinä käytetään hyväksi tutkijoiden laatimaa tietokantaa, johon on ennalta rakennettu valmiita tuotannon kuvaamiseen käytettäviä olioita. Olioihin on liitetty elinkaaritietoa sekä laadittu valmiiksi laskentakaavat suoritettavia LCA-laskelmia varten. Hierarkkisen mallin avulla käyttäjä kuvaa tuotannon rakenteen kuvassa 21 esitettyjen asioiden avulla.

Malli luodaan käyttöliittymässä valmiiksi määriteltyjen olioaihioiden avulla. Oliot on laadittu tutkijoiden toimesta ja tallennettu vakiomuotoiseen tietokantaan. Käytettävät aineet ja päästöt on linkitetty valmiiksi olioihin ja varsinaiset laskentakaavat tallennetaan erikseen laskentatietokantaan. Laskentakaavojen hallintaan kehitettiin erillinen käyttöliittymän prototyyppi, jonka avulla elinkaaritutkija voi hallita ja päivittää laskentakaavoja tarvitsematta muuttaa ohjelmistoa.

Käyttöliittymän suunnittelun tavoitteina oli yksinkertaisuus sekä helppokäyttöisyys. Käyttöliittymän avulla on kyettävä mallintamaan hierarkkinen tuotantomalli sekä muodostamaan samalla linkit laskentaa varten. Tuotantomallia voidaan tarkastella graafisen kuvaajan avulla. Käyttöliittymä haluttiin tehdä myös visuaalisesti helpoksi omaksua ja ymmärtää, jolloin käyttäjä maatilalla tai yrityksessä ei tarvitse syvällisempää tietotekniikan tuntemusta. Liitteessä C esitetty käyttöliittymä koostuu kolmesta osasta:

Työskentelyikkuna eli työpöytä näyttää aktiivisella tasolla olevat oliot;

Graafinen ikkuna, jossa näkyy kuvattu malli graafisesti samalla tavalla kuin Windowsin hakemistorakenne;

Kelluva valikko, josta käyttäjä vetää hiiren avulla oliot aktiiviselle työtasolle.

7.3 Tekninen toteutus

LCA-pilottiohjelmiston perustaksi valittiin yleisesti käytetty Windows 95/98 -käyttöjärjestelmä ja sen tietokannaksi Access 98. Käyttöliittymä perustuu Visual Basic versioon 6. Ohjelmiston määrittelyssä käytettiin modernia olio-ohjelmien määrittelytyökalua. Laskentakaavat tallennetaan Access 98 -tietokantaan, johon laadittu käyttäjälittyntä (kaavaeditori) on tehty Visual Basic -sovelluskehittimellä. Ohjelmassa on kaksi osaa, (1) hallintaosa, jolla voidaan hallita tietokannassa olevaa dataa ja päivittää objektien ominaisuustietoja, sekä (2) työskentelyosa, jonka avulla voidaan luoda malli ja suo-

rittaa laskentaa. Grafiikka jätettiin toteuttamatta, koska käytettävissä olevat resurssit haluttiin loppuvaiheessa kohdistaa kaavaeditorin luomiseen. LCA-pilottiohjelman (Thema LCA) määrittelyraportista löytyy tarkemmat tiedot (Salo & Dahlberg 1998).

7.4 LCA-pilottiohjelmistosta saadut kokemukset ja kehittämistarpeet

Ohjelmiston kehitystyö tapahtui ennalta laaditun määrittelyn perusteella. Määrittely tehtiin Maaseutukeskusten Liiton ja tutkijaryhmän yhteistyönä. Koska kyseessä oli uudentyyppinen lähestymistapa, ei alussa kyetty ottamaan huomioon kaikkia kehitystyön mukanaan tuomia ongelmia. Kehittämistyö oli oppimisprosessi, jonka avulla kyettiin saamaan selville osa oleellisista seikoista, mutta paljon yksityiskohtia jäi jatkoselvitteilyjen kohteeksi.

Eräs ongelma oli tutkimustyön ja ohjelmointityön aikataulujen sovittaminen ja koordinaointi. Ohjelmiston kehittämisessä ei ollut riittäviä resursseja koordinointiin, ohjelmiston tietosisällön kehittämiseen eikä tutkijoiden ja ohjelmoijien välisen tiedonvaihdon hallintaan. Näistä syistä tutkimustyö ei kyennyt tuottamaan ohjelmoinnin tarvitsemää tietoa riittävän ajoissa eli toteutus jäi tältä osin hieman vajavaiseksi. Ohjelmistoa päästiin kuitenkin koeluonteisesti testaamaan yhdellä tilalla.

Pilottiohjelmiston kehittämisestä saadut kokemukset osoittivat kuitenkin valittujen periaatteiden toimivuuden. Valittu virtausmalli toimii halutusti ja sallii laskennan suorittamisen aktiiviseksi valittuun kohtaan mallissa, jolloin yritys voi itse tarkastella asioita erilaisista näkökulmista. Malliin sisältyvä paikkataso antaa mahdollisuuden tarkastella asioita paikkaorientoituneesti, ja sillä voidaan tarkastella vaikkapa eri peltolohkojen kuormittavia tekijöitä. Paikkaorientoituneisuus antaa mahdollisuuden kehittää laskentaa siten, että tarkastellaan laajempien alueiden mahdollisia ympäristövaikutuksia. Paikka-tiedon liittäminen ja hallinta mallissa edellyttävät lisätutkimusta.

Valittu hierarkkinen oliomalli antaa mahdollisuuden kuvata erilaisia tuotantoympäristöjä ja erilaisten tuotteiden tuotantoa. Malli tukee hyvin virtausmallia ja siihen on kyettävissä olioperiaatteiden mukaisesti ominaisuuksien perintä sekä oletustiedot. Valittu tapa laskentakaavojen muodostamiseksi erilliseen tietokantaan antaa hyvät mahdollisuudet käyttää samaa ohjelmistoa vaihtelevien tuotanto- ja tuoteympäristöjen laskentaan. Tutkijat voivat laatia tarvittavat kaavat kehitetyn kaavaeditorin avulla.

Käyttöliittymä on yksinkertainen ja helppokäyttöinen. Se vaatii kuitenkin kehittämistä, jotta sillä voitaisiin kuvata monipuolisempia ominaisuuksia. Esimerkiksi ajan hallinta tulee ottaa huomioon sekä kehittää energian käytön hallintaan liittyviä erityisominais-

suuksia. Pilottiohjelmistossa käyttäjä ei voi vaikuttaa kovinkaan paljoa valittuihin olioihin, mikä on tärkeää aina kun kuvattava tuotanto poikkeaa oletetusta. Ongelmalliseksi valitussa mallissa muodostui myös takaisinkytkennän suorittaminen – miten ohjata tiettyjen aineiden tai materiaalivirtojen ohjautuminen takaisinpäin ylävirtaan? Siihen ei kyetty kehittämään ratkaisua rajallisten resurssien takia ja se edellyttää jatkoselvityksiä.

Ohjelmiston varsinaiseen käyttöversioon on kehitettävä runsaasti uusia sekä parannettava olemassa olevia ominaisuuksia. Toimivan version kehittämiseksi tarvittaisiin ominaisuuksia, kuten koko ketjun mittaisen elinkaaritiedon hallinta, paikkatietojen hallinta, aikasarjojen hallinta, alueellisten ympäristökuormitusten hallinta, takaisinkytkennän hallinta, energiankäytön hallintaominaisuudet, siirtyminen tuotantoketjussa ylemmäksi tai alemmaksi, käyttäjän vaikuttamismahdollisuus ominaisuuksiin, laskennan tarkentaminen todellisen tiedon pohjalta, tietokannan kehittäminen vastaamaan kansainvälisiä periaatteita sekä kaavatietokannan ja kaavaeditorin kehittäminen.

Varsinaisen ohjelmistokehityksen lisäksi tulisi tutkia ja kehittää muita tietojärjestelmän ja ohjelmiston kannalta välttämättömiä osa-alueita. Eräs keskeisimmistä haasteista on hankkia tietojärjestelmän perustana toimivaa elinkaaripohjaista tietopohjaa. Koska maatalouden tuotteisiin liittyvät tuotekohtaiset ympäristötiedot ovat olosuhde- ja alue-riippuvaisia, tulee kehittää olosuhderiippuvaisen elinkaaritutkimustiedon tuottamiseksi tarvittavaa mallintamista. Maatalouden elinkaaritutkimustiedot olisi kerättävä tai mallinnettava eri tekniikoiden ja olosuhteiden funktiona. Olemassa olevaa tietoa tulisi jalostaa ja tiedonkeruuta automatisoida, mikä edellyttää uusien tiedonkeruujärjestelmien kehittämistä. Vaihtoehtoisesti ohjelmistoon ja tietojärjestelmään voitaisiin liittää soveltuvia ympäristökuormitusten mallinnusohjelmia.

Niin itse kuormitustietojen kuin niiden taustekijöiden kuvaamiseen tulisi kehittää vakio- tai muotoinen formaatti tietojen ymmärrettävyyden ja sovellettavuuden parantamiseksi. Esimerkiksi SPOLD-formaatti tarjoaa tätä tarkoitusta varten hyvän vaihtoehdon. Tietojen yhdenmukaisen (myös kansainvälisesti) formaatin myötä olisi myös liittymäpinta helpommin rakennettavissa kansainvälisiin LCA-tietokantoihin. Tähän liittyen kehitystyössä tulisi olla yhteydessä vastaavan tyyppisiin kansainvälisiin toimintoihin sekä muutoin LCA-tutkimukseen, kuten LCAnet on FOOD -toimintaan ja sen pohjalta käynnistettäviin jatkohankkeisiin.

Muita tietojärjestelmään liittyviä kehitysalueita ovat mm. liittymärajanpintojen muodostaminen niin yritysten johtamis-, laskenta- ja raportointijärjestelmiin sekä tiedon-siirto- ja hallintamenetelmien kehittäminen yleisesti valtakunnallisella tasolla, joihin liittyy paljon periaatteellisia kysymyksiä.

Muita jatkossa selvitettäviä asioita ovat mm. se, miten tulevissa kehityshankkeissa voitaisiin tukeutua Internet-verkossa toimiviin järjestelmiin, mitkä ovat tuotettujen tietojen omistusoikeudet ja miten niiden hallinta ja ylläpito järjestetään sekä miten tietojärjestelmän ja ohjelmiston kehittämisvastuut ja käyttö- ja omistusoikeudet organisoidaan.

8. Yhteenveto ja johtopäätökset

8.1 Tausta ja tavoitteet

Tutkimuksen tarkoituksena oli myötävaikuttaa elintarvikeketjun laadun- ja ympäristöhallintaan ja siten edistää kotimaisen maatalouden ja elintarviketuotannon kilpailukykyä sekä laadultaan ja ympäristömyötävyydeltään korkeatasoisten elintarvikkeiden tuottamista kuluttajille. Hankkeen taustalla on kasvava tarve tuottaa maatalouden ja elintarviketeollisuuden tuotteista ja -prosesseista niiden ympäristönäkökohtiin liittyvää elinkaari pohjaisia tietoja. Näitä voidaan käyttää ensinnäkin tuotteiden ja prosessien kehittämisen tukena. Maatila voi käyttää niitä esimerkiksi investointeja tai eri tuotantosuuntia koskevien vaihtoehtojen ympäristömyötävyyden vertailussa sekä tuotannon menetelmien, järjestelmien, tekniikoiden jne. laadun ja ympäristömyötävyyden kehittämisessä ja parantamisessa. Toisaalta nämä tiedot ovat olennaista informaatiota niin elintarvikkeita ostaville asiakkaille kuin myös maataloustuotteita jalostavalle elintarviketeollisuudelle. Tarkoituksena on hyödyntää näitä tietoja maatilojen laadun- ja ympäristöhallintaa tukevissa tietojärjestelmissä sekä viedä niitä kehitteillä olevaan kansalliseen tiedonhallintajärjestelmään eli laatutietopankkiin. Hanke on osa Suomen maatalouden laatujärjestelmähanketta, jossa luodaan kauppaan ja teollisuuteen tuotteita toimittaville maataloilille ISO 9002 -standardin mukainen laatujärjestelmä, johon olisi integroituna myös ympäristöasioiden hallinta.

Elinkaaripohjaisen tiedon tuottamisesta toteutettiin tutkimuksessa pilottihanke rehuohran tuotannosta. Tarkastelu kattoi tuotantovaiheet alkaen kynnöstä ja päättyen navetan ruokintapöydälle karjan rehuksi. Hankkeessa keskityttiin maatalouden ympäristökuormituksia ja -vaikutuksia sekä niiden suhteen parantamista ja kehittämistä ajatellen olennaisimpiin kysymyksiin. Esitutkimuksesta saatavan kokemuksen pohjalta elinkaari tarkastelu laajennetaan jatkohankkeissa Suomen maatalouden muiden tuotantosuuntien prosesseihin ja tuotteisiin (muu viljantuotanto, maidontuotanto, lihantuotanto, jne.) sekä muuhun elintarviketeollisuuteen.

8.2 Yleiset tulokset

Esitutkimuksen pääosan muodostaa pilottihanke, jossa tuotettiin elinkaari pohjaisia ympäristökuormitustietoja rehuohran tuotantoprosesseista, sekä hanke, jossa kehitettiin maatilojen käyttöön tarkoitettua elinkaari pohjaisen tiedon hallintaa tukevan tietokoneohjelman demoversio. Rehuohran tuotantoprosessin elinkaariarviointi antoi arvokkaita kokemuksia aiheeseen liittyvistä metodologisista ongelmista mm. muita elintarvikeprosesseja ja -tuotteita koskevia hankkeita sekä myös elinkaari pohjaisten tietojen hallintaa

ja siihen liittyviä tietojärjestelmiä ajatellen. Seuraavassa kuvataan joitakin keskeisiä, erityisesti elinkaariarviointimetologiaan liittyviä ongelmia.

Esimerkiksi se periaate, että tavanomaisissa elinkaaritutkimuksissa sovelletaan keskimääräisiä kuormitustietoja, ei välttämättä sellaisenaan toimi maanviljelyssä. Syynä on se, että viljelyn paikka-, sää ja viljelytapakohtaiset erityispiirteet, kuten maalaji, maaperän laatu, sää yms. seikat, vaihtelevat paljon samoin kuin niihin liittyvät maan laadun muutokset. Tällaisten erojen takia tapaustutkimuksessa jouduttiin hakemaan ja määrittämään ”tyypillinen tapaus” sekä tekemään siihen liittyviä yleistyksiä ja rajauksia.

Maatalouden ja elintarviketuotannon toiminnallisen yksikön määrittäminen on vaikeaa, koska elintarvikkeilla on monta tehtävää, joihin niitä käytetään. Elintarvikkeet ovat periaatteessa ravinteiden lähteitä, mutta toisaalta niiden avulla voidaan hakea elämyksiä tai mielihyvää. Mikä on siis se varsinainen palvelu, jonka elintarvikkeet viime kädessä tuottavat?

Maatalouden mielenkiintoinen piirre on, että siellä käytettävien panosten ja tuotettujen tuotteiden välillä ei ole niin selvää riippuvuutta kuin esimerkiksi teollisuudessa. Maaperä, sen laatu ja siten viljavuus ovat varantotyyppisiä ominaisuuksia, joissa viljelykauden aikana tapahtuneet muutokset tulisi voida kohdistaa tuotetulle tuotteelle. Kun tilalla vielä on lukuisa joukko viljelykasveja, jotka ovat tietysti riippuvuussuhteensa toisiinsa esimerkiksi viljelykierron kautta, on myös ympäristökuormitusten kohdentaminen suhteellisen vaikeaa eri tuotteille. Koska esimerkiksi kuluttajat lienevät viime kädessä kiinnostuneita eri tuotteiden ympäristöominaisuuksien eroista, tulisi tällaista tietoa kuitenkin olla saatavilla.

Esitutkimuksen alkuvaiheessa oli tiedossa, että rehuohran tuotantoprosessista on olemassa tietoja. Kuitenkin, kuten hankkeen suunnitteluvaiheessa oletettiin, näitä tietoja ei voitu sellaisenaan laajamittaisesti hyödyntää rehuohran elinkaariarvioinnissa. Tämä aiheutui, paitsi tietojen hajanaisuudesta, erityisesti maataloustuotantoon ja viljelyyn liittyvien elinkaariarviointien erityispiirteistä. Rehuohran tuotantoprosessin elinkaaritutkimus toi siten hyvin esille niitä keskeisiä eroja, joita on maan viljelyä koskevalla ja tavanomaisella, teollisesti valmistettujen tuotteiden elinkaaritutkimuksella.

Mainittujen ongelmien vuoksi yksittäisiä metodisia ja elinkaari pohjaisen tiedon tuottamiseen liittyviä ongelmia oli mm. seuraavissa seikoissa. Erityisesti viljelymaasta aiheutuvien kuormitusten, kuten ravinnehuhtoutumien, typpioksiduulin ja kalkista vapautuvan hiilidioksidin määrien tuotekohtainen arviointi erilaisten olosuhteiden, maalaajin ja viljelytoimien ym. funktiona on iso ja haastava tutkimustehtävä kansainvälisestikin arvioiden.

Keskeisiä tiedontarpeita jatkossakin liittyy erityisesti ravinnehuuhtoutumiin ja typen kiertoon erilaisilla peltolohkoilla. Esimerkiksi liittämällä eroosio- ja ravinnekuormitusta simuloiva malli kehitettävään ohjelmistoon voidaan paremmin arvioida ravinnehuuhtoutumia eri sääoloissa, eri maalajeilla ja viljelymenetelmillä. Uutta perustietoa on tulevaisuudessa tuotettava myös muista maatalousprosesseista hyvin monelta osin. Monet näistä ongelmallisista seikoista liittyvät biodiversiteettivaikutusten integroimiseen elinkaaritarkasteluun, mikä onkin maatalouden ja elintarviketeollisuuden elinkaariarvioinnin keskeinen metodologinen haaste vastedes.

Monet näistä kysymyksistä liittyvät elintarviketeollisuuden tuotantoketjun eri osissa ja vaiheissa toimivien yritysten välisen tiedon kulun ja käytettävien tietojen jäljitettävyyden kysymyksiin. Tähän liittyvien tietopuutteiden seuraukset tulivat esille vuoden 1999 aikana sattuneissa keskieurooppalaisissa esimerkeissä eläinrehujen myrkkypitoisuuksista (dioksiini ja PCB) ja niiden siirtymisestä elintarvikkeisiin. Tällaiset esimerkit korostavat maataloustuotannon eri toimijoiden välisen liiketoimintaketjun kattavan laadun- ja ympäristöhallinnan merkitystä. Kaikki edellä mainitut maatalouden tuotteiden ja prosessien elinkaariarvioinnin erityispiirteisiin liittyvät esimerkit taustoineen ovat merkittäviä haasteita elinkaariarvioinnin metodologiselle kehittämiselle tässä ympäristössä jatkossakin.

8.3 Rehuohran tuotannon elinkaariarvioinnin tulokset

Rehuohran elinkaaren aikainen energiankulutus aiheutuu pääosin viljelystä ja lannoitteiden valmistuksesta ja on yhdessä yli 90 % koko elinkaaren aikaisesta energiankulutuksesta. Energiankulutus arvioitiin primäärienergiana. Viljelyn osalta jopa yli puolet aiheutui viljan kuivauksesta.

Hiilidioksidin kannalta merkittävin lähde on kalkituksen jälkeen maasta vapautuva hiili. Sen määrä on vähintään samaa suuruusluokkaa tai suurempikin suhteessa viljan viljelyssä tarvittavien työkoneiden ja kuivurien käytöstä yhteensä aiheutuvaan hiilidioksiidiin. Rikin oksideista suurin osa vapautuu lannoitteiden valmistuksesta. Typen oksidit aiheutuvat pääosin työkoneiden käytöstä. Typpioksiduulit syntyvät pääosin monimutkaisten nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosessien seurauksina suoraan pellolta. Näiden arviointiin liittyy kuitenkin toistaiseksi huomattavia epävarmuuksia. Ammoniakista n. 80 % haihtuu pellolta käytetystä lannoitetypestä. Vesistöjen kannalta keskeisimmät päästöt eli typen ja fosforin huuhtoutumat aiheutuvat käytännössä lähes kokonaan lannoitteiden käytöstä ja maan muokkaamisesta.

Viljelymaan huuhtoutumapäästöt hallitsevat rehuohran elinkaaren aikaista rehevöittävää vaikutusta. Ilmaston lämpenemispotentiaaliin eniten vaikuttava yksittäinen tekijä on

tapaustutkimuksen perusteella viljelymaasta aiheutuvat suorat ja epäsuorat typpioksiduulipäästöt. Lisäksi kalkituksesta ja viljelyyn liittyvien fossiilisten polttoaineiden käytöstä syntyvät CO₂-päästöt sekä lannoitteiden valmistusketjusta aiheutuneet ilmaston lämpenemiseen vaikuttavat päästöt todettiin merkittäviksi. Happamoitumiselle oleellisia elinkaaren vaiheita olivat tässä tapaustutkimuksessa työkoneiden käyttö, lannoitteiden valmistus sekä viljelymaan mineraalilannoitteesta haihtuva ammoniakki.

Arvioitaessa tapaustutkimusta kokonaisuutena, voinee viljelymaasta aiheutuvaa kokonaiskuormitusta pitää suhteellisesti keskeisimpänä ympäristövaikutusten aiheuttajana rehuohran tuotannon elinkaaren ajalta. Siihen sisältyvät ravinnehuhtoutumat, viljelymaasta denitrifioituneet typpioksiduulipäästöt, kalkista vapautuva hiilidioksidi sekä lannoitteiden käyttöön liittyvät pellostä haihtuvat ammoniakkipäästöt. Toisaalta näihin tietoihin liittyvät suurimmat epävarmuudet tarkastelluista parametreista. Myös lannoitteiden valmistus todettiin rehuohran elinkaarelle merkittäväksi tekijäksi. Muita keskeisiä ympäristökuormitusten aiheuttajia ovat mm. viljan kuivaaminen ja työkoneiden käyttö.

8.4 Tietojärjestelmän kehittäminen

Maatalouden ja elintarviketeollisuuden tuotteiden ja prosessien elinkaari pohjaiset tiedot ovat olennaista informaatiota niin elintarvikkeita ostaville asiakkaille kuin maataloustuotteita jalostavalle elintarviketeollisuudellekin. Hankkeen tavoitteena oli selvittää mahdollisuuksia viedä näitä tietoja sekä maatilakohtaisiin tietojärjestelmiin että myöhemmin kehitettävään kansalliseen tiedonhallintajärjestelmään, laatutietopankkiin. Tavoitteena on tulevaisuudessa kehittää maatilakohtaiset tietojärjestelmät vuorovaikutteiksi valtakunnallisen laatutietokannan kanssa.

Esitutkimuksessa kehitettiin demoversio maatalojen käyttöön tulevasta elinkaari pohjaista ohjelmistosta. Demoversiosta saatujen kokemusten perusteella ohjelmiston kehittämistä on tarkoitus jatkaa edelleen tutkimuksen jatkovaiheessa. Esitutkimus toi hyvin esille niitä vaikeuksia, joita liittyy elinkaari pohjaisten tietojen hyödyntämiseen osana maatalojen ympäristöhallintaa ja tietojärjestelmiä. Näistä kokemuksista nousee eri näkökulmista useita vaatimuksia kehitettävälle sekä tilakohtaiselle että laajemmalle kansalliselle tietojärjestelmälle. Keskeisiä kysymyksiä ovat ohjelmiston helppokäyttöisyys ja tutkimuksen tuottaman elinkaari tiedon jalostaminen tilojen ja yritysten jokapäiväiseen käyttöön sopivaksi.

Rehuohran tuotantoprosessin elinkaari pohjaisten tietojen hankinta ja jalostaminen osoitti hyvin, miten vaativia tehtäviä tietojen kokoaminen sekä niiden muuttaminen sovellettavaksi elinkaari arvioinnissa ovat. Lisäksi tietojen tuottaminen yhden kerran ei

riitä, vaan niitä on päivitettävä ja ylläpidettävä, mikä on myös otettava huomioon tietojärjestelmän kehittämisessä ja erityisesti siihen liittyvien kustannusten kattamiseen liittyvien periaatteiden järjestämisessä. Tiedon tuottaminen, päivittäminen ja ylläpito ovat keskeisiä ratkaistavia kysymyksiä, mutta eivät ainoita ongelmia. Ratkaistavia kysymyksiä elinkaari pohjaisten tietojen tuottamisessa ja hyödyntämisessä liittyy tulevaisuudessa mm. seuraaviin seikkoihin:

- Miten määritellä ja varmistaa elinkaari pohjaisten tietojen sisällölliset kriteerit, esimerkiksi niiden luotettavuus, objektiivisuus, puolueettomuus?
- Mitkä tahot elinkaari pohjaisia tietoja tuottavat ja millä kustannus- ja muilla periaatteilla niitä kootaan, päivitetään ja ylläpidetään?
- Miten ja millä periaatteilla elinkaari pohjaiset tiedot ovat elintarvikkeiden ostajien, teollisuuden ja eri sidosryhmien saatavilla ja käytettävissä heidän päätöksenteossaan?
- Millaisia vastuukysymyksiä ylläpitoon ja käyttämiseen liittyy (esimerkiksi kun tietojen perusteella toteutetaan toimenpiteitä, missä määrin tietoihin liittyvät epävarmuudet vaikuttavat toimenpiteisiin?)

Vaikutusluokkien sisällä voidaan nähdä oleellisia seikkoja kehittämisen ja parantamisen kannalta. Tulisiko yrittää purkaa myös auki eri vaikutusluokkien välisiä suhteita? Peruskysymyksenä on kuitenkin ensiksi tuottaa riittäviä, luotettavia kuormitustietoja erityisesti biologisista prosesseista. Jatkossa tulisi muodostaa kokonaisuuden hahmottamiseksi moniulotteinen matriisi tuotettavan tiedon rakenteesta ja kytkennöistä.

8.5 Jatkosuunnitelma

Esitutkimuksen perusteella valmistellaan jatkotutkimuksia, jotka käsittävät maatalouden ja elintarviketeollisuuden tuote- ja prosessikohtaisia elinkaari tapaustutkimuksia sekä näitä tukevaa menetelmäkehitystä. Lisäksi on suunniteltu inventaaritietojen varastointia ja hyödyntämistä sekä varsinaista elinkaari pohjaisen tietojärjestelmän ja sovellusohjelman kehittämiseen liittyvää tutkimusta. Saatavien tietojen ja kokemuksen perusteella elintarviketuotannon liiketoimintaketjussa toimivat yritykset kehittävät ja parantavat yhteistä laadun- ja ympäristöhallintaansa yhteistoimin. Kuten tässä tutkimuksessa, on jatkohankkeessakin tavoitteena keskittyä maatalouden ja elintarviketeollisuuden laadun- ja ympäristöhallintaa koskevien tietojen tuottamisessa olennaisimpiin kysymyksiin. Jatkohankkeissa voitaisiin pyrkiä hyödyntämään muihin käyttötarkoituksiin kehitettyjä

tiedonkeruun menetelmiä esimerkiksi sopimusviljelijöiltä entistä luotettavamman todellisen kuvan luomiseksi.

Alusta alkaen hanke ”Ympäristöhallinnan ja sen tietojärjestelmän kehittäminen maatalojen laatujärjestelmän osaksi” on ollut kunnianhimoinen. Hanke on perustunut tulevaa kehitystä koskevaan visioon, jonka mukaan laatu- ja ympäristöasioilla on kasvava merkitys maataloustuotannolle ja elintarviketeollisuudelle. Sekä hankkeessa mukana olevan teollisuuden että tutkijatahojen piirissä tähän kehitykseen on vahva usko, ja on arvioitu, ettei tälle lähestymistavalle ole olemassa vaihtoehtoja. Tätä uskoa sekä erityisesti jäljitettävyyden ja tuotannon alkuperän merkitystä korostavat ulkomailla esille tulleet esimerkit hullun lehmän taudista, hormonilihasta sekä rehujen dioksiinimyrkkypitoisuuksista. Vain kehittämällä maataloustuotannon koko liiketoimintaketjun laadun- ja ympäristöasioiden hallintaa systemaattisesti tämäntapaiset ongelmat ovat vältettävissä. Samalla kehitettävät järjestelmät tukevat kansallista pyrkimystä suomalaisten elintarvikkeiden kilpailukyvyn varmistamiseksi ja parantamiseksi.

Lähdeluettelo

Adato Energia Oy 1999. Tilastot, Sähkön tuotannon raakaenergian tarve 1997 (Pikatil. + sähkötilasto). 2.2.1999.

Andrias, A., Samaras, Z. & Zierock, K.-H., The Estimation of the Emissions of 'Other Mobile Sources and Machinery' Subparts 'Off-Road Vehicles and Machines', 'Railways', and 'Inland Waterways' In the European Union. EU Study. Final Report. September 1994. 69 s.

Arnold, D. J. & Briggs, G. G. 1990. Fate of pesticides in soil: predictive and practical aspects. Teoksessa Hutson, D. H. & Roberts, T. R. (eds.): Environmental Fate of Pesticides. John Wiley & Sons Ltd. S. 101–122.

Audsley, E., Alber, S., Clift, R., Cowell, S., Crettaz, P., Gaillard, G., Hausheer, J., Joliet, O., Kleijn, R., Mortensen, B., Pearce, D., Roger, E., Teulon, H., Weidema, B. & van Zeijts, H. 1997. Harmonisation of Environmental Life-cycle Assessment for Agriculture. Report of Concerted Action AIR3-CT94-2028. Brussels: European Commission DG VI Agriculture. Community Research and Technological Development Programme in the field of "Agriculture and Agro-Industry, including Fisheries". 103 s.

Bakkane, K. 1994. Life Cycle Data for Norwegian Oil and Gas. TAPIR publishers. 146 s.

Boesten, J., Hleweg, A., Businelli, M., Bergstrom, L., Schafer, H., Delmas, A., Kłoskowski, R., Walker, A., Travis, K., Smeets, L., Jones, R., Vanderbroeck, Van Der Linden, A., Broerse, S., Klein, M., Layton, R., Jacobsen, O.-S. & Yon, D. 1996. Soil persistence models and EU registration, Final report of the work of Soil Modelling Work Group of FOCUS (Forum for the Co-ordination of the pesticide models and their use).

Boustead, I. 1993. Eco-profiles of the European plastics industry, report 3: Polyethylene and polypropylene. Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME). 17 s.

Boustead, I. 1997. Eco-profiles of the European plastics industry, report 14: Polymethyl methacrylate. European Chemical Industry Council (CEFIC), Association of Plastics Manufacturers in Europe (APME). S. 19–20.

Bouwman, A. 1996. Direct emissions of nitrous oxide from agricultural soils. Nutrient cycling in Agroecosystems 46: 53–70.

Consoli, F., Allen, D., Boustead, I., Fava, J., Franklin, W., Jensen, A., de Oude, N., Parrish, R., Perriman, R., Postlethwaite, D., Quay, B., Séguin, J. & Vigon, B. 1993. Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'. From the SETAC Workshop held at Sesimbra, Portugal 31.3.–3.4.1993. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). 1993. 69 s.

Cowell, S. 1998. Environmental Life Cycle Assessment of Agricultural Systems: Integration into Decision-Making. Doctoral thesis. University of Surrey. S. 109–140.

Davister, A. 1996. Studies and research on processes for the elimination of cadmium from phosphoric acid. OECD proceedings – Fertilizers as a source of cadmium. IOMC. Paris. S. 21–30. ISBN 92-64-15342-X.

Dowdell, R. J. & Webster, C. P. 1984. A lysimeter study of the fate of fertilizer nitrogen in spring barley crops grown on a shallow soil overlying chalk: denitrification losses and the nitrogen balance. *Journal of Soil Science* 35: 183–190.

EAA 1998. EAA software 1998: LCA Aluminium database. European Aluminium Association (EAA).

ECETOC 1994. Ammonia Emissions to Air in Western Europe. Technical Report No. 62. European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals (ECETOC). 195 s. ISSN-0773-8072-62.

EFMA 1995. Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry. Booklet No. 1 of 8: Production of Ammonia. European Fertilizer manufacturers' Association (EFMA) 1995. 34 s.

Ekholm, P. 1998. Algal-available phosphorus originating from agriculture and municipalities. Monographs of the Boreal Environment Research No. 11. 60 s. Finnish Environment Institute, Helsinki. ISSN 1239-1875, ISBN 952-11-0329-9.

Erviö, R. 1995. Viljelymaan humuksen väheneminen kolmen vuosikymmenen aikana. In: Viljelymaan humuspitoisuuden muuttuminen ja siihen vaikuttaminen. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 11/95. S. 5–12. ISSN 0359-7652.

Erviö, R., Mäkelä-Kurtto, R. & Sippola, J. 1990. Chemical characteristics of Finnish agricultural soils in 1974 and 1987. Teoksessa Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (eds.): Acidification in Finland. Berlin: Springer-Verlag. S. 214–234. ISBN 3-540-52213-1, ISBN 0-387-52213-1.

Erviö, R. & Talvitie, H. 1995. Viljelymaan humuspitoisuuden ja fysikaaliseen rakenteeseen vaikuttaminen viljelyn keinoin. In: Viljelymaan humuspitoisuuden muuttuminen ja siihen vaikuttaminen. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 11/95. S. 13–18. ISSN 0359-7652.

Esala, M. 1993. Typpilannoituksen tase ja ympäristövaikutukset. In: Agro-Food'93: Suomalaisen elintarviketuotannon kilpailukyky: Tampere 16–18.11.1993, Tampere-talo. Helsinki: Agro-Food ry. S. A21. (Esitelmätiivistelmät).

Esala, M. 1998. Typen ympäristöhaitat ja lannoitus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A, nro 40. S. 83–90.

European Commission. 1998. Workshop on Integrated Product Policy. 8 December 1998, Bryssel. Office for Official Publications of the European Communities: Luxembourg. 118 s.

Eurostat, European Commission 1995. Europe's Environment, Statistical Compendium for the Dopris Assessment. Bryssel 1995. 455 s.

Eurostat 1998. Pesticide use in the EU. Statistics in Focus: Environment 3/1998. 12 s. ISSN 1017-5849.

Flessa, H., Dörsch, P. & Beese, F. 1995. Seasonal variation of N₂O and CH₄ fluxes in differently managed arable soils in southern Germany. Journal of Geophysical Research, 100, D11: 23, 115–23, 124.

Frischknecht, R., Hofstetter, P., Knoepfel, I., Dones, R., Zollinger, E. (toim.). 1994. Ökoinventare für Energiesysteme. Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Ökobilanzen für die Schweiz. Bundesamt für Energiewirtschaft. Teil I. Zusammenfassung. 1. Auflage. Zürich. 343 s.

Grönfors, K. 1998. Tilastokeskus. Kirjallinen tiedonanto.

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. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 62 s.

Grönroos, J., Rekolainen, S., Palva, R., Granlund, K., Bärlund, I., Nykänen, A. & Laine, Y. 1998b. Maatalouden ympäristötuki. Toimenpiteiden toteutuminen ja vaikutukset v. 1995–1997. Suomen ympäristö 239. Suomen ympäristökeskus, Helsinki.

Hakuopas 1998. Peltokasvien tuki. Ympäristötuen perustuki. Luonnonhaittakorvaus. Kansalliset tuet. Maa ja metsätalousministeriö. 114 s.

Halberg, N., Kristensen, I. S. & Dalgaard, T. 1999. Linking data sources and models at the levels of processes, farm types and regions. Second European Invitational Expert Seminar on Life Cycle Assessments of Food Products on the topic Agricultural data for life cycle assessments. 25–26.1.1999 Haag, Hollanti.

Hartikainen, H 1992. Maatalous ja ympäristönsuojelu. S. 301–334. Teoksessa Heino-
nen, R., Hartikainen, H., Aura, E., Jaakkola, A. & Kemppainen, E. (toim.): Maa, viljely
ja ympäristö. 1.–2. painos (1996). WSOY. ISBN 951-0-17090-9.

Haukioja E. (1995) Mikä on biodiversiteetin biologinen merkitys? S. 8–16. Teoksessa
Hiedanpää, J. & Haila, Y. (toim.): Biodiversiteetin arvo päätöksenteon ongelmana. Sa-
takunnan ympäristötutkimuskeskus. SYKESARJA C2. Turku 1995. 150 s. ISBN 951-
29-0608-2. ISSN 1238-8408.

Hauschild, M. & Wenzel, H. 1998. Environmental Assessment of Products. Volume 2:
Scientific background. Chapman & Hall. Iso-Britannia. 565 s.

Heikkinen, A. 1999. Fortum Power and Heat Oy, kirjallinen tiedonanto.

Heinonen-Tanski, H. 1986. Torjunta-aineiden hajoaminen maassa. Emissio. 1/86, s. 11–
15.

Hietala-Koivu, R. 1999. Agricultural Landscape Change: A Case Study in Yläne,
Southwest Finland. Landscape and Urban Planning. Painossa.

Hynninen, E.-L. & Blomqvist, H. 1995. Pesticide Sales in Finland in 1994. Kemia-
Kemi 22:6, s. 529–531.

Hynninen, E.-L. & Blomqvist, H. 1998. Pesticide Sales in Finland in 1997. Kemia-
Kemi 25:6, s. 513–516.

Ilomäki, A. 1999. Kemira Engineering Oy, Kemira Agro Oy:n puolesta. Kirjallinen tie-
donanto.

IPCC 1994. Radiative Forcing of Climate Change – The 1994 Report of the Scientific
Assessment Group of IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). John
Houghton, Meteorological Office, London Road, Bracknell, U.K.

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 1996a. Revised version. Land use change and & forestry. Volume II: The Workbook. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). S. 5.53.

IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. 1996b. Revised version. Volume III: The Reference Manual 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). S. 89, 105–107.

Isosaari, H. 1997. Maatalouden laatu järjestelmät elintarvikeketjun kilpailuetuna. Raportteja ja artikkeleita N:o 153, Pellervon taloudellinen tutkimuslaitos PTT. Helsinki. 50 s. ISBN 951-8950-72-5. ISSN 0357-7384.

Jaakkola, A. & 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.

Johnsson, H., Bergström, L. & Jansson, P.-E. 1987. Simulated nitrogen dynamics and losses in a layered agricultural soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 18: 333–356.

Jokipii, P. & Niemelä, M. 1997. Väliraportti maatalouden kansallisesta laatuhankeesta. Laatuseminaari 13.2.1997. 16 s.

Kasvintuotannon tarkastuskeskus 1999a. Luomutilojen määrä ja tuotantoala 1999, ennakkotietoja 20.7.1999, Juha Kieksi.

Kasvintuotannon tarkastuskeskus 1999b. Opas luomuviljelijälle. KTTK:n julkaisu, B2 Luomutuotanto 3/98. Loimaa 1999. 63 s.

Kasvukirja. 1997. Kemira Agro Oy. 159 s.

Knisel, W. (ed.) 1993. Gleams, Groundwater Loading Effects of Agricultural Management Systems, Version 2.10. University of Georgia, Coastal Plain Experiment Station. Bio. & Aq. Engineering, Tifton GA. 259 s.

Kouki J. (1993). Luonnon monimuotoisuus valtion metsissä. Katsaus ekologisiin tutkimustarpeisiin ja suojelun mahdollisuuksiin. Metsähallituksen luonnonsuojelujulkaisu. Sarja A, no 11. 88 s.

KTTK 1996. Kasvintuotannon tarkastusosasto. Toimintakertomus 1996. 20 s.

- Kurppa, S. & Laitinen, P. 1999. Torjunta-aineiden hajoaminen ja kulkeutuminen viljelymaassa (Cost 66) Pesticides – soil – environment. Loppuraportti Maa- ja metsätalousministeriölle 31.3.1999.
- Kuusisto, E., Kauppi, L. & Heikinheimo, P. (toim.). 1996. Ilmastonmuutos ja Suomi. Helsinki: Yliopistopaino ja Suomen Akatemia 1996. 265 s. ISBN 951-570-296-8.
- Laine, A. 1998. Konekustannusten alentaminen maatalouskoneiden käyttöikä pidentämällä. Työtehoseuran julkaisuja 360. Helsinki 1998. 66 s.
- Laitinen, P. & Tuhkanen, H.-R. 1998. Huuhtoutumismallilla torjunta-ainepäästöjä enustamaan. In: Sata vuotta maataloustutkimusta – Mihin tutkimus ohjaa tuotantoa? Toimittanut Riitta Salo. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, Sarja A 38: 65–71. ISBN 951-729-516-2, ISSN 1238-9935.
- Laitinen, P., Raisio, R. & Siimes, K. 1996. Torjunta-ainepäästöt maataloudessa. (MATYVA-projekti). Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisusarja A 12/1996. 41 s. ISBN 951-729-475-1, ISSN 1238-9935.
- Lal, R. 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂-enrichment. Soil and Tillage Research 43: 81–107.
- Lallukka, R. 1998. Peltokasvien kasvinsuojelu 1998. Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja no 921. S. 9–14.
- Lavonen, A. 1998. Kemiällisen kasvinsuojelun kehitys. Teoksessa Pehkonen, A. & Mäkinen, H.: Teknologian mahdollisuudet maatalouden kehittämisessä. Helsingin Yliopisto, Maa- ja kotitalousteknologian laitos. Maatalousteknologian julkaisuja 24. 1998. 120 s.
- LCAnet Food. 1998. Newsletter No. 2 November 1998. 4 s.
- Leinonen, L. 1999. Ilmatieteen laitos. Suullinen tiedonanto. Tammikuu 1999.
- Lemola, R. & Turtola, E. 1998. Kasvipeitteisyys, eroosio ja ravinnekuormitus. Kirjallisuuskatsaus. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja B 18. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 28 s. ISSN 1238-9943. ISBN 951-729531-6.
- Leppänen, A. & Esala, M. 1995. Keväisen mineraalityypianalyysin käyttö lannoitustarpeen ennustamisessa. Esitutkimus. Maatalouden tutkimuskeskuksen tiedote 1/95: 1–29.

Liikanen, A. 1997. Orgaanisten maatalousmaiden dityppioksidin tuotto. Opinnäytetutkimelma, Kuopion yliopisto, luonnontieteiden ja ympäristötieteiden tiedekunta. 96 s.

Liikanen, A. 1998. Torjunta-aineiden käyttäytyminen ilmakehässä – lähteet, kulkeutuminen ja poistumismekanismit. Suomen ympäristö 196. Suomen ympäristökeskus. 72 s. ISBN 952-11-0266-7.

Lindfors, L.-G., Christiansen, K., Hoffman, L., Virtanen, Y., Junttila, V., Hanssen, O.-J., Rønning, A., Ekvall, T. & Finnveden, G. 1995. Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment, Nordic Council of Ministers, Nord 1995:20, Århus. 222 s. ISSN 0903-7004. ISBN 92-9120-692-X.

Loikkanen, T., Mälkki, H., Virtanen, Y., Katajajuuri, J.-M., Seppälä, J., Leivonen, J. & Reinikainen, A. 1999. Elinkaariarviointi yritysten ja viranomaisten ympäristöhallinnan tukena – nykytila ja kehittämistarpeet. Teknologian kehittämiskeskuksen (TEKES) julkaisuja. Teknologia katsaus 68/99. 61 s. ISSN 1239-758X. ISBN 951-53-1432-1.

Louhelainen, K. 1997. Farmers' exposure to dusts and gases in dairy farms. Doctoral dissertation. Kuopio University Publications C. Natural and Environmental Sciences 69. Kuopio 1997. ISSN 1235-0486. ISBN 951-781-707-X.

Lübkert, B., Virtanen, Y., Mühlberg, M., Ingman, J., Vallance, B. & Alber, S. 1991. Life-Cycle Analysis – IDEA an International Database for Ecoprofile Analysis – A Tool for Decision Makers, Working paper, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg 1991, 174 s.

Maatalouskoneiden ryhmäkoetukset:

Haukka-vasaramylly 1979. Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos, koetusselostus 998. 7 s.

Kultivaattoreiden ryhmäkoetus. 1991. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos. koetusselostus 1303. 18 s.

Pintaäkeiden ryhmäkoetus 1986. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos, koetusselostus 1160. 12 s.

Rehu-Junkkari-rehunvalmistimien pikakoetus 1977. Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos, koetusselostus 932. 8 s.

Valssimyllyjen ryhmäkoetus 1987. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos, koetusselostus 1215. 25 s.

Överum CV 398 H -kaksoisaura 1988. Valtion maatalousteknologian tutkimuslaitos, koetusselostus 1241. 8 s.

Maa- ja metsätalousministeriö. 1998. Maatalouden ympäristöohjelma 1995–1999. Seurantaryhmän loppuraportti. Työryhmämuistio MMM 5/1998. 173 s. ISSN 0781-6723.

Maa- ja metsätalousministeriö 1999. Uusiutuvien luonnonvarojen kestävä käytön yleismittarit. Maa- ja metsätalousministeriön (MMM) julkaisuja 3/1999. 158 s. ISSN 1238-2531. ISBN 951-53-1954-4.

Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. 1998. Maatilatilastollinen vuosikirja 1998. Helsinki. 266 s.

Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos 1998. Suomen maatalous 1997. MTTL julkaisuja 86. Helsinki. 64 s. ISBN 951-687-011-2. ISSN 0788-5393.

Ministry of Agriculture and Forestry 1997. Cadmium in Fertilizers. Risks to Human Health and the Environment. Publications of the Ministry of Agriculture and Forestry 9/1997. 93 s. ISSN 1238-2531, ISBN 951-53-1461-5.

Monni, S. & Lankinen, A. (1995) Sähkön tuotannon ja siirron biodiversiteettivaikutusten arviointimahdollisuudet. Helsingin yliopiston ekologian ja systematiikan laitos. Helsingin yliopiston kasvitieteen julkaisuja N:o 21. Helsinki. ISBN 951-45-7235-1.

Moolenar, S. 1998. Heavy-Metals Balances, Part I. General Aspects of Cadmium, Copper, Zinc and Lead Balance Studies in Agro-Ecosystems. Journal of Industrial Ecology, vol 2, nro 4, s. 45–60.

Moolenar, S. 1999. Heavy-Metals Balances, Part II. Management of Cadmium, Copper, Lead and Zinc in European Agro-Ecosystems. Journal of Industrial Ecology, vol 3, nro 1, 41–53.

Mukula, J., Rantanen, O. & Lallukka, U. 1977. Ohran viljelyvarmuus Suomessa. Kasvinviljelylaitoksen tiedote N:o 9. 83 s.

Mäkelä, K. & Tuominen, A. 1998. Kaupunkien omistaman moottoroidun kaluston päästöjen laskentajärjestelmä, Helsinki-sovellus. Tutkimusraportti 466. Espoo, VTT Yhdyskuntateknikka. 21 s.

Mäkelä-Kurtto, R. 1998. Raskasmetalliriskit ja niiden hallinta maataloudessa. In: Riitta Salo (toim.). Sata vuotta maataloustutkimusta – mihin tutkimus ohjaa tuotantoa? Maatalouden tutkimus- ja tuotantopäivät, Jokioinen 12.–13.8.1998. Esitelmät : Hundred years of agricultural research : Where does research lead production? : Symposium on

agricultural production and research. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 38. S. 57–64.

Mäkelä, K. 1996. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöjen kehitys. Ympäristökatsaus 3: 8–12.

Mäkelä-Kurtto, R. 1987. Viljelytoimenpiteiden vaikutus maan raskasmetallipitoisuuteen. Koetoiminta ja käytäntö 44 (15.12.1987): 67.

Neste öljy 1997a. Ekotasetiedote. Eurodieselöljy. Raskas dieselmoottori.

Neste öljy 1997b. Ekotasetiedote. Kevyt polttoöljy. Lämmityspolttoaine.

Niskala, M. & Mätäsaho, R. 1996. Ympäristölaskentatoimi. Ekonomia. Porvoo 1996. 381 s.

Niskanen, R., Keränen, S. & Pipatti, R. 1990. Ammonia emissions in the 1980s. Teoksessa Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (eds.): Acidification in Finland. Berlin: Springer-Verlag. S. 31–39. ISBN 3-540-52213-1.

Norsk Hydro 1999. Teoksessa Lehtilä, A. & Tuhkanen, S. 1999: Integrated cost-effectiveness analysis of greenhouse gas emission abatement, the Case of Finland. VTT Publications 374, Technical Research Centre of Finland, Espoo 1999. 144 s.

NTM: Underlagsdata Lastbil [online]. Ruotsi 1998. Uppdaterad 21.8.1998 [viitattu 30.3.1999]. Nätverket för Godstransporter och Miljö (NTM). Saatavilla [www.muodossa: <URL: http://www.ntm.a.se/emissioner/car/data/lb4euro1.htm>](http://www.ntm.a.se/emissioner/car/data/lb4euro1.htm).

Oikari A. (1994) Prosessiteollisuus ja biodiversiteetti. Raportissa Hiedanpää J (toim.). Biodiversiteetti ja tuotantoelämä. Satakunnan ympäristötutkimuskeskus ja Porin koultus- ja tutkimuskeskus. 144 s. ISBN 951-29-0212-5.

Oilon Oy, 1998. Kirjallinen tiedonanto.

Ojanperä, K., Leinonen, P. & Ylärinta, T. 1994. Effects of ozone on the grain yield of spring wheat in an open-top chamber experiment in Finland. A UN-ECE workshop report. Schriftreihe der FAC Liebefeld 16: 248–251.

Palonen, J. & Oksanen, E. 1993. Labour, machinery and energy data bases in plant production. Työtehoseuran julkaisuja 330. Helsinki. 106 s.

Peltonen, J. 1999. Kemira Agro Oy. E-mail -tiedonanto.

Perustuki maataloilille 1998. Maatalouden ympäristötuki. Maa ja metsätalousministeriö. 32 s.

Pietiläinen, O.-P. & Räike, A. 1999. Typpi ja fosfori Suomen sisävesien minimiravin- teena. Suomen ympäristö 313. Suomen ympäristökeskus. 55 s. ISBN 952-11-0503-8. ISSN 1238-7312.

Pihlava, J-M. 1998. Sorption of pesticides to different layers within a soil profile. NJF- Semirar no. 283, Transport and Degradation of Pesticides in Soil. Danish Institute of Agricultural Sciences Research Centre Flakkebjerg, DK-4200 Slagelse, September 9th- 11th, 1998.

Pipatti, R. 1997. Suomen metaani- ja dityppioksidipäästöjen rajoittamisen mahdollisuu- det ja kustannustehokkuus. VTT Tiedotteita 1835. VTT Energia. Espoo. 62 s.

Pipatti, R. 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 climate change years: 1990, 1995–1997. 8 s. Ministry of the Environment. Helsinki.

Pitkänen, J. 1997. Kasvipeitevaatimuksen tilakohtainen soveltaminen. Teoksessa Salo, R. (toim.): Maa kasvun antaa: maatalouden tutkimus- ja tuotantopäivät, esitelmät, Jo- kioinen 5.–7.8.1997. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 27. S. 24–31.

Pleijel, H., Ojanperä, K., Danielsson, H., Sild, E., Gelang, J., Wallin, G., Skärby, L. & Sellén, G. 1997. Effects of Ozone on leaf senescence in spring wheat – Possible con- sequences for grain yield. *Phyton* 37:227–232.

Puranen, A. 1992. Polttomoottorikäyttöisten työkoneiden ympäristöpäästöt. Tampereen teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan osasto. Turvallisuustekniikka. Raportti 63. Tampere 1992. 72 s.

Pyykkönen, M. 1999. Vahinko tulee kello kaulassa. Elintarviketuotanto & Ympäristö 1/1999: 2. Maatalouden tutkimuskeskuksen tiedotuslehti. ISSN 1237-1580.

Ranne, A. 1995. Elintarvikkeiden elinkaari ja energiakertymät. LINKKI – kuluttajien käyttäytymisen ja energiansäästön tutkimusohjelma, julkaisu 9/1995. Helsinki 1995. 77 s. ISSN 1237-3087. ISBN 951-45-7206-8.

- Rassi, P., Kaipiainen, H., Mannerkoski, I., Ståhls, G. 1991. Uhanalaisten eläinten ja kasvien seurantatoimikunnan mietintö. Ympäristöministeriö. Komiteamietintö 1991:30. Valtion painatuskeskus. Helsinki. 328 s.
- Rekolainen, S. 1989. Phosphorus and nitrogen load from forest and agricultural areas in Finland. *Aqua Fennica* 19: 95–107.
- Rekolainen, S. & Posch, M. 1993. Adapting the CREAMS Model for Finnish Conditions. *Nordic hydrology*. 24, 309–322.
- Rekolainen, S., Pitkänen, H., Bleeker, A. & Sietske, F. 1995. Nitrogen and phosphorus fluxes from Finnish agricultural areas to the Baltic Sea. *Nordic Hydrology* 26: 55–72.
- Reus, J. & Leedertse, P. 1998. The environmental yardstick for pesticides (field crops). CAPER raportti 1999.
- Rossi, E. (1993) Ekologinen ympäristöluokitus tiesuunnittelussa. Tielaitoksen tutkimuksia no. 3. Helsinki. 70 s.
- Salo, S. & Dahlberg, A. 1998. THEMA LCA -määrittely. Ver. 1.0. (28.9.1998). 21 s.
- Salo, S., Posch, M. & Rekolainen, S. 1993. Pestym torjunta-ainemallin käyttäjäopas. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 504. 29 s.
- Saloniemi, H. 1999. Mitä opimme hullun lehmän taudista? Esitelmä MTT:n avoimien ovien tilaisuudessa ”Naudanlihan tuotannon kannattavuuden kulmakivet”. 2 s.
- Seppälä, J. & Jouttijärvi, T. (toim.) 1997. Metsäteollisuus ja ympäristö. Suomen ympäristökeskus 89. 125 s.
- Seppälä, T. 1997. Torjunta-aineiden käyttäytyminen Suomen ympäristöoloissa. Suomen ympäristökeskus 140. Suomen ympäristökeskus. 78 s.
- Seppälä, J. 1999. Decision Analysis as a Tool for Life Cycle Impact Assessment. LCA Documents, Volume 4. Eco-Infoma Press, ecomed publishers 1999. 174 s.
- SFS-EN ISO 14040. 1997. Ympäristöasioiden hallinta, elinkaariarviointi, periaatteet ja pääpiirteet, Suomen Standardisoimisliitto SFS. 22 s.

SFS-EN ISO 14041. 1998. Ympäristöasioiden hallinta, elinkaariarviointi, tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely sekä inventaarioanalyysi, Suomen Standardisoimisliitto SFS. 39 s.

Sippola, J. 1981. Viljelymaan typpivarat. Maaseudun tulevaisuuden Koetoiminta ja Käytäntö -liite 38:51.

Suutarinen, J. 1999. Maatalouden pölyntorjunnan opaskirja. Pölyt terveyshaittana, Pölyongelmat ja niiden torjuminen eri tilanteissa, Henkilökohtainen suojautuminen. MELA, MTT/VAKOLA. Painossa.

Tahvonen, R. 1994. Contents of lead and cadmium in foods in Finland. Turku: University of Turku, Department of Biochemistry and Food Chemistry. 115 s. Academic dissertation. ISBN 952 90-6323-7.

Tietokappi 1997. Maataloustilastollinen kuukausikatsaus 11–12. Maa- ja metsätalousministeriön Tietopalvelukeskus. S. 29.

Tiilikainen, A. 1998. Kuluttajien käsityksen muodostuminen ympäristöystävällisten elintarvikkeiden laadusta, arvosta ja ostohalusta. Koetun laadun ja koetun arvon mallien empiirinen sovellus. Helsingin yliopisto, Taloustieteen laitos, Julkaisuja nro 20, Markkinointi. Akateeminen väitöskirja. 158 s. ISSN 1235-2241. ISBN 951-45-8109-1.

Tilastokeskus 1998. Energiatilastot 1997. Energia 1998:1. Tilastokeskus, Helsinki, 1998. 138 s.

Tilastokeskus 1999. Energiatilastot 1998. Energia 1999:2. Tilastokeskus, Helsinki, 1999. 143 s.

Tomling, C (ed.) 1998. The Pesticide Manual, Eleventh Edition. British Crop Protection Council. 1998.

Torstensson, L. 1987. Kemiska bekämpningsmedel – transport, binding och nedbrytning i marken. Aktuellt från landbruksuniversitetet. Uppsala: Landsbruksuniversitetet. N:o 357. 36 s.

Turtola, E. & Jaakkola, A. 1985. Viljelykasvin ja lannoitustason vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 6/85. 43 s. ISSN 0359-7652.

Turtola, E. & Jaakkola, A. 1987. Viljelykasvin vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen savimaasta Jokioisten huuhtoutumiskentällä v. 1983–1986. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 22/87. 32 s. ISSN 0359-7652.

Turtola, E. & Lemola, R. 1999. Kasvipeitteisyys puree typpikuormitukseen ja eroosioon – fosforille muut keinot. Koetoiminta ja käytäntö 56, 23.2.1999. 6.

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

Työtehoseura. 14/1992. Maatalouden työnormit. Kasvintuotannon yleiset työt. Työtehoseuran maataloustiedote 14/1992, nro 421. 8 s.

Työtehoseura. 5/1992. Viljan lämmينilmakuivauksen mallintaminen energiankulutuksen perusteella taulukkolaskimella. Työtehoseura maataloustiedote 5/1992, nro 412. 8 s.

U.S. Geological Survey 1999. The Pesticide National Synthesis Project [online]. Yhdysvallat 1999. Last modified: 12.4.1999 [viitattu 11.4.2000]. Saatavilla www-muodossa <URL: <http://ca.water.usgs.gov/pnsp/>. Ohranviljelyn torjunta-aineiden käyttö, saatavilla www-muodossa: <URL: <http://ca.water.usgs.gov/pnsp/crop/barley.html>>.

Uusi-Kämpä, J. 1998. Suojavyöhykkeisiin kaivataan joustoa. Ympäristö ja terveys 2–3: 92–95.

Viljaotanta v. 1996 ja 1997. KTTK. Viljalaboratorio.

Vuorinen, M. 1998. Ohra. Teoksessa: Peltokasvilajikkeet 1998. Tieto tuottamaan 76: 38–43.

Weidema, B. 1998. Application typologies for life cycle assessment – A review. International Journal of Life Cycle Assessment 3 (4).

Westerberg, S. 1999. Partek Nordkalk Oy. Kirjallinen tiedonanto.

Wolf, J. & Janssen, L.H.J.M. 1991. Effect of changing land use in the Netherlands on net carbon fixation. Netherlands Journal of Agricultural Science 39: 237–246.

WRI (World Resources Institute), IUCN (The World Conservation Union), UNEP (United Nations Environment Programme), FAO (Food and Agriculture Organisation) & UNESCO (United Nations Education, Scientific and Cultural Organization) 1992. Global Biodiversity Strategy: Guidelines for Action to Save, Study and Use Earth's

Biotic Wealth Sustainably and Equitably (Amerikkalainen alkuteos). Käännösteos: Maapallon Biodiversiteetti – Toimintaohjelma luonnon monimuotoisuuden ylläpitämiseksi. Vesi- ja ympäristöhallitus. Helsinki 1995. 223 s. ISBN 951-662-612-2.

Yli-Halla, M. 1999. Lannoituksen vaikutus vesistökuormitukseen. Esitelmä Maatalouden ympäristöasioiden neuvottelupäivillä 26.5.1999. Moniste. 5 s. (Saatavissa M. Ylihallalla, MTT Luonnonvarojen tutkimus, 31600 Jokioinen.)

Ylivakeri, M. 1999. Sisu-Diesel Oy. Suullinen tiedonanto.

Yläranta, T., Uusi-Kämpä, J. & Jaakkola, A. 1993. Leaching of nitrogen in barley, grass ley and fallow lysimeters. *Agricultural Science in Finland* 2, 4. 281–291.

Ympäristöministeriö 1992/66. Maisemanhoito. Maisema-alueueryhmän mietintö I. Helsinki: Ympäristöministeriö. 199 s.

Ympäristöministeriö. 1998. Vesiensuojelun tavoitteet vuoteen 2005. Målen för skydd av vattnen fram till år 2005. *Suomen ympäristö* 226: 82. Suomen ympäristökeskus. Helsinki: Oy Edita Ab. ISSN 1238-7312. ISBN 951-37-2574-X.

Ympäristöministeriö & Tilastokeskus 1997. Luonnonvarat ja ympäristö 1997. *Ympäristö* 1997:10. 52 s. ISSN 0784-8455, ISSN 1238-0261. ISBN 951-727-363-0.

Liite A: 1 000 kg rehuohraa kohden lasketut inventaariotulokset valituin parametrein

Syötteen

Kalkkikivi	370	kg
Voiteluöljy	0,20	l
Vesi	260	l
Viljelyala	0,28	ha
Primäärienergia	3 340	MJ

Torjunta-aineiden tehoaineet

C5...10 alkyylifenolip.	33	g
Dikloroproppi	183	g
Dimetoaatti	10	g
Etefoni	9	g
Imatsaliili	1	g
Karboksiini	3	g
MCPA	94	g
Mekoproppi P	75	g
Propikanotsoli	8	g

Tuotokset

Lypsykarjalle toimitettava, jauhattava rehuohra (13 % kosteudessa)	1 000	kg
--	-------	----

Ilmapäästöt

CH ₄	35	g
CO	340	g
CO ₂	355	kg
HCl	3	g
N ₂ O	1 015	g
NH ₃	200	g
NO _x	1 400	g
SO ₂	150	g
TSP (hiukkaset)	90	g
Vesihöyry kuivauksesta	120 000	g
VOC	190	g

Vesipäästöt

Happamoit. vetyioneina	0,01	g
BOD	0,3	g
COD	4,3	g
Liuk_N	2 910	g
NH ₄ ⁻ -ionit	0,2	g
Nitraatit/nitriitit	0,1	g
N, muu	4,4	g
Liuk_P	98	g
Fosfaatit	0,02	g
P, muu	0,1	g
TSS (sis. eroosion)	460	kg
Ruiskujen pesuvesi	200	l

Liite B: Käytetyt vaikutusarviointikertoimet

	Rehev., max ¹ kg O ₂ /kg	Rehev., min ¹ kg O ₂ /kg	GWP, 100 v ^{2,3} kg CO ₂ -ekv/kg	Happam., max ¹ kg SO ₂ -ekv/kg	Happam., min ¹ kg SO ₂ -ekv/kg	Happam., Suomi ⁴ kg SO ₂ -ekv/kg
CH ₄			25			
CO ₂			1			
HCl				0,9	0,9	
NH ₃	16	16		1,9		1,1
NH ₄ ⁺	15	15				
N ₂ O			320			
NO _x	6	6		0,7		0,4
NO ₃ ⁻	4,4	4,4				
SO ₂				1,0	1,0	
COD	1	1				
N-tot (liuk.)	20	20				
P-tot (liuk.)	140					
PO ₄ ³⁻	46					

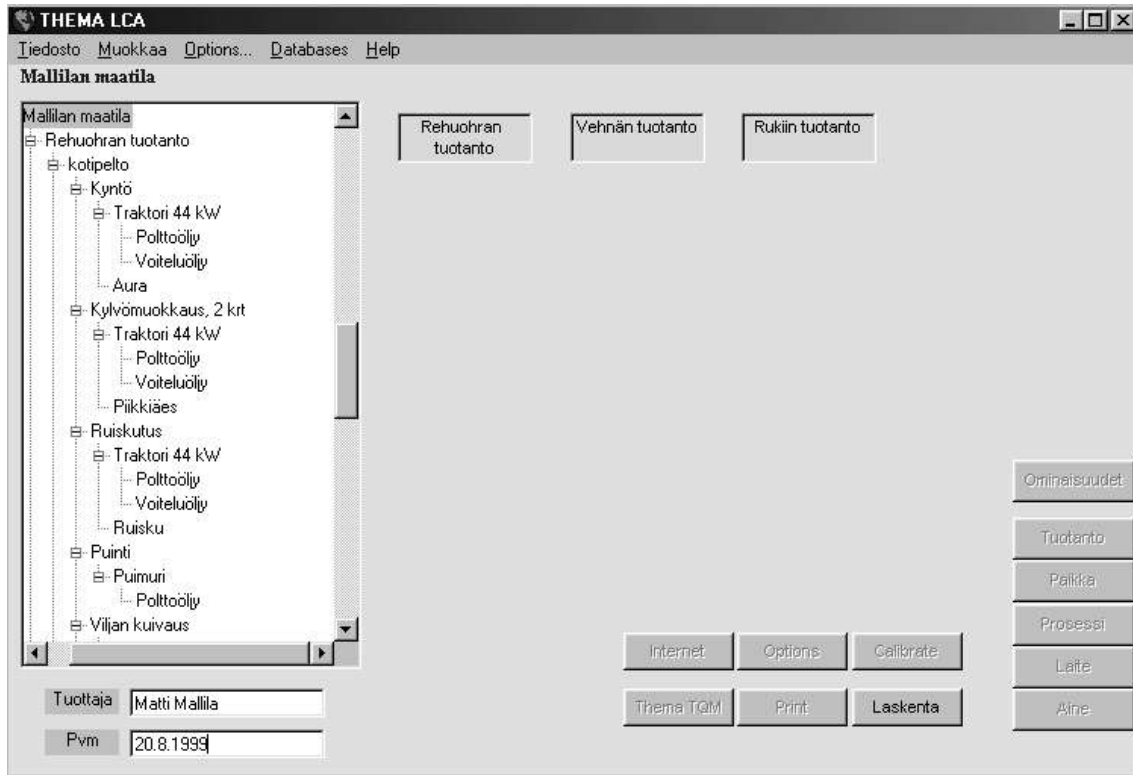
¹Lindfors et al. 1995

²Hauschild & Wenzel 1998

³IPCC 1994

⁴Seppälä 1999

Liite C: LCA-pilottiohjelmiston käyttöliittymä



Tekijä(t) Katajajuuri, Juha-Matti, Loikkanen, Torsti, Pahkala, Katri, Uusi-Kämpä, Jaana, Voutilainen, Pasi, Kurppa, Sirpa, Laitinen, Pirkko, Mikkola, Hannu, Kivinen, Tapani & Salo, Seppo			
Nimeke Ympäristöhallintaa tukevan tietopohjan kehittäminen osana maatilojen laatu järjestelmää Case: Rehuohran elinkaariarviointi			
Tiivistelmä <p>Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää elinkaari metodologiaa soveltamalla ympäristöhallintaa tukevaa tietopohjaa osaksi maatilojen laatu järjestelmää. Integroitu laatu- ja ympäristöjärjestelmä palvelisi kotimaisen elintarviketuotannon liiketoimintaketjun kehittämistä ja takaisi laadultaan, terveellisyydeltään ja ympäristömyötäisyydeltään korkeatasoisten elintarvikkeiden tuottamista kuluttajille sekä edistäisi kotimaisen elintarviketuotannon kilpailukykyä.</p> <p>Elinkaariarviointia ei ole paljokaan sovellettu maataloustuotteiden ympäristökuormitusten ja -vaikutusten tutkimiseen, joten siihen liittyy useita erityiskysymyksiä ja kehittämistarpeita. Tutkimuksen pilottikohteena oli rehuohran tuotantoprosessi alkaen kynnöstä ja päätyen navettaan karjan rehuksi, ja se sisälsi myös mm. panostuotannon, pakkaukset ja kuljetukset. Viljatilalla oletettiin sijaitsevan savimaa-alueella. Mahdolliset pohjavesikuormitukset rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle. Energiankulutuksen ja päästöjen ohella tarkasteltiin vaikutuksia ilmastoon lämpenemiseen, rehevöitymiseen ja happamoitumiseen. Arvotusvaihetta ei näiden ympäristöongelmien kesken tehty.</p> <p>Valittujen vaikutusluokkien osalta viljelymaasta aiheutuvat kuormitukset olivat suhteellisesti keskeisin ympäristökuormitusten ja -vaikutusten aiheuttaja rehuohran tuotantoketjussa. Huuhtoutumat dominoivat odotetusti rehevöittäviä vaikutuksia. Typpioksiduulipäästöt viljelymaasta sekä kalkin käytöstä vapautuva hiilidioksidi olivat keskeisiä ilmastoon lämpenemispotentiaalin aiheuttajia. Näiden arviointiin liittyy kuitenkin epävarmuuksia. Myös lannoitteiden valmistus todettiin rehuohran elinkaaren kannalta keskeiseksi tekijäksi. Sen osuus primäärienergiakertymästä ja ilmastoon lämpenemispotentiaalista oli suhteellisen suuri. Muita keskeisiä ympäristökuormitusten aiheuttajia olivat mm. viljan kuivaaminen ja työkoneiden käyttö. Viljelyn välitön energiankulutus oli lähes 50 % rehuohraketjun kokonaisenergiatarpeesta. Lannoitteiden valmistusketjujen osuus kokonaisenergian kulutuksesta oli yli 40 %. Energiaintensiivisten vaiheiden ohella lannoitteista haihtuva ammoniakki oli keskeinen happamoitumista aiheuttava lähde.</p> <p>Parannustoimia kannattaisikin kohdentaa maatalouspanosten mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön, tavoitteena niiden optimointi. Energiankulutuksen vähentämismahdollisuuksia kannattaisi tarkastella erityisesti viljan kuivaamisessa. Lisäksi on paljon tekijöitä, kuten torjunta-aineiden käyttö ja viljelytoimien vaikutukset maisemaan ja biodiversiteettiin, joiden osuutta rehuohran tuotannon ympäristölaatuun on vaikea arvioida ja jotka vaatisivat jatkotutkimusta. Torjunta-aineista tehtiin alustava tehoainekohtainen arviointi siitä, kuinka paljon niitä päätyy luontoon, mutta tästä aiheutuvia ympäristövaikutuksia tutkimuksessa ei arvioitu. Biodiversiteettimuutosten integroimiseksi elinkaari tutkimukseen hahmoteltiin vaihtoehtoisia lähestymistapoja.</p> <p>Elinkaari menetelmän kehittämisen ohella ja siihen liittyen on tarvetta tuottaa maatalouden tuote- ja olosuhdekohtaisempia päästötietoja sekä kehittää näihin liittyvää epävarmuuden arviointia ja hallintaa. Tuotettuja tietoja voidaan hyödyntää maatilojen ja elintarviketuotannon tuotteiden ja prosessien kehittämisessä sekä asiakasinformaationa. Pidemmän aikavälin tavoitteena on sisällyttää elinkaari pohjaisia tietoja myöhemmin kehitettävään kansalliseen laatu tietopankkiin. Pilottiversio maatilojen tiedonhallinnan ohjelmistosovelluksesta kehitettiin jo tämän tutkimuksen yhteydessä.</p> <p>Hankkeeseen osallistuvat ovat arvioineet, ettei elinkaari pohjaiselle lähestymistavalle ole varten otettavaa metodologista vaihtoehtoa. Kehittämällä maatalous- ja elintarviketuotannon liiketoimintaketjujen laadun- ja ympäristöasioiden hallintaa systemaattisesti voidaan kilpailukykyä parantaa ja välttää lopputuotteiden arvoa heikentävät seikat. Saadun kokemuksen pohjalta elinkaari pohjaisten tietojen tuottamista laajennetaan elintarviketeollisuudessa.</p>			
Avainsanat agriculture, barley, quality management, environmental impacts, data systems, LCA, nutrients, climatic change, global warming, acidification			
Toimintayksikkö VTT Kemia tekniikka, Ympäristö tekniikka, Biologinkuja 7, PL 1403, 02044 VTT			
ISBN 951-38-5675-5 (nid.) 951-38-5676-3 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Projektin numero K7SU00354	
Julkaisu aika Heinäkuu 2000	Kieli suomi, engl. tiiv.	Sivuja 134 s. + liitt. 4 s.	Hinta C
Projektin nimi Ympäristöhallinnan ja sen tietojärjestelmän kehittäminen maatilojen laatu järjestelmän osaksi (Rehu-LCA)		Toimeksiantaja(t) Ympäristöministeriö (YM), Broilertalo, Kemira Agro, Suomen Rehu, Valio	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. (09) 456 4404 Faksi (09) 456 4374	



Author(s) Katajajuuri, Juha-Matti, Loikkanen, Torsti, Pahkala, Katri, Uusi-Kämpmä, Jaana, Voutilainen, Pasi, Kurppa, Sirpa, Laitinen, Pirkko, Mikkola, Hannu, Kivinen, Tapani & Salo, Seppo			
Title Developing data production on environmental impacts into the quality management of Finnish farms Case: Life cycle assessment on barley production			
Abstract <p>The goal of the study was to produce life cycle based environmental data to be integrated into quality management systems of farms. An integrated management system would support the development of the whole foodstuff production chain, and would promote the production of high-quality, healthy and environmentally friendly foodstuff products to consumers, and also the competitiveness of domestic foodstuff production.</p> <p>As LCA has not previously been used much for the assessment of agricultural products, several specific issues and development needs had to be dealt with. As a pilot case the production of feed barley, right from the ploughing in the field to the feeding table of cattle houses, was used. The study also included production of fertilisers and other inputs of barley production as well as their packaging and transportation. Arable land was assumed to situate in clay ground area. Ground water effects were excluded. In addition to emission and primary energy calculations, global warming potential, eutrophication and acidification impacts were assessed. Any valuation method was not applied.</p> <p>According to the LCA results obtained within chosen impact categories, the environmental load from the arable land were the primary cause for environmental impacts in feed barley production. As expected, washouts dominated eutrophication impacts. Main sources of global warming potential were nitrous oxide emissions from agricultural soil and carbon dioxide emissions from the use of lime. However, uncertainties are related in these emission estimates. The production of fertilisers was also found to be an essential contributor. It's relative share of primary energy consumption and GWP was relatively high. Other important pollution sources are i.a. drying of grain and the use of agricultural machinery. The energy consumption in agricultural processes were almost 50% of the total energy consumption. Correspondingly, the share of the production of fertilisers was over 40% of the total energy consumption. In addition to these energy intensive phases, ammonia volatilisation from fertilisers contributed essentially to acidification.</p> <p>According to the above mentioned results, the main improvement options relate the optimisation of using agricultural inputs. The opportunities of decreasing the use of energy relate especially to drying of barley grains. Moreover, cultivation may affect many other environmental issues. The effects of using pesticides and changes in landscape and on biodiversity are difficult to estimate, and thus should be further studied. An estimation of the amount of active ingredients that will release to the nature from the use of pesticides was done, but not caused impacts. The possibilities of integrating changes of biodiversity into LCA were examined.</p> <p>In addition to LCA methodology development, one of the main future research topic is the need to produce product and circumstance related emission data and to develop related uncertainty assessment in LCA context. Data can be used for product and process development in agricultural farms and foodstuff industry, and furthermore for improved customer information. In the long run, the aim is to transfer LCA based data on foodstuffs into a national quality databank which is under development. In this study a pilot software for farms was already developed.</p> <p>The project partners have assessed that the LCA approach is so far the most systematic and comprehensive way of exploring environmental burden and impact data on products and processes. Consequently, by developing the quality and environmental management all through the foodstuff value chain systematically, the competitiveness of Finnish agricultural and foodstuff production can be improved, and unacceptable defects of final products avoided. On a basis of achieved experiences, LCA data production will be extended in Finnish foodstuff industry.</p>			
Keywords agriculture, barley, quality management, environmental impacts, data systems, LCA, nutrients, climatic change, global warming, acidification			
Activity unit VTT Chemical Technology, Environmental Technology, Biologinkuja 7, P.O.Box 1403, FIN-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-5675-5 (soft back ed.) 951-38-5676-3 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Project number K7SU00354	
Date July 2000	Language Finnish, Engl. abstr.	Pages 134 p. + app. 4 p.	Price C
Name of project Ympäristöhallinnan ja sen tietojärjestelmän kehittämisen maatalojen laatuja järjestelmän osaksi (Rehu-LCA)		Commissioned by Ministry of the Environment (YM), Broilertalo, Kemira Agro, Suomen Rehu, Valio	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Meddelanden – Research Notes 1235-0605 (soft back ed.) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FIN-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 9 456 4404 Fax +358 9 456 4374	

VTT TIEDOTTEITA – MEDDELANDEN – RESEARCH NOTES

VTT KEMIANTEKNIikka – VTT KEMITEKNIKK – VTT CHEMICAL TECHNOLOGY

- 1818 Kumpulainen, Heikki. Hapetus-pelkistysilmiöt ja niiden merkitys käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilassa. 1997. 71 s. + liitt. 1 s.
- 1836 Häkkinen, Tarja, Vares, Sirje, Vesikari, Erkki, Saarela, Kristina, Tattari, Kai & Säteri, Jorma. Rakenusmateriaalien ja -tuotteiden ympäristövaikutukset ja niiden arviointiperusteet. 1997. 138 s. + liitt. 10 s.
- 1838 Leino, Pentti, Kosunen, Pertti & Rauhamäki, Janne. Energiaverojen vaikutus polttoainevalintoihin ja päästöihin. 1997. 94 s. + liitt. 1 s.
- 1852 Wahlström, Margareta & Laine-Ylijoki, Jutta. Ympäristötekijät ja niiden tutkiminen maarakentamisessa hyötykäytettävien materiaalien liukoisuustutkimuksissa. 1997. 78 s. + liitt. 12 s.
- 1857 Heiskanen, Eva, Heininen, Marke, af Heurlin, Elli, Lovio, Raimo, Pänkäläinen, Mervi & Tulenheimo, Virve. Energiayhtiöiden ympäristölaskenta ja -raportointi. 1997. 148 s.
- 1876 Hakala, Sirpa, Virtanen, Yrjö, Meinander, Kerstin & Tanner, Toini. Life-cycle assessment, comparison of biopolymer and traditional diaper systems. 1997. 91 p. + app. 1 p.
- 1898 Eskola, Paula & Mroueh, Ulla-Maija. Kivihiilivoimalan sivutuotteiden maarakennuskäytön elinkaariarviointi. 1998. 82 s. + liitt. 11 s.
- 1907 Mroueh, Ulla-Maija & Loikkanen, Torsti. Tulevaisuuden kaupunkivoimala. 1998. 98 s.
- 1912 Kumpulainen, Heikki, Lehikoinen, Jarmo, Muurinen, Arto & Ollila, Kaija. Kemialliset vuorovaikutukset käytetyn ydinpolttoaineen loppusijoitustilan lähialueella. 1998. 58 s.
- 1921 Arnold, Mona, Kuusisto, Sari & Mroueh, Ulla-Maija. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) päästöt vuonna 1996. 1998. 35 s.
- 1928 Calsson, Torbjörn & Vuorinen, Ulla. The reliability of solubility data. Results from a limited literature survey focusing on Ni, Pd and Np. 1998. 39 p. + app. 21 p.
- 1951 Puustinen, Harri, Aunela-Tapola, Leena, Tolvanen, Merja, Vahlman, Tuula & Kovanen, Keijo. Determination of uncertainty of automated emission measuring systems under field conditions using a second method as a reference. 1999. 31 p. + app. 3 p.
- 1952 Mäkelä, Esa, Wahlström, Margareta, Pihlajaniemi, Miina, Mroueh, Ulla-Maija, Keppo, Martti & Rämö, Pia. Kivihiilivoimaloiden rikinpoistotuotteiden ja lentotuhkien hyötykäyttö maarakentamisessa. Jatkotutkimus. 1999. 61 s. + liitt. 3 s.
- 1956 Katajajuuri, Juha-Matti & Loikkanen, Torsti. Elektroninen painoviestintä. Ympäristövaikutukset ja ympäristöhallinnan tarve. 1999. 53 s. + liitt. 4 s.
- 1962 Eskola, Paula, Mroueh, Ulla-Maija, Juvankoski, Markku & Ruotoistenmäki, Antti. Maarakentamisen elinkaariarviointi. 1999. 111 s. + liitt. 16 s.
- 1972 Virtanen, Yrjö, Torkkeli, Sirpa & Wilson, Bob. Evaluation of a Delphi technique based expert judgement method for LCA valuation – DELPHI II. 1999. 125 p. + app. 17 p.
- 1973 Rasilainen, Kari, Luukkonen, Ari, Niemi, Auli, Olin, Markus, & Pöllä, Jukka. The feasibility of modelling coupled processes in safety analysis of spent nuclear fuel disposal. 1999. 83 p. + app. 4 p.
- 1974 Mälkki, Helena, Hongisto, Mikko, Turkulainen, Tarja, Kuisma, Jaakko & Loikkanen, Torsti. Vihreän energian kriteerit ja elinkaariarviointi energiatuotteiden ympäristökilpailukyvyn arvioinnissa. 1999. 117 s. + liitt. 24 s.
- 1995 Wahlström, Margareta, Eskola, Paula, Laine-Ylijoki, Jutta, Leino-Forsman, Hilikka, Mäkelä, Esa, Olin, Markus & Juvankoski, Markku. Maarakentamisessa käytettävien teollisuuden sivutuotteiden riskinarviointi. 1999. 79 s. + liitt. 55 s.
- 2000 Kumpulainen, Heikki, Lehikoinen, Jarmo & Muurinen, Arto. Modelling of chemical evolution in the near-field of the spent nuclear fuel repository. A case study. 1999. 23 p.
- 2014 Laine-Ylijoki, Jutta, Mroueh, Ulla-Maija, Wellman, Kari & Mäkelä, Esa. Maarakentamisen elinkaariarviointi. Ympäristövaikutusten laskentaohjelma. 2000. 43 s. + liitt. 12 s.
- 2034 Katajajuuri, Juha-Matti, Loikkanen, Torsti, Pahkala, Katri, Uusi-Kämppä, Jaana, Voutilainen, Pasi, Kurppa, Sirpa, Laitinen, Pirkko, Mikkola, Hannu, Kivinen, Tapani & Salo, Seppo. Ympäristöhallintaa tukevan tietopohjan kehittäminen osana maatalojen laatu-järjestelmää. Case: Rehuohran elinkaariarviointi. 2000. 134 s. + liitt. 4 s.