



Broilerin fileesuikaleiden tuotannon ympäristövaikutukset ja kehittämismahdollisuudet

Juha-Matti Katajajuuri, Juha Grönroos, Kirsi Usva, Yrjö Virtanen,
Ilkka Sipilä, Eija Venäläinen, Sirpa Kurppa, Riikka Tanskanen,
Tuomas Mattila ja Hanna Virtanen



Maa- ja elintarviketalous 90
118 s.

Broilerin fileesuikaleiden tuotannon ympäristövaikutukset ja kehittämismahdollisuudet

Juha-Matti Katajajuuri, Juha Grönroos, Kirsi Usva, Yrjö
Virtanen, Ilkka Sipilä, Eija Venäläinen, Sirpa Kurppa,
Riikka Tanskanen, Tuomas Mattila ja Hanna Virtanen

ISBN-10 952-487-071-1 (Painettu)
ISBN-13 978-952-487-071-9 (Painettu)
ISBN-10 952-487-072-X (Verkkajulkaisu)
ISBN-13 978-952-487-072-6(Verkkajulkaisu)
ISSN 1458-5073 (Painettu)
ISSN 1458-5081 (Verkkajulkaisu)
www.mtt.fi/met/pdf/met90.pdf

Copyright

MTT

Juha-Matti Katajajuuri, Juha Grönroos, Kirsi Usva, Yrjö Virtanen, Ilkka Sipilä, Eija Venäläinen, Sirpa Kurppa, Riikka Tanskanen, Tuomas Mattila ja Hanna Virtanen

Julkaisija ja kustantaja

MTT, 31600 Jokioinen

Jakelu ja myynti

MTT, Tietopalvelut, 31600 Jokioinen

Puhelin (03) 4188 2327, telekopio (03) 4188 2339

sähköposti julkaisut@mtt.fi

Julkaisuvuosi

2006

Kannen kuvat

HK Ruokatalo, Pete-Jukka Rinteelä (PJG.fi), MTT

Painopaikka

Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print

Broilerin fileesuikaleiden tuotannon ympäristövaikutukset ja kehittämismahdollisuudet

Juha-Matti Katajajuuri¹, Juha Grönroos², Kirsi Usva¹, Yrjö Virtanen¹, Ilkka Sipilä³, Eija Venäläinen³, Sirpa Kurppa⁴, Riikka Tanskanen¹, Tuomas Mattila² ja Hanna Virtanen¹

¹)MTT, Biotekniikka- ja elintarviketutkimus, Elintarvikeprosessit, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

²)Suomen ympäristökeskus, PL 140, 00251 Helsinki, etunimi.sukunimi@ymparisto.fi

³)MTT, Kotieläintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

⁴)MTT, Kasvintuotannon tutkimus, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

Tiivistelmä

Tutkimuksessa sovellettiin tuotantoverkkointegroitua elinkaariarviointia broilerinlihan tuotannon ympäristövaikutusten arvioimiseen. Ympäristövaikutusarvio perustui broilerin hunajamarinoitujen fileesuikaleiden tuotantoverkon todellisiin tuotantoprosesseihin vuosina 2003–2005. Tuotantoverkkoon sisällytettiin kaikki olennaiset vaiheet maatalouden tuotantopanosten valmistuksesta ja broileriuntuvikkojen tuotannosta aina kaupassa myytäviin broilerin hunajamarinoituihin fileesuikaleisiin asti. Tuotantoverkon vaiheista selvitettiin primäärienergian käyttö, viljelyyn tarvittava peltopinta-ala, sivuvirtojen lajit, määrät ja käyttökohteet, kaatopaikkajätteen määrä sekä suorat ja välilliset päästöt ilmaan ja vesistöihin. Ympäristökuormitustiedoista laskettiin vaikutukset ilmastonmuutokseen, happamoitumiseen, vesistöjen rehevöitymiseen ja alailmakehän otsonin muodostumiseen.

Tutkituissa ympäristövaikutusluokissa broilerin tuotanto muodosti valtaosan (65–85 %) koko tuotantoverkon aiheuttamista vaikutuksista. Broilerin tuotantoon sisällytettiin muun muassa kasvattamoiden sähkön- ja lämmönkulutus, broilerin ruokinta, broilerinlantaan liittyvät päästöt, rehuviljan viljely ja sen panostuotanto sekä rehujen teollinen prosessointi. Broilerin tuotannon osuus oli yli 80 prosenttia tuotantoverkon aiheuttamasta rehevöitymisestä ja happamoitumisesta, mikä johtui erityisesti rehuviljan viljelyssä syntyvistä ravinhuuhtoumista ja broilerinlannasta haihtuvasta ammoniakista.

Tuotantoverkon primäärienergiankulutuksesta broilerin tuotanto muodosti 41 prosenttia ja vähittäiskaupassa tapahtuva lopputuotteen kylmäsäilytys 20 prosenttia. Broilerin tuotannon osuus ilmastonmuutosvaikutuksesta oli 65 prosenttia. Tähän vaikuttivat energiaperäisten päästöjen ohella erityisesti lannoitteiden tuotannossa ja käytössä vapautuva dityppioksidi sekä broilerinlannan käsittelystä syntyvät metaani- ja dityppioksidipäästöt. Tuotantoverkon eri vaiheissa vapautunut hiilidioksidi oli kuitenkin eniten (59 %) ilmaston-

muutosta aiheuttanut kasvihuonekaasu. Hiilidioksidipäästöt jakaantuivat ta-
saisemmin tuotantoverkon eri osiin ja korreloivat energiankulutuksen kanssa.

Broilerituotteen tuotantoverkon aiheuttamia ympäristövaikutuksia havainnol-
listettiin Mittatikki-esitystavalla, jolla kuvataan tuotteiden keskimääräisestä
päiväkulutuksesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Esitystavassa ympäristö-
ongelmia on painotettu niiden tärkeyden mukaan, ja siten saatu ne yhteismi-
tallisiksi kokonaisympäristövaikutusindeksin laskemiseksi. Tarkastellun broi-
lerituotteen keskimääräisen päiväannoksen (40 g) kokonaisympäristövaiku-
tukset olivat kaksinkertaiset ruisleivän keskimääräiseen päiväannokseen (83
g) verrattuna ja kolmasosan juuston keskimääräisen päiväkulutuksen (30 g)
vaikutuksista. Rehevöittävät päästöt muodostivat lähes 50 prosentin osuuden
broilerituotteen tuotantoverkon kokonaisympäristövaikutuksista. Happamoit-
tavien päästöjen osuudeksi tuli 25 prosenttia.

Prosessien ja päästöjen hallinta peltotuotannossa on paljon vaikeampaa kuin
teollisuudessa, koska maataloudessa toimitaan luonnon asettamien olosuhteiden
puitteissa. Pääosin tästä syystä broilerin rehuviljan tuotannon osuus oli
merkittävin tekijä (41 %) tuotantoverkon kokonaisympäristövaikutusten
muodostumisen kannalta. Rehuviljan viljelyssä vesistöihin huuhtoutuneet
typpi ja fosfori muodostivat yhteensä 33 prosenttia tuotantoverkon kokonais-
ympäristövaikutuksista. Ravinnekuormitusta voidaan kuitenkin vähentää
esimerkiksi alentamalla maan helppoliukoisen fosforin pitoisuutta korkeissa
viljavuusluokissa, ylläpitämällä peltomaalle edullista vesitaloutta ja rakennet-
ta, estämällä eroosiota muokkausta vähentämällä sekä poistamalla huonotuo-
toisimmat ja vesiensuojelun kannalta kriittisimmät lohkot aktiiviviljelystä ja
muuttamalla ne esimerkiksi suojavyöhykkeiksi.

Hyvän tuotantoympäristön ylläpitäminen broilerikasvattamoissa edellyttää
eläimille sopivan lämpötilan säilyttämistä sekä kosteuden, haitallisten kaasujen
ja pölyn poistamista tuotantotilasta. Poistoilman puhdistaminen ammoni-
akista on yksi konkreettisimmista mahdollisuuksista vähentää tuotantoverkon
ympäristövaikutuksia. Koska prosessi pienentää myös poistoilman pölypitoi-
suutta, lämmönsiirtimien toimintaedellytykset paranevat samalla oleellisesti.
Tämä mahdollistaa eläntilan ilmanvaihdon tehostamisen, jolloin kuivikepoh-
ja pysyy kuivempänä ja ammoniakkaa haihtuu vähemmän. Se taas vaikuttaa
positiivisesti lintujen terveyteen.

Vaikka maataloustuotannolla onkin suurin merkitys ympäristövaikutusten
muodostumisessa, myös ketjun loppupäällä on tärkeä rooli ja vastuu siinä,
millainen markkinoille tarjottu tuote ympäristövaikutuksiltaan on. Broilerin
tuotantoketjua ohjataan yksityiskohtaisesti aina untuvikkojen tuotannosta
broilereiden teurastukseen asti. Tällaisella keskitetysti ohjatulla tuotantoket-
julla on edellytyksiä kehittää koko tuotantoverkkoa vähemmän ympäristöä
kuormittavaksi. Ratkaisujen etsintä ja uusien yhteistyömuotojen edistäminen

alkutuotannon kanssa edellyttävät broilerin tuotantoketjulta yhteistä näkemystä ja ennakoivaa toimintaa.

Sopimustuottajien ja muiden paikallisten viljelijöiden motivointi broilerinlannan luovuttamiseen ja vastaanottoon olisi peltoviljelyn ravinnekuormituksen vähentämisen kannalta tärkeää myös alueellisesta näkökulmasta. Lannan osittainen siirtäminen lähialueen kasvinviljelytiloille pienentäisi broileritilojen ravinnekuormitusta ja samalla vähentäisi kasvinviljelytilojen väkilannoitetarvetta. Näin olisi mahdollista lisätä alueen sisäistä ravinteiden kiertoa. Tärkeintä tuotantoverkon ympäristövaikutusten kannalta olisi kuitenkin ottaa käyttöön entistä vähemmän ympäristöä rasittavia rehuviljan viljelymenetelmiä sekä broileri- että viljailoilla.

Avainsanat: tuotantoverkkointegroitu elinkaariarviointi, elinkaarianalyysi, ympäristövaikutukset, tuotantoketju, toimintoverkko, broileri, siipikarja, broilerikasvatus, rehun tuotanto, broilerinlanta, ammoniakki, ravinnekuormitus, maatalous, maatalouden ympäristövaikutukset, parantaminen

Environmental impacts and improvement options of sliced broiler fillet production

Juha-Matti Katajajuuri¹, Juha Grönroos², Kirsi Usva¹, Yrjö Virtanen¹, Eija Venäläinen², Ilkka Sipilä³, Sirpa Kurppa⁴, Riikka Tanskanen¹, Tuomas Mattila² and Hanna Virtanen¹

¹MTT, Biotechnology and Food Research, Food Processes, 31600 Jokioinen, firstname.surname@mtt.fi

²Finnish Environment Institute, PL 140, 00251 Helsinki, firstname.surname@ymparisto.fi

³MTT, Animal Production Research, 31600 Jokioinen, firstname.surname@mtt.fi

⁴MTT, Plant Production Research, 31600 Jokioinen, firstname.surname@mtt.fi

Abstract

In this study, a production network integrated Life Cycle Assessment was used to assess the environmental impacts of a certain honey-marinated and sliced broiler fillet. The environmental impact assessment was based on actual production network processes in Finland between the years 2003 and 2005. All essential production stages from parent stock and production of farming inputs to product distribution and sales in retail stores were included in the assessment. The assessment consisted of primary energy consumption, land use, amount of landfill waste as well as by-products and their applications. In addition, direct and indirect emissions to the air and freshwaters were assessed. The environmental impacts were assessed in the form of climate change potential, aquatic eutrophication, acidification and photochemical ozone formation.

According to the LCA results, broiler chicken production created the majority of the environmental impacts in the each category studied. The impacts accounted for 65 to 85 percent depending on the category. Broiler chicken production included e.g. the energy consumption of broiler chicken housing both as electricity and heat, broiler chicken feeding, emissions from manure, crop cultivation including farm input production and the industrial processing of the crop, i.e. broiler chicken feeds. Broiler chicken production accounted for over 80 per cent of all eutrophication and acidification impacts created by the entire production network. This was especially due to the crop cultivation needed for broiler chicken feeds, which had the biggest contribution to the nutrient run-off and leaching, as well as ammonia evaporation from manure.

When the primary energy consumption in the production network is considered, broiler chicken production accounted for 41 per cent of all primary energy consumed, followed by the refrigeration of broiler chicken meat in retail stores that accounted for 20 per cent of all primary energy consumed.

In terms of global warming potential, broiler chicken production accounted for 65 per cent of the total impact. This result was not only influenced by the

emissions from energy consumption but also by the nitrous oxide emissions from the fertilizer production and use as well as in nitrous oxide and methane that are evaporated in broiler chicken manure handling. Nevertheless, carbon dioxide was still the most influencing gas in the climate change potential creating 59 per cent of all the impacts of the category. Carbon dioxide emissions were evenly distributed throughout the production network correlating with the energy consumption.

The environmental impacts caused by the broiler chicken production network were also illustrated with the Finnish Eco-Benchmark. The Eco-Benchmark describes the environmental impacts related to average Finnish consumption and daily consumption amounts. The scale used in the benchmark weights the environmental impacts according to their importance allowing the comparison of the environmental impacts for various daily consumption patterns. According to the Eco-Benchmark comparison, the daily consumption of broiler chicken meat (40 g) creates environmental impacts two times more compared to the daily consumption of rye bread. The daily consumption of cheese (30 g), on the other hand, creates three times as much environmental impacts as the daily consumption of broiler chicken meat. According to the Finnish Eco-Benchmark, the environmental impacts created by the broiler chicken production network are for almost 50 per cent due to eutrophication and for 25 percent due to acidification.

It is widely known that the control of processes and releases is much more complicated in crop cultivation than in industry, which is due to the field and climate conditions of agriculture. This is also the reason why crop production for broiler chicken was clearly the most influential part (41 %) in the production network when the total environmental impacts were concerned. The most significant environmental burdens from agriculture were those of nitrogen and phosphorus run-off and leaching (33 %). This, though, can be controlled by measures that include decreasing the high concentrations of easily soluble phosphorus in soils, maintaining good soil structure and drainage, preventing erosion by favouring no-tillage methods and withdrawing the most unproductive and high erosion risk field parcels from agricultural use, and turning them into, for instance, buffer zones.

Good production circumstances in broiler chicken houses call for maintaining suitable growth temperature and good air quality free from harmful gases, excess humidity and dust. Removing ammonia from the housing air is one of the most concrete ways of improving the environmental performance. The removal of ammonia has also a decreasing effect on the amount of dust in the outlet, which in turn significantly improves the operational preconditions of heat exchangers. The use of heat exchangers enabled intensified ventilation in the broiler chicken houses, which in turn keeps the litter drier, decreases ammonia releases, and has a beneficial impact on the health of the broiler chicken flock.

Although the farming related processes in the production chain had a significant impact on the environmental impacts created, the shared responsibility in the overall environmental performance of the product has to be recognised widely in the production network. The chain is controlled in detail from chick production all the way to the slaughter house operations. Integrated broiler chicken chain has prerequisites to develop the production network into even less environmentally burdening one. There is a need for common vision and proactive actions in cooperation within the entire production network to find new solutions and to influence on the collaboration in the primary production.

For instance, motivating contracted primary producers and other local farmers to apply broiler chicken manure more evenly along the agricultural soil parcels would have a beneficial impact on the nutrient loads of local and regional areas. Nutrient loads could be reduced if broiler chicken farmers would transfer broiler chicken manure to neighbouring crop farmers to replace mineral fertilizers rather than using it all on their own crop fields. The most important target would, however, be the implementation of new more environmentally sound crop cultivation techniques both in broiler chicken and feed farms.

Key words: life cycle assessment, LCA, life cycle analysis, environmental impacts, production chain, supply chain, production network, broiler, chicken, ammonia, nutrient run-off, leaching, agriculture, improvement

Alkusanat

Tämä raportti käsittelee Foodchain II -hankkeessa toteutettua arviota broilerin lihasta valmistetun tuotteen ympäristövaikutuksista ja niiden vähentämismahdollisuuksista. Arvio perustui tuotantoverkkointegroituun elinkaariarviointiin ja skenaariotarkasteluihin. Tässä tutkimuksessa arvioitiin, dokumentoitiin ja verifioitiin HK Ruokatalon *Kariniemen hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden* tuotantoverkon ympäristökuormitukset, arvioitiin tuotantoverkon parannusmahdollisuuksia, sekä tarkasteltiin niiden ja muiden tuotantoverkossa tapahtuvien muutosten ympäristövaikutuksia. Tuotantoverkkoon integroitu, tuotantoketjun kattava elinkaariarviointi tarjoaa hyvät mahdollisuudet arvioida lopputuotteiden välittömiä ja välillisiä ympäristövaikutuksia koko tuotantoketjussa aina maatilatuotannon panostuotannosta ja sen raaka-aineista kaupan hyllyyn ja valmiiksi ruoaksi asti.

Tutkimus oli suoraa jatkoa aiemmin toteutetuille Ruokakorin ympäristövaikutukset (Foodchain I)- ja ”Rehu-LCA” -tutkimuksille. Hankkeet yhdessä muodostavat esimerkkitapaukset ruokaympyrän kustakin lohokosta valitun ruoka-aineen ympäristövaikutuksista. Foodchain II -tutkimuksen julkisina rahoittajina toimivat MTT, Ympäristöklusterin tutkimusohjelma ja Suomen ympäristökeskus. Yritysrahoittajina ja tutkimuksen tiedonkeruun keskeisinä osapuolina toimivat HK Ruokatalo, Huhtamäki, Raisio Yhtymä, Suomen Rehu, Ruokakesko, Biolan sekä Kauppapuutarhaliitto (kasvihuonekurkun osatutkimus).

Tutkimuksen johtoryhmään osallistuivat ylitarkastajat Heikki Latostenmaa ja Pekka Harju-Autti ympäristöministeriöstä, kehitysjohtaja Kirsi Rantanen ja Harri Mäntylä HK Ruokatalosta, myynti- ja markkinointijohtaja Sirpa Lepola Huhtamäestä, talousjohtaja Tuula Laukkanen Raisio Yhtymästä, kehityspäällikkö Eija Helander Suomen Rehusta, Merja Saarinen Ruokakeskosta, Markku Haukioja Biolanista, Hannu Äystö Kauppapuutarhaliitosta, professori Jyri Seppälä Suomen ympäristökeskuksesta sekä MTT:stä professori Sirpa Kurppa, vanhempi tutkija Juha-Matti Katajajuuri ja tutkija Kirsi Usva johtoryhmän sihteerinä.

Tutkimuksen toteutti MTT:n ja Suomen ympäristökeskuksen asiantuntijoista koottu tutkijaryhmä. Tutkimuksen vastuullisena johtajana toimi professori Sirpa Kurppa. Hankkeen päättäjöitä olivat projektipäällikkö Juha-Matti Katajajuuri ja tutkija Kirsi Usva MTT:stä sekä vanhempi tutkija Juha Grönroos Suomen ympäristökeskuksesta. Lisäksi tutkimusryhmään kuuluivat Yrjö Virtanen, Ilkka Sipilä, Eija Venäläinen, Hanna Virtanen ja Riikka Tanskanen MTT:stä sekä Jyri Seppälä Suomen ympäristökeskuksesta. Tutkimusraportin kokoajina ja kirjoittajina ovat toimineet pääosin Juha-Matti Katajajuuri, Juha Grönroos ja Kirsi Usva. Raportin kohdat 3.5.2, 4.2.5 (osin) ja 5.3 on laatinut

Juha Grönroos ja kohdan 3.5.1 Ilkka Sipilä. Tuomas Mattila Suomen ympäristökeskuksesta on tehnyt kohdan 4.2.5.2 ekotoksisuuslaskelmat.

Hankkeessa mukana olleen elinkeinoelämän lähtökohtana oli oppia tuotelähtöisestä ympäristöhallinnasta ja ympäristövaikutusten selvittämisestä sekä tuotantoverkon ja omien prosessien parannusmahdollisuuksista tuottaakseen ympäristöä mahdollisimman vähän rasittavia tuotteita. Ketjun eri portaiden yritysten on tärkeää tunnistaa ja tiedostaa oma osuutensa lopputuotteen ympäristövaikutuksista. Ympäristöhallinnon näkökulmasta hankkeen tulokset ovat osaltaan vastaamassa kestäväen kulutuksen ja tuotannon toimikunnan (KULTU) kansalliseen ohjelmaehdotukseen, jonka keskeisenä tavoitteena on että kuluttajilla tulisi olla käytettävissään informaatiota kestävämpien elintarvikevalintojen tekemiseksi.

Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotantoverkon tuotantoprosessien tiedot ja niistä muodostetut prosessimallit perustuvat tuotannon harjoittajien kanssa yhteistyössä kerättyihin prosessien panos-tuotos -tietoihin. Tutkimuksen onnistumisen kannalta keskeisiä tietolähteitä olivat HK Ruokatalon broilerikasvattajat ja munitustilat. Tiedonkeruuseen ja yhteistyöhön osallistuivat merkittävällä panoksella edellä mainittujen henkilöiden lisäksi myös mm. Tero Heino, Matti Ijäs, Veikko Kemppi, Timo Kinnunen, Juha Koskenoja, Jari Leija, Tarja Matomäki, Elina Mäki-Laurila, Harri Mäntylä, Pekka Peippo, Teemu Perttu, Outi Sandell, Essi Tuomola ja Susanna Työppönen HK Ruokatalosta, Mai-Liisa Tattari Huhtamäestä, Jukka Hollo, Jukka Jessen-Juhler ja Henry Sundström Raisio Yhtymästä, Ilpo Hakkarainen, Vesa Kortesniemi, Merja Saarinen ja Markku Salmela Ruokakeskosta sekä Eija Helander, Jukka Jokinen ja Juha Salopelto Suomen Rehusta. Tämän tutkimuksen ympärillä tiiviisti olleiden yritysedustajista ja tutkijoista koostuneiden johto-, projekti- ja asiantuntijaryhmien ohella tutkimukseen ovat toimittaneet taustatietoja lukuisat em. yritysten toimittajat, alihankkijat ja yhteistyökumppanit, joista mainittakoon tässä erityisesti Aga, Auramaa-yhtiöt, Avanspack, Flexipack, Fortum, Hahkaway, Keslog, Kuljetus Pekka Laine, Pakkasvakka ja Transbox.

Lämmin kiitos kaikille tutkimuksen valmistumiseen myötävaikuttaneille henkilöille ja erityisesti tutkimukseen osallistuneille yrityksille ja niiden edustajille!

Tekijät

Sisällysluettelo

1	Johdanto ja tausta	14
1.1	Kestävä kulutus ja tuotelähtöinen ympäristöhallinta.....	14
1.2	Hankkeen tausta ja aiemmat tutkimukset.....	14
1.3	Johdanto tutkimuksen kohteeseen, toteutukseen ja raportointiin	15
2	Tutkimuksen kohde, tavoite ja soveltamisala	17
2.1	Kohde	17
2.2	Tavoite.....	17
2.3	Soveltamisala ja kohdeyleisö	17
2.4	Toiminnallinen yksikkö.....	18
2.5	Tuotantoverkon rajaukset.....	18
2.6	Rajoitukset ja sovellettavuus	23
2.7	Allokoinnit	23
2.8	Hyvitykset	24
3	Tiedonhankinta ja laskentamallit	25
3.1	Nuorikkokasvatus ja nuorikoiden kuljetus	25
3.2	Munitus ja munien kuljetus	25
3.3	Munien haudonta ja untuvikkojen kuljetus	26
3.4	Nuorikko-, emo- ja broilerirehun tuotantoketjut ja kuljetukset.....	26
3.4.1	Rehuviljan viljely ja käsittely.....	26
3.4.1.1	Viljanviljely rehuviljajaloilla	27
3.4.1.2	Viljanviljely broilerijaloilla.....	28
3.4.1.3	Koneketju	29
3.4.1.4	Typpihuuhtoumat	30
3.4.1.5	Fosforihuuhtoumat	31
3.4.1.6	Päästöt ilmaan	32
3.4.2	Teollisten rehuseosten ja muiden kuin viljajalo-aineiden valmistus	33
3.4.3	Lannoitteiden ja kalkin valmistus ja kuljetus	34
3.5	Broilerien kasvatus ja kuljetus jalostukseen.....	35

3.5.1	Lämmitysenergian kulutuksen laskenta	36
3.5.2	Ammoniakkipäästöjen laskenta.....	38
3.5.3	Turvekuivikkeen valmistus	40
3.5.4	Tainnutus- ja pakkauskaasujen valmistus	40
3.6	Broilerin teurastus ja jalostus hunajamarinoituiksi fileesuikaleiksi	40
3.7	Marinadin raaka-aineiden valmistus.....	41
3.7.1	Rypsiöljyn tuotanto	41
3.7.2	Muut marinadin raaka-aineet.....	42
3.8	Pakkauksien valmistus	42
3.8.1	Kuluttajapakkaus	42
3.8.2	Kuljetuspakkaukset	43
3.8.3	Varastointipakkaukset	43
3.9	Tuotteiden valtakunnallinen jakelu	43
3.10	Säilytys ja myynti vähittäiskaupassa	44
3.11	Tukitoiminnot.....	44
4	Tulokset.....	45
4.1	Inventaarioanalyysin tulokset.....	47
4.1.1	Maankäyttö.....	47
4.1.2	Primäärienergian kulutus.....	47
4.1.3	Päästöt ilmaan	49
4.1.4	Päästöt vesiin.....	51
4.1.5	Systemin tuottamat sivuvirrat ja kiinteät jätteet	52
4.2	Vaikutusarvioinnin tulokset.....	54
4.2.1	Ilmastonmuutos	55
4.2.2	Happamoituminen	56
4.2.3	Vesistöjen rehevöityminen	58
4.2.4	Alailmakehän otsonin muodostuminen	59
4.2.5	Ekotoksisuus.....	61
4.2.5.1	Ekotoksisuuden arvioinnin yleiset lähtökohdat.....	61
4.2.5.2	Ekotoksisten vaikutusten arviointi broilerin lihan tuotantoketjussa	66
4.3	Kokonaisympäristövaikutukset	69
4.3.1	Mittatitkun periaatteet	70

4.3.2	Mittatikkutulokset	71
4.3.2.1	Kokonaisympäristövaikutukset broilerituotteen linkaareissa	71
4.3.2.2	Broilerituote mittatikulla havainnollistettuna.....	73
5	Tuotantoverkon parannusmahdollisuudet	74
5.1	Oman viljan ja tehdasrehun suhteen muuttaminen broilerin ruokinnassa	75
5.1.1	Skenaarion kuvaus	75
5.1.2	Lannan käytön vaikutus kuormitukseen.....	76
5.1.3	Soijan vaikutus kuormitukseen	77
5.1.4	Skenaariotarkastelun tulokset.....	78
5.2	Rehuviljan tuotantopanosten käytön tehostaminen.....	79
5.3	Ammoniakkipäästöjen vähentäminen	80
5.4	Broilerikasvattamon energiankulutuksen vähentäminen lämmön talteenoton avulla.....	83
5.4.1	Lämmön talteenoton vaikutus ympäristökuormituksen vähentämiseksi.....	83
5.5	Broilerikasvattamon lämmittäminen vaihtoehtoisilla polttoaineilla..	84
5.6	Lintutiheyden muuttaminen	85
5.7	Broilerinlannan vaihtoehtoiset hyötykäyttötavat.....	86
6	Keskeisimmät tulokset ja merkittävimmät epävarmuudet	88
6.1	Keskeisimmät tulokset	88
6.2	Epävarmuustarkastelut	91
6.2.1	Rehuviljan viljelyn ravinnehuuhtoumat	91
6.2.2	Ammoniakkipäästöt	92
7	Johtopäätökset ja suositukset	92
8	Kirjallisuus.....	98
	Liitteet.....	106

1 Johdanto ja tausta

1.1 Kestävä kulutus ja tuotelähtöinen ympäristöhallinta

Kasvava kulutus ja kansalaisten käyttämät tuotteet ovat välittömästi tai välillisesti useimpien teollisuusmaiden ympäristöongelmien takana. YK:n Johannesburgin kokouksessa 2002 hyväksyttiin tuotannon ja kulutuksen työohjelma. Tältä pohjalta Suomessa valmistui 2005 ehdotus kansalliseksi kestävä kulutuksen ja tuotannon toimenpideohjelmaksi. Elintarvikkeiden osuus kulutuksen ympäristöhaitoista on Mittatikki-hankkeessa käytettyjen kansantalouden panostuotostilastojen perusteella noin kolmannes (Nissinen ym. 2006).

Tuotelähtöinen ympäristöpolitiikka ja -hallinta perustuvat elinkaariajatteluun. Sen keskeinen lähtökohta on, että kaikki tuotteen valmistamiseen, jakeluun, käyttöön ja käytöstä poistoon liittyvät toiminnot aiheuttavat ympäristöhaittoja. Riittävän tiedon hankkimiseksi tuotteen ympäristövaikutuksista on siis tarkasteltava kaikkia tuotteen suoraan ja välillisesti vaatimien toimintojen aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Suppeammat tarkastelut sisältävät epätäydellisen tiedon riskin, eli tarkastelun ulkopuolelle jätettyihin toimintoihin saattaa kätkeytyä olennaisia ympäristöhaittoja.

Tuotteen korostaminen on merkittävä ajattelu- ja lähestymistavan muutos. Ympäristöongelmien lähestyminen tuotenäkökulmasta tarjoaa uusia mahdollisuuksia. Se siirtää huomion valmistusvaiheesta itse tuotteeseen ja koko sen tuotantoketjuun, sekä ketjun loppupäässä niihin ihmisten tarpeisiin, joita tuotteen käyttö tyydyttää. Nykyaikaisessa liiketoiminnassa tuotelähtöinen kestävyys- ja ympäristöhallinta ovat osa kilpailukyvyllä tärkeän liiketoimintaketjun hallintaa.

1.2 Hankkeen tausta ja aiemmat tutkimukset

Foodchain-tutkimusten (www.mtt.fi/foodchain, 2000–) yleistavoitteena on ollut tuottaa todellisiin elintarvikkeiden tuotantoketjuihin perustuvaa elinkaari-pohjaista ympäristötietoa keskeisistä suomalaisista elintarvikkeista. Ketjujen ja niiden toimijoiden parannustoimien arvioinnin ja kohdentamisen ohella näitä tietoja voidaan käyttää asiakasinformaationa ketjun toimijoiden välillä. Koko elinkaaren kattavat tuotteiden ympäristötiedot soveltuvat myös kuluttajien kulutus- ja ostovalintojen päätöksenteon tueksi.

Kestävä kulutuksen ja tuotannon toimikunnan (KULTU) ehdotus kansalliseksi ohjelmaksi korostaakin pelloilta pöytään kestävästi -tavoitteissaan, että tarjolla tulisi olla informaatiota niin terveellisemmistä kuin kestävämmistä

elintarvikkeista sekä ruokapalveluista kuluttajien valintoja silmällä pitäen (Vähemmästä enemmän ja paremmin... 2005, 25). Myös maa- ja metsätalousministeriön hallinnonalalla kestävän kehityksen tavoitteita tukevaksi kansalliseksi lisätoimenpidetarpeeksi on todettu tuotekohtaisen tiedon tuottaminen kestävien kulutusvalintojen perustaksi sekä elintarvikkeiden tuotantoon ja kauppaan osallistuvien yritysten yhteiskuntavastuullisuuden edistäminen (MMM 2004).

Aiemmissa Foodchain-tutkimuksissa on selvitetty erilaisten peruna-, maito-, vilja- ja vihannestuotteiden ympäristövaikutuksia (Katajajuuri ym. 2003a ja 2003b, Mikkola ym. 2006, Voutilainen ym. 2003a ja 2003 b). Lisäksi Suomessa on nykyaikaisten elinkaariarvioinnin periaatteiden mukaisesti selvitetty kalatuotteiden (Grönroos ym. 2006, Silvenius & Grönroos 2004) ja oluen ympäristövaikutuksia (Virtanen ym. 2006) sekä vertailtu tavanomaisen ja luonnonmukaisen tuotannon ympäristövaikutuksia (Grönroos & Seppälä 2000). Nykyaikaisten elinkaariarvointien kohteena ovat olleet mm. juustokermaperunagratiinipakaste, Emmental-juusto, maito, perunajauho, ruisleipä, kirjolohi, silakka ja kasvihuonekurkku. Lisäksi elintarviketuotannon piirissä on tehty useita elinkaariarvioinnin opinnäytetöitä.

Broilerinlihan tuotannon koko elinkaaren kattavia ympäristökuormituksia ei ole aiemmin selvitetty, ei Suomessa eikä tekijöiden tietojen mukaan missään muuallakaan. Suomessa on aiemmin julkaistu opinnäytetyö broilerin elinkaaresta (Lehtinen 1998). Kyseinen tutkimus on suhteellisen vanhentunut eikä kattanut koko tuotantoverkkoa eivätkä kaikki siinä käytetyt tietolähteet ole täysin luotettavia. Lehtisen työn keskeinen puute on, ettei siinä käsitelty lainkaan rehuntuotannon ympäristövaikutuksia. Lehtisen tutkimuksen (1998) aineisto on vuodelta 1996, joten se ei siltäkään osin kuvaa nykyisen kaltaista tuotantoa, eikä sitä näin ollen ole käytetty tässä tutkimuksessa kuin suuruusluokkatasoisena vertailukohteena tietyissä broilerin ja emojen kasvatusasioissa.

1.3 Johdanto tutkimuksen kohteeseen, toteutukseen ja raportointiin

Tässä raportissa kuvatun tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa elinkaariarviointia soveltamalla HK Ruokatalon broilerinlihatuotteiden todelliseen tuotantoketjuun tai laajemmin tuotantoverkkoon perustuvat ympäristökuormitus- ja ympäristövaikutustiedot sekä tarkastella tuotantoverkon parannusmahdollisuuksia ympäristönäkökulmasta. Aiempien vastaavien tutkimusten yhteydessä ekotehokkaat ratkaisut ovat monesti osoittautuneet myös kustannustehokkaiksi.

Tämän tutkimuksen kohteeksi valittiin lihatuote ja voimakkaasti myyntiä kasvattava tuoteryhmä, broilerinliha. HK Ruokatalo vastaa noin 50 prosenttia

suomalaisen broilerin lihan tuotannosta ja Suomessa kulutetusta broilerinlihasta (teuraskiloina). Valittu tuote, *Kariniemen hunajamarinoidut broilerin fileesuikaleet* on HK Ruokatalon keskeinen volyymituote vastaten noin viittä prosenttia HK Ruokatalon broilerinlihasta valmistettujen tuoretuotteiden tuotantomäärästä.

Tutkimuksessa sovellettu ympäristövaikutusten arviointimenetelmä on perinteisen, standardoidun elinkaariarvioinnin (Life Cycle Assessment, LCA, ISO 14040 -sarja) täsmäsovellus, jolla tavoiteltiin ketjun työnjaon, organisaatioiden oppimisen ja omatoimisuuden lisääntymisen kautta tulosten parempaa laatua ja hyödynnettävyyttä. Vaikka LCA-tekniikka on standardoitu, standardit eivät sisällä ohjeita LCA-projektien tai tuotteiden elinkaarten hallintaan eivätkä vastaa moniinkaan käytännön mallinnus- ja tiedonkäsittelykysymyksiin. Siksi tarvitaan uutta, poikkitieteellistä systeemanalyttistä osaamista sekä uusia toimintamuotoja tutkimusprojektien hallintaan. Lisäksi menetelmän soveltaminen käyttökelpoisena työkaluna edellyttää ketjun toimijoiden aktiivista sitoutumista työhön.

Kaikki ympäristövaikutukset eivät ole mukana tarkastelussa, koska tiettyjä ympäristövaikutuksia ei voitu luotettavasti laskea. Näihin kuuluvat ihmisten altistuminen terveydelle vaarallisille aineille ja pienhiukkasten vaikutuksille, vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen, maankäyttö ja vaikutukset maan tuottavuuteen sekä yläilmakehän otsonikerroksen heikentyminen. Myöskään haitallisten aineiden vaikutuksia eliöille (ekotoksisuus) ei kyetty arvioimaan kattavasti, mutta siihen liittyyvää arviointimenetelmää arvioitiin ja kehitettiin tulevien elintarvikkeiden elinkaaritutkimusten tarpeita varten.

Ympäristövaikutusten arvio on tehty vaikutusluokittain (ilmastonmuutos, vesistöjen rehevöityminen, happamoituminen ja alailmakehän otsonin muodostuminen) elinkaariarvioinnista annettujen standardien (ISO-SFS 14040 -sarja) ohjeita seuraten, ja se nojautuu olennaisilta osin todellisten prosessien panos-tuotos-tietoihin. Lisäksi kohdassa 4.3 on esitetty tuotantoverkon painotetut kokonaisympäristövaikutukset Mittatikki-esitystavan mukaisesti. Raportoinnin jäsentely on seuraavanlainen: Luvussa 2 selostetaan tutkimuksen kohde, tavoite ja soveltamisala; luvussa 3 kuvataan panosten ja tuotosten inventoinnissa käytetyt tietolähteet ja laskentamallit; luvussa 4 esitetään broilerituoteketjun nykytilan ympäristövaikutukset; luvussa 5 käsitellään ketjun parannusmahdollisuuksia ja niihin liittyviä skenaariolaskelmia; luvussa 6 esitetään keskeisimmät tulokset ja keskeiset epävarmuudet; ja luvussa 7 esitetään tutkimuksen johtopäätökset ja suositukset.

2 Tutkimuksen kohde, tavoite ja soveltamisala

2.1 Kohde

Tutkimuksen kohteena oli HK Ruokatalon broilerinlihatuotteen, hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden elinkaari, tuotantoverkkoa kuvaava tuotejärjestelmä, johon sisältyvät mm. munitus, munien haudonta, munituskanojen ja broilerien rehujen valmistus, lannoitteiden ja kalkin valmistus, turvekuivikkeen valmistus; broilerikasvatus; broilerien teurastus ja jalostus hunajamarinoiduiksi fileesuikaleiksi; pakkauksien valmistus; rypsin viljely ja jalostus rypsiöljyksi; valtakunnallinen jakelu ja säilytys kaupassa sekä näihin liittyvät tukitoiminnot, kuten energiantuotanto ja eri vaiheisiin kuuluvat kuljetukset.

Fileesuikaleiden elinkaaresta selvitettiin ympäristökuormitukset ja -vaikutukset kaupan kylmälaitteeseen asti. Tutkimuksessa kerättiin pääsääntöisesti kaikki kvantifioitavissa olleet ympäristökuormitukset, raaka-aineiden, polttoaineiden ja luonnonvarojen käyttö sekä aiheutuneet päästöt ilmaan, veteen ja maahan.

2.2 Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden todelliseen tuotantoketjuun ja -prosesseihin pohjautuvat ympäristökuormitukset ja -vaikutukset ja yksilöidä niihin eniten vaikuttavat elinkaaren osat sekä niiden pohjalta etsiä ja tarkastella tuotantoverkon parannusmahdollisuuksia.

2.3 Soveltamisala ja kohdeyleisö

Tutkimuksen tulokset soveltuvat ensisijaisesti HK Ruokatalon broilerituotteiden tuotantoverkon ekologisen kestävyys hallinnan ja kehittämisen käyttöön. Niitä voidaan käyttää (i) tuote- ja järjestelmäkehitykseen etsittäessä tuotantoverkon ja tuotantoprosessien parannuskohteita ja arvioitaessa parannusten ekologista vaikuttavuutta, (ii) strategisen päätöksenteon tukena esimerkiksi tuotekehitys- ja innovaatiotoiminnassa sekä (iii) asiakasinformaationa.

Lisäksi tutkimustulokset palvelevat kulutuksen ja tuotannon toimikunnan (KULTU) kansallisen ohjelmaehdotuksen tavoitteita, sillä tämän tutkimuksen jälkeen tunnetaan nykyaikaiseen tietopohjaan ja laskentamenetelmiin perus-

tuen ympäristövaikutukset ruokaympyrän kunkin lohkon tietyistä ruoka-aineista. Tässä mielessä tutkimustulokset on tarkoitettu julkiseen käyttöön.

2.4 Toiminnallinen yksikkö

Tutkimuksen toiminnallinen yksikkö oli kulutukseen myyty hunajamarinoitu broilerin fileesuikaletonni (1000 kg), joka valmistetaan ja pakataan 300, 450 ja 650 gramman pakkauksiin HK Ruokatalon Euran tuotantolaitoksella. Broilerikasvatus tapahtui pääasiassa Satakunnan ja Varsinais-Suomen alueella HK Ruokatalon omien sopimustuottajien kasvattamoissa. Kaikki tulokset laskettiin ja esitetään tätä toiminnallista yksikköä kohti.

2.5 Tuotantoverkon rajaukset

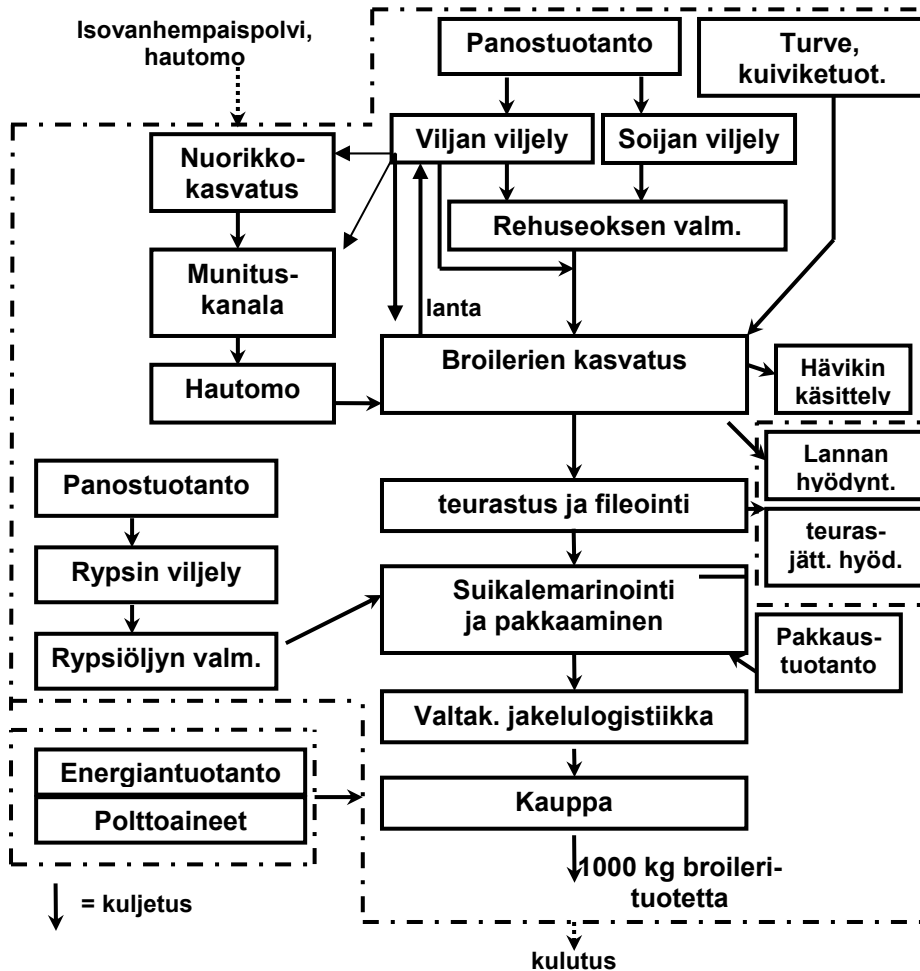
Arviossa on otettu huomioon kaikki olennaiset raaka-aineiden, polttoaineiden ja luonnonvarojen käytöt sekä ilmaan, veteen ja maahan kohdistuvat päästöt tuotantoverkon eri vaiheissa.

Tuotantoverkon rungon muodostivat nuorikkokasvatus, munitus, munien haudonta, kanojen ja broilerin rehujen valmistus, turvekuivikkeen valmistus; broilerikasvatus; broilerin teurastus ja jalostus hunajamarinoituiksi fileesuikaleiksi; kuluttaja- ja kuljetuspakkauksen valmistus; rypsiöljyn valmistus; valtakunnallinen jakelu ja säilytys kaupassa (kuva 1). Seuraavissa kohdissa näihin sisältyvät asiat on määritelty tarkemmin. Järjestelmän rungon lisäksi tuotantoverkon rajauksiin sisällytettiin mm. kaikki kuljetukset, polttoaineiden ja energian tuotanto.

Tutkimuksen ulkopuolelle rajattiin järjestelmän infrastruktuuri, ihmistyö, koneiden, laitteiden ja rakennusten valmistus. Yksityiskohtaisemmat rajaukset, niiden perusteet ja allokoinnit on esitetty luvussa 3. Tuotejärjestelmästä rajattiin ulkopuolelle myös joidenkin apu- ja lisäaineiden sekä torjunta-aineiden valmistus ja kuluttaja. Lisäksi broilerin isovanhempaissukupolvi ja emountuvikkojen haudonta sekä kuluttajan ostosmatka ja ruoanvalmistus rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Nuorikkokasvatus

Nuorikkokasvatus sisälsi broileriemojen ja kukkojen kasvatuksen nuorikkokasvattamossa emountuvikoista noin 18 viikon ikäisiksi. Nuorikkokasvatuksesta emot ja kukot siirretään munitukseen. Nuorikkokasvatuksesta inventoitiin lämmön ja sähkön, rehujen, kuivikkeiden ja veden kulutus sekä syntyneen hävikin ja poistettujen kukkojen määrät. Kasvatuksen aikana lannasta vapautuvat ammoniakki-, dityppioksiidi- ja metaanipäästöt arvioitiin. Lisäksi nuorikoiden kuljetus munittamoon mallinnettiin.



Kuva 1. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotantoverkon perusrakaus ja funktionaalinen yksikkö (1000 kg hunajamarinoituja broilerin fileesuikaleita). Energiantuotanto ja polttoaineketju sekä kuljetukset on sisällytetty järjestelmän kaikkiin vaiheisiin.

Munitus

Munitus sisälsi broilerinmunien tuotannon munittamossa. Broilerin emot munivat pesiin, joista munat kerätään ja kuljetetaan hautomoon haudottaviksi. Munitustietoihin sisältyi munittamon kuluttaman lämmön ja sähkön, rehujen, kuivikkeiden ja veden kulutus, hävikit, II-luokan munien kompostointi ja läjitys kaatopaikalle. Lisäksi arvioitiin kuivikkeista ja ritilätason alaisesta lannasta vapautuva ammoniakkipäästö sekä lannan käsittelystä aiheutuvat dityppioksidi- ja metaanipäästöt. Hyötykäyttöön päätyvien sivuvirtojen, kuten II-luokan munien ja kuivikelannan, jatkokäsittelyä ei otettu mukaan malliin. Myöskään esimerkiksi teuraaksi menneitä emoja ja kukkoja ei huomioitu

laskelmassa, vaan kaikki munituksen kuormitukset kohdennettiin tuotetuille broilerinmunille. Lisäksi munien kuljetus hautomoon mallinnettiin.

Munien haudonta

Munien haudonta sisälsi broilerinmunien haudonnan untuvikoiksi hautomoissa. Haudontatiedot kattoivat hautomon tarvitseman sähkön- ja lämmönkäytön sekä hautamojätteen määrän ja läjityksen kaatopaikalle. Lisäksi untuvikkojen kuljetus broilerikasvatukseen mallinnettiin.

Rehujen tuotanto

Nuorikoiden, emojen ja broilerien rehu koostuvat rehutehtaan toimittamista rehuseoksista ja tilan omasta tai tilalle ostetusta viljasta. Rehuviljan viljely (tilojen oma vilja ja rehuseosten vilja) sisälsi pelloilla tapahtuvat prosessit (kyntö, äestys, kylvölannoitus, mahdollinen broilerinlannan levitys, kasvinsuojeluaineiden levitys, sadonkorjuu ym.) sekä vastaavasti viljelymaalta aiheutuvat kuormitukset (ravinnehuuhtoumat vesiin, NH_3 -, CO_2 ja N_2O -päästöt ilmaan). Pelloilla tapahtuva työ sisälsi traktorin ja työkoneiden kuluttamat polttoaineet sekä niiden kulutuksesta aiheutuvat päästöt. Lisäksi inventoitiin muiden merkittävien kasvintuotannon panosten, kuten lannoitteiden, kalkin ja torjunta-aineiden käyttömäärät ja niiden (pl. kasvinsuojeluaineet) valmistamisen sekä kuljettamisen prosessit. Tilalla tapahtuvat viljan kuljetukset ja siirrot, kuivaus sekä varastointi otettiin myös huomioon. Laskelmissa huomiointiin peltokasvien CAP-tuen ehtojen mukaisen viljelykierron keskimääräinen kesantoalavaatimus. Työkoneissa, kuivurissa ja kasvintuotannon panosten kuljetuksissa käytetyt polttoaineet (polttoöljy ja diesel) sekä sähkö sisältyivät tuotantomalleihin kaikkine vaiheineen raaka-aineista valmiiksi tuotteiksi.

Tiloille ostettavien rehuseosten valmistusketjut selvitettiin viljanviljelyn panosten tuotannosta valmiiksi rehuiksi. Rehuseosten tarkasteluun sisällytettiin viljan kuljetus rehutehtaalalle, rehun ja sen raaka-aineiden jalostus- ja valmistusprosessit sekä rehujen kuljetukset maatiloille. Rehuseoksissa olevan soijan tuotannosta selvitettiin energian ja muiden tuotantopanosten käyttö ja tuotanto, satotaso ja ravinnehuuhtoumat vesiin sekä NH_3 - ja N_2O -päästöt ilmaan. Lannoitesäkit ja niiden raaka-aineiden valmistus sisälsivät tiedot muovin raaka-ainelähteille asti.

Turvekuivikkeen valmistus

Kuiviketuohteen valmistukseen sisältyivät suon kuivaus ojittamalla, turvesuon valmistelu tuotantokuntoon, irrotus suosta jyrsimällä, kuivaus, keruu varastoon ja tuotteen valmistus seulomalla.

Broilerikasvatus

Broilerikasvatukseen sisältyi broilerin kasvatus kasvattamossa untuvikosta teuraspainoiseksi saakka. Malliin sisältyi kasvattamon tarvitseman sähkön ja lämmön, rehujen, kuivikkeiden ja veden kulutus sekä kasvatuksen aikaisen hävikin käsittely. Kasvatuksen aikaiset ammoniakkipäästöt huomioitiin kokonaisuudessaan, mutta kasvatusvaiheen jälkeen tapahtuvista ammoniakkipäästöistä huomioitiin vain se osuus, joka aiheutuu peltolevitykseen päätyvästä lannasta. Myös kasvatuksen aikana lannasta vapautuvat dityppioksidin ja metaanipäästöt arvioitiin. Muualla kuin tilan peltoviljelyssä hyödynnettävän broilerin kuivikelannan jatkokäsittelyä ei siis otettu mukaan malliin.

Broilerin teurastus, jalostus ja pakkaaminen hunajamarinoiduiksi fileesuikaleiksi

Broilerin teurastukseen ja jalostukseen sisältyi tuotantoprosessit valmiiksi marinoiduksi ja pakatuksi tuotteeksi asti. Broilerin fileesuikaleiden tuotannon keskeisimmät prosessit ovat broilerin teurastus, kynintä ja jäähdytys sekä tämän jälkeen lihan leikkaus, fileiden suikalointi, marinadin ja suolalaukan valmistus, fileesuikaleiden suolaus ja marinointi sekä pakkaaminen.

Teurastuksesta ja jalostuksesta selvitettiin sähkö- ja lämpöenergian sekä veden kulutus, jäteveden käsittely ja jätteiden läjitys kaatopaikalle sekä syntyneet sivuvirrat. Lisäksi otettiin huomioon toiminnalliselle yksikölle jyvitetty väliaikaisen pakkasvarastoinnin kuluttama energia. Hyötykäyttöön päätyvien sivuvirtojen, kuten rehuraaka-aineiden (ruho ja elimet), jatkokäsittelyä ei huomioitu. Niihin kuuluvat mm. broilerista erotetut höyhenet, suolisto, elimet, kaularanka, varpaat sekä tuotannossa ja pakkaamisessa syntyvät tuotehävikit.

Marinadin valmistus

Fileesuikaleiden marinadin raaka-aineista tutkimukseen sisällytettiin rypsiöljyn tuotanto. Rypsin viljely sisälsi pelloilla tapahtuvat prosessit (kyntö, äestys, kylvölannoitus, kasvinsuojeluaineiden levitys, sadonkorjuu ym.) sekä vastaavasti viljelymaalta aiheutuvat kuormitukset (ravinnepuhautumat vesiin, NH_3 -, CO_2 ja N_2O -päästöt ilmaan). Pelloilla tapahtuva työ sisälsi traktorin ja työkonien kuluttamat polttoaineet sekä niiden kulutuksesta aiheutuvat päästöt. Lisäksi inventoitiin muiden merkittävien kasvintuotannon panosten, kuten lannoitteiden, kalkin ja torjunta-aineiden käyttömäärät ja niiden (pl. kasvinsuojeluaineet) valmistamisen prosessit. Tilalla tapahtuvat rypsin kuljetukset ja siirrot, kuivaus sekä varastointi otettiin myös huomioon. Laskelmissa huomioitiin peltokasvien CAP-tuen ehtojen mukaisen viljelykierron keskimääräinen kesantoalavaatimus. Työkoneissa, kuivurissa ja panosten kuljetuksissa käytetyt polttoaineet (polttoöljy ja diesel) sekä sähkö sisältyivät tuotantomalleihin kaikkine vaiheineen raaka-aineista valmiiksi tuotteiksi.

Rypsiöljyn valmistukseen sisältyvät kaikki tuotantoprosessit rypsinsiemenistä valmiiksi rypsiöljyksi. Keskeisimmät prosessivaiheet ovat rypsinsiementen rouhinta, hiutalointi ja lämmitys, öljyn esipuristus, uutto, neutralointi, valkaisu, esteröinti ja kuumennus.

Rypsiöljyn valmistuksesta selvitettiin sähkö- ja lämpöenergian sekä veden kulutus, jäteveden käsittely, jätteiden läjitys kaatopaikalle ja syntyneet sivuvirrat.

Pakkauksien valmistus

Kuluttajapakkauksen ja broilerinlihan varastointipakkauksien valmistus ja niiden päämateriaalien raaka-aineketjut selvitettiin luonnonvarojen hankintaan saakka. Muovisten broilerinlihan kuljetuslaatikoiden tuotanto otettiin tutkimuksessa huomioon siltä osin kuin niitä häviää kierrossa. Puiset kuormalavat oletettiin täysin kiertäviksi, eikä niiden valmistusta siksi otettu huomioon tutkimuksessa.

Tuotteiden jakelu

Tutkimuksessa selvitettiin tuotteiden jakelu keskusvarastoon, lyhytaikaisen kylmävarastoinnin energiankulutus ja sieltä edelleen valtakunnallinen jakelu terminaaleihin ja niistä rengasreitteinä vähittäiskauppoihin. Logistisiin malleihin sisältyivät polttoaineet sekä niiden kulutuksesta ja valmistuksesta aiheutuvat päästöt, ja tuotehävikin synty.

Myynti ja varastointi vähittäiskaupassa

Vähittäiskaupasta selvitettiin kaupan takahuoneen varastoinnin sekä myymälän kylmältaan energiankulutus. Lisäksi arvioitiin päästöt tuotehävikin kompostoinnista.

Yleiset tukitoiminnot

Kaikki oleelliset järjestelmärajojen sisällä tapahtuvat kuljetukset sisällytettiin mukaan. Vastaavasti ketjun eri vaiheissa inventoidut polttoaineet ja energiat selvitettiin niiden raaka-ainelähteille saakka. Sähkön ympäristökuormitusten osalta käytettiin valtakunnallista keskiarvoa. Vähäisessä määrin käytettyjen raaka-aineiden ja prosessi- ja puhdistuskemikaalien valmistusta ei sisällytetty malliin. Tutkitun tuotantoverkon ulkopuolelle hyötykäyttöön päätyvien sivuvirtojen, kuten rehuraaka-aineiden, jatkokäsittelyä ei huomioitu. Tukitoimintojen energiankulutus ja syntyneet ympäristökuormitukset sisällytettiin varsinainen ketjuvaiheiden prosesseihin.

2.6 Rajoitukset ja sovellettavuus

Hankkeessa kerätyt tiedot edustavat pääosin tuotantoverkon toimintaa vuosina 2004–2005. Tiedot olivat todellisen kuvassa 1 esitetyn ketjun toimintaan perustuvia, ja ne kuvasivat ja dokumentoivat kyseisen tuotantoverkon ympäristölaatua. Yksityiskohtaisesti tiedon laatua ja alkuperää on tarkasteltu luvussa 3. Tutkimuksessa kerätyt tiedot ja saadut tulokset edustavat tutkitun järjestelmän tilaa tutkimuksen suoritusajanaan ja ehkä neljästä viiteen vuotta eteenpäin olettaen, että keskeisimmissä teollisuus- ja alkutuotantoprosesseissa ei tapahdu poikkeuksellisen suuria muutoksia. Tiedot eivät edusta keskimääräistä broilerin kasvatusta ja jalostusta, ja siten niitä ei tule suoraan soveltaa vastaavien tuotantoketjujen tai esimerkiksi valtakunnallisen broilertiutannon ympäristökuormitusten arviointiin. Tulosten perusteella ei tulisi suoraan tehdä johtopäätöksiä muissa yhteyksissä. Tulokset eivät päde esimerkiksi samantapaisiin tuotteisiin toisissa yhteyksissä.

Mahdollisia tuotevertailuja tehtäessä on huomioitava eroavuudet järjestelmärajauksissa, kohdentamisessa, hyvitysperiaatteissa, yksikkövaikutuspotentiaaleissa, geografiassa ja kohdeajankohdassa. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan mielekkäästi verrata vain vertailukelpoisesti tehtyjen elinkaaritutkimusten tuloksiin.

Tiedonkeruussa selvitettiin järjestelmärajoiden sisälle kuuluvien kaikkien prosessien syöte- ja tuotostiedot niin kattavasti kuin mahdollista. Suuria epävarmuuksia liittyi kuitenkin mm. raskasmetallipäästöjen, hiukkaspäästöjen ja haitallisiin aineisiin liittyvien päästöihin arviointiin, joten niitä ei tuloksissa esitetä. Tutkimuksen johtopäätökset perustuvat järjestelmästä luotettavimmin kvantifioitavissa olleisiin parametreihin, kuten kasvihuonekaasuihin, happamoittaviin ja rehevöittäviin päästöihin sekä energiankulutukseen ja näitä vastaaviin ympäristövaikutusluokkiin. Lisäksi ympäristövaikutusluokkien painotus tehtiin asiantuntija-arvioin ja tutkimustulokset esitetään Mittatikkuesitystavan mukaisesti. Järjestelmään ja erityisesti viljelyyn liittyviä maisema- ja monimuotoisuuskysymystä tai maan laadun muuttumista ei tutkimuksessa huomioitu. Torjunta-aineiden käyttöön liitettiin myös alustava arvio ekotoksisista vaikutuksista, mutta tätä ei otettu huomioon kokonaisympäristövaikutusten laskennassa.

2.7 Allokoinnit

Maataloustuotannossa ja elintarvikkeiden jatkojalostuksessa, kuten myös monissa muissa järjestelmissä, syntyy samalla useita tuotteita. Käsiteltäessä tällaisia järjestelmiä tarvitaan allokointimenettelyjä. Allokoinnissa materiaali- ja energiavirrat samoin kuin niihin liittyvät päästöt ja muut kuormitukset allokoidaan eli jyvitetään eri tuotteille selvästi määriteltujen menettelytapojen mukaan. Elintarvikkeiden alkutuotannossa toimitaan biologisessa ympäris-

tössä, jossa eri prosesseilla on usein tavanomaista laajempi vaikutus muihin prosesseihin.

Tässä tutkimuksessa osituksia on pyritty välttämään, aina kun se oli mahdollista, jakamalla kohteena oleva tuotantoprosessi osaprosesseihin ja määrittämällä näihin liittyvät panos- ja tuotostiedot erikseen.

Rypsiä ja soijasta valmistettavan öljyn ja rouheen ympäristökuormitusten kohdentamiselle ei ole olemassa yhtä oikeata tapaa. Laitoksen ja prosessin lähtökohtana on alun perin ollut kasviöljyn tuottaminen, ja uuttaminen tehdään nimenomaan öljyn erottamiseksi. Kuitenkin prosessin molemmat osat ovat tärkeitä toisilleen. Näin ollen rypsiöljyn tuotannon syötteiden ja tuotosten kohdentaminen rypsiöljyn ja -rouheen kesken tehtiin tuotteiden taloudellisen arvon eli vuoden 2005 maailmanmarkkinahintojen pohjalta (ks. tarkemmin kohdat 3.4.2 soijarouheelle ja 3.7 marinadin rypsiöljylle).

Broilerien teurastamisen ja lihatuotteiden valmistusprosessin syötteiden ja tuotosten kohdentamiseksi eri tuotteille käytettiin tuotantolaitoksella tehtyjä energiamittauksia ja asiantuntijatietoa. Allokoinnit eri lihatuotteiden välillä tehtiin tuotteiden sisältämän broilerinlihan osuuksien suhteessa, ei tuotteen kokonaismassan mukaan. Elinkaarilaskelmassa broilerikasvatuksen tarve toiminnallista yksikköä kohti määritettiin broilerista teoreettisesti saatavilla olevan lihamäärän suhteessa.

Sähkön ja lämmön yhteistuotannon syötteet ja tuotokset allokoitiin energiaperaatteen mukaan, eli polttoaineen kulutus ja päästöt jaettiin sähkölle ja lämmölle niiden energiasisällön suhteessa. Peruspakkausmateriaalien tiedot perustuvat pitkälti eurooppalaisten toimialajärjestöjen keräämiin tietoihin. Ne olivat saatavilla vain aggregoituina, ja niiden taustalla tehdyt allokoinnit on suoritettu pääosin massaperusteisesti.

2.8 Hyvitykset

Tutkitussa tuotejärjestelmissä syntyi erilaisia sivuvirtoja, kuten broilerin ruhon osia, raaka-ainetahteita, hukkalämpöä ym., joita hyödynnetään toisissa järjestelmissä materiaaleina tai energiana. Sivuvirtaa hyödyntävässä järjestelmässä korvataan yleensä jotakin muuta, usein esimerkiksi primääriraaka-aineisiin perustuvaa tuotantoa, jolloin sen ympäristökuormitukset pienenevät. Myös sivuvirran tuottavan järjestelmän ympäristökuormitus vähenee pienentyvän jätemäärän ansiosta. Sivuvirtojen hyödyntämistä käsiteltäessä tarvitaan hyvitysmenettelyjä. Siinä jaetaan sivuvirran hyödyntämisestä seuraava kokonaishyöty sivuvirran tuottavan ja sen käyttävän järjestelmän kesken.

Tässä tutkimuksessa tuotantoverkon eri vaiheissa syntyneitä sivuvirtoja ei hyvitetty tutkitulle tuotantoverkolle. Siltä osin kuin järjestelmän sivuvirrat

palasivat takaisin järjestelmään (sisäinen kierrätys; esim. levitettäessä osa broilerinlannasta lannoitteena kaura- tai vehnäpeltoon, jossa viljellään rehua broilereille) sisältyivät ne tarkasteluun mukaan. Tutkitun järjestelmän ulkopuolelle menevät sivuvirrat määriteltiin syntypaikoillaan ja luokiteltiin kierrätys- ja energia-raaka-aineiksi ja täten erotettiin jätteistä. Kaikki näiden sivuvirtojen hyödyntämiseen (avoin kierrätys) liittyvät toiminnot rajattiin järjestelmämallien ulkopuolelle (kuten broilerinlannan valmistaminen puutarhalannoitteeksi). Näiden sivuvirtojen käytöstä syntyviä hyötyjä ei arvioitu. Sivuvirtojen käyttöön antamisesta koitua hyötyä tutkittavalle järjestelmälle oli siis jätteen väheneminen hyödynnettävällä määrällä.

3 Tiedonhankinta ja laskentamallit

Tutkimuksessa sovellettu tiedonhankintastrategia tähtäsi mahdollisimman edustavan, hyvin todellisuutta kuvaavan arvion aikaansaamiseen broilerin fileesuikaleiden kokonaisympäristövaikutusten nykytilasta kohtuullisin resurssipanostuksin. Arvion varmuuteen olennaisesti vaikuttavat tiedot pyrittiin keräämään tuotantoverkon toimijoilta. Tutkittujen ympäristövaikutusten kannalta vähämerkityksellisiä materiaali- ja energiavirtoja ei otettu arvioissa huomioon.

3.1 Nuorikkokasvatus ja nuorikoiden kuljetus

Tutkimuksessa käytettiin HK Ruokatalon kirjanpilotietoja kasvattajien tuotoksista, rehujen, veden ja kuivikkeen käytöstä sekä tuotantohävikistä. Energiankäytön (sähkö ja lämpö) arvioinnissa tukeuduttiin HK Ruokatalon asiantuntemukseen. Ammoniakkipäästöjen laskentaa on selitetty kohdassa 3.5.2. Lannankäsittelystä vapautuvan dityppioksidin ja metaanin päästölaskennassa käytettiin hyväksi IPCC:n oletuspäästökertoimia (IPCC 1997, Statistics Finland 2006). Turvetuotannon tietopohja on esitetty kohdassa 3.5.3. Nuorikko-rehujen tuotantoa ja sen tietolähteitä on esitetty kohdassa 3.4. Nuorikoiden kuljetukset mallinnettiin HK Ruokatalolta saatujen kuljetusprofiilitietojen avulla.

3.2 Munitus ja munien kuljetus

Tiedonhankinta munitusprosessista perustui HK Ruokatalon kirjanpitoon munittajien tuotoksista. Tätä tietopohjaa täydennettiin lähettämällä HK Ruokatalon sopimusmunittajille kysely. Vastauksia kyselyyn saatiin viideltä tuottajalta ja tietoja varmennettiin ja tarkistettiin vielä jälkeempinä yhdessä tuottajien kanssa puhelimitse. Kyselyn tiedonkeruussa keskityttiin erityisesti sähköenergian ja lämmityspolttoaineiden käyttöön. Lisäksi kyselystä saatiin rehujen ja veden kulutustiedot. Ammoniakkipäästöjen laskentaa on selitetty kohdassa 3.5.2. Lannankäsittelystä vapautuvan dityppioksidin ja metaanin

päästölaskennassa käytettiin hyväksi IPCC:n oletuspäästökertoimia (IPCC 1997, Statistics Finland 2006). Turvetuotannon tietopohja on esitetty kohdassa 3.5.3. Emorehujen tuotantoa ja sen tietolähteitä on esitetty kohdassa 3.4. Teurastetuista munitusemoista ja kukoista saatua lihaa pidettiin järjestelmän sivutuotteena, minkä vuoksi kaikki munituksen ympäristökuormitukset kohdennettiin tuotetuille broilerinmunille. Munien kuljetukset mallinnettiin HK Ruokatalolta saatujen munien kuljetuksen kuljetusprofiilitietojen avulla.

3.3 Munien haudonta ja untuvikkojen kuljetus

Tiedonhankinta haudontaprosesseista perustui HK Ruokatalolla koottuun dataan hautomoiden tuotoksista sekä panosten käytöstä. Tietoja varmennettiin ja täydennettiin useaan otteeseen HK Ruokatalolla. Untuvikkojen kuljetukset mallinnettiin HK Ruokatalolta saatujen untuvikkojen kuljetuksen kuljetusprofiilitietojen avulla.

3.4 Nuorikko-, emo- ja broilerirehun tuotantoketjut ja kuljetukset

3.4.1 Rehuviljan viljely ja käsittely

Rehuviljojen tuotantoa kuvaavat mallit käsittivät kaikki viljelytoimenpiteet, sekä siemenen ja sadon käsittelyn tilalla. Mallit rakennettiin erikseen rehuviljatilojen ja broileritilojen viljanviljelylle.

Viljelyn sivutuotteena syntyy olkea määrällisesti suurin piirtein yhtä paljon kuin viljanjyviä. 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.

Kalkin keskimääräisenä käyttömääränä viljalohkoilla käytettiin n. 700 kg/ha vuodessa. Tämä vastaa kalkitusta viiden vuoden välein käyttömääränä 3500 kg/ha. Tieto perustuu ProAgria Maaseutukeskusten liiton lohkotietokannasta poimittuihin ohralohkoihin vuosilta 2001–2003 ja niistä tehtyyn analyysiin kalkin keskimääräisestä käytöstä (Virtanen ym. 2006). Tätä käytettiin parhaana estimaattina kalkituksen nykyisestä keskimääräisestä käyttömäärästä.

Torjunta-aineiden käyttöä broilerien rehuviljan tuotannossa tarkasteltiin yleisten käyttösuositusten pohjalta (taulukko 1). Torjuntatoimet oletettiin samanlaisiksi rehuvilja- ja broileritiloilla. Taulukossa 1 on mukana rehuksien lisäksi tiedot rypsinviljelyssä käytetyistä torjunta-aineista. Rypsiä ei

broilerin tuotantoverkossa käytetä rehuksi vaan se on marinadin pääraaka-aineen, rypsiöljyn, tuotannossa tarvittava kasvi (ks. luku 3.7).

Taulukko 1. Kasvinsuojelutoimenpiteet eri viljelykasveilla broilerinlihan tuotantoketjussa.

Torjunta-aine	Tehoaine	Torjunta-aineen annostus/ha			Yksikkö
		Vehnä	Rypsi ¹	Kaura Ohra	
Herbisidi 1 (tabletti)	Tribenuroni-metyyli (500 g/kg)	1,5	1,5	1,5	tabl ² /ha
Herbisidi 2 (neste)	Trifluraliini (480 g/l)		2		l/ha
Herbisidi 3 (neste)	Glyfosaatti (360 g/l)	3,5	3,5	3,5	3,5 l/ha
Fungisidi 1(neste)	Propikonatsoli (250 g/l)	0,5		0,5	0,5 l/ha
Fungisidi 2 (neste)	Protiokonatsoli (250 g/l)		0,7		l/ha
Kasvunsääde 1 (neste)	Klormekvattikloridi (750 g/l)	0,5		1,25	l/ha
Kasvunsääde 2 (neste)	Etefoni (480 g/l)				0,5 l/ha
Insektisidi 1 (neste)	Alfasypermetriini (50 g/l)		0,3		l/ha

¹ rypsiä tuotetaan marinadin raaka-aineeksi, ei rehuksi

² tabletin paino 7,5 grammaa

Tutkimuksessa huomioitiin myös viljanviljelyn tilatukijärjestelmän mukainen kesantoala 10 prosenttia viljelyalasta, jolta aiheutuvat huuhtoumat jyvitetiin kierron viljelykasveille pinta-alojen suhteessa. Kesannoilta tulevan ravinnehuuhtouman arvioitiin olevan sama kuin itse viljelylohkojen, mikä jonkin verran yliarvioi kesantojen typpihuutoumaa.

3.4.1.1 Viljanviljely rehuviljatiloilla

Teollisten rehuseosten viljaraaka-aineen osalta satotasoina käytettiin perustapauksessa vehnälle 4140 kg/ha, kauralle 4270 kg/ha ja ohralle 4100 kg/ha. Tiedot perustuvat Suomen Rehun viljatutkimukseen vuosilta 2002–2004, ja vastaavasti lannoitustasoina käytettiin ko. aineiston mukaisia todellisia lannoitustasoja, mikä vastasi vehnälle typpenä 123 kg, kauralle 87 kg ja ohralle 100 kg N/ha. Yhteensä käytettävässä kaura-aineistossa oli mukana viljelyalaa 2700 ha vuosilta 2002-2004 ja vehnäaineistossa 3150 ha vuosilta 2002 ja 2003.

Kauralohkojen keskimääräinen helppoliukoisin fosforin pitoisuus oli noin 12 mg/l ja vehnälohkojen 13,9 mg/l, kun huomioon jätettiin ottamatta aineistosta lohkot, joiden viljavuusfosforipitoisuus oli yli 100 mg/l. Ylittävät arvot päätettiin jättää pois aineistosta, koska niitä ei pidetty luotettavina. Esimerkiksi Varsinais-Suomen peltojen osalta tehdyn kattavan selvityksen (150 000 lohkoa vuosilta 1997–2002) mukaan vain 0,09 prosentilla oli lohkoista P-luku 100 mg/l tai sitä suurempi (Viljavuuspalvelu ym. 1997–2002).

Viljanviljelymallissa tyypillisen Y-lannoitteen valmistamiseen liittyvät tiedot perustuivat Pellon Y4 –lannoksen (N-P-K: 20-4-7) ekotasetietoihin (ks. myös kohta 3.4.3). Lannoitteen käyttömäärä typpilannoituksen mukaan laskettuna oli vehnälohkoilla 614 kg/ha, kauralohkoilla 434 kg/ha ja ohralohkoilla 500 kg/ha. Fosforilannoituksen määrä perustui Suomen Rehun viljatutkimuksen ja ProAgrian lohkotietokannan lohkotietoihin, eikä em. lannoitteen fosforisältöön ja levitysmääriin. Suomen Rehun viljatutkimusaineiston mukaan keskimääräinen typpitase vehnälohkoilla oli 57 kg N/ha ja kauralohkoilla 18,5 kg N/ha, ja ProAgrian lohkotietokannan mukaan ohralohkoilla 23 kg N/ha. Keskimääräinen fosforitase oli vehnälohkoilla 5,1 kg P/ha, kauralohkoilla 2,4 kg P/ha ja ohralohkoilla 2,9 kg P/ha.

3.4.1.2 Viljanviljely broileritiloilla

Viljely broileritiloilla poikkeaa rehutehtaan hankkiman viljan viljelystä siinä, että broileritilojen omilla pelloilla käytetään lannoitteena yleisesti broilerin kuivikelantaa ja teollisia lannoitteita vain lisätyypen lähteeksi. Pitkään jatkunut lannan käyttö on nostanut tutkimuksessa mukana olleiden broileritilojen peltolohkojen helppoliukoisen fosforin pitoisuuksia maaperässä, mikä lisää fosforin huuhtoutumisriskiä rehuviljatiloihin nähden. Broileritilojen pelkäämään väkilannoitteilla lannoitettujen lohkojen viljelyprosessien oletettiin olevan samanlaisia kuin rehuviljatioilla kaikilta muilta osin kuin lohkojen helppoliukoisen fosforin pitoisuuden osalta.

Broileritilojen viljelytietoja (lohkokirjanpito tai sen perustiedot) kerättiin siinä laajuudessa kuin niitä oli helposti saatavissa. Tietoja saatiin yhdeksältä tuottajalta. Vehnälohkoja kertyi lopulliseen varmennettuun aineistoon noin 200 hehtaaria (keskisato n. 4100 kg/ha) ja kauralohkoja noin 160 hehtaaria (keskisato n. 3000 kg/ha). Lohkojen keskimääräinen helppoliukoisen fosforin pitoisuus oli noin 20,8 mg/l, kun laskelmasta jätettiin pois lohkot, joiden viljavuusfosforiluku oli yli 100 mg/l käyttäen samaa perustetta kuin mitä kohdassa 3.4.1.1 esitettiin viljanviljelytiloille.

Broileritilojen viljelytietojen pohjalta arvioitiin, että 45 prosentille viljapinta-alasta levitetään broilerinlantaa ja 55 prosenttia lannoitetaan yksinomaan väkilannoitteilla, kuten edellä rehuviljatilojen kohdalla on selostettu. Lohkot, joille levitetään broilerin kuivikelantaa, keskimääräinen levitysmäärä on 10 m³/ha, joka vastaa 51 kg liukoista ja 90 kg kokonaistyyppiä hehtaarille ja 26 kg liukoista ja 35 kg kokonaisfosforia hehtaarille. Näille lohkoille ei anneta enää lisäksi väkilannoitefosforia, sen sijaan lannan mukana tulevaa tyyppiä täydennetään Suomensalpietarilla, jota levitetään kauralohkoille 138 kg/ha (36 kg N/ha) ja vehnälohkoille 277 kg/ha (72 kg N/ha). Suomensalpietarin määrä arvioitiin perustuen siihen, että näiden tilojen viljelyssä liukoisen tyyppien käyttömäärä olisi vastaava kuin rehuviljatilojen viljelyssä. Broileritilojen ilmoituksiin perustuvien lannoitetyypin käyttömäärien arvioitiin olevan epäluotettavia otoksen pienuuden ja tietojen epätasällisuuden takia. Tämän

takia väkilannoituksen ei-karjanlantalannoitetuilla lohkoilla katsottiin tapahtuvan samalla tavalla kuin rehuviljajaloilla. Myös satotasot päätettiin yhdenmukaistaa rehuvilja- ja broileritilojen välillä, ja satotasoinksi valittiin Suomen Rehun viljatutkimuksen kautta saatuja keskimääräisiä satotasoinja (ks. kohta 3.4.1.1).

Väkilannoitetuilla lohkoilla ravinnetaseet siis muodostuivat samoiksi kuin rehuviljajaloilla. Sen sijaan broilerinlannalla lannoitetuilla vehnälohkoilla keskimääräinen typpitase oli 96 kg N/ha ja kauralohkoilla 56 kg N/ha. Se on selvästi korkeampi kuin pelkästään väkilannoitetuilla lohkoilla, koska lannoitus tapahtuu lannan liukoisen typen määrän pohjalta, jolloin hehtaarille tuleva kokonaistyppimäärä (jonka pohjalta tase lasketaan) on selvästi korkeampi kuin pelkästään väkilannoitetuilla lohkoilla. Broilerinlannalla lannoitettujen lohkojen fosforitase oli vehnällä 22,5 kg P/ha ja kauralla 22,1 kg P/ha.

3.4.1.3 Koneketju

Rehuviljajalojen toimittaman viljan keskimääräinen vastaanottokosteus reuhtehtaalla oli 12–14 prosenttia. Viljan keskikosteudeksi ennen kuivausta oletettiin 24 prosenttia. Viljan kuivaus oletettiin tapahtuvan lämminilmakuivurilla. Lämminilmakuivurissa käytetään polttoaineena kevyttä polttoöljyä, jota kuluu kuivattua viljatonna kohti 17,3 litraa. Lisäksi tarvitaan sähköä puhaltimiin, kuljettimiin ja valaistukseen, yhteensä 5,4 kWh kuivattua viljatonna kohti. Sähkön ja polttoaineen kulutustiedot pohjautuivat omiin, aikaisemmissa yhteyksissä kertyneisiin tietokantoihin, jotka perustuvat alun perin Työtehoseuran selvityksiin. Niitä on sittemmin ajantasaistettu MTT:n teknologiatutkimuksen avustuksella.

Koneketjujen ja eri työvaiheissa tarvittavien konetehtojen määrityksessä käytettiin Työtehoseuran mallilaskelmia, joita täydennettiin MTT:n maatalousteknologiaosaajien tekemillä eri työvaiheiden tehontarvearvioilla. Työkoneiden oletettiin olevan viljajaloille tyypillisiä noin 4 - 5 vuoden ikäisiä ja käytettävien traktoreiden teholtaan noin 75 kW. Koneiden työsaavutukset määritettiin työmenekien perusteella. Työmenekit eri työvaiheissa perustuvat Työtehoseuran maataloustiedotteeseen (Peltonen ja Vanhala 1992). Näissä huomioidaan suoritusajan lisäksi myös apu- ja valmisteluajat. Työkoneiden ja kuivurin päästölaskelmat perustuvat VTT:n yksikköpäästölaskelmiin (<http://www.vtt.fi/rte/projects/tyko/malli.htm>), joiden pohjana ovat pääosin EU:n nykyiset raja-arvot sekä Nesteen ekotasetiedotteisiin, Tilastokeskuksen ILMARI-laskentajärjestelmään ja Suomen ympäristökeskuksen ilmapäästötietojärjestelmään.

3.4.1.4 Typpihuuhtoumat

Typhen huuhtoumien arviointiin käytetty malli oli regressiomalli, joka perustuu typhen huuhtoutumamittauksiin kolmella huuhtoutumiskentällä, Jokioisissa 1980–2001, Toholammella 1992–2001 ja Tohmajärvellä 1980–2001 sekä Jokioisten lysimetrikentällä (1984–1998). Tutkimuksessa, jossa typpihuuhtouman arviointimalli kehitettiin (Grönroos 2003, Salo & Turtola 2006), oli esillä useampiakin huuhtouman selitysmalleja. Mikään niistä ei selittänyt typhen huuhtoumaa yhden vuoden taseen perusteella hyvin. Parhaat selitysasheet olivat 50 prosentin vaiheilla. Tässä tutkimuksessa käytetyn mallin selitysaste oli 48 prosenttia.

Viljanviljelyssä olevien lohkojen typpihuuhtoumien arvioimiseen käytettiin vakioista ja typpitaseen kertoimesta muodostuvaa yhtälöä (Grönroos 2003):

$$\text{Typpihuuhtouma (kg/ha)} = 5 + 0.16 \times \text{typpitase (kg/ha)} \quad (1)$$

Taulukko 2. Rehuviljojen keskimääräiset satotasot, typpilannoitusmäärät, typpitaseet ja typpihuuhtoumat rehuviljailoilla ja broileritiloilla.

Tilatyyppi ja kasvi	Sato (kg/ha)	Väkilann-N (kg/ha)	Lanta-N (liuk/tot)* (kg/ha)	Typpi-tase (kg/ha)	Typpi-huuhtouma **(kg/ha)
Rehuviljatilat					
Vehnä	4140	123	0	57,2	14,2
Kaura	4270	87	0	18,5	8,0
Ohra	4100	100	0	23,0	8,7
Broileritilat					
Vehnä (väkilann.)	4140	123	0	57,2	14,2
Kaura (väkilann.)	4270	87	0	18,5	8,0
Vehnä (lanta + väkilann.)	4140	72	51/90	96,2	(***18,3)
Kaura (lanta + väkilann.)	4270	36	51/90	57,5	(***12,5)

* liukoinen (liuk) ja kokonaistyyppi (tot).

** pellolta huuhtoutunut typpi, jonka pohjalta lasketaan vesiin päätyvä rehevöittävä typpi (kohta 4.1.4).

*** laskettu Salo (2006) henkilökohtaisen tiedonannon mukaan.

Koska arvioyhtälö (1) perustuu viljelykiertoon, jossa käytettiin vain typhen väkilannoitetyypeä, se todennäköisesti yliarvioi typpitaseen lannasta olevan osuuden huuhtoutumista. Nurmikierrolle, jossa käytettiin karjanlantaa, määritettiin typpitaseen huuhtoutumiskertoimeksi 0,09 (Grönroos ym. 2003). Alhaisempi huuhtoutumiskerroin nurmikierrosta johtuu sekä nurmen että lannan vaikutuksesta. Jos molempien vaikutus typpitaseen kertoimeen arvioidaan yhtä suureksi, huuhtoutumiskertoimen voitaisiin käyttää viljalohkon broilerinlantatypistä muodostuneelle typpiylimäärälle kerrointa 0,12 (Salo 2006, henkilökohtainen tiedonanto). Viljalohkon väkilannoitetyypistä muodostu-

neelle typpiylimäärälle käytetään yhtälön (1) mukaista kerrointa 0,16. Muutoksen merkitystä tuloksiin on pohdittu kohdassa 5.1.

Viljanviljelylle saatua typpihuuhtoumalukua käytettiin myös kesantolohkoilla huuhtoutuvan typen määrään. Broilerinlannan korkea kokonaistyppipitoisuus suhteessa liukoisen typen pitoisuuteen (ks. kohta 3.4.1.2) johtaa broileritilojen karjanlannalla lannoitetuilla lohkoilla jonkin verran suurempaan typpihuuhtoumaan kuin pelkästään väkilannoitetuilla lohkoilla erilaisista huuhtoutumiskertoimista huolimatta (taulukko 2).

3.4.1.5 Fosforihuuhtoumat

Typen osalta vuosittaisella lannoitusmäärällä ja typpitaseella on melko suora yhteys pellolta huuhtoutuvan typen määrään. Fosforihuuhtouma puolestaan riippuu eroosion määrästä ja maan kokonaisfosforipitoisuudesta sekä maan helppoliukoisen fosforin pitoisuudesta. Vuosittaisella fosforilannoituksella ja fosforitaseella ei siten ole suoraa yhteyttä huuhtoutuvan fosforin määrään. Pitkällä aikavälillä korkea fosforilannoitus ja jatkuva korkea positiivinen fosforitase nostavat (tai ylläpitävät korkeaa) fosforin pitoisuutta maassa. Fosforipitoisuuden noustessa myös fosforihuuhtouma lisääntyy. Muokkausmenetelmällä on suuri merkitys fosforihuuhtouman suuruuteen, mutta tässä yhteydessä oletettiin muokkaustapojen olevan samanlaiset rehuvilja- ja broileritiloilla. Myös maalajien oletettiin olevan samanlaiset rehuvilja- ja broileritiloilla.

Fosforihuuhtouma muodostuu valumaveteen liuenneesta fosforista ja veden mukana kulkeutuviin maahiukkasiin sitoutuneesta fosforista. Myös huuhtouman arvioinnissa käytetty malli rakentuu tälle pohjalle.

Liuenneen fosforin pitoisuus viljalohkojen pintavalumassa, DRP_{s_a} ($\mu\text{g}/\text{l}$), on arvioitu viljelylohkon viljavuusfosforiluvusta $SoilP_y$ regressiomallilla (Ekholm ym. 2005):

$$DRP_{s_a} (\mu\text{g} / \text{l}) = 1000 \times (0.021 \times SoilP_y (\text{mg} / \text{l}) - 0.015) \quad (2)$$

missä DRP_{s_a} :n yksikkö on $\mu\text{g}/\text{l}$ ja 1000 on muunnoskerroin yksikköjen välillä. Viljalohkojen salaojavesissä liuenneen fosforin pitoisuus on pienempi kuin pintavalumassa ja eron on havaittu riippuvan maalajista. Pitoisuuden korjauskertoimena on käytetty 0,7 savimaille ja 0,2 hietamaille.

Salaojavaluman on myös havaittu riippuvan maalajista. Savimaille salaojavaluuma on mallissa 50 prosenttia ja hietamaille 60 prosenttia kokonaisvalumasta. Kokonaisvaluuma riippuu myös maalajista ja sademäärästä. Sen arvona on huuhtoumamallissa käytetty savimaille 270 mm ja hietamaille 230 mm. Sa-

demäärien vaikutusta valumaan ei mallissa pystytä ottamaan huomioon (Ekholm ym. 2005).

Eroosion mukana pelloilta huuhtoutuu maahiukkasiin sitoutunutta fosforia, jonka määrät on arvioitu eroosion ja maan kokonaisfosforipitoisuuden perusteella sekä ottaen lisäksi huomioon tämän sitoutuneen fosforin käyttökelpoisuus leville. Eroosion arvona on käytetty savimaille 1200 kg/ha/v ja hietamaille 500 kg/ha/v. Kokonaisfosforin arvona on arvona käytetty 1,4 g/kg maata. Leville käyttökelpoiseksi osuudeksi on käytetty 16 prosenttia (Ekholm ym. 2005).

Broileritiloille em. menetelmällä laskettu fosforihuuhtouma oli jonkin verran korkeampi kuin rehuviljatiljoilla, mikä johtuu eroista maan viljavuusfosforipitoisuudessa (taulukko 3). Vastaavasti rehuviljatiljojen vehnälohkojen fosforihuuhtoumat olivat kauralohkoja suuremmat.

Taulukko 3. Rehuviljojen liukoisen fosforin huuhtoumat (DRP + PP_{aa}) rehuviljatiljoilla ja broileritiloilla.

Tilatyppi ja kasvi	Viljavuusfosfori-pitoisuus (mg P/litra maata)	Liukoisen eli leville käyttökelpoisen fosforin huuhtouma (kg/ha)
Rehuviljatilat		
Vehnä	13,9	0,87
Kaura	12,0	0,62
Ohra	10,8	0,60
Broileritilat		
Vehnä	20,8	1,02
Kaura	20,8	1,02

3.4.1.6 Päästöt ilmaan

Tärkeimmät peltolohkoilta syntyvät ilmapäästöt ovat dityppioksidi (N₂O), hiilidioksidi (CO₂) ja ammoniakki (NH₃). Kaksi ensin mainittua ovat kasvihuonekaasuja, jotka kiihdyttävät ilmaston lämpenemistä. Ammoniakki vaikuttaa maaperän ja vesistöjen happamoitumiseen.

Tärkein ilmastonmuutokseen vaikuttava päästö peltolohkoilta on dityppioksidi (N₂O). Maaperästä lähtöisin olevat N₂O -päästöt voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin päästöihin. Suorat päästöt syntyvät pellossa ja epäsuorat pellon emittoiman ammoniakkin laskeutumasta sekä pellolta huuhtoutuneista tyyppiyhdisteistä vesissä. Tässä tutkimuksessa käytetään Foodchain I projektissa kehitettyä mallia (Katajajuuri ym. 2003, perustuen The Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC 1997) peltolohkoilla muodostuvan dityppioksidipäästön arviointiin. Mallissa suorista päästöistä otettiin huomioon väkilannoitteista syntyvät päästöt ja epäsuorista huuhtoumista syntyvät N₂O -päästöt. Pellolle joutuneen typen määrästä on ensin vähennetty ammoniakkinahaihtuvan typen osuus ja jäljelle jäävän typen määrästä 1,25 prosenttia on oletettu muuntuvan N₂O-N:ksi. Vesistöihin huuhtoutuneesta tyypeistä on ole-

tettu 2,5 prosentin muuntuvan N_2O -N:ksi. Lannankäsittelystä vapautuvan dityppioksidin ja metaanin päästölaskennassa käytettiin hyväksi IPCC:n oletuspäästökertoimia (IPCC 1997, Statistics Finland 2006).

Hiilidioksidimallissa oletetaan peltomaan hiilivaraston säilyvän muuttumattomana eli hiilivaraston mahdollisista muutoksista syntyviä hiilidioksidin päästöjä tai sitoutumista ei ole otettu huomioon. Viljelylohkolle tulee kuitenkin ulkopuolelta huomattava virta uusiutumattomaa hiiltä kalkkiin sitoutuneena, joka poistuu hiilidioksidina maan neutraloitumisessa sekä osittain huuhtoutuen. Huuhtoutuneestakin kalkista suurin osa hajoaa hiilidioksidiksi vesien neutraloitumisreaktioissa. Neutraloinnissa vapautuva hiilidioksidi, noin 450 kg kalkkitonnia kohden (IPCC 1997) otettiin mallissa huomioon. Ammoniumtyyppiä arvioitiin haihtuvan ilmaan tyypinä 0,5 prosenttia sijoituslevitetyn lannoitteen tyyppistä (esim. Grönroos ym. 1998). Työkoneiden ja kuivurin ilmapäästölaskelmien perusteet on kuvattu kohdassa 3.4.1.3.

3.4.2 Teollisten rehuseosten ja muiden kuin viljaraaka-aineiden valmistus

Tiloille ostettavien rehuseosten valmistusketjut selvitettiin viljanviljelyn panosten tuotannosta valmiiksi rehuiksi. Viljojen kuljetuksia rehutehtaalle ja rehuseosten kuljetuksia tiloille kuvaavat malli perustuivat Suomen Rehun tietoihin keskimääräisistä reiteistä, lasteista ja ajoneuvoista. Rehujen koostumustiedot perustuivat Suomen Rehun tuoteresepteihin ja niissä eroteltiin broilerien täysrehut (I-III), emohaudonta-, esihaudonta-, emokasvatus- ja emostarttirehut. Broilerien rehut koostuivat pääasiassa vehnystä, kaurasta ja soijasta. Emojen rehuissa oli lisäksi myös mm. ohraa. Rehujen raaka-aineiden tuotantoketjujen ympäristökysymykset selvitettiin aina panosten tuotannosta ja viljelystä alkaen. Rehujen raaka-aineina käytetään myös teollisuuden sivutuotteita. Nämä sivutuotteet oletettiin ns. nollavirroiksi. Esimerkiksi viljan jalostamisessa jauhoksi syntyy teollisen rehun raaka-ainetta viljan kuorintavaiheessa mutta tällaisten prosessien ympäristökuormitus kohdennettiin kaikki päätuotteelle.

Raaka-aineketjuista soijan viljelyketjua ei selvitetty yhtä yksityiskohtaisesti kuin kotimaisia viljaketjuja. Soijan päätuotantoalueita ovat Yhdysvallat ja Brasilia. Soijan viljelyketjun osalta tutkimuksessa vertailtiin kirjallisuuslähteitä (Cederberg 1998, Cederberg & Darelus 2000, Kulay & Silva 2005, Miller & Theis 2006), joista koostettiin mahdollisimman ajanmukainen kuva soijan tuotannosta. Tietoja täydennettiin panosten käytön ympäristöprofiililla sekä laivakuljetuksella Suomeen. N_2O - ja NH_3 -päästöt pellolta mallinnettiin samalla periaatteella kuin kotimaisten viljojen osalta kohdassa 3.4.1.6. Suurin epävarmuus tiedoissa liittyy ravinnehuuhtoumien arviointiin ja niiden perusteisiin; huuhtouma-arviot otettiin Kulayn & Silvan (2005) artikkelista, kuten myös panostenkäyttömäärät. Soijan huuhtoumien osalta ei saatu varmuutta,

kuvaavatko ne esimerkiksi taseen ylijäämää, huuhtoumaa vai rehevöittävää huuhtoumaa. Lisäksi soijan tuotantoalueen rehevöittävien vesistö päästöjen alueellinen merkitys saattaa olla hyvinkin erilainen kuin Suomessa. Energian- ja polttoaineenkulutustiedoissa Cederbergin (1998) ja Millerin & Theisin (2006) tiedot olivat hyvin lähellä toisiaan, ja ne arvioitiin muutenkin parhaimmiksi, joten niistä laskettuja energiankäyttökieskiarvoja käytettiin.

Teolliset rehut sisältävät viljan ja soijan lisäksi myös jonkin verran muita raaka-aineita, kuten kivennäisaineita, aminohappoja, vitamiineja jne. Näiden tuotantoketjuja ei tutkimuksessa lähdetty yksityiskohtaisesti selvittämään. Edellä luetellut ainekset on laskelmissa käsitelty kivennäisinä, mihin tiedot saatiin Suomen Rehun teettämästä opinnäytetyöstä (Eronen 1995).

Rehujen raaka-aineet jauhetaan, sekoitetaan, lämpökäsitellään ja puristetaan raemuotoon rehutehtaalla. Valmistuksen tiedot laskettiin Suomen Rehun tiedonantojen perusteella. Broilerin rehujen valmistustietoihin sisältyi prosessissa tarvittavan sähkön ja höyryn tuotanto, jätteet ja syntyneet sivuvirrat.

Soijarouheen jalostus selvitettiin Raision kasviöljytehtaan tuotantoprosessin mukaisesti. Prosessissa raaka-aineet rouhitaan, hiutaloidaan ja lämmitetään, minkä jälkeen soijaöljyä saadaan uuttamalla. Soijarouheen valmistustietoihin sisältyi prosessissa tarvittavan sähkön ja höyryn tuotanto, jätteet ja syntyneet sivuvirrat. Ympäristökuormituksen kohdentamiselle rouheen ja öljyn valmistuksen välillä ei ole olemassa yhtä ainoaa selvästi oikeata tapaa. Laitoksen ja prosessin lähtökohtana on alun perin ollut kasviöljyn tuottaminen, ja uuttaminen tehtiin nimenomaan öljyn erottamiseksi. Kuitenkin prosessin molemmat osat ovat tärkeitä toisilleen. Näin ollen kohdentamisessa päädyttiin lopulta käyttämään taloudellista arvoa, soijarouheen ja -öljyn vuoden 2005 markkinahintakeskiarvoja.

3.4.3 Lannoitteiden ja kalkin valmistus ja kuljetus

Lannoitteiden valmistuksen mallissa on huomioitu kaikki käsittely-, siirto- ja kuljetusvaiheet primääriraaka-aineiden hankinnasta valmiiksi tuotteiksi. Myös lannoitteiden toimituksiin käytettyjen suursäkkien valmistus raaka-aineineen (Plastics Europe 2006) sisältyy malliin vastaavasti. Lannoitteiden tuotantoketjun tiedot on saatu kotimaiselta lannoitevalmistajalta (Kemira Growhow Oy, tiedot vuodelta 2002 ja tarkennukset 2005 tuottajan omien tehtaiden osalta) muodossa, joka sisältää luonnonvarojen ja primäärienergian kulutuksen sekä aiheutuneet päästöt yleisimmille lannoitetuotemerkeille (Y1, Y3, Y4, Y5 ja Suomensalpietari). Tiedot perustuivat pääosin vuosina 1996–2000 eri prosessivaiheista kerättyihin tietoihin. Tietojen luotettavuus oli vaihtelevaa ja virheiden eliminoimiseksi muodostettiin ko. tiedoista yhden edustavan lannoitetyypin keskimääräinen ekoprofiili. Kyseisessä lannoitteessa olisi typpeä 20 prosenttia. Lannoitteiden valmistusketjun keskeisimmät ym-

päristövaikutukset aiheutuvat typpihapon ja sen eri vaiheiden tuotannosta (maakaasu, ammoniakki, typpihappo), minkä vuoksi viljojen lannoituksen typpimääriä käytettiin suhteuttamaan se tähän valittuun lannoitetyyppiin. Lannoitteet toimitetaan tiloille suursäkeissä. Lannoitteiden kuljetuksia tiloille kuvaava malli perustuu arvioon keskimääräisestä reitistä ja ajoneuvosta.

Maanparannuskalkin valmistuksen osajärjestelmämalli kattaa vaiheet louhinnasta jauhetuksi kalkiksi. Sen yksikköpanos- ja -tuotostiedot perustuvat kotimaisen tuottajan ilmoitukseen (Nordkalk Oy, tiedot vuodelta 2002). Polttoaineen käyttömäärä, jota alkuperäisessä aineistossa ei ollut mukana, on arvioitu annettujen CO₂-päästöjen perusteella olettaen, että päästöt ovat kokonaisuudessaan dieselkäyttöisistä työkoneista lähtöisin. Maanparannuskalkki toimitetaan tiloille täysperävaunulla. Kuljetuksia tiloille kuvaava malli perustuu arvioon keskimääräisestä reitistä ja ajoneuvosta.

3.5 Broilerin kasvatusta ja kuljetusta jalostukseen

Tiedonhankinta broilerin kasvatusta prosessista perustui HK Ruokatalon kirjanpitoon sopimustuottajien rehun- ja vedenkulutuksista sekä tuotetuista teuraskiloista ja tuotantohävikistä vuoden 2004 tilanteen mukaan. Tiloilla kasvatettiin 6–6,5 broilerierää vuodessa. Keskimääräinen kasvatusaika oli 38 päivää, ja kasvatusta lopussa keskimääräinen elopaino oli noin 1,9 kiloa. Hallija-eräkoossa oli isoja eroja tuottajien välillä. Kirjanpitoaineistoa täydennettiin kyselyllä, joka lähetettiin joukolle HK Ruokatalon sopimustuottajia. Vastauksia kyselyyn saatiin 16 tuottajalta ja tietoja varmennettiin ja tarkistettiin vielä jälkepäin yhdessä tuottajien kanssa puhelimitse ja tilakäynneillä. Lisäksi kesällä 2006 pidettiin MTT:llä tilaisuus, johon kyselyyn osallistuneet tuottajat kutsuttiin kuuntelemaan ja keskustelemaan tiedonkeruusta ja sen toteutuksesta sekä hankkeen tuloksista.

Kasvattajilta saatiin yksityiskohtaiset sähkö- ja polttoaineiden käytön tiedot. Kevyt polttoöljy oli yleisin polttoaine (yli 70 % tuotetusta lämpöenergiasta) kasvattamon lämmön tuottamiseen. Eri polttoaineiden polton ja hankintaketjujen päästötiedot perustuivat Tilastokeskuksen ILMARILASKENTAJÄRJESTELMÄÄN ja Suomen ympäristökeskuksen ilmapäästötietojärjestelmään pienkattilapoltoista. Öljyketjua koskeva aineistot on esitetty kohdassa 3.11. Hakkeen ja pellettien puuraaka-aineen oletettiin syntyvän puunkäsittelyn sivutuotteena, eikä laskelmiin siten sisällytetty niiden hankintaketjuja. Tiedonkeruun yhteydessä saatiin myös arvio broilerihävikin käsittelyyn tarkoitettujen uunien öljyn kulutuksesta. Laskennassa oletettiin kaikkien tilojen hävittävän broilerihävikkinsä itse uunissa polttamalla, vaikkakin osa tiloista edelleen toimittaa hävikkinsä poltettavaksi tähän tarkoitettuun polttolaitokseen. Useat kasvattajat käyttivät ulkopuolisia urakoitsijoita kasvattamon pesuun. Jätevedenkäsittelytapa tiloilla vaihteli. Yleisimmin jätevedet kerättiin umpisäiliöön ja levitettiin pellolle, tai vedet johdettiin sakokaivojen kautta

oiaan ja sakokaivoliete levitettiin pellolle. Jäteveden käsittelytavasta riippuen osa pesuvesistä päätyy pintavesiin

HK Ruokatalon tilojen kirjanpidon mukaan broileri kuluttaa noin 2,4 kiloa rehua elinaikansa. Aineistojen kokonaisrehumäärät jaettiin eri rehutyyppiin (täysrehu I–III ja oman viljan käyttö) tilavastausten perusteella. Tämän mukaan tilojen oman viljan osuus oli tarkasteluvuonna noin neljä prosenttia lopun koostuessa täysrehuista I–III suhteessa 11–63–26 prosenttia.

Broilerin kuljetukset kasvattajien ja teurastamon välillä mallinnettiin HK Ruokatalolta saatujen keskimääräisten kuljetusprofiilitietojen avulla. Käytetyt kuljetustiedot sisälsivät kaikkia HK Ruokatalon sopimustiloja koskevat keskimääräiset kuormakomponenttien massat, kuljetusmatkojen pituudet ja niitä vastaavat suoritemäärät, sekä kuljetusajoneuvoihin liittyneitä muita tietoja. Matkojen mallinnuksessa hyödynnettiin lisäksi tietoja kuljetetuista massakilometreistä sekä meno-paluuajosuoritteiden eroista.

3.5.1 Lämmitysenergian kulutuksen laskenta

Kasvattamoiden vuoden 2004 energiankulutus selvitettiin yhteensä 16 kasvattamolle suunnatulla haastattelulla ja täydentävillä kyselyillä. Teuraskiloa kohti laskettu lämmitysenergian kulutus oli koko aineistossa keskimääriin 4,7 MJ. Broileritiloilta saadussa lähtöaineistossa oli kuitenkin huomattavaa vaihtelua, jota tarkemmilla tiedusteluilla pystyttiin hieman pienentämään. Vaihtelurajoiksi jäi kuitenkin 3,4 – 5,9 MJ/teuraskilo. Vaihtelua selittivät mm. polttoaineen käyttö muuhunkin kuin kasvattamoiden lämmitykseen ja vuodenvaihteen varastojen vaihtelu, jota ei tiedustelussa pystytty selvittämään. Vastaavasti teuraskiloa kohti lasketussa sähkönkulutuksessa oli vaihtelua. Sähkönkulutuksen keskiarvo oli 0,68 MJ/teuraskilo vaihteluvälin ollessa 0,29–1,26 MJ/teuraskilo.

Lämmitysenergian kulutustulosten varmentamiseksi ja aineistossa ilmenneen vaihtelun lähteiden selvittämiseksi laadittiin taulukkolaskentaohjelmajainen malli kasvattamon ilmanvaihdolle ja lämmitykselle. Mallilla pyrittiin myös arvioimaan tuotantotekniikan muutoksien (eläintiheys, kasvatusaika, poistoilman lämmönvaihdin) vaikutuksia lämmitysenergian kulutukseen. Mallissa käytetyt laskentakaavat on esitetty liitteessä 1.

Laskentamalli laadittiin yhdelle kasvattamolle, jonka mitat olivat 45 m * 17 m ja sisäkorkeus 3,5 m, siis noin 15000 broilerille tarkoitettu kasvattamo. Lämmönläpäisykertoimenä yläpohjalle ja lattialle käytettiin arvoa 0,20 W/m²K, seinille 0,28 W/m²K. Säätilatietoina (lämpötila, suhteellinen kosteus) käytettiin Kokemäen vuosien 1970–2005 keskiarvotietoja.

Kasvattamon lämpötila nostettiin päivää ennen untuvikkojen tuloa 33 °C:een ja neljäntenä kasvatuspäivänä lämpötilaa pudotettiin 0,5 °C päivässä kunnes saavutettiin 20 °C taso, joka pidettiin kasvatusajan loppuun asti. Kasvatuserien välissä kasvattamon lämpötila pidettiin 18 °C:ssa. Kasvattamon sisäilman suhteellinen kosteus pyrittiin pitämään seuraavan taulukon mukaisena. Poikkeuksena oli heinä–elokuun kasvatuserä, jolloin kosteuden sallittiin nousta, kuten taulukosta 4 ilmenee.

Taulukko 4. Sisäilman suhteellinen kosteus eri vuodenaikoina broilerikasvattamon energiankulutuksen laskentamallissa.

	Viikko 1	Viikko 2	Viikko 3	Viikko 4	Viikko 5	Viikko 6	Viikko 7
muut erät	50	55	60	65	70	70	70
heinä–elokuu	55	60	70	75	80	80	80

Untuvikkojen määrä laskettiin ottaen huomioon koko kasvatusajan kuolleisuus, kasvatusaika ja eläintiheys. Untuvikkojen päivittäisenä kasvuna käytettiin HK Ruokatalon aineistoa.

Laskentamallissa lintujen lukumäärän ja painon perusteella laskettiin lämmön-, kosteuden- ja hiilidioksidin tuotanto. Tavoitteena olevien sisäilman ominaisuuksien ja säätietojen avulla mallissa laskettiin ilmanvaihtotarpeet em. tekijöiden suhteen ja ilmanvaihto määräytyy suurimman tarpeen perusteella. Lintujen tuottaman lämpömäärän, sisä- ja ulkoilman ominaisuuksien, rakenteiden läpi tapahtuvien lämpöhäviöiden ja ilmanvaihtomäärän perusteella laskettiin lämpötasapaino ja tarvittava lisälämmitys.

Laskentamallin tuottama energiankulutus teuraskiloa kohti oli nykyisin käytössä olevalla tuotantomenetelmällä 4,2 MJ, joka on jonkin verran tila-aineistosta laskettua keskiarvoa pienempi. Poikkeaman syytä ovat ainakin mallin tila-aineistoa pienempi vuotuinen erämäärä (mallissa 6 erää, tila-aineistossa noin 6,5 erää) ja mallin aineistoa hieman suurempi lintutiheys.

Taulukko 5. Broilerikasvattamon energiankulutuksen laskentamallin mukainen lämmitysenergian kulutus kasvatusstiheyden vaihdellessa.

Lintutiheys kg/m ²	MJ/teuraskilo
42	4,2
38	4,4
30	5,0

Sisäilman sallittu suhteellinen kosteus vaikuttaa voimakkaasti lämmitysenergian kulutukseen jolloin mallin poikkeaminen käytännöstä johtaa helposti eroavuuksiin. Mallin tuottama tulos on kuitenkin niin lähellä haastatteluai-
neiston keskiarvotulosta, että tuotantomenetelmien muutoksien vaikutuksia

lämmitysenergian kulutukseen voidaan arvioida varsin luotettavasti (taulukko 5 ja 6).

Taulukko 6. Broilerikasvattamon energiankulutuksen laskentamallin mukainen lämmitysenergian kulutus kasvatustiheyden vaihdellessa lämmön talteenoton hyötösuhteen ollessa 10 %.

Lintutiheys kg/m ²	MJ/teuraskilo
42	2,7
38	2,9
30	3,3

3.5.2 Ammoniakkipäästöjen laskenta

Broileritilojen ammoniakkipäästöjen arviointi tehtiin pääasiassa olemassa olevan koti- ja ulkomaisten ammoniakkipäästömittaustulosten (CORPEN 1996, Elwinger ja Svensson 1996, Groot Koerkamp ja Ueng 1997, Wathes ym. 1997, Groot Koerkamp ym. 1998, Demmers ym. 1999, Rodhe ja Karlsson 2002, Ojala ja Reinikainen 2004, Webb ja Misselbrook 2004, Arnold ym. 2006, Guiziou ja Beline 2005, Hayes ym. 2005, Hyde ym. 2005) ja hankkeessa mukana olleiden viiden esimerkkitalan lannankäsittelytietojen sekä asiantuntija-arvioiden pohjalta. Tarkastelu kohdennettiin kasvattamoon ja kuivikelannan varastointiin ja peltolevitykseen.

Tila-aineiston pohjalta arvioituna lannasta 65 prosenttia toimitetaan suoraan Biolan Oy:lle jatkokäsiteltäväksi. Biolanilla käsitellään kuitenkin vuosittain runsaat 20 000 kuutiota lantaa. HK Ruokatalon sopimustiloilla lantaa syntyy vuosittain runsaat 60 000 kuutiota, minkä mukaan peltoviljelyn ulkopuolelle toimitettavan lannan osuus olisi runsas kolmannes. Tässä tarkastelussa osuutena käytetään 35 prosenttia. Loppuosa lannasta (65 %) levitetään joko tilan omille tai toisen tilan pelloille. Levityksen jälkeen pelto mullataan 10 tunnin sisällä levityksestä äestämällä. Peltokäyttöön tarkoitettua lantaa varastoitiin tilalla keskimäärin kahden viikon ajan kattamattomissa aumoissa. Esimerkkituloille päästöt laskettiin käyttämällä kasvatusvaiheen osalta samaa eläinpaikkakohtaista kerrointa kaikilla tiloilla (0,15 kg NH₃/eläinpaikka/vuosi). Kerroin on sama kuin mikä on oletuskertoimena YK:n kaukokulkeutumissopimuksen raportointiohjeissa broilerien hallikasvatukselle (EEA 2004). Aumavarastoinnissa oletettiin haihtuvan ammoniakkina 7 prosenttia varastoitavan lannan tyyppistä. Levityksen jälkeisen typpitappion suuruudeksi arvioitiin 30 prosenttia pellolle levitetyn lannan ammoniumtyyppistä. Keskimääräiseksi koko lannankäsittelyketjua kuvaavaksi ammoniakkipäästökertoimeksi saatiin 0,18 kg NH₃/eläinpaikka/vuosi.

Ammoniakkipäästöarviota lähestyttiin myös ruokinnan ravinnetaselaskelmien ja lanta-analyysitietojen pohjalta. Rehunkulutustiedot saatiin tilakohtaisesta

aineistosta, täysrehujen (I–III) ravinnepitoisuudet saatiin suoraan rehunvalmistajalta ja viljan ravinnepitoisuudet ovat rehutaulukoista (Tuori 1996). Lintuun sitoutuneen typen määrää lähestyttiin MTT:llä tehtyjen linnun typpipitoisuusanalyysien pohjalta (Valaja 2005, henkilökohtainen tiedonanto, perustuu Perttilä ym. 2002), joiden mukaan broilerin keskimääräinen kuiva-aineen typpipitoisuus on 92,3 g N/kg ka, ja kuiva-ainepitoisuus 32,03 prosenttia. Tällöin linnun typpipitoisuus on 2,96 prosenttia tuorepainosta lasketuna.

Rehussa teurastettua lintua kohti annettu typpimäärä 14 esimerkkituloilla oli 0,10 kg N/lintu (0,08 – 0,11). Esimerkkituloilla keskimääräinen lintuun sitoutunut typpimäärä oli 0,0577 kg, ja typen hyväksikäyttöprosentti vaihteli välillä 53 – 68 (eläinmäärällä painotettu keskiarvo 57 %). Lantaan päätyvä typpimäärä oli keskimäärin 0,044 kg/lintu. Käytettäessä lintupaikan vuodessa tuotaman lannan määränä taulukkoarvoa (0,015 m³ lantaa vuodessa, VnA 931/2000) tai tuottajien omia ilmoituksia vuoden aikana syntyvästä lantamäärästä, saadaan suunnilleen samanlaiset vaihteluvälit tuoreen lantakuution sisältämän typen suhteen: 13 – 23 kg N/m³ lantaa, (md 18, ka 18).

Broilerinlannan ravinnepitoisuustarkasteluissa on käytetty Biolan Oy:ltä (Haukioja 2005, kirjallinen tiedonanto) saatuja tietoja broilerin kuivikelannan ravinnepitoisuuksista, Puumalan ja Sarinin (2000) aumakompostointikokeen yhteydessä tehtyjä analyysituloksia, Viljavuuspalvelun analyysiyhteenvetoja (Viljavuuspalvelu 2005), ympäristötuen lannoitusmääräysten ehtoissa noudatettavia ns. taulukkoarvoja lannan ravinnesisällöstä (MMM 2005) ja tuottajien omia analyysituloksia. Näiden pohjalta lannan kokonaistyppipitoisuus ennen peltoon levitystä tai muuta käsittelyä on keskimäärin 9 kg/m³ (vaihteluväli 5–12) Haihtuneen typen määräksi (pääasiassa kasvatusvaiheen aikana haihtuvaa typpeä) saadaan noin 9 kg/m³ lantaa. Jos sen oletetaan olevan pääasiassa ammoniakkia – Guizioun ja Belinen (2005) mukaan ei kasvatusvaiheessa havaittu N₂O pitoisuuksia kasvattamon ilmassa – on haihtuvan ammoniakkin määrä lantakuutiota kohti 11 kg. Eläinpaikan vuotuisen lantamäärän ollessa noin 0,015 m³ on eläinpaikkaa kohti haihtuvan ammoniakkin määrä vuodessa 0,16 kg (vaihteluväli 0,10 – 0,19), mikä ei vielä sisällä levityksen jälkeen haihtuvaa ammoniakkia.

Mittaustulosten ja ruokinnan ravinnetaselaskelman kautta laskettuna päädytään hyvin samaa suuruusluokkaa oleviin ammoniakkipäästöarvioihin. Täten päästöarviona käytetään edellä esitettyä mittaustuloksiin perustuvaa arviota 0,18 kg NH₃/eläinpaikka/vuosi. Samaa arvoa käytetään paremman tiedon puuttuessa myös nuorikoille ja emolinnuille.

3.5.3 Turvekuivikkeen valmistus

Kuiviketurve on vähän maatonutta, vaaleaa rahkaturvetta. Huokoisen ja ilmavan rakenteensa ansiosta yksi kuutiometri turvetta sitoo 500–800 litraa nesteitä. Se sitoo tehokkaasti myös ravinteita, kuten ammonium-, kalium-, kalsium- ja magnesiumioneja sekä luontaisen happamuutensa ansiosta kaasuja, kuten ammoniakkia ja rikkivetyä. Lisäksi kuiviketurve estää monien haitallisten bakteerien kasvua ja leviämistä.

Kuiviketurpeen raaka-aine hankitaan irrottamalla turvetta jyrsimällä. Irrotettu turve jätetään kuivumaan suolle 2–3 viikoksi. Kuivatuksen päättyessä turpeen kosteus on noin 40 prosenttia. Kuivumista tehostetaan kääntämällä turvetta 2–3 kertaa äkeellä. Kuivattu turve varastoidaan. Jalostus tuotteeksi jatkuu seulonnalla ja pakkaamalla pienpaaleiksi. Isommat erät toimitetaan irtotavarana. Turpeen irrotuksen ja käsittelyyn liittyvien ympäristövaikutusten lisäksi on huomioitu tuotannon jälkeinen metaanipäästöjen vähentymä luonnonmukaiseen suohon verrattuna. Tuotantotiedot perustuvat Mälkin ja Frilanderin (1997) julkaisuun.

3.5.4 Tainnutus- ja pakkauskaasujen valmistus

Broilieriin tainnutukseen käytettävät hiilidioksidi- ja happikaasujen sekä pakkauskaasuna käytettävien typen ja hiilidioksidin kuljetusprofiilin- ja valmistustiedot saatiin Agalta.

3.6 Broilieriin teurastus ja jalostus hunajamarinoituiksi fileesuikaleiksi

Tiedot broilieriin teurastuksesta ja broilieriinlihatuotteiden valmistuksesta perustuvat HK Ruokatalon Euran tehtaan todellisiin prosesseihin ja ne on koottu HK Ruokatalon omista tiedoista sekä varta vasten tutkimusta varten tehdyistä mittauksista tehtaalla. Järjestelmämallinnuksen perusteena olivat tehtaan läpi virtaavat raaka-aine-, tuote- ja sivuvirtamassat. Nämä massataselaskelmat perustuvat HK Ruokatalon tuotannonseurantatietoihin. Koska tehdas tuottaa sekä luullisia että luuttomia tuotteita, laskettiin myös tuotteiden lihapitoisuus.

Energiankulutuksen ja jäteveden osalta tehdasta pyrittiin pilkkomaan pienemmiksi prosesseiksi, joiden sähkön-, lämmön- ja vedenkulutus pystyttiin mittaamaan tai laskemaan teoreettisesti. Vastaavasti määritettiin tainnutus- ja pakkauskaasujen käyttömäärät eri vaiheissa. Prosessien panosten jyvittämisessä käytettiin lisäksi HK Ruokatalon omia asiantuntija-arvioita. Energian- ja vedenkulutukset jyvitettiin broilieriin fileesuikaleille osaprosesseittain. Jyvitykset tehtiin tuotteille niiden teoreettisen lihapitoisuuden perusteella. Näin

luullisia ja luuttomia tuotteita kohdeltiin tasapuolisesti niiden tosiasiallisen lihamäärän mukaisesti, ei tuotteen massan mukaisesti.

Tuotantolaitokselta lähtevien pakattujen tuotteiden tarvitseman broilerin tuotantomäärän laskentaan vaikuttivat teurastusvaiheen hävikit, teuraspainosta määritetty teoreettisesti saatavilla olevan lihanmäärä, hävikit tuotteiden valmistamisessa, marinoinnin resepti ja suolauksessa tuotteeseen sitoutuvan suolalaukan määrä.

Tehtaan oman lämmöntuotannon ilmapäästöiksi käytettiin HK Ruokatalon omia tietoja päästöistä, joita vertailtiin tyypillisiin öljykattiloiden päästötietoihin (Fortum Oil & Gas Ekotasetiedote 2002a). Jätevesipäästötiedot perustuvat tehtaan käyttämän puhdistamon JVP-Euran tietoihin jätevedenpuhdistamolta lähtevän veden pitoisuuksista.

3.7 Marinadin raaka-aineiden valmistus

Marinadin yksi keskeinen raaka-aine on rypsiöljy. Lisäksi siinä on mm. vettä, etikkaa ja mausteita.

3.7.1 Rypsiöljyn tuotanto

Rypsin viljelyn mallinnukset tehtiin samoin perusoletuksin ja menetelmin kuin mitä oli käsitelty rehuviljan viljelyn ja kuivaamisen osalta. Myös ravinehuhtoumat vesiin ja pellon ilmapäästöt laskettiin samoilla yhtälöillä (kohdasta 3.4.1). Mallinnuksen lähtöaineistoksi hankittiin ProAgria Maaseutukeskusten liitosta lohkopankkiaineistot rypsin viljelystä vuosilta 2002–2004. Hyväksytyyn aineiston tyypilannoitteen käyttömäärä oli noin 105 kg/ha ja fosforin 13,5 kg/ha. Keskisato oli n. 1400 kg/ha. Kalkin keskimääräisenä käyttömääränä lohkoilla käytettiin n. 700 kg/ha vuodessa kohdan 3.4.1 mukaisesti. Keskimääräinen tyypitase rypsihehtaarille oli 58,7 kg ja fosforitase 2,7 kg. Peltomaan viljavuusfosforin pitoisuus oli keskimäärin 11,9 mg/l. Lähtötietojen ja luvussa 3.4.1 esitettyjen huuhtoumien arviointimenetelmien pohjalta laskettu typpihuhtouma oli 14,4 kg N/ha ja 0,56 kg liukoista P/ha. Torjunta-aineiden käyttö rypsinviljelyssä on esitetty taulukossa 1. Rypsin kuljetuksia jalostukseen kuvaava malli perustui Raision tietoihin aluekohtaisista keskimääräisistä reiteistä, lasteista ja ajoneuvoista.

Rypsin jalostus selvitettiin Raision kasviöljytehtaan ja raffinointilaitoksen tuotantoprosessin mukaisesti. Kasviöljytehtaalla raaka-aineet rouhitaan, hiutaloidaan ja lämmitetään, minkä jälkeen osa rypsiöljystä saadaan esipuristamalla ja loput uuttamalla. Uutosta saatu rypsirouhe paahdetaan ja kuivataan, ja öljy tislataan. Raffinoinnissa raakaöljystä valmistetaan valmista rypsiöljyä prosessissa, johon kuuluu öljyn neutralointi, valkaisu, esteröinti ja kuuminen. Kasviöljytehtaan ja raffinoinnin osalta malliin sisältyi prosessissa tarvit-

tavan sähkön ja höyryn tuotanto, jätteet sekä raffinoinnissa piimaan ja apukemikaalien käyttö sekä piimaajäte.

Kasviöljytehtaassa samassa prosessissa tuotetaan sekä soija- että rypsi tuotteita ja niiden välinen allokointi tapahtui Raision asiantuntemukseen perustuen. Ympäristökuormituksen kohdentamiselle rypsirouheen ja -öljyn valmistuksen välillä ei ole olemassa yhtä ainoaa selvästi oikeata tapaa. Kasviöljytehtaan prosessin lähtökohtana on alun perin ollut kasviöljyn tuottaminen, ja uuttaminen tehtiin nimenomaan öljyn erottamiseksi. Kuitenkin prosessin molemmat osat ovat tärkeitä toisilleen. Näin ollen kohdentamiseen päädyttiin lopulta käyttämään taloudellista arvoa, rypsirouheen ja -öljyn vuoden 2005 markkinahintakeskiarvoja.

Raffinointilaitoksessa valmistetaan useista erityyppisistä raaka-aineista erilaisia tuotteita ja puolivalmisteita. Panosten jyvitysten perusteena oli laitoksen oma kirjanpito sisään tulleista raaka-ainemassoista ja uloslähteneistä tuotteista. Tietoja tarkennettiin useaan otteeseen yhdessä Raision raffinoitiasiantuntijoiden kanssa, ja muodostettiin laitoksen massatase. Myös energian- ja apuaineiden kulutustiedot perustuivat raffinointilaitoksen omaan kirjanpitoon, jota täydennettiin lisäkyselyin Raisio Yhtymän yhtymäpalveluista. Eri tuotteet käyvät raffinointiprosessissa läpi eri vaiheita. Veden ja materiaalien kulutus kuuluvat lähinnä neutralointiprosessiin ja siksi ne jyvitetiin ainoastaan neutraloitaville tuotteille. Energiankulutus jyvitetiin massataseen perusteella kaikille tuotteille. Jätevesipäästötiedot perustuivat tehtaan käyttämän puhdistamon keskimääräisiin reduktiomääriin. Rypsiöljyn kuljetusta kuvaava malli perustui Raision tietoihin reitistä, lastista ja ajoneuvosta.

3.7.2 Muut marinadin raaka-aineet

Suolalaukassa ja marinadissa olevan suolan hankinnan ja jalostuksen osalta käytettiin kirjallisuustietoa (Plastics Europe 2006).

3.8 Pakkauksien valmistus

3.8.1 Kuluttajapakkaus

Tutkittu broilerin fileetuote pakataan suojakaasuun polypropeenirasiaan, johon tulee kanneksi hyvät barrier ominaisuudet omaava monikerros laminaatti. Rasian ja kansimateriaalin valmistustiedot saatiin niiden tuottajilta (Huhtamäki, Avanspack ja Flexipack). Pakkausten ja pakkauskalvojen valmistusprosessien tiedot perustuivat arvioihin tuotekohtaisesta energiankulutuksesta ja tuotantohävikistä tai tuotantolaitoksen vuositilastoista määritettyihin vastaaviin keskiarvotietoihin. Muoviraaka-aineiden valmistustietoina käytettiin kirjallisuustietoa (Plastics Europe 2006). Kuluttajatuotteita pakataan kolmeen

eri rasiakokoon, joiden osuuksia painotettiin toiminnallista yksikköä kohti myyntivolyymien suhteessa.

3.8.2 Kuljetuspakkaukset

Broilerinlihan muovisten kuljetuslaatikoiden tuotanto otettiin tutkimuksessa huomioon siltä osin kuin niitä häviää kierrossa. Laatikoiden hävikkitieto perustui Transbox Oy:ltä saatuihin tietoihin laatikoiden keskimääräisestä käyttökertojen lukumäärästä koko käyttöiän aikana. Kuljetuslaatikoiden raaka-aineiden valmistustietoina käytettiin kirjallisuustietoa (Plastics Europe 2006). Puset kuormalavat oletettiin täysin kiertäviksi, eikä niiden valmistusta siksi otettu huomioon tutkimuksessa.

3.8.3 Varastointipakkaukset

Tuloksissa pakkauksiin sisällytettiin myös tuotteiden valmistuksen yhteydessä tapahtuvan välivarastoinnin pakkausten valmistus. Välivarastoinnissa käytetään muovipussien ja aaltopahvilaatikoiden yhdistelmää. Muovipussien valmistustiedot saatiin tuottajilta ja raaka-aineiden valmistustiedot muovituottajien keskusjärjestöstä (Plastics Europe 2006). Aaltopahvin valmistuksen tiedot perustuivat Suomen Aaltopahviyhdistyksen teettämään elinkaariselvitukseen (Hohenthal & Wessman 2003, kirjallinen tiedonanto). Aaltopahvien kierrätystä käytön jälkeen hylsykartongiksi ei hyvitetty kohteena olleelle broilerituotteen tuotantoverkolle.

3.9 Tuotteiden valtakunnallinen jakelu

Jakelun mallintamisessa pyrittiin kuvaamaan tuotteen valtakunnallista jakelua. Jakelun profiilin määrittäminen tehtiin yhteistyössä HK Ruokatalon kuljetuspalvelujen toimittajien sekä Ruokakeskon ja Keslogin (kirjalliset tiedonannot, 2006) asiantuntijoiden kesken. Tuotteet kuljetetaan HK Ruokatalon Euran pakkaamosta/varastosta Vantaalla sijaitsevalle päävarastolle, jossa tehdään tuotteiden keräily ja lähetykset eteenpäin. Osa tuotteista lähtee suora-jakeluna lähialueille ketjun kauppoihin. Loput tuotteista siirretään runkokuljetuksina alueterminaaleihin. Runkokuljetukset Eurasta Vantaalle ja Vantaalta alueterminaaleihin tapahtuvat HK Ruokatalon toimesta. Keslogin hallinnoiman jakelun osalta puolestaan kultakin alueelta valittiin tyypilliset keskimääräiset jakelureitit, jotka kuvaavat kaupunki- ja maaseutujakelua. Kaikissa osakuljetusmatkoissa käytettiin yksityiskohtaisia kuormausasteita. Kaluston ikänä käytettiin Keslogin ja muiden kuljetusyritysten ilmoittamia tietoja. Määritettyjen kuljetus- ja jakeluaajoprofiilien avulla laskettiin VTT:n LIISAMallin yksikköpäästöjä (<http://www.vtt.fi/rte/projects/lipasto/index.htm>) hyödyntäen koko jakelulogistiikan polttoaineenkulutus ja päästöt. Laskennassa otettiin huomioon myös paluukuljetukset sekä kuljetuspakkausten palautukset

ja muovisten kuljetuslaatikoiden peseminen eli käytännössä lämpimän pesuveden tuotanto. Logistisen ketjun häviöt otettiin huomioon huomioitaessa toiminnallista yksikköä kohden tarvittavaa lihamäärää.

3.10 Säilytys ja myynti vähittäiskaupassa

Vähittäiskauppojen kautta tapahtuva tuotteiden myynti mallinnettiin Keskon vähittäistavaraliikkeiden tiedoilla. Energiankulutuksessa vähittäiskauppojen osalta huomioitiin takahuoneiden pienimuotoinen säilytys tuotteiden saapuessa liikkeisiin, sekä myyntihyllyissä tapahtuva tuotteiden varsinainen säilytys. Tarkastelussa keskityttiin vähintään sadan neliömetrin kokoisten K-markettien, K-supermarkettien ja City-markettien kautta tapahtuvaan säilytykseen ja myyntiin. Näiden vähittäisliikkeiden kokoluokkien kautta myydään selvä enemmistö kaikista Kariniemen hunajamarinoituista broilerin fileesuikaleista. Tarkastelussa tuorelihan säilytykseen valittiin yleisin kylmähylytys. Keskimääräinen energiankulutus laskettiin tämän tiedoilla myytyjä tuotekiloja kohti. Myyntitietoina käytettiin vuoden 2005 lukuja kaikille tuorelihaan sisällyville siipikarjatuotteille. Tarkastelua ei pystytty riittävällä tarkkuudella rajaamaan ainoastaan hunajamarinoituun broilerin fileesuikaleeseen. Tästä syystä lihahyllyjen energialuvut ovat laajennettavissa myös muille Keskon kautta myytävälle tuoreille siipikarjatuotteille. Tämän ansiosta tuloksia voidaan suoraan käyttää myös kuvaamaan tietuontyyppisen broilerituotteen kokonaisympäristövaikutuksia Mittatikkuesitystavan mukaisesti (4.3.2) vähittäiskauppatyypistä riippumatta. Vähittäiskaupasta arvioitiin tuotteiden keskimääräinen hävikki perustuen Ruokakeskon ja HK Ruokatalon kirjallisiin tiedonantoihin. Syntynyt tuotehävikki kompostoidaan, mistä syntyvät kaasumaiset päästöt sisällytettiin tutkimukseen mukaan kohdassa 3.11 kuvatun laskentamenettelyn mukaisesti.

3.11 Tukitoiminnot

Järjestelmässä kulutettavan energian (sähkö ja polttoaineet) tuotantoketjut sisällytettiin laskelmiin primäärienergianlähteiden hankinnasta lähtien. Tämä tarkoittaa esimerkiksi sitä, että maatalouskoneissa käytettävän kevyen polttoöljyn ympäristökuormitusten selvitys ulottui aina raakaöljyn hankintaan saakka. Sähkön tuotannon oletettiin vastaavan suomalaista keskimääräistä tuotantoa eli käytetyt ympäristövaikutustiedot perustuivat Suomen sähkön tuotannon vuoden 2003 tilanteen keskimääräisiin yksikköpäästöihin (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus 2005, kirjallinen tiedonanto). Sähkön ja lämmön yhteistuotannon syötteen ja tuotokset allokoitiin energiaperiaatteen mukaan.

Työkoneissa käytettävän kevyen polttoöljyn hankinnan osalta tietolähteenä käytettiin Bakkanen ym. tutkimusta (1994) ja Fortumilta saatuja tietoja (For-

tum Oil & Gas Ekotasietiedote 2002a). Vastaavasti kuljetuskaluston eurodieselöljylle käytettiin Bakkanen ym. (1994) ja Fortumilta saatuja tietoja (Fortum Oil & Gas Ekotasietiedote 2002b).

Kaikki oleelliset järjestelmärajoiden sisällä tapahtuvat kuljetukset sisällytettiin mukaan lukuun ottamatta kuluttajan tekemää ostosmatkaa. Myös kaikki kuljetuksiin liittyvät paluukuljetukset, kuten kiertolavojen ja -laatikoiden palautustoimitukset huomioitiin kuljetuslaskelmissa. Ketjussa tapahtuvien kuljetusten malleihin käytettiin merkittävimpien kohtien osalta pääosin toimijoilta hankittuja kuljetusväline-, kuorma-, toimitusmäärä- ja kuljetusmatkatietoja sekä VTT:n tuottamia kuljetusväline- ja -tilannekohtaisia keskimääräisiä yksikköpäästötietoja (<http://www.lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/index.htm>).

Kompostoinnista aiheutuvia kaasumaisia päästöjä arvioitiin biojätteen kompostointia käsittelevän kirjallisuuden pohjalta. Wihersaaren (2005, henkilökohtainen tiedonanto) mukaan biojätteen tyypestä 1–2 prosenttia haihtuu kompostoinnin aikana dityppioksidina (N_2O). Kirchmann ja Widén (1994) toteavat kompostoinnin aikaisen typpitappion olevan 25–50 prosenttia materiaalin alkuperäisestä typpimäärästä. Martins ja Dewes (1992) ilmoittavat, että haihtuneesta tyypestä 5 prosenttia on N_2O -tyyppiä ja 95 prosenttia NH_3 -tyyppiä. Tämän pohjalta on arvioitu, että biojätteen tyypestä 1,5 prosenttia haihtuu N_2O -tyypinä. Lisäksi edellä esitetyn pohjalta on arvioitu, että 35 prosenttia biojätteen tyypestä haihtuu NH_3 -tyypinä. Wihersaaren (2005, henkilökohtainen tiedonanto) arvion mukaan 4–5 prosenttia biojätteen hiilestä muuttuu kompostoinnissa CH_4 - C :ksi, jota arvoa tässä tutkimuksessa käytettiin.

4 Tulokset

Tulokset on laskettu ja esitetty toiminnallista yksikköä, kaupasta myytyä hunajamarinoitua broilerin fileesuikalettonnia kohti. Seuraavissa tulokuvissa on esitetty ketjuvaiheittain osuudet kokonaispäästöistä, energiankulutuksesta ja ympäristövaikutuspotentiaaleista, kaikki toiminnallista yksikköä kohden laskettuna. Vaikutusarvioinnissa mukana olevien inventaarioparametrien tulokset on esitetty liitteessä 2 ketjun päävaiheisiin jaoteltuna. Lisäksi inventaarioanalyysin tuloksissa esitellään tuotantoverkon kaatopaikkajätteen määrä ja sivuvirtojen määrät ja lajit sekä niiden käyttökohteet. Näiden osa-alueiden muodostaman kokonaisuuden avulla on tarkoitus tunnistaa tuotantoverkon suhteellisesti kuormittavimmat kohdat. Luvussa 5 käsitellään tuotantoverkon kehittämismahdollisuuksia tulosten ja erillisten skenaariotarkastelujen avulla.

Tulokuvissa (joissa ketju jaettu 12 osaan) esiintyvät taulukon 7 mukaisten ketjun osakokonaisuuksien alla seuraavat päävaiheet ja tuotantoprosessit. Tuotantoverkon osakokonaisuuksista ja osa-alueista käytetään tulosten tulokuvissa yksinkertaistettua määrettä vaihe. Kunkin vaiheen energiankulutukseen on liitetty kyseisen energian tuotanto ja polttoaineketju.

Taulukko 7. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotantoverkon osakokonaisuudet ja niihin sisältyvät vaiheet.

Osakokonaisuus	Mukaan sisältyvät päävaiheet
Nuorikkojen rehuketju	Rehuviljan tuotantopanosten tuotanto ja kuljetus viljelytilalle, viljan viljely (ml. kesannointiosuus), kuivaus ja toimitus rehutehtaalle, soijan viljely ja kuljetus Suomeen, kivennäisten tuotanto, rehuseoksen valmistus ja kuljetus nuorikkokasvatukseen
Nuorikkokasvatus	Nuorikkokasvatus, turpeen tuotanto, turvelannan käsittely, nuorikkojen kuljetus munitukseen
Emojen rehuketju	Rehuviljan tuotantopanosten tuotanto ja kuljetus viljelytilalle, viljan viljely (ml. kesannointiosuus), kuivaus ja toimitus rehutehtaalle, soijan viljely ja kuljetus Suomeen, kivennäisten tuotanto, rehuseoksen valmistus ja kuljetus munitukseen
Munitus	Munitus, turpeen tuotanto, turvelannan käsittely, munien kuljetus haudontaan
Munien haudonta	Munien haudonta ja untuvikkojen kuljetus broileritilalle
Broilerien rehuketju	Rehuviljan tuotantopanosten tuotanto ja kuljetus viljelytilalle, viljan viljely (ml. kesannointiosuus), kuivaus ja toimitus rehutehtaalle, soijan viljely ja kuljetus Suomeen, kivennäisten tuotanto, rehuseoksen valmistus ja kuljetus broileritilalle
Broilerikasvatus	Broilerikasvattamon sähkön- ja lämmönkäyttö, vedenkäyttö, turpeen tuotanto, turvelannan ja tuotantohävikin käsittely, broilerien kuljetus teurastukseen
Marinadin tuotanto	Rypsin tuotantopanosten tuotanto ja kuljetus rypsitilalle, rypsin viljely, kuivaus ja kuljetus jalostukseen, rypsin puristaminen, uuttaminen ja raffinointi rypsiöljyksi ja öljyn kuljetus marinadin valmistukseen
Teurastus ja tuotteen valmistus	Broilerien teurastus, kynintä, suolten ja päiden poisto, jäähdytys, lihan paloittelu ja leikkaus, suolan hankinta, suolalaukan ja marinadin valmistus, suolaus ja marinointi, tainnutus- ja pakkauskasujen tuotanto ja kuljetus tehtaalle, tuotteiden pakkaaminen kulutus- ja kuljetuspakkauksiin, tuotteen raaka-aineiden varastointi ja varastokuljetukset
Pakkausten tuotanto	Muovi- ja aaltopahvipakkausmateriaalien tuotanto varastointipakkauksiin, pakkausrasioiden ja niiden raaka-aineiden tuotanto sekä kuljetukset, pakkauskalvon monikerrosmateriaalin ja sen raaka-aineiden tuotanto, muovisten kuljetuslaatikoiden ja sen raaka-aineen tuotanto kierrosta poistuvien laatikoiden tilalle
Tuotteiden jakelu	Pakattujen tuotteiden kuljetus pääterminaaliin Vantaalle, varastointi Vantaalla, tuotteiden kuljetus alueterminaaleihin ja niistä jakelukuljetukset kauppoihin hävikit huomioiden, paluukuljetukset ja kuljetuspakkausten palautukset, muovisten kuljetuslaatikoiden pesu, tuotehävikin kompostointi
Vähittäiskauppa	Takahuoneen kylmävarastointi ja myymälän kylmäallassäilytys ml. myynnin aikaiset hävikit ja syntyneen tuotehävikin kompostointi

Kunkin tuloskohdan alussa annetaan ensin yleiskuva kuormitusparametrien tai ympäristövaikutusten jakaumasta piirakkakuvalla. Niissä on yhdistetty taulukon viisi ensimmäistä ryhmää untuvikon tuotannoksi sekä taulukon kuudes ja seitsemäs ryhmä (broilerien rehuketju ja broilerikasvatus) broilerin tuotannoksi. Pylväskuvat käsittelevät tuloksia hieman yksityiskohtaisemmalla tasolla.

4.1 Inventaarioanalyysin tulokset

Inventaarioanalyysin tuloksissa käsitellään maankäyttö, primäärienergian kulutus, keskeiset ilma- ja vesipäästöt sekä tuotantoverkon tuottamat sivuvirrat ja jätteet. Inventaarioanalyysin tuloksia päästökomponeiteittain on esitetty liitteessä 2 sekä liitteessä 3 rehun tuotantoketjun osalta.

4.1.1 Maankäyttö

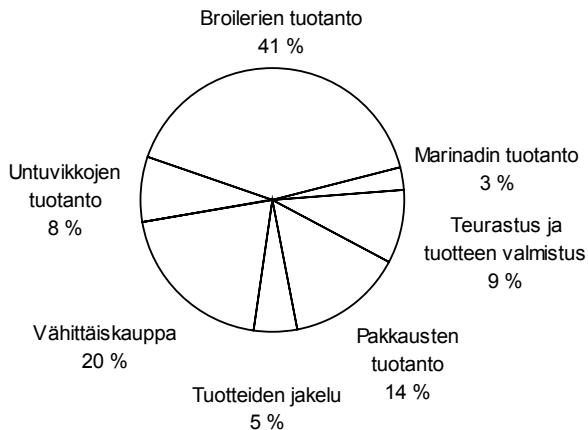
Viljelyn pinta-alaa tarvittiin toiminallista yksikköä kohden kokonaisuudessaan 0,76 hehtaaria sisältäen myös kotimaisen viljelyn kesannoinnin ja ostosiementen tuotantoalat. Broilerirehujen osuus kokonaispinta-alasta oli 83 prosenttia. Tuotteen marinadin pääraaka-aineen rypsiöljyn tuotantoon tarvittavan rypsi-alan osuus oli reilut seitsemän prosenttia, loput alasta kului nuorikkojen ja emojen ruokinnan rehun viljelyyn. Pinta-alan käytöstä suurin osuus (0,33 ha) tarvittiin vehnän tuotantoon. Soijalle tuotantoalaa käytettiin 0,20 hehtaaria ja kauralle 0,17 hehtaaria. Ohra-alaa tarvittiin pieni määrä (0,01 ha) nuorikoiden ja emojen rehujen tuotantoon.

4.1.2 Primäärienergian kulutus

Hunajamarinoitua broilerin fileesuikaletonnaa kohti kuluu primäärienergiaa yhteensä noin 42,3 GJ, kun huomioon otetaan energiankulutus tarkasteltavan tuotantoverkon kaikissa vaiheissa.

Tulosten mukaan broilerin tuotanto, eli broilerien kasvatus ja rehun tuotantoketju, muodosti tuotantoverkon energiankulutuksesta yli 40 prosenttia (kuva 2). Rehujen tuottamisen osuus ketjun kokonaisenergiankulutuksesta oli 25 prosenttia ja broilereiden kasvatuksen osuus 16 prosenttia. Vähittäiskaupan osuus energiankulutuksesta oli 20 prosenttia. Se aiheutui lähinnä tuotteen kylmäsäilytyksestä kaupan kylmähylyssä. Lisäksi kaupan takahuoneen varastoinnissa kului jonkin verran energiaa.

Pakkauksien (kuluttajapakkaus, kuljetuslaatikko, raaka-aineiden säilytyslaatikot) yhteenlaskettu primäärienergiakertymä oli noin 14 prosenttia tuotteen kokonaisenergiakertymästä. Tämä aiheutui pääosin broilerituotteen polypropeenirasioiden raaka-aineen valmistuksesta. Tuotteiden valtakunnallisesta jakelusta ja välivarastoinnista aiheutui 5 prosenttia ketjun kokonaisenergiasta.



Kuva 2. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotantoverkon primäärienergiakulutuksen jakautuminen päätuotantovaiheittain.

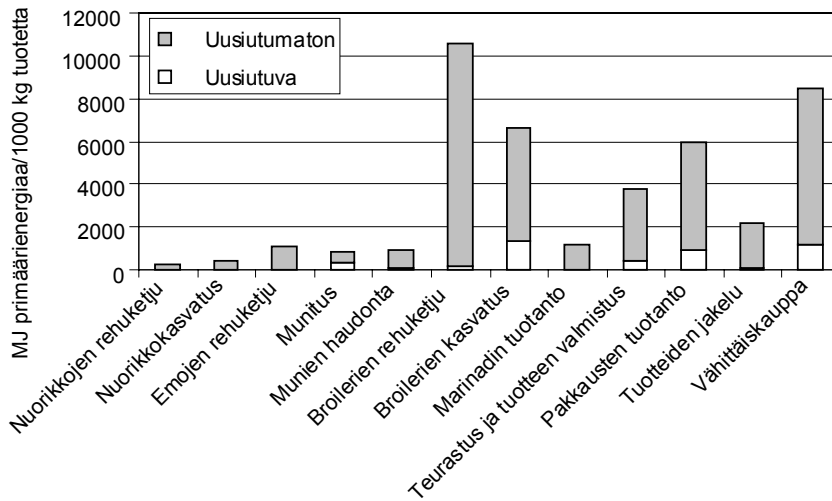
Broilieri tuotuksen ja lopputuotteen valmistuksen osuus kokonaisenergiasta oli yhdeksän prosenttia. Untuvikkojen tuotannon (nuorikoiden kasvatusta, emojen muninta ja haudonta) osuus kokonaisenergiakulutuksesta oli kahdeksan prosenttia. Marinadiraaka-aineen rypsiöljyn osuus oli kolme prosenttia.

Kaupassa kulunut energia oli lähinnä sähköä ja sen tuotanto Suomessa perustuu pitkälti uusiutumattomiin luonnonvaroihin ja tätä vastaava uusiutumattomien polttoaineiden hallitseva osuus näkyy kuvassa 3. Ketjun eri vaiheissa kulutetun sähkön oletettiin noudattavan Suomen kantaverkon sähköntuotantoprofiilia vuonna 2003, jolloin sähköntuotannon elinkaari mukaan lukien uusiutuvien osuus kaikesta verkkosähköstä oli 13 prosenttia. Kuvassa 3 primäärienergian muodostumista tuotteen elinkaareissa on esitetty tarkemmin ketjuvaiheiden ja uusiutuvuuden mukaan jaettuna.

Tutkimuksen tiedonkeruun aikana käytettiin uusiutuvia energialähteitä jonkin verran broilerikasvattamoiden lämmittämisen polttoaineina, mikä näkyy kuvassa uusiutumattomien energiankulutuksen suhteellisen suurena osuutena (noin 21 %) suhteessa ketjun muiden osien vastaaviin uusiutuvien polttoaineiden suhteellisiin osuuksiin. Sitä vastoin peltoviljelyn koneissa ja lannoitteiden tuotannossa osana rehun tuotantoa käytettiin lähinnä fossiilisia polttoaineita.

Rehuketjussa primäärienergian kulutus aiheutui pääasiassa viljelypanosten (mm. lannoitteet) valmistuksesta, viljelykoneiden ja kuivureiden käytöstä sekä rehujen teollisesta jalostuksesta. Broilerikasvatuksessa ja untuvikontuotannossa lintujen kasvatusvaihe kuluttaa energiaa.

Vettä tuotantoverkossa kului eniten broilieri tuotuksessa ja tuotteiden valmistuksessa.



Kuva 3. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden primäärienergiankulutus tuotantoverkon eri vaiheissa 1000 tuotekiloa kohden jaettuna uusiutuviin ja uusiutumattomiin energianlähteisiin.

4.1.3 Päästöt ilmaan

Inventaarioanalyysissä inventoidut ilmapäästöt olivat: häkä (CO), hiilidioksidi (fossiilinen CO₂), ammoniakki (NH₃), dityppioksidi (N₂O), rikkidioksidi (SO₂), typen oksidit (NO_x), metaani (CH₄) ja muut haihtuvat orgaaniset yhdisteet (NMVOC). Näistä päästöistä selvästi energiaperäisiä (sähkö, lämpö, työkonet ja kuljetukset) ovat häkä, hiilidioksidi, rikkidioksidi ja typen oksidit sekä myös metaani ja VOC-yhdisteet.

Ilmaan kohdistuvien päästöjen osalta merkittävimmät yksikköprosessit olivat broilerin kasvattamoiden lämmitys, broilerin lantaan ja lannankäsittelyyn liittyvät päästöt sekä broilerirehujen tuotantoketju (kuva 4). Broilerikasvatuksessa syntyvä lanta oli erityisesti metaani- ja ammoniakkipäästöjen suurimpia lähteitä tuotantoketjussa. Dityppioksidipäästöt aiheutuivat pääosin rehuviljojen tuotantoketjuista, ja siellä lannoitetypen denitrifikaation ja lannoitteiden tyyppihapon valmistuksen seurauksena (liite 3). Myös lannankäsittelystä aiheutui suhteellisen paljon dityppioksidipäästöjä (lannankäsittelyn CH₄- ja N₂O-päästöt sijoitettu kuvassa 4 broilerin kasvatuksen kohdalle).

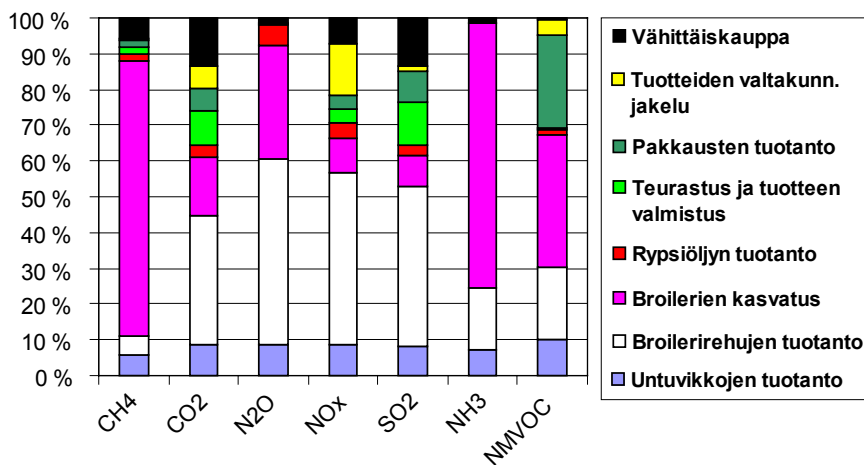
Kasvatuksen aikaiset haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöt aiheutuivat pääosin broilerikasvattamoiden lämmitykseen käytettyjen hakkeen ja puupellettien polttamisesta vaikkakin tilojen pääpolttoaineena tarkasteluhetkellä oli kevyt polttoöljy. Myös muovipakkausten raaka-aineiden tuotannossa syntyi suhteellisen suuri osuus ketjun haihtuvista hiilivetyypäästöistä. Hiilidioksidi-, rikkidioksidi- ja typenoksidipäästöjä aiheutui välillisesti ja välittömästi ketjun joka vaiheesta, jossa käytetään energiaa (kuva 4 ja liite 3). Teurastuksen ja

tuotteiden teollisen jalostuksen, tuotteiden valtakunnallisen jakelun, pakkaus-tuotannon ja vähittäiskaupan osuudet vaihtelivat energiaperäisten ilmapäästöjen osalta muutamasta prosentista runsaimmillaan reiluun kymmeneen prosenttiin suhteessa ketjun kokonaispäästöihin.

Untuvikkojen tuotannossa esiintyvät vastaavat päästökomponentit kuin mitä edellä kuvattiin broilerin tuotannossa, mutta untuvikkojen osuus ketjun kokonaispäästöistä oli vain kuudesta kymmeneen prosenttia.

Koska broilerin rehuketjulla oli suhteellisen suuri osuus kaikissa päästöluokissa, on liitteessä 3 esitetty broilerin kasvatusrehun (täysrehu II) tuotannosta aiheutuvien määrällisesti merkittävimpien päästöjen jakautuminen tuotantovaiheittain. Kyseisen kasvatusrehun osuus broilerin kokonaisruokinnasta, rehuvalmistuksen tarpeesta ja rehuvalmistuksen yhteenlasketuista ympäristövaikutuksista oli noin 60 prosenttia. Kasvatusrehun tuottamisen pinta-alatarpeesta 45 prosenttia kuului vehnälle, 31 prosenttia soijalle ja 24 prosenttia kauralle.

Rehun tuotantoketju muodosti myös suurimman osuuden polttoaineiden käyttöön liittyvistä typenoksidi- ja rikkidioksidipäästöistä. Typenoksidipäästöt syntyivät erityisesti maatalouden työkoneiden käytöstä. Rikkidioksidin syntyyn vaikutti työkoneiden ohella suhteellisen paljon myös soijan kuljettaminen valtameriläivällä Brasiliasta sekä tehdasrehujen valmistus, jossa höyryn tuotantoon käytettiin raskasta polttoöljyä (liite 3). Soijaketjun osuus broilerin kasvatusrehun tuotantoketjusta vaihteli ilmapäästöissä muutamista prosenteista jopa lähes 50 prosenttiin (rikkidioksidi, liite 3).



Kuva 4. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotantoverkon keskeisten ilmapäästöjen osuudet tuotantovaiheittain.

Rehun tuotantoketjulla oli suurin osuus myös broilerin tuotantoverkon hiilidioksidipäästöistä, ja sen jakaantuminen kasvatusrehun tuotantovaiheisiin on esitetty liitteessä 3. Peltoviljelyssä työkoneiden ja viljan kuivauksen ohella peltojen kalkitus aiheutti suoria hiilidioksidipäästöjä.

Liitteestä 3 havaitaan, ettei esimerkiksi Suomessa tapahtuvien rehun tuotantoon liittyvien kuljetusten suhteellinen osuus yhdestäkään päästökomponentista ole kovin suuri. Suurimmillaan yhteenlasketut kuljetukset rehuntuotannossa kotimaassa olivat yhteensä noin kuusi prosenttia NO_x-päästöistä. Tähän sisältyivät tuotantopanosten kuljetukset, viljakuljetukset rehutehtaalle ja rehuikuljetukset broileritilalle. Soijan kuljetus Brasiliasta Suomeen näkyi lähinnä SO₂-päästöissä.

4.1.4 Päästöt vesiin

Inventaarioanalyysissä inventoitiin leville käyttökelpoisen typen (N) ja fosforin (P) päästöt vesiin kaikkien tuotantovaiheiden osalta. Suomen pelloilta huuhtoutuva typpi muutettiin rehevöittäväksi typeksi käyttämällä kulkeutumis- (0,75) ja vaikutuskertoimia (0,7), jotka perustuvat julkaisuun Seppälä ym. (2004). Kulkeutumiskerroin kertoo sen osuuden kokonaispäästöstä, joka joutuu pintavesiin, missä se lisää rehevöitymistä. Vaikutuskerroin kertoo sen osuuden kokonaispäästöstä, joka on leville käyttökelpoista. Pelloilta huuhtoutuva fosfori oli jo huuhtoumamallinuksissa laskettu kuvaamaan leville käyttökelpoista fosforia (ks. luku 3.4.1.5). Kulkeutumistekijänä fosforilla käytettiin ykköstä, mikä tarkoittaa sitä, että kaikki pelloilta huuhtoutuva liukoinen fosfori päätyy vesiin, joissa se aiheuttaa rehevöitymistä.

Vastaavalla tavalla muiden päästölähteiden päästöt muutettiin rehevöittäviksi päästöiksi Seppälän ym. (2004) pohjalta. Soijan viljelystä oli kokonaisfosforin päästötieto, jonka vaikutuskertoimena käytettiin lukua 0,3. Teollisuusprosesseissa käytettiin typelle kulkeutumiskerrointa 0,625 ja vaikutuskerrointa 0,9. Fosforille vastaavat luvut olivat 1 ja 0,5.

Rehevöittäviä typpipäästöjä vesiin muodostui yhteensä noin 3,8 kg ja fosforipäästöjä noin 0,46 kg tuotetonna kohti. Ravinnepäästöjen osalta merkittävimmäksi tuotantovaiheeksi osoittautui broilerin rehuseosten raaka-aineiden viljely, joka aiheutti typpipäästöistä 77 prosenttia ja fosforipäästöistä 83 prosenttia. Vehnänviljelyn osuus täysrehujen typpipäästöistä oli noin 70 prosenttia ja fosforipäästöistä reilut 60 prosenttia (liite 3). Pinta-alaosuuttaan suuremmat kuormitukset vehnälle suhteessa kauraan johtuivat suuremmasta typpiylilijäystä ja korkeammasta maan fosforiluvusta. Soijan tuotannon osuudeksi saatiin arvioksi täysrehuketjussa neljä prosenttia typpihuuhtoumista ja kahdeksan prosenttia fosforihuuhtoumista (liite 3).

Muiden teollisten rehuseosten (emostartti- ja emokasvatusrehut sekä esihaudonta- ja emohaudontarehut) raaka-aineiden viljelyn osuus ketjun sekä typpiettä fosforikuormituksesta oli noin kymmenen prosenttia. Soijan viljelyn ravinnepäästöt ovat mukana em. rehuseosten luvuissa. Soijan osuus koko ketjun typpipäästöistä oli kolme prosenttia ja fosforista seitsemän prosenttia, jotka olivat suhteellisen pieniä osuuksia suhteessa järjestelmässä tarvittuun soijan pinta-alaan (kohta 4.1.1). Marinadin raaka-aineena olevan rypsiöljyn tuottamiseksi tarvittavan rypsin viljelyn osuudeksi muodostui fosforipäästöistä noin seitsemän prosenttia ja typen päästöistä noin 12 prosenttia. Näistä rypsin typpihuuhtouman osuutta voi pitää suhteellisen suurena ottaen huomioon tarvittuun rypsin pinta-alaan. Huuhtoumat arvioitiin kohtien 3.4.1.4 ja 3.4.1.5 mukaan, ja typpihuuhtouman suuruutta selittää laskentamenettelyn typpiylijäämäsidonnaisuus. Typpiylijäämä johtuen alhaisista satotasoina oli rypsilille suhteellisen suuri, samaa suuruusluokkaa kuin vehnälle (3.4.1.4).

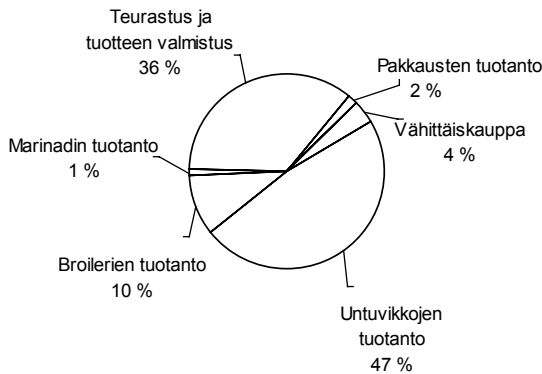
Broileritilojen oman rehuviljantuotannon osuus broilerirehujen raaka-aineiden ravinnepäästöissä oli suhteellisen pieni (typestä 5,5 %, fosforista 5,8 %), mikä johtuu oman viljan pienestä osuudesta lintujen dieetissä. Osuus tosin on suurempi kuin tilan oman viljan osuus broilerien ruokinnassa (3,5 % alankäytöstä, 3,6 % rehun kokonaissyönnistä), koska hehtaarikohtaiset ravinnepäästöt ovat broileritilalla suuremmat kuin tavallisilla rehuviljailoilla, joilla broilerinlantaa ei lannoitteenä käytetä.

Ravinnepäästöjä vesiin aiheutui jonkin verran myös teollisuuslaitoksista (rehutehdas, broilerien teurastus- ja jalostuslaitos), mutta niiden jätevedet käsitellään jätevedenpuhdistamoilla, jolloin lopullinen kuormitus vesistöön pienenee merkittävästi. Tuotantoverkon rehevöittävästä typpipäästöistä prosentti ja fosforipäästöistä 0,1 prosenttia aiheutui teollisuuden prosesseista, lähinnä broilereiden teurastuksesta ja tuotteiden valmistuksesta. Siellä syntyvän jäteveden kokonaismäärä oli vastaavasti selvästi suurin teollisuusprosessien osalta. Untuvikkojen ja broilereiden tuotannon yhteenlaskettu jätevedenmäärä kasvattamoiden pesuista oli alle kymmenen prosenttia tästä. Broilerikasvatamoiden ja munittamoiden pesuaineiden mukana tulevaa ravinnevirtaa ei jäteveden kuormituslaskennassa otettu huomioon, koska tietoja jäteveden laadusta ja käsittelytapojen vaikutuksesta vesistökuormitukseen ei ollut (ks. luku 3.5).

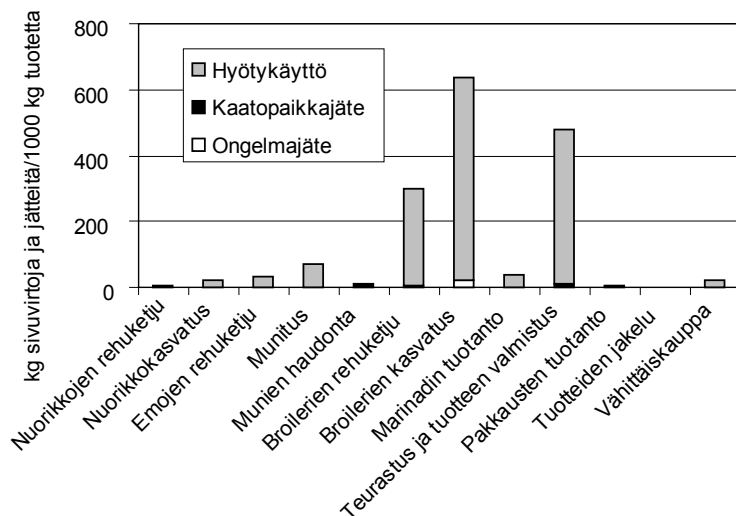
4.1.5 Systemin tuottamat sivuvirrat ja kiinteät jätteet

Inventaarioanalyysissä selvitettiin sekä kaatopaikkajätteen että erityiskäsitellyä vaativan jätteen (sisältäen ongelmajätteet) määrä ja muodostuminen ketjun eri vaiheissa. Sen lisäksi selvitettiin eri tavoin materiaalina, energiana ja tuotteena hyödynnettävien sivuvirtojen määrät, muodostuminen ketjussa sekä hyötykäyttökohteet. Kaikkia hyödynnettäviä jätemääriä ei edes inventoitu eli niiden osalta esitettävät tulokset ovat vain suuntaa antavia.

Kaatopaikkajätteestä suurin osa muodostui munittamoiden kaatopaikoille päätyvistä II-luokan munista sekä hautomoiden munajätteestä (kuvassa 5 untuvikkojen tuotannon jätteet yhteensä). Tuotteiden valmistuksen ja sen yhteydessä välivarastoinnin pakkauksista syntyvän kaatopaikalle päätyvän jätteen määrä oli noin 36 prosenttia ketjun kaatopaikkajätteistä. On huomattava, että syntyneet kaatopaikkamäärät koko tuotantoketjussa ovat pienemmät kuin mitä syntyy jätettä tuotteen kuluttajapakkauksista kotitaloudessa.



Kuva 5. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotannosta aiheutuvan kaatopaikkajätteen (yhteensä noin 30 kg/1000 kg tuotetta) muodostuminen tuotantoketjun eri vaiheissa (pois lukien kotitalouksissa syntyvä pääosin kaatopaikalle päätyvä pakkausjäte, jota syntyy noin 53 kg 1000 kg tuotetta kohti).



Kuva 6. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotantoverkossa syntyneet hyödynnettävät sivuvirrat ja jätteet 1000 tuotekiloa kohden.

Tuotantoverkon hyödynnettävistä sivuvirroista valtaosa koostuu broilerikasvatuksen kuivikelannasta (kuva 6). Kuivikelanta koostuu turpeesta ja broilerinlannasta, ja sitä hyödynnetään lannoitteena peltoviljelyssä broileritilan omilla tai lähialueen pelloilla, sekä Biolan Oy:n lannoitetuotannossa. Broilerien teurastuksessa syntyy suhteellisen paljon turkisrehuiksi prosessoitavia sivuvirtoja. Ruokinnan kohdalla esiintyvissä hyödynnettävissä sivuvirroissa on esimerkinomaisesti esitetty kalkin sivukiven määrä (kuva 6). Vastaavasti lannoitteiden raaka-aineiden hankinnassa syntyy sivukiveä, jota ei tässä tutkimuksessa huomioitu. Ketjussa hyödynnetään ainakin 97 prosenttisesti kaikki syntyvät sivuvirrat.

4.2 Vaikutusarvioinnin tulokset

Vaikutusarvioinnin perusteita ja lähtökohtia on kuvattu aiemmin mm. Seppälän (1999a, 1999b) ja Katajajuuren ym. (2000) tutkimuksissa. Varsinainen vaikutusarviointilaskenta alkaa muuttamalla kuormitustekijöiden arvot yhteismitallisiksi kussakin vaikutusluokassa. Tässä ns. karakterisoinnissa eli luonnehdinnassa lasketaan karakterisointikertoimien avulla tuotteen aiheuttaman haitan suuruus kussakin vaikutusluokassa. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen yhteydessä eri kasvihuonekaasujen päästöt pystytään ilmaisemaan ilmaston lämpenemistä kuvaavan vaikutuspotentiaalikerroimen (GWP, Global Warming Potential) avulla CO₂-ekvivalenteina. Karakterisointikerroimet perustuvat elinkaariarvioinneissa sovellettaviin ns. ekvivalenttikerroimiin, joita määrättäessä on otettu huomioon nykytietämys eri tekijöiden merkityksestä kulloiseenkin vaikutusluokkaan. Kerroimet eivät kuitenkaan ota huomioon aineiden eri yhdisteiden ja kuormitustekijöiden vaikutusalueiden ympäristöolosuhteiden eroja, joilla voi olla suurikin merkitys kuormitustekijöiden aiheuttamien vaikutusten suuruuteen. Tutkimuksessa käytetyt karakterisointikerroimet on esitetty liitteessä 4. Esimerkiksi rehevöitymisen suhteen on huomioitava mahdolliset ravinteiden kulkeutumis- ja vaikutuskerroimet, joita on rehevöitymisen osalta käsitelty kohdassa 4.1.4.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin kvantitatiivisesti määritettävissä oleviin vaikutusluokkiin. Tutkimus käsitti neljä vaikutusluokkaa, jotka olivat ilmastonmuutos, happamoituminen, vesistöjen rehevöityminen ja alailmakehän otsonin muodostuminen. Lisäksi inventaarioanalyysituloksissa esitetty primäärienergian käyttö kuvaa uusiutumattomien energianlähteiden kulumista.

Päästöjen aiheuttamat vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen sisältyvät vaikutusluokille laskettuihin vaikutusindikaattoriarvoihin. Sen sijaan maankäyttöön liittyviä monimuotoisuusvaikutuksia ei ole tarkasteltu arviointimenetelmien kehittymättömyyden takia. Tuotannossa tarvittavat peltoalat on kuitenkin ilmoitettu edellisen luvun inventaariotuloksissa. Menetelmien kehittymättömyys koskee myös ekotoksisuutta. Koska sitä ei ole elintarvikkeiden ympäristövaikutustutkimuksissa otettu aiemmin huomioon, haluttiin täs-

sä tutkimuksessa tarkastella mahdollisuuksia ekotoksisuuden arvioimiseksi. Tätä prosessia ja näitä mahdollisuuksia on kuvattu muita vaikutusluokkia yksityiskohtaisemmin luvussa 4.2.5.

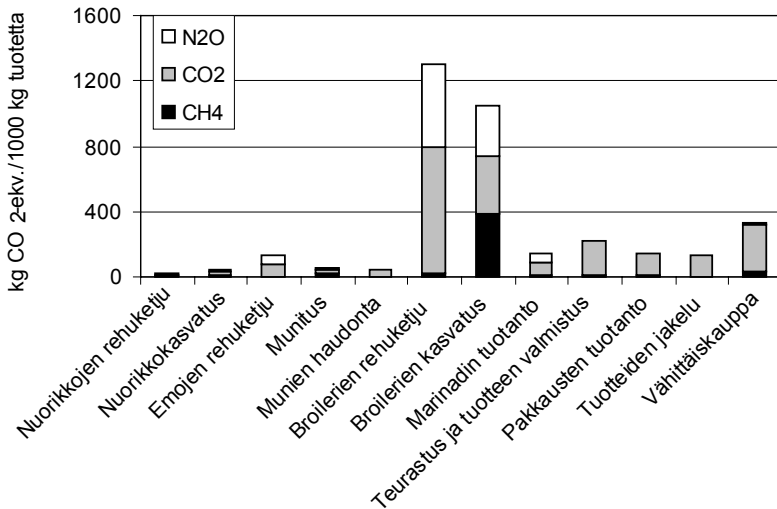
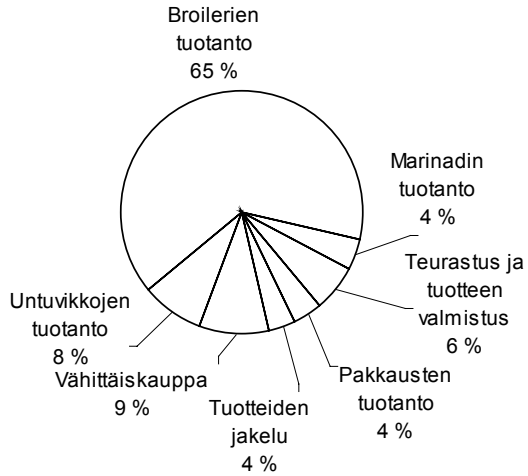
4.2.1 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutos tarkoittaa kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttamaa ilmakehän lämpenemistä. Vaikutusarvioinnissa otetaan yleensä huomioon vain ns. suorat kasvihuonekaasupäästöt eli hiilidioksidi (CO_2), dityppioksidi (N_2O), metaani (CH_4) sekä halogeeniyhdisteet. Ilmastonmuutosta arvioitiin IPCC:n (2001) uusimpien ilmaston lämpenemispotentiaalien avulla.

Broilerien kasvatuksessa ja ruokinnassa syntyi suurin osa (65 %) ketjun ilmastonmuutosta aiheuttavista kasvihuonekaasupäästöistä, joista lähes puolet aiheutui hiilidioksidipäästöistä (kuvat 7 ja 8). Broilereiden ruokinnan osuus kasvatuksen kokonaisvaikutuksesta oli 55 prosenttia. Keskeisimpiä rehuntuotantoketjun päästölähteitä on tarkasteltu kohdassa 4.1.3. Tuotantoketjun primäärienergiankulutuksen kautta tarkasteltuna merkittävimmät tuotantovaiheet kasvihuonekaasupäästöjen osalta olisivat broilerien rehun tuotanto, broilerikasvatus sekä tuotteiden säilytys ja myynti vähittäiskaupassa. Energiaperäisten päästöjen ohella ilmastonmuutoksen voimistumiseen vaikuttavat kuitenkin myös rehun tuotantoketjussa mm. kalkituksessa vapautuva hiilidioksidi, lannoitteiden käytössä ja tuotannossa vapautuva dityppioksidi sekä broilerien lannan käsittelystä syntyvät metaani- ja dityppioksidipäästöt. Untuvikkojen tuotantoketjussa aiheutui käytännöllisesti katsoen samoja päästöjä kuin broilerituotannossa, mutta niiden suhteellinen osuus lopputuotetta kohden on huomattavasti pienempi, yhteensä kahdeksan prosenttia.

Hiilidioksidipäästöt muodostivat lähes 60 prosenttia ketjun ilmastonmuutosta aiheuttavista kasvihuonekaasupäästöistä. Niitä muodostuu rehujen tuotantoketjun ja vähittäiskaupan ohella suhteellisen paljon myös broilerikasvatuksessa, mikä johtuu pääasiassa kasvattamoiden suuresta energiantarpeesta. Broilerikasvattamoiden lämmityksen merkitys korostuisi, jos uusiutuvien polttoaineiden osuus olisi nykyistä pienempi. Kaikista viljelyprosesseista aiheutuu dityppioksidipäästöjä, jotka johtuvat maaperän mikrobitoiminnasta. Lisäksi dityppioksidipäästöjä syntyi lannan käsittelystä, kuten myös metaanipäästöjä (sijoitettu tulostuloksissa kohtaan broilerien kasvatus). Broilerien teurastuksen ja kuluttajatuotteiden valmistuksen osuus ketjun hiilidioksidipäästöistä oli noin kymmenen prosenttia. Ketjun ilmastonmuutosvaikutuksesta broilereiden teollisen jalostustoiminnan osuus oli noin kuusi prosenttia (kuva 7 ja 8). Sekä marinadin pääraaka-aineiden ja pakkausten tuotannon sekä tuotteiden valtakunnallisen jakelun osuus oli kullekin neljä prosenttia koko ketjun aiheuttamasta ilmastonmuutoksesta. Tarkemmin ketjun kasvihuonekaasulähteitä päästöittäin on käsitelty kohdassa 4.1.3.

Kuva 7. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotantoverkon eri vaiheiden osuus ilmastonmuutosvaikutuksesta.



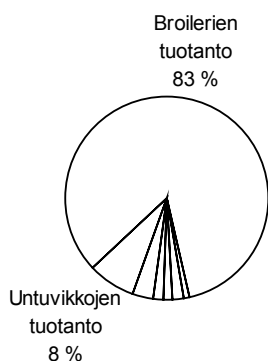
Kuva 8. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotannon ilmastonmuutosvaikutuksen muodostuminen tuotantovaiheittain ja kuormitustekijöittäin 1000 tuotekiloa kohden.

4.2.2 Happamoituminen

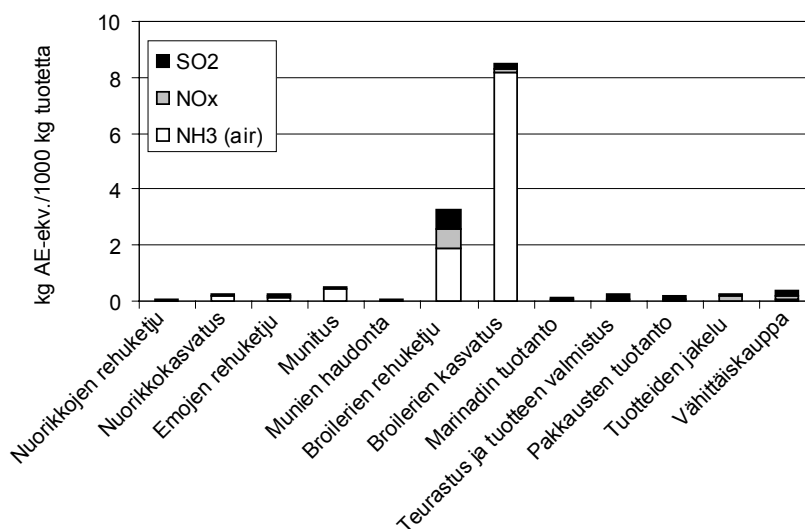
Happamoitumisella tarkoitetaan luonnon vastustuskyvyn heikkenemistä happamoittavaa laskeumaa vastaan. Kullakin alueella on sille ominainen kyky vastustaa happamoittavaa laskeumaa. Suomi ja muut Pohjoismaat ovat erityisen herkkiä happamalle laskeumalle. Kymmenesosa Suomen vesistöistä on happamoituneita tai vaarassa happamoitua. Happamoittavat päästöt ja laskeuma vähenivät 1990-luvulla, eikä luonnon sietokyky enää ylity yhtä laajasti kuin ennen. Keskeisimmät, tutkimuksessa määritetyt happamoitumista

aiheuttavat päästöt olivat rikkidioksidi (SO₂), ammoniakki (NH₃) ja typen oksidit (NO_x).

Ylivoimaisesti suurin merkitys happamoitumisvaikutuksen muodostumisen kannalta oli broilerikasvatuksella ja kasvattamoista vapautuvilla ammoniakkipäästöillä (kuvat 9 ja 10). Muita broilerin tuotannon happamoitumista aiheuttavia tekijöitä olivat lähinnä rehuketjujen työkoneiden ja kuljetusten NO_x- ja SO₂-päästöt sekä väkilannoitteiden käytössä haihtuva ammoniakki (ks. kohta 4.1.3). Untuvikkotuotannon osuus ketjun happamoitumista aiheutuvista päästöistä oli kahdeksan prosenttia, josta puolet aiheutui munituskanojen ja neljäsos nuorikkojen lannasta haihtuvasta ammoniakista. Vähittäiskaupan, broilerituotteiden valmistuksen ja tuotteiden valtakunnallisen jakelun osuus happamoittavista päästöistä oli kullakin noin kaksi prosenttia.



Kuva 9. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden happamoitumispotentiaalın muodostuminen tuotantoverkon eri vaiheissa 1000 tuotekiloa kohden.



Kuva 10. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotannon happamoitumispotentiaalın muodostuminen tuotantovaiheittain ja kuormitustekijöittäin 1000 tuotekiloa kohden.

Suurin osa lannasta haihtuvasta ammoniakista (83 %) haihtuu broilerikasvatuksen aikana. Lannan varastoinnissa ja peltolevityksessä haihtuva osuus on esitetty broilerien ruokinnan eli rehun tuotannon kohdalla kuvassa 10. Kun broilerirehun tuotantoon sisällytetään lisäksi kemiallisten lannoitteiden käytöstä haihtuva ammoniakki, muodostaa broilerirehujen tuotanto ketjun ammoniakkipäästöistä 17 prosenttia. Broilerikasvatuksen osuus kaikista happamoittavista päästöistä on 60 prosenttia ja broilerirehujen tuotannon osuus vastaavasti 23 prosenttia.

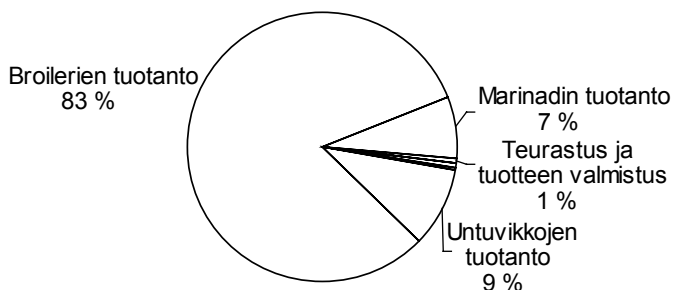
4.2.3 Vesistöjen rehevöityminen

Hidas rehevöityminen koskettaa lähes kaikkia vesialueita. Leväkukinnat ja ajoittainen happikato vaivaavat etenkin Itämerta. Typen ja fosforin piste-kuormitus väheni 1990-luvulla, mutta etenkin mm. maataloudesta aiheutuva hajakuormitus on edelleen suurta.

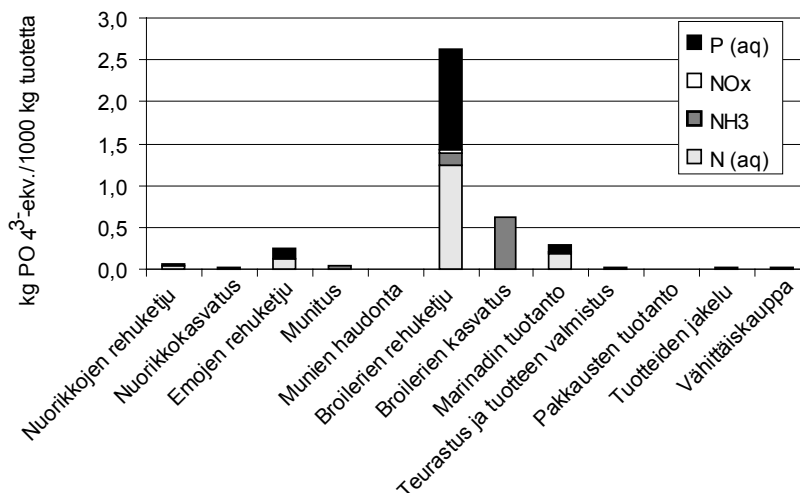
Rehevöitymistä tarkasteltiin tutkimuksessa vain vesiekosysteemin kannalta. Maaperän rehevöitymistä ei otettu huomioon, koska sen oletetaan olevan Pohjois-Euroopassa ongelmana vähäinen. Rehevöitymistä aiheuttavat veteen ja ilmaan joutuvat fosfori- ja typpipäästöt. Typpi ja fosfori ovat rehevöittäviä yhdisteitä liukoisessa muodossaan. Myös osa kiintoainekseen sitoutuneesta fosforista on leville käyttökelpoista. Inventaarioanalyysissä vesiin kohdistuvat ravinnekuormitukset esitetään rehevöittävinä päästöinä (luku 4.1.4). Vaikutusarvioinnissa on käytetty Seppälän ym. (2004) mukaisia fosfaatti (PO₄)-ekvivalenttikertoimia (liite 4).

Tuotantoverkon rehevöittävästä vaikutuksesta yli 80 prosenttia aiheutui broilerikasvatuksesta (kuva 11). Untuvikkojen tuotannon osuus on yhdeksän prosenttia, ja rypsiöljyn tuotannon osuus seitsemän prosenttia. Tulokset korreloivat kohdassa 4.1.1 esiteltyjen maankäyttöalojen kanssa. Teurastuksen ja tuotteen valmistuksen osuus vesistöjen rehevöitymiseen on suhteellisesti ottaen hyvin pieni, vain noin yksi prosentti koko tuotantoverkon rehevöittävästä vaikutuksesta.

Tuotantoverkossa yli 60 prosenttia vesistöjen rehevöitymisestä aiheutti broilerirehuhin käytetyn viljan viljelyn typpi- ja fosforipäästöt (kuva 12). Broilerikasvatuksessa ja untuvikontuotannossa kasvattamossa ja munittamoissa lintujen ulosteista haihtuvan ammoniakkin osuus kaikista vesiä rehevöittävästä päästöistä oli yhteensä noin 20 prosenttia. Rypsiöljyn valmistukseen liittyvä rypsinviljely aiheutti noin seitsemän prosenttia tuotteen koko tuotantoverkon rehevöittävästä päästöistä.



Kuva 11. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotantoverkon eri vaiheiden osuus rehevöitymisvaikutuksen muodostumisessa.



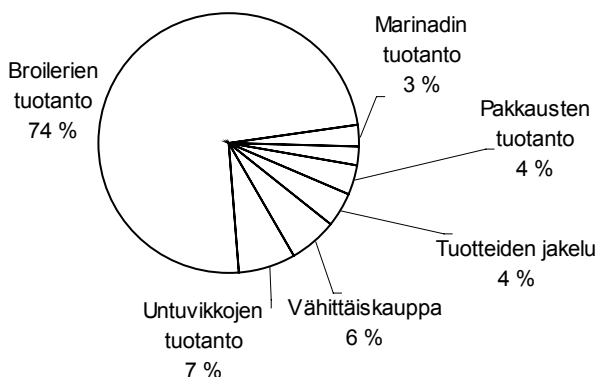
Kuva 12. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotantoverkon rehevöitymisvaikutuksen muodostuminen tuotantovaiheittain ja kuormitustekijöittäin 1000 tuotekiloa kohden.

4.2.4 Alailmakehän otsonin muodostuminen

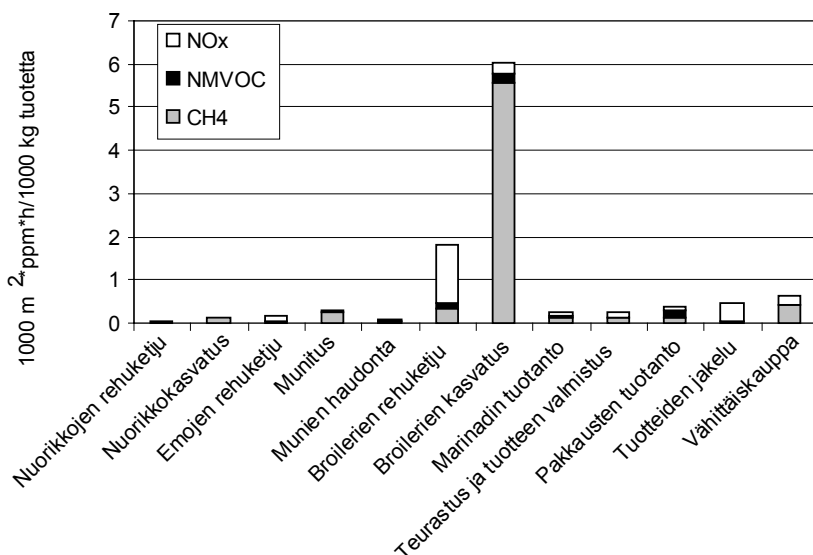
Alailmakehän otsonin syntyyn vaikuttavat hiilivetyjen ja typen oksidien päästöt ilmaan. Otsoni ja muut ns. foto-oksidantit aiheuttavat hengityselinsairauksia, heikentävät metsän kasvua, vahingoittavat kasvien lehtiä ja aiheuttavat viljasadon menetystä. Foto-oksidanteista käsitellään elinkaariarvioinneissa perinteisesti vain alailmakehän otsonia, koska muiden oksidanttien osalta tiedot ovat liian puutteellisia. Suomessa havaittavat otsonipitoisuudet ovat keskimäärin korkeita (30–50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) Keski-Eurooppaan verrattuna. Otsonin muodostumista voidaan tarkastella alueellisena ongelmana. Kyseiset päästöt vaikuttavat myös kaupunkien savusumun syntyyn, mikä ei kuitenkaan ole ongelma Pohjoismaissa. Tässä tutkimuksessa alailmakehän otsonin muodostusta arvioitiin kasvillisuusvaurioiden kannalta, eikä vaikutuksia ihmisten terveyteen huomioitu, kuten ei muidenkaan vaikutusluokkien kohdalla. Käy-

tetty yksikkö (kuva 14) kuvaa otsonin kriittisen raja-arvon ylityksen laajuutta ja voimakkuutta.

Alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavia päästöjä aiheutui eniten broilerikasvatuksesta (74 %, kuva 13). Suurimmat päästöt aiheutuvat rehujen tuotannosta. Untuvikkojen tuotannon osuus otsonin muodostuksesta oli seitsemän prosenttia ja vähittäiskaupan energiantuottamisen päästöt aiheuttivat yhteensä kuusi prosenttia. Sekä tuotteiden valtakunnallinen jakelun että pakkausten tuotannon osuus otsonin muodostuspotentialista oli molemmille neljä prosenttia.



Kuva 13. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotantoverkon eri vaiheiden osuus alailmakehän otsonin muodostumisessa.



Kuva 14. Alailmakehän otsonin muodostuminen hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotannossa tuotantovaiheittain ja kuormitustekijöittäin 1000 tuotekiloa kohden.

Lannankäsittelystä aiheutuvat metaanipäästöt olivat suurin yksittäinen alailmakehän otsonin muodostumista aiheuttava tekijä (kuva 14), tosin tulokseen tulee suhtautua varauksin, koska käytettyyn metaanin karakterisointikertoimeen liittyy hyvin suuria epävarmuuksia. Toiseksi merkittävin vaikutus oli typen oksideilla, joiden päästöistä suurin osa aiheutui rehuviljan viljelyssä käytetyistä työkoneista sekä lannoitteiden ja soijan tuotannosta. Jos metaania ei oteta lukuun, otsonin muodostumiseen vaikuttavia päästöjä syntyikin ketjussa lähinnä energiantuotannossa ja kuljetuksissa, ja siksi tulokset korreloivat jossain määrin ketjun primäärienergiankulutuksen tuloksiin. Energiantuotannon haihtuvien hiilivetyjen päästöt ja typenoksidipäästöt ovat kuitenkin polttoainekohtaisia ja eroavat toisistaan paljon.

4.2.5 Ekotoksisuus

Elinkaariarvioinnin mukaisessa ympäristövaikutusten arvioinnissa ei ekotoksisia vaikutuksia ole yleensä kyetty kunnolla ottamaan huomioon. Elintarvikkeiden tuotannossa torjunta-aineilla saattaa olla merkittäviä vaikutuksia kokonaisympäristövaikutusten muodostumisessa. Erityisen mielenkiintoista olisi selvittää sitä, millä tavalla lisääntynyt torjunta-aineiden käyttö ja sitä kautta mahdollisesti saavutettu ravinnekuormitusvähenemä näkyvät kokonaisympäristövaikutuksissa. Tässä yhteydessä siihen ei saada vastausta. Osi-on tavoitteena on ollut selvittää ekotoksisuustarkastelujen yleiset lähtökohdat ja pyrkiä tuottamaan tarkastelluille torjunta-aineille karakterisointikertoimet, joiden avulla voidaan hahmottaa broilerin tuotantoverkossa käytettyjen torjunta-aineiden haitallisuuseroja. Myöhemmissä elinkaaritoissa ja ekotoksisuuslaskennan kehittelyssä voidaan hyödyntää tässä saatuja kokemuksia.

4.2.5.1 Ekotoksisuuden arvioinnin yleiset lähtökohdat

Ekotoksisten vaikutusten arvioinnissa keskipisteessä on kemiallisten yhdisteiden keskinäistä haitallisuutta indikoivien ns. karakterisointikertoimien määrittäminen. Karakterisointikertoimilla erityyppiset yhdisteet muutetaan kyseisessä vaikutusluokassa yhteismitallisiksi, mikä mahdollistaa vaikutusluokkaindikaattorituloksen laskemisen. Vaikutusluokkaindikaattorilla tarkoitetaan elinkaariarvioinnissa tarkasteltavan tuotteen tai palvelun toiminnallista yksikköä kohti laskettua tarkasteltavan vaikutusluokan haitallisuusindeksiä, ja yksinkertaisimmillaan se on laskettavissa ekotoksisuus-vaikutusluokassa seuraavanlaisella yhtälöllä:

$$I_{Ecot} = \sum_{j=1}^n C_{Ecot,j} * M_j \quad (3)$$

missä I_{Ecot} = ekotoksisuus-vaikutusluokan indikaattoritulos

$C_{Ecot,j}$ = kemikaalin j karakterisointikerroin ko vaikutusluokassa

M_j = kemikaalin j määräarvio

Yhtälössä (1) karakterisointikerroin ($C_{Ecot,j}$) muodostuu seuraavasti:

$$C_{Ecot,j} = E_{Ecot,j} \times F_{Ecot,j} \quad (4)$$

missä $E_{Ecot,j}$ = kuormitustekijän j karakterisointikertoimen vaikutustekijä

$F_{Ecot,j}$ = kuormitustekijän j karakterisointikertoimen leviämisen- ja altistustekijä

Vaikutustekijällä E kuvataan haitallisen yhdisteen luontaisia haittavaikutuksia ympäristössä ja tekijällä F yhdisteen leviämistä ympäristössä ja lajien altistumista kyseiselle aineelle.

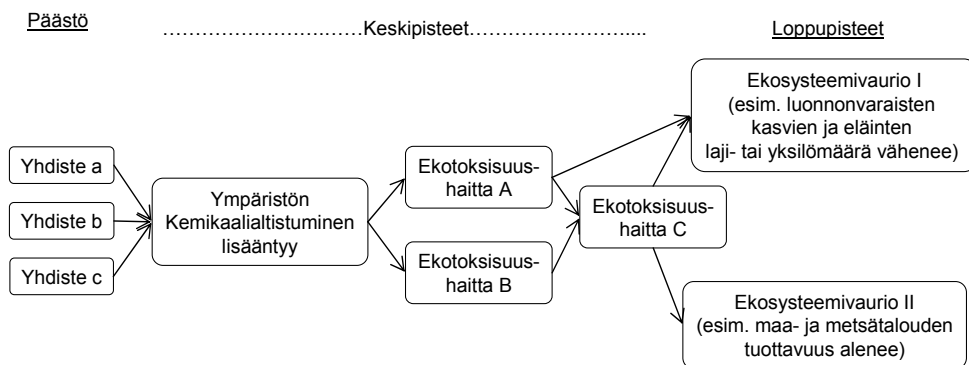
Udo de Haesin (1996) mukaan karakterisointikertoimen määrittelyssä voidaan käyttää neljää eritasoista tietoperustaa: 1) *kemikaalin vaikutustietoa*, eli tarkasteltavan kohteen herkkyyttä kemikaalin aiheuttamille vaikutuksille; 2) *kemikaalin käyttäytymis- ja altistumistietoa*, eli kemikaalin kulkeutumiseen ja muuntumiseen liittyviä kemikaalin ominaisuustietoja ja eliöiden altistumista kuvaavaa tietoa; 3) *taustapitoisuustietoa*, jolla arvioidaan vaikutuksen voimakkuus taustapitoisuus huomioiden ja 4) *paikkakohtaista tietoa*, eli kemikaalin käyttäytymisen mallintamisessa tarvittavaa tarkempaa paikkariippuvaista tietoa.

Kemikaalin käyttäytymisen arvioiminen edellyttää käsitystä siitä, kuinka suuri osuus johonkin ympäristöosaan (esim. ilmaan) joutuneesta ainemäärästä siirtyy muihin ympäristön osiin (esim. pintavesiin). Ekotoksisuutta kuvaavan vaikutusindikaattorituloksen laskemiseen käytetään täydellisimmillään Hertwichin ym. (2002) esittämiä yhtälöitä, joissa otetaan huomioon kemikaalin kulkeutuminen eri ympäristön osien välillä ja kemikaalin vaikutuskerroin eri ympäristön osissa. Käytännössä siis ekotoksisuuden kokonaisindikaattoritulos saadaan seuraavalla tavalla:

1) lasketaan kullekin kemikaalille indikaattoritulos ympäristön eri osissa (erikseen vesiin, ilmaan ja maahan kohdistuville päästöille) ja summataan näin saadut kemikaalikohtaiset erillisindikaattoriarvot yhteen;

2) lasketaan eri kemikaalien indikaattoriarvot yhteen

Kemikaalikohtaisen kokonaisindikaattorituloksen laskemisen edellytyksenä on, että eri ympäristöosien vaikutusindikaattorit ovat yhteismitallisia. Oletus on kiistanalainen, sillä vaikutuksia eri ympäristön osissa voidaan arvostaa eri tavalla. Lisätietoja löytyy Seppälän (2004) julkaisusta.



Kuva 15. Periaatekuva haitallisen yhdisteen vaikutusketjusta ja keski- ja loppupistemallinnuksen ajoittuminen siinä (mukaillen Udo de Haes ym. 1999).

Se, missä kohdassa vaikutusketjua (syys-seurausketju, ks. kuva 15) yhdisteen haitallisuutta arvioidaan eli karakterisointikerroin lasketaan, voidaan valita vapaasti. Arvioinnin epävarmuudet kuitenkin kasvavat sitä enemmän, mitä pidempi osa ketjusta otetaan mallinnukseen mukaan. Juuri näiden epävarmuuksien vuoksi koko syy-seurausketjun käsitteleminen (ns. *loppupistemallinnus*, endpoint modelling) ei ole käytännössä luotettavaa, vaikka se olisi vaikutusten arvioinnin kannalta oikein tapa. Yleensä tyydytään ns. *keskipistemallinnukseen* (midpoint modelling), jossa tavoitteeksi ei ole asetettukaan lopullisten vaikutusten arvioiminen.

Jos käytettävissä on karakterisointikertoimen määrittämiseen liittyvät parametrit, voidaan LCIA:ssa tehdä karakterisointikertoimilla toksisten yhdisteiden haitallisuuden yhteenlasku. Yhdelle tuotteelle laskettu ekotoksisuutta kuvaava vaikutusluokkaindikaattoriarvo ei sinänsä kerro vielä mitään. Vertailuvissa LCA-tutkimuksissa tietoa voidaan käyttää hyödyksi esimerkiksi eri tavalla tuotettujen tuotteiden ekotoksisuusvaikutuksia vertailtaessa. Jos halutaan verrata tuotteen tai palvelun ekotoksisia vaikutuksia syntyviin muihin ympäristövaikutuksiin (ja jos halutaan laskea eri ympäristövaikutuksia yhteen), tarvitaan myös ns. normalisointitekijä, johon toiminnallista yksikköä kohti laskettu vaikutusluokkaindikaattoriarvo suhteutetaan. Normalisointitekijän laskemiseksi tarvitaan tieto kemikaalikohtaisten karakterisointikertoimien lisäksi kemikaalien päästöistä. Kattavaa päästötietoa kemikaaleista on huonosti saatavilla. Ekotoksisia vaikutuksia syntyy samanaikaisesti eri ympäristön osissa, koska päästöt kohdistuvat eri osiin ja kemikaaleja kulkeutuu osasta toiseen. Sen takia myös ekotoksisia vaikutuksia kuvaavat tunnusluvut on laskettava ympäristön eri osiin erikseen.

Seuraavassa tarkastellaan lähemmin USES-LCA ja IMPACT 2002+ menetelmiä ekotoksisten kemikaalien karakterisointikertoimien määrittämiseksi.

USES-LCA

CML:n vuonna 2001 julkaisemissa suosituksissa (Guinee ym. 2001) todetaan USES-LCA-menetelmä (Huijbregts ym. 2000) käyttökelpoisimmaksi menetelmäksi ekotoksisten vaikutusten arvioinnissa. Mallissa voidaan laskea ekotoksisia vaikutuksia viidessä ympäristön osassa: toksiset vaikutukset makeissa ja merivesissä, makeiden vesistöjen ja merivesien sedimenteissä ja maaekosysteemien (terrestrisissä) ympäristöissä (freshwater aquatic, marine aquatic, freshwater sediment, marine sediment, terrestrial). Jokaista näistä voidaan lisäksi arvioida erilaisilla aikahorisonteilla. Karakterisointikertoimen laskemisessa käytetään seuraavaa yhtälöä, jossa tuloksena on 1,4-diklooribentseeniin suhteutettu *ekotoksisuuspotentiaaliluku* (esimerkkinä ekotoksisuuspotentiaali makeassa vedessä: Fresh water Aquatic EcoToxicity Potential):

$$FAETP_{i,ecomp} = \frac{\Delta PEC_{i,ecomp,freshwater} \times E_{i,freshwater}}{\Delta PEC_{1,4-dicloroberzene,freshwater,freshwater} \times E_{1,4-dicloroberzene,freshwater}} \quad (5)$$

jossa:

$FAETP_{i,ecomp}$ = kemikaalin i , jonka päästö kohdistuu ympäristön osaan $ecomp$, ekotoksisuuspotentiaali makeassa vedessä

$\Delta PEC_{i,ecomp,freshwater}$ = kemikaalin i arvioitu muutos pitoisuudessa (predicted environmental concentration) freshwater-ekosysteemissä päästön kohdistuessa ympäristön osaan $ecomp$

$E_{i,freshwater}$ = vaikutuskerroin, joka kuvaa kemikaalin toksista vaikutusta freshwater-ekosysteemissä. On kyseisen kemikaalin PNEC-arvon (Predicted No Effect Concentration) käänteisluku, eli $\frac{1}{PNEC_{i,freshwater}}$

Vastaavalla tavalla kuin yllä olevassa esimerkissä makean veden ekosysteemille, ekotoksisuuspotentiaalit lasketaan muille ekosysteemin osille:

$FSETP_{i,ecomp}$ = makean veden sedimentti (fresh water sediment ecotoxicity), $MAETP_{i,ecomp}$ = merivesiekosysteemi (marine aquatic ecotoxicity), $MSETP_{i,ecomp}$ = merisedimentti (marine sediment ecotoxicity), $TETP_{i,ecomp}$ = (terrestrinen) maaekosysteemi (terrestrial ecotoxicity).

Eri ekosysteemin osille laskettuja ekotoksisuuspotentiaaleja voidaan laskea yhteen vasta niiden keskinäisen painottamisen jälkeen.

IMPACT 2002 ja IMPACT 2002+

Penningtonin ym. (2003 a ja b) IMPACT 2002 –mallilla voidaan laskea karakterisointikertoimet terrestriselle ja akvaattiselle ekotoksisuudelle. Ekotoksisuusmalleja on käytetty IMPACT 2002+ -mallissa (Jolliet ym. 2003), johon on koottu myös muita vaikutusluokkia. 2002+ mallilla on mahdollisuus keskipiste- ja loppupistemallinnukseen. Ekotoksisuuden keskipistemallinnuksessa osalta se tarkoittaa kemikaalien yhteismitallistamista käyttämällä trietyyleeniglykolia referenssiyhdisteenä, ja yksikkönä on $PAF * m^3 * \text{vuosi/kg}$ emitted.

Akvaattiselle ekotoksisuudelle PAF (APAF) lasketaan yhtälöllä:

$$APAF_i = F_i^{mw} * \theta_i^w * \beta_i (PAF * m^3 * \text{vuosi/kg}) \quad (6)$$

missä $F * \theta$ = kulkeutumistekijä

F = osuus kemikaalipäästöstä, joka siirtyy ympäristön osasta m vesistöön

θ = kemikaalin pysyvyys vesistössä, vuotta, hajoamisluvun (k) käänteisluku, ja β = vaikutustekijä

Vaikutustekijä (β) on muutos PAF –lajeissa joiden kokema stressi lisääntyy kemikaalin pitoisuuden muuttuessa (eli muutos PAF:issa kun pitoisuus muuttuu).

Vaikutustekijä β_i arvioi keskimääräistä vaikutusta lajeihin, käyttämällä HC50 arvoa eli keskimääräistä haitallista pitoisuutta joka vaikuttaa 50 prosenttiin lajeista, yksikkönä kg/m^3 :

$$\beta_i = 0.5/HC50_i^w (PAF m^3/kg) \quad (7)$$

Yhteismitallistaminen trietyyliglykoliin tehdään jakamalla tarkastellulle kemikaalille laskettu APAF-arvo trietyyliglykolin vastaavalla arvolla.

Terrestrinen ekotoksisuus on laskettavissa samalla tavalla. Tiedon puutteen takia HC50-arvot on extrapoloitava akvaattistoksisesta HC50-datasta kemikaalin adsorptiokyvyn (K_{di}), maaperän tiheyden (ρ^s) ja vesipitoisuuden (f^w) avulla:

$$HC50_i^s = HC50_i^w (K_{di} \rho^s + f^w) \quad (8)$$

Loppupistemallinnuksessa ekotoksisuus kuuluu ekosysteemin laatu-vaikutuskategoriaan, jossa yksikkönä on $PDF * m^2 * \text{vuosi/kg}$ emitted. Akvaattinen ekotoksisuus -luokassa PAF (Potentially Affected Fraction of species)

muunnetaan PDF:ksi (Potentially Disappeared Fraction of species) käyttämällä yhtälöä:

$$AEDF_i = 0.5 * APAF_i / h^w \quad (9)$$

missä $AEDF_i = Aquatic Ecotoxicity Damage Factor$ kemikaalille i

$APAF_i = (Aquatic) Potentially Affected Fraction of species$ kemikaalille i

$h^w = vesistön keskisyvyys$

4.2.5.2 Ekotoksisten vaikutusten arviointi broilerin lihan tuotantoketjussa

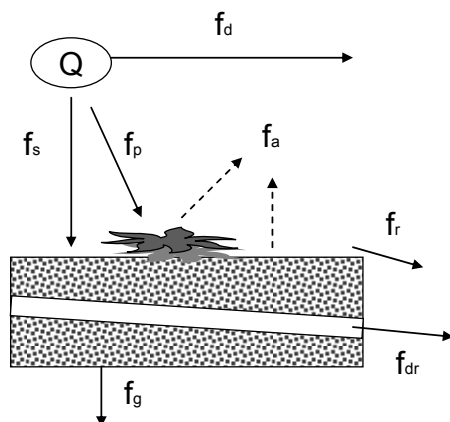
Vesieliöihin liittyvää toksisuustietoa on parhaiten olemassa, minkä takia tässä keskitytään makean veden akvaattisen ekotoksisuuspotentiaalın (FAETP) arviointiin USES-LCA -mallin pohjalta.

Torjunta-aineita käytetään tarkoituksellisesti tuottamaan toksinen vaste kohteessa. Ne poikkeavat siten useimmista muista kuluttajakemikaaleista. Torjunta-aineiden elinkaariarvioinnissa tärkeänä osatekijänä onkin päästöjen arvioiminen käyttömääristä emissiokertoimien avulla. Tässä kirjoituksessa johdetaan kirjallisuusarvojen perusteella emissio- ja ekotoksisuuspotentiaali-kertoimet seitsemälle broilerin fileesuikaleiden tuotantoverkossa käytetylle torjunta-aineelle: glyfosaatti, trifluraliini, tribenuroni-metyyli, propikonatsoli, klormekvattikloridi, etefoni ja alfasypermetriini. Rypsin tuotantoketjussa käytetylle protikonatsolille ei kertoimia pystytty lähtötietojen puutteen takia tuottamaan. Johdetut kertoimet ovat yksinkertaistuksia todellisista prosesseista ja soveltuvat toksisen vasteen vertailuun aineiden välillä, eivät absoluuttisen toksisen vasteen arviointiin.

LCIA-analyysissä pelto kuuluu teknosfääriin, joten vaikutus lasketaan vain pellolta poistuville pestisidimäärille (Hauschild 2000). Hauschild (2000) esitti yksinkertaisen emissioiden arviointimenetelmän, jota Birkved ja Hauschild (2006) täydensivät PestLCI -malliksi. Mallissa ruiskutettu kemikaali kulkeutuu ilmaan, veteen ja pohjavesiin (vrt. kuva 16). Kulkeutuminen riippuu kemikaalin ominaisuuksien lisäksi mm. peltolohkon muodosta, ruiskutustekniikasta ja kasvuasteesta.

Pest-LCI malli simuloi aineen pitoisuutta ja kulkeutumista ajan ja syvyysprofiilin funktiona. Tässä esitetyissä laskelmissa käytetään Birkveld ja Hauschildin (2006) julkaisemia yksinkertaistettuja yhtälöitä. Pohjavesien ja salaojien kautta kulkeutuva osuus jätettiin huomiotta, sillä monimutkaisen maaperäkulkeutumismallin parametrisointiin suomalaisiin oloihin ei ollut saatavilla

tarvittavia muuttujia. Kasvin lehdille päätyvästä aineesta 80 prosenttia arvioitiin imeytyvän lehtiin neljän päivän sisällä.



Kuva 16. Torjunta-aineiden kulkeutumisprosessit pellolta sen ympäristöön (Q = kokonaismäärä; alaindeksit: d = tuulikulkeuma, s = maaperään, p = kasviin, a = haihtumalla ilmaan, r = pintavalunta, dr = salaojitus, g = pohjavesi) (Hauschild 2000).

Tuulikulkeuma arvioitiin Pest-LCI mallilla käyttäen 120 x 180 m peltolohkoa. Tuulikulkeuman suuruudeksi saatiin 0,1–0,4 prosenttia riippuen suojaetäisyydestä (10–25 m) ruiskutuspuomiston ollessa 12 m leveä. Pintavalunnan määrittämisessä oletettiin pellon kaltevuudeksi 1,6 prosenttia, hiekan osuudeksi maassa alle 10 prosenttia ja keskimääräiseksi sadepäivien väliksi 4 päivää. Tämä vaikutti lähinnä siihen, miten herkkä malli on aineiden hiihittoutumiskertoimelle (K_{oc}) ja haihtuvuudelle. Maavaikutteiselle trifluraliinille, joka mullataan välittömästi ruiskutuksen jälkeen, sadepäivien väliksi asetettiin 0,1 päivää millä keinotekoisesti pienennettiin yhdisteen haihtuvuutta. Aineesta 100 % päättyi maahan.

Kasvin pinnalle joutuva määrä riippuu mallissa kasvin lajista ja kasvuasteesta (vehnälle lehtivaiheessa 25 %, sivuversovaiheessa 50 %, korrenkasvuvaiheessa 70 % ja tuleentumisvaiheessa 90 %). Kasvuaste määritettiin torjunta-ainerekisterin suositusten perusteella. Käytetyt lähtötiedot ja mallilla saadut emissiokertoimet on esitetty taulukossa 8.

Ainekohtaiset karakterisointikertoimet (C , taulukossa 9) saatiin kertomalla ilmaan ja veteen kohdistuvat emissiokertoimet vastaavilla ekotoksisuuspotentiaalikerroimilla ($FAETP_{air}$ ja $FAETP_{water}$) (Guinee ym. 2002). Osalle aineista (tribenuronimetyyli, klormekvattikloridi, etefoni ja propikonatsoli) jouduttiin arvot laskemaan kaavan (5) mukaan. ΔPEC laskettiin käyttämällä USES-LCA mallia ja PNEC-arvo laskettiin vertaamalla muita PNEC-arvoja ruotsalaisiin pintavesien raja-arvoihin (Asp ym. 2004). Karakterisointikertoimet

kuvaavat aineiden välisiä ekotoksisuuspotentiaali eroja. Ottamalla huomioon käyttömäärät saatiin esille eri torjunta-aineiden ekotoksisuuspotentiaalierot tarkastellussa tuotantoverkossa esitettynä toiminnallista yksikköä kohti (I). Sekä C:n että I:n yksikkönä on kg 1,4-diklooribentseeniä/kg (taulukko 9).

Taulukko 8. Pest-LCI mallissa (Birkved ja Hauschild, 2006) käytetyt fysikaalis-kemialliset muuttujat, sekä lasketut ilma- ja vesiemissiokertoimet (arvot peräisin USES-LCA 2.0 mallin tietokannasta (Huijbregts ym. 2005)

	Kasvu-aste	Suoja- etäisyys (m)	log- Ko c	Vp (μPa)	S (g/L)	Il- maan (%)	Ve- teen (%)
Tribenuronime- tyyli	Lehtiaste	15	2,6	0,05	0,05	8,0	0,30
Trifluraliini	Mullos	25	3,9	26000	0,0005	1,1	0,57
Glyfosaatti	Korren- kasvu	15	3,6	40	129	2,1	0,15
Propikonatsoli	Korren- kasvu	15	2,8	56	0,11	3,7	0,14
Klormekvatti- kloridi	Penso- minen	10	2,3	14	1000	18,4	0,14
Etefoni	Korren- kasvu	15	0,2	13	1000	26,6	0,06
Alfasypermet- riini	Lehtiaste	25	6,1	23	0,000004	5,1	0,52

Koc = hiilisitoutumiskerroin

Vp = höyrynpaine

S = vesiliukoisuus

Taulukko 9. Makean veden akvaattista ekotoksisuuspotentiaalia kuvaavat tehoainekohtaiset arvot ilmaan (FAETP_{air}) ja veteen (FAETP_{water}) kohdistuville tehoaine-emissioille ja emissiokertoimien (taulukko 8) ja toksisuuspotentiaalien kautta lasketut karakterisointikertoimet (C). FAETP-kertoimet ovat lähteestä Guinee ym. (2002). Sarake I esittää tuhatta kiloa broilerin marinoitua fileesuikaletta kohti käytettyjen tehoaineiden ekotoksisuusvaikutuksen, joka on käyttömäärän ja C:n tulo (I:n ja C:n yksikkönä kg 1,4-diklooribentseeniä).

Tehoaine	Käyttö- määrä, kg*	FAET- P _{air}	FAETP _{water}	C	I
Tribenuroni-metyyli	0,003	1819	6750	165,9	0,4
Trifluraliini	0,048	9,9	27000	155,3	7,5
Glyfosaatti	0,640	22,0	1400	2,6	1,7
Propikonatsoli	0,057	10,6	38,6	0,4	0,03
Klormekvattikloridi	0,253	11,8	33,9	2,2	0,6
Etefoni	0,002	2,7	7,8	0,7	0,001
Alfasypermetriini	0,0008	84000	7900000	45319	3
					34,3

* hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotantoon (1000 kg) tarvittavien broilereiden rehunviljelyyn käytettävä torjunta-ainemäärä

Rypsilä tuholaissaineena käytetyn alfasypermetriinin karakterisointikerroin on tarkasteltavista aineista suurin. Vaikka aineen käyttömäärä on paljon muita aineita pienempi, sen potentiaalinen ekotoksisuusvaikutus on hallitseva tuoteyksikköä kohti laskettuna (taulukko 9). Myös trifluraliinin, jota käytetään rypsilä rikkakasvien torjunnassa, saamalla ekotoksisuusvaikutusarvolla on kokonaisindeksissä melko suuri merkitys. Näin rypsiöljyn tuotannon merkitys on noin 95 prosenttia tuotantoverkon torjunta-ainekäytöstä aiheutuvasta akvaattisesta ekotoksisuusvaikutuksesta, vaikka rypsin osuus rypsin ja viljojen yhteenlasketusta tuotantopinta-alasta on vain noin 10 prosenttia.

Kun lasketaan yhteen eri tehoaineiden I-arvot (taulukko 9), saadaan summaksi 44,5 kg 1,4-diklooribentseeniä, mikä on tuotteelle laskettu akvaattisen ekotoksisuuden indikaattoriarvo. Arvossa tosin ei ole viljan ja rypsin viljelyssä käytettyjen torjunta-aineiden lisäksi mukana muita akvaattista ekotoksisuutta aiheuttavia aineita, joita tuotantoverkon eri osissa vapautuu, kuten soijan viljelyssä käytettyjä torjunta-aineita, broilerikasvattamoiden pesussa käytettyjä pesu- ja desinfiointiaineita, torjunta-aineteollisuuden haitallisten aineiden päästöjä tai esimerkiksi energiantuotannosta aiheutuvia metallipäästöjä.

Siinä tapauksessa, että verrattaisiin toisiinsa eri lihatuotteita tai eri tavalla tuotettua broilerinlihaa, eri tuotteiden indikaattoriarvoja vertaamalla voitaisiin tehdä johtopäätöksiä kyseisten tuotejärjestelmien ekotoksisuusvaikutuseroista. Yksittäinen indikaattoriarvo ei kerro vielä mitään. Sen sijaan akvaattista ekotoksisuutta kuvaavan vaikutusluokan tärkeyttä muihin vaikutusluokkiin nähden voitaisiin arvioida normalisoitujen vaikutusluokkaindikaattoriarvojen avulla. Se edellyttäisi akvaattiselle ekotoksisuudelle normalisointitekijän laskemista, mikä tapahtuisi laskemalla – tämän tutkimuksen yhteydessä käytetyn vaikutusarviointimenetelmän ollessa kyseessä – Suomen vesiin kohdistuvien kemikaalipäästöjen karakterisoidut päästöt yhteen.

Kattavaa tietoa kemikaalipäästöistä Suomessa ei ole olemassa. Tiettyjen teollisuudesta peräisin olevien ekotoksisten yhdisteiden ja aineiden osalta päästöt on tilastoitu ympäristöhallinnon VAHTI-tietokantaan. Lisäksi pitäisi arvioida torjunta-aineille emissiokertoimet ympäristön eri osiin. Päästö- ja kulkeutumistiedon lisäksi myös kemikaalikohtaiset vaikutuskertoimet vaativat lisäselvityksiä, ennen kuin varsinaisia ympäristövaikutusarviointiin sovelluksia voidaan suorittaa. Vaikka valmiita kertoimia on olemassa, niiden taustat on selvitettävä samoin kuin soveltuvuus suomalaisiin olosuhteisiin.

4.3 Kokonaisympäristövaikutukset

Ympäristövaikutuksia tarkastellaan tavallisesti ympäristövaikutusluokittain (ilmaston lämpeneminen, rehevöityminen jne.), kuten edellä esitettiin. Tässä tutkimuksessa eri ympäristövaikutusluokista saadut tulokset on yhteismitallistettu ja esitetään tässä kohdassa ns. Mittatikku-asteikon mukaan.

4.3.1 Mittatikkun periaatteet

Mittatikki on Suomessa vastikään kehitetty menetelmä havainnollistaa tuotteiden kokonaisympäristövaikutuksia (Nissinen ym., 2006). Mittatikkun avulla voidaan hahmottaa erilaisten kulutusvalintojen ympäristövaikutusten suuruusluokka sekä vertailla vaihtoehtoisia tuotteita. Menetelmässä on kolme pääosaa: (i) päiväkulutusta vastaavien ympäristövaikutusten arviointi, (ii) näiden ympäristövaikutusten normalisointi, ja (iii) normalisoitujen ympäristövaikutusten yhdistäminen kokonaisympäristövaikutusarvioksi painottaen kutakin vaikutusluokkaa sen tärkeydellä, jotka perustuvat asiantuntija-arvioihin.

Erityyppisten ympäristövaikutustietojen esittäminen yhtenä lukuarvona edellyttää niiden normalisointia ja arvottamista siten, että ne voidaan laskea yhteen ja vertailla saatua lukuarvoa muihin tuotteisiin. Normalisointi tarkoittaa karakterisoidujen inventaariotulosten eli ympäristövaikutusten suhteuttamista vertailusysteemin ympäristövaikutuksiin. Mittatikkutarkastelussa normalisoinnissa käytetään vertailusysteeminä henkilöä ja päivää kohti laskettuja Suomen ympäristövaikutuksia (liite 5).

Normalisointia varten broilerituotteen ympäristövaikutukset on laskettu normalisointiperustetta vastaavasti eli keskimääräistä suomalaisten päivittäistä broilerinlihankulutusmäärää kohden, joka vuonna 2005 oli noin 70 miljoonaa teuraskiloa (Suomen Gallup Elintarviketieto 2005, kirjallinen tiedonanto) eli noin 36 teuraslihagrammaa vuorokaudessa henkilöä kohden. Tämä keski kulutus tutkituksi tuotteeksi eli lihaksi ja marinadiksi muutettuna vastaa noin 40 gramman päiväannosta marinoituja broilerin fileesuikaleita. Teuraskilosta saatavan broilerin lihamäärän allokointiperiaatteena käytettiin samaa laskentatapaa kuin määritettäessä broilerin tuotannossa broilerinlihalle kohdentuvia ympäristövaikutuksia kohdassa 3.6.

Jotta eri ympäristövaikutusluokkien normalisoituja tuloksia voidaan yhdistää, on eri ympäristövaikutusluokille annettava painotukset, ns. vaikutusluokkapainot, jotka kuvaavat eri ympäristöongelmien keskinäistä vähentämistärkeyttä Suomessa. Mittatikkumenetelmässä käytettävät vaikutusluokkapainot (liite 5) perustuvat eri hankkeiden yhteyksissä toteutettuihin asiantuntijapaneelikeskusteluihin (Seppälä ja Jouttijärvi 1997, Seppälä ym. 2000, Grönroos ja Seppälä 2000, Tenhunen ja Seppälä 2000).

Kaikki ympäristövaikutukset eivät ole mukana Mittatikki-tarkastelussa, koska eräitä ympäristövaikutuksia ei vielä voida luotettavasti laskea elinkaariarvioinneissa. Näihin kuuluvat ihmisten altistuminen terveydelle vaarallisille aineille ja pienhiukkasten vaikutuksille, aineiden haitalliset vaikutukset eliöille (ekotoksisuus), vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen, maankäyttö ja vaikutukset maan tuottavuuteen sekä yläilmäkehän otsonikerroksen heikentyminen.

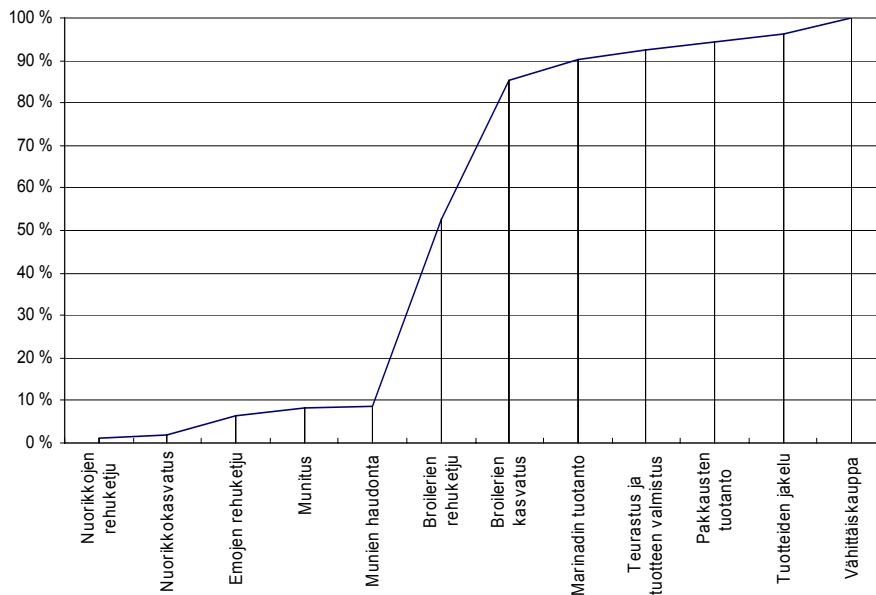
Mittatikkuesitystavassa käytetään tuotteiden vertailuun ns. mittatikkutuotteita, jotka ovat suomalaisille kuluttajille tuttuja, jokapäiväisiä tuotteita tai suoritteita. Mittatikkutuotteina ovat tällä hetkellä ruisleipä, Emmental-juusto, pyykinpesu, automatka ja asuminen.

4.3.2 Mittatikkutulokset

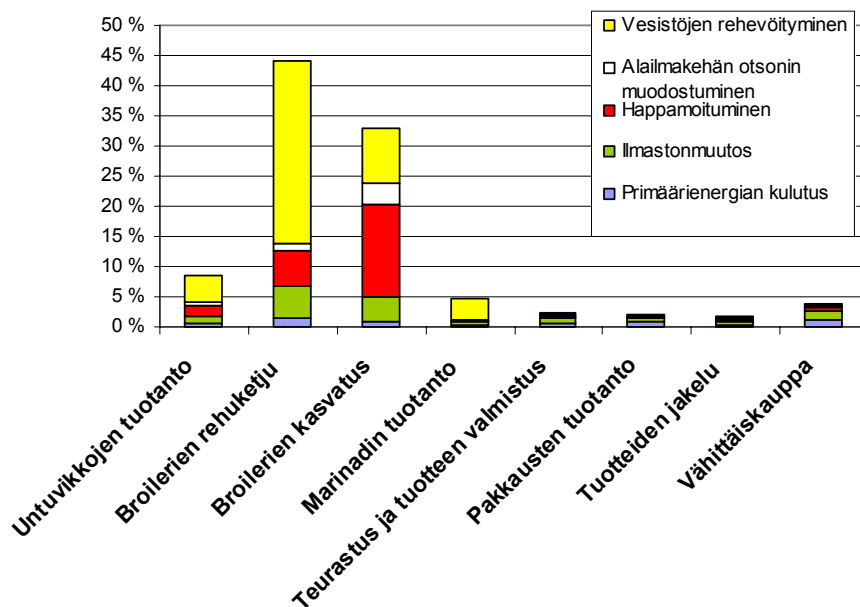
4.3.2.1 Kokonaisympäristövaikutukset broilerituotteen elinkaareissa

Ympäristövaikutusten kertymästä erottuvat suhteellisesti eniten broilereiden ruokinta ja kasvatus (kuva 17 ja 18). Ne muodostivat elinkaarisesta ympäristövaikutuskertymästä lähes 80 prosenttia. Untuvikkojen tuotannon osuudeksi puolestaan saatiin yhteensä noin kymmenen prosenttia, kun siihen sisällytetään nuorikkojen ruokinta ja kasvatus, munitus ja emojen ruokinta sekä munitien haudonta. Pakkausten valmistuksen, valtakunnallisen tuotelogistiikan ja vähittäiskaupan osuudeksi muodostui yhteensä kymmenen prosenttia. Rypsiöljyn tuotannon osuudeksi tuli 5 prosenttia, ja broilerien teurastuksen ja tuotteiden valmistamisen osuudeksi kaksi prosenttia. Tuotannon ympäristövaikutuksista aiheutui eniten vesistöjen rehevöitymisestä (lähes 50 %) ja happamoitumisesta (25 %) (kuva 17 ja 18). Johtuen rehevöittävien päästöjen suhteellisen suuresta osuudesta kokonaisympäristövaikutuksissa korreloivat edellä kuvatut tulokset melko hyvin kohdassa 4.1.1 esitettyjen pinta-alan käyttömäärien kanssa. Tämä myös samalla osoittaa kuinka tärkeää on, että ravinnehuuhoutumien mallintaminen tapahtuisi mahdollisimman luotettavasti.

Tuloksiin vaikuttivat asiantuntijapainotuksin saadut vaikutusluokkapainot, jotka korostaa rehevöitymisen ja ilmastonmuutoksen vähentämisen tärkeyttä. Vaikutusluokkapainoja enemmän lopputulokseen vaikuttaa kuitenkin normalisointitekijä. Maatalous aiheuttaa Suomessa noin 50 prosenttia rehevöittävästä päästöistä vesiin (Suomen ympäristökeskus 2006, Seppälä ym. 2004). Ilmastonmuutosta ja happamoitumista aiheuttavissa päästöissä maatalouden osuus on selvästi tätä pienempi (Statistics Finland 2006, Suomen ympäristökeskus 2006, Seppälä ym. 2006). Broilereiden kasvatusvaihe ja sitä kautta happamoituminen kuitenkin korostuvat kokonaisympäristövaikutustarkastelussa, vaikka toisaalta maatalouden osuus happamoittavista päästöistä on noin 20 prosenttia, ja sen saama vaikutusluokkapainokin on selvästi esimerkiksi ilmastonmuutosta pienempi. Syy löytyykin siitä, että kyseessä on kotieläinperäinen tuote, jolle kertyy happamoittavia ammoniakkipäästöjä suhteessa huomattavasti enemmän kuin kasvipohjaiselle elintarvikkeelle.



Kuva 17. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotantoverkon kokonaisympäristövaikutusten kertymän muodostuminen tuotantovaiheittain.

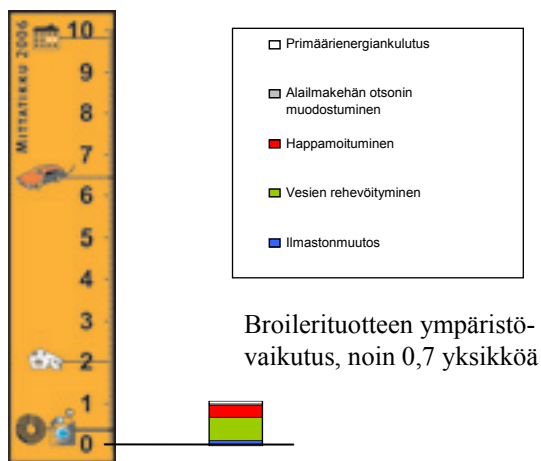


Kuva 18. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotantoverkon kokonaisympäristövaikutusten muodostuminen tuotantovaiheittain ja ympäristövaikutusluokittain.

4.3.2.2 Broilerituote mittatikulla havainnollistettuna

Jotta tutkitun tuotteen ympäristövaikutusten suuruusluokasta saisi käsityksen, on sitä verrattu mittatikkutuotteiden keskimääräisten päiväkulutusten ympäristövaikutuksiin (kuva 19). Broilerinkulutus henkeä kohden on Suomessa nykyisin noin 13 kilogrammaa vuodessa, mikä lihaksi ja marinadiksi muutettuna vastaa noin 40 gramman päiväannosta marinoitua broilerin fileesuikaletta. Tämän annoksen päivittäinen nauttiminen on ympäristövaikutuksiltaan suurin piirtein kaksinkertainen sekä päivittäiseen pyykinpesuun (pesukoneellinen pyykkiä joka toinen päivä henkilöä kohti) että ruisleivän päiväannokseen (83 grammaa) verrattuna. Juuston päiväkulutus (30 grammaa) aiheuttaa noin kolminkertaisen kuormituksen broilerin päiväkulutukseen nähden.

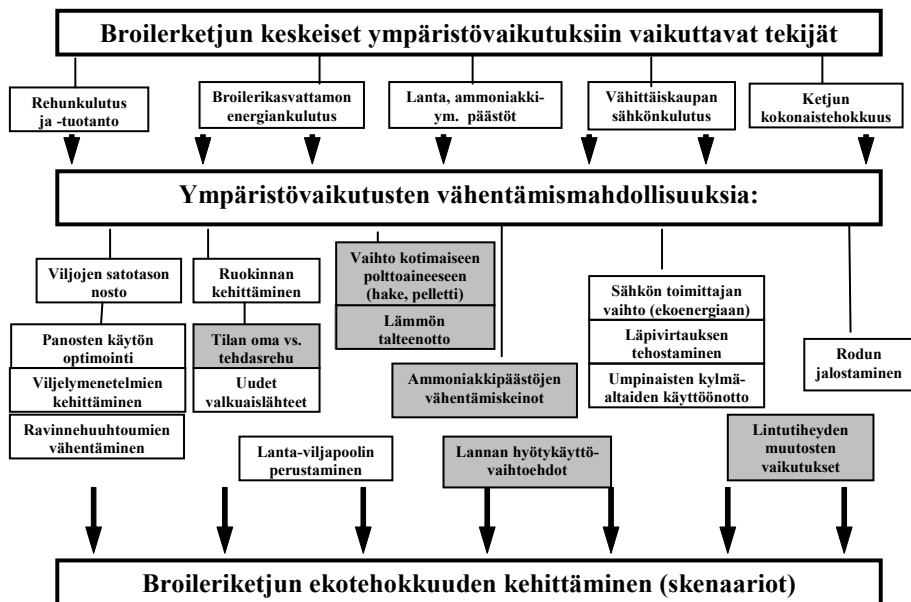
Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden tuotannon ympäristövaikutuksista painottuvat eniten rehujen tuotannon ravinnekuormitukset ja broilerinlannasta haihtuva ammoniakki. Nämä näkyvät kuvissa (18 ja 19) vesistöjen rehevöitymisen ja happamoitumisen kohdalla. Nämä kaksi ympäristövaikutusluokkaa vastasivat yhdessä lähes 75 prosenttia kaikista tuotantoverkon tutkituista ympäristövaikutuksista. Kokonaisvaikutuksista 15 prosenttia aiheutui ilmastomuutoksesta. Muiden vaikutusluokkien osuus oli suhteellisen pieni.



Kuva 19. Hunajamarinoitujen broilerin fileesuikaleiden keskimääräisen päiväkulutuksen (40 g) ympäristövaikutukset suhteessa ruisleivän ja juuston päiväkulutukseen sekä päivittäiseen pyykinpesuun, henkilöautolla ajoon ja asumiseen. Mittatikun asteikko perustuu henkilöä ja päivää kohti laskettuihin Suomen yhteismitallistettuihin kokonaisympäristövaikutuksiin, jotka saavat arvon 100.

5 Tuotantoverkon parannusmahdollisuudet

Broilerituotannon tuotantoverkon parannusmahdollisuuksien arvioinnin tavoitteena oli lisätä tietoa erilaisten muuttujien ja tekijöiden ympäristövaikutuksista sekä löytää potentiaalisimmat käytännöt, joilla ympäristövaikutuksia voidaan vähentää. Parannusmahdollisuuksien arvioinnin lähtökohtana olivat nykytilanteen ympäristövaikutuksiin vaikuttavat keskeiset tekijät. Keskeisiä ympäristövaikutuksiin liittyviä tekijöitä ja niihin liittyviä parannusskenaarioita on esitetty kuvassa 20. Seuraavissa kohdissa tarkastellaan koko ketjun näkökulmasta oman viljan ja teollisen rehuseoksen suhteen muutosta ruokinnassa, viljelyn panosten käytön tehostamista, ammoniakkipäästöjen vähentämismahdollisuuksia, lämmön talteenottoa broilerikasvattamoissa, kasvattamon lämmittämistä vaihtoehtoisilla polttoaineilla, lintutiheyden muutoksen ympäristövaikutuksia sekä broilerinlannan hyötykäyttövaihtoehtoja (kuvassa 20 eroteltu harmaalla taustavärillä).



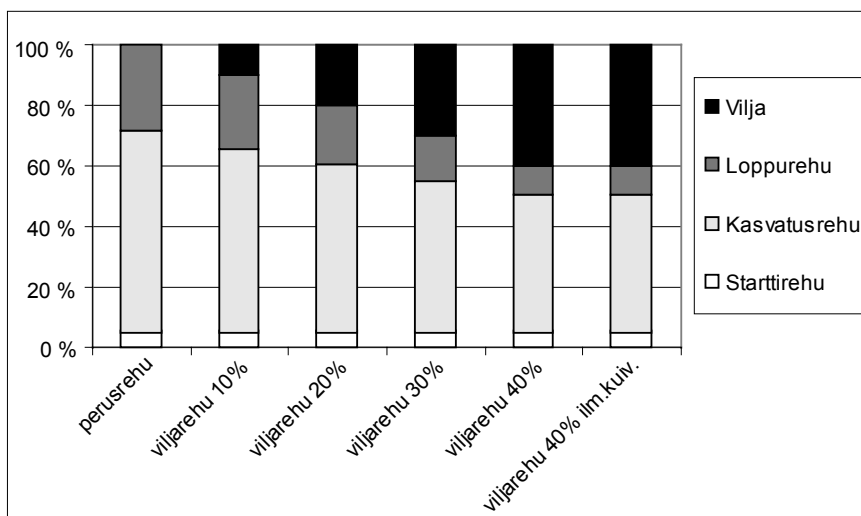
Kuva 20. Broileriketjun ympäristövaikutusten vähentämisen keskeisiä vaihtoehtoja sekä muita ympäristövaikutuksiin vaikuttavia skenaarioita. Kuvan tummapohjaisia esityksiä on mallinnettu ja tarkasteltu skenaarioittain luvussa 5.

5.1 Oman viljan ja tehdasrehun suhteen muuttaminen broilerin ruokinnassa

5.1.1 Skenaarion kuvaus

Oman viljankäytön osuus ruokinnassa oli perustapauksessa noin neljä prosenttia, ja sen on nähty viime aikoina olevan selvässä kasvussa. Tässä skenaariotarkastelussa laskettiin ympäristövaikutukset seuraavissa tapauksissa: perusrehu, jossa kaikki rehu on teollista rehuseosta, ja erilaiset viljaruokinnat, joissa kokonaisina jyvinä tehdasrehun joukossa syötettävän oman viljan osuus ruokinnasta (kg) vaihteli 10 ja 40 prosentin välillä (kuva 21). Oman viljan osuuden ollessa 40 prosenttia laadittiin erikseen skenaario, jossa viljaa ei kuivata vaan varastoidaan kaasutiiviiseen siiloon. Laskelmissa käytetty broilereiden kasvatuskauden aikainen keskimääräinen rehunkulutus arvioitiin HK Ruokatalon aineistosta vuodelta 2004 ja syöntikäyrä MTT:n broilerikasvatuskokeiden tuloksista. Laskelmissa ei huomioitu viljaruokinnasta aiheutuva mahdollista kokonaisrehunkulutuksen muutosta eikä viljaruokinnan mahdollisia vaikutuksia broilerin terveyteen ja tuotantoon.

Kokonaisten jyvien syöttäminen vaikuttaa edullisesti linnun ruoansulatuskanavan, varsinkin lihasmahan kehitykseen ja sitä kautta tehostaa rehun hyväksikäyttöä (mm. Bennett ym. 2002; Hetland ym. 2002). Lisättäessä tehdasrehuun omaa viljaa, rehuseoksen ravintoaine- ja kokkidiostaattipitoisuudet kuitenkin pienenevät, mikä tulee ottaa huomioon, jos viljaa lisätään suuria



Kuva 21. Oman viljan ja tehdasrehun käytön suhde broilerin ruokinnassa. Viljarehun prosenttiluku ilmaisee oman viljan osuuden rehun kokonaismäärästä. Viimeisimmässä skenaariossa omaa viljaa ei kuivata vaan varastoidaan ilmatiiviisti.

määriä ja tehdasrehu on täysrehua, jota ei ole suunniteltu viljan kanssa syötettäväksi. Huomioitavaa on myös, että omaa viljaa käytettäessä tuottaja vastaa itse viljan hygieenisestä laadusta toisin kuin pelkkää tehdasrehua syötettäessä.

5.1.2 Lannan käytön vaikutus kuormitukseen

Rehukasvien viljelystä aiheutuvien ravinnehuhtoumien kannalta on kasvien ominaiskuormittavuuden lisäksi merkitystä sillä, millä tavalla kasvien tuotannon pinta-alasuhteet muuttuvat, kun oman viljan osuus ruokinnassa lisääntyy. Viljan osuuden nostaminen noin neljästä prosentista neljäänkymmeneen prosenttiin ei olennaisesti vaikuta toiminnallista yksikköä kohti laskettuun peltoalantarpeeseen. Teolliset rehuseokset koostuvat viljasta, soijarouheesta ja kivennäisistä. Rehuseoskilon tuottaminen vaatii hieman suuremman pinta-alan suhteessa viljakiloon, koska rehuseoksissa olevan soijarouheen tuotannon vaatima pinta-ala on kiloa kohti laskettuna viljaa suurempi.

Rehuviljamalleissa on lähdetty siitä perusoletuksesta, että rehuviljan hehtaarisadot ovat samat rehuviljaa tuottavilla viljatioilla ja broileritiloilla. Viljelymenetelmissä on kuitenkin eroja, koska broileritiloilla lannoituksessa käytetään myös broilerinlantaa lannoitteena. Lohkoilla, joilla lantaa käytetään, sekä fosforin että typen huhtouma on suurempaa kuin lohkoilla, joilla käytetään pelkästään väkilannoitteita. Typen osalta ero johtuu suuremmasta typpiintensiteetistä lantaa vastaanottavilla lohkoilla pelkästään väkilannoitettuihin lohkoihin verrattuna (liukoisen typen määrä on sama). Fosforin kohdalla ero johtuu broileritilojen peltolohkojen korkeammasta viljavuusfosforipitoisuudesta verrattuna tavallisiin rehuviljaa viljeleviin viljatioihin.

HK sopimustilojen keskimääräinen peltoala on 63 ha ja keskimääräinen lintupaikkamäärä 45 000. Kyseisen eläinmäärän tuottama lantamäärä on 675 m³ vuodessa. Ympäristölupamenettelyn mukainen vähimmäispeltoala tämän lantamäärän levittämiseksi on 83 ha (Ohje kotieläintalouden ympäristönsuojelusta 1998). Koska noin kolmasosa lannasta kuitenkin siirtyy Biolan Oy:lle jatkokäsiteltäväksi, pienenee myös vähimmäispeltoalan määrä 56 hehtaariin.

Viljelijäaineiston perusteella lannan levitykseen käytetyn pellon osuus tilan kokonaispeltoalasta on noin 45 prosenttia, ja olisi siis keskimäärin noin 28 ha. Jos syntyvistä lantamäärästä (675 m³) kaksi kolmasosaa levitetään pelloille ja jos keskimääräinen levitysmäärä on 10 m³/ha, kuten viljelijäaineisto osoitti, levitysalaa tarvitaankin 45 ha eli 70 prosenttia alasta. Eroa näiden kahden eri tavalla määritellyn lannanlevitysalaoisuuden välillä selittänee osittain lannan luovuttaminen toisille tiloille, mitä viljelijäaineiston pohjalta tarkasteltuna tapahtuu jonkin verran.

Tässä yhteydessä tilan keskimääräisenä lannanlevitysalan osuutena käytetään 45 prosenttia. Sen lisäksi, että broileritilan lohkoilta fosforikuormitus on tavallisen rehuviljatilän lohkoa suurempi, 45 prosentilla tilan lohkoista myös typpikuormitus, N₂O-päästöt ilmaan ja polttoaineenkulutus ovat suurempia kuin rehuviljatilalla tai broileritilan vain väkilannoitetuilla lohkoilla.

Broileritilan käyttämän oman viljan osuuden lisääntyessä lintujen dieetissä myös toiminnallista yksikköä kohti laskettu ravinnekuormitus kasvaa. Keskimääräisellä 45 000 lintupaikalla ja 63 hehtaarin peltoalalla (kymmenen prosentin kesanto-osuudella) oman viljan osuus kokonaisrehunkäytössä ei voi ylittää 22 prosenttia. Käytännön viljelykiertovaatimusten takia raja tulee vastaan jo tätä aikaisemmin. Viljan osuutta nostettaessa ravinnekuormitus siis aluksi nousee, mutta siinä vaiheessa, kun omaa viljaa aletaan täydentää ostoviljalla, kuormituksen nousu pysähtyy ja alkaa laskea. Tämä tapahtuu tosin vain siinä tapauksessa, että ostovilja ei ole peräisin korkean typpiintensiteetin ja viljavuusfosforipitoisuuden omaavilta lohkoilta, jotka tyypillisesti ovat karjanlannalla lannoitettuja. Sama koskee polttoaineen kulutusta ja N₂O-päästöjä, jotka molemmat ovat suurempia lantaa vastaanottaneilla lohkoilla kuin pelkästään väkilannoitetuilla lohkoilla.

Lannan käyttö lannoitteena vähentää väkilannoitteiden käyttöä. Lohkoille, joita lannoitetaan karjanlannalla, on annettava väkilannoitetyypillisäys. Broileritilan lohkoilla, jotka eivät saa lantaa, riittäisi myös pelkästään lannoitusväkilannoitetyypellä, koska broileritilojen lohkojen tyypillisesti korkea viljavuusfosforipitoisuus ei edellytä fosforilisäystä. Väkilannoitetyypen väheneminen vaikuttaa tuotantoverkon kokonaisenergiankulutukseen ja sitä kautta mm. ilmastonmuutosvaikutukseen, tosin vaikutus näihin on pieni.

Oman viljan käytön lisääminen vähentää teollisten rehuseosten tuotannon tarvetta. Sitä kautta vähenee myös mm. viljan ja valmiiden rehujen kuljetusten ja teollisen rehustuksen päästöt.

5.1.3 Soijan vaikutus kuormitukseen

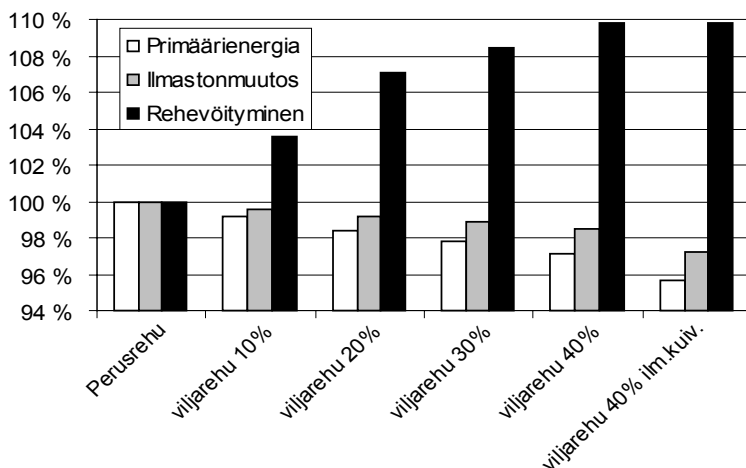
Soijan viljelyn typpihuuhtoumat ovat kirjallisuuden perusteella selvästi alhaisemmat kuin viljoilla Suomessa, mikä johtuu pääasiassa soijan erittäin alhaisesta typpilannoitustasosta (7 kg N/ha). Hehtaariohaiset fosforihuuhtoumat ovat suomalaisia viljoja jonkin verran pienemmät. Kuormitusarvioihin liittyy tosin epävarmuuksia, joita on kuvattu kohdassa 3.4.1. Myös rehevöittävässä vaikutuksessa on eroja Suomessa ja esimerkiksi Brasiliassa tapahtuvalla samansuuruisella ravinnepäästöllä. Suomessa merialueet ja sisävedet ovat hyvin herkästi rehevöityviä ja tilanne poikkeaa todennäköisesti täysin eteläamerikkalaisista olosuhteista.

Oman viljan osuuden kasvaessa vähenee soijan määrä broilereiden rehussa. Samalla syötettyä rehua kohti laskettu ravinnekuormitus selvästi kasvaa, koska alhaisemmat hehtaarihuuhtoumat ja myös tuoteyksikköä kohti lasketut huuhtoumat omaavaa kasvia korvataan korkeammat ominaishuuhtoumat omaavalla kasvilla. Ilmastomuutosta ja happamoitumista aiheuttavia päästöjä on sen sijaan mahdollista vähentää oman viljan käyttöä lisäämällä, koska soijan kuljetustarve ja rehujen teollinen prosessointi vähenee

5.1.4 Skenaariotarkastelun tulokset

Edellä kuvattujen skenaarioiden mukaan laskettuna oman viljankäytön lisääminen nostaisi rehevöittäviä kokonaispäästöjä (kuva 22). Oman viljan käyttö oli broileritiloilla vielä suhteellisen vähäistä vuonna 2004. Siirryttäessä teollisen perusrehun käytöstä 40 prosentin oman viljankäytön osuuteen rehevöittävät päästöt nousisivat noin kymmenen prosenttia. Ensimmäisissä skenaarioissa rehevöityminen lisääntyi suhteellisesti enemmän koska tällöin broileritilan omalla viljalla korvattiin tehdasrehua (ks. 5.1.2). Omaviljaosuuden noustessa yli 20 prosentin broileritilan teoreettinen pinta-ala ei enää riitä lisääntyvän rehun tuottamiseen vaan hankkii naapuritilalta viljaa, jonka oletettiin olevan viljatila. Tällöin viljelyn ravinnekuormituksen oletettiin olevan kohdassa 3.4 esitetyn mukaisesti samat kuin tehdasrehuseoksiin toimittavilla viljatililla.

Tämän jälkeen, omaviljaosuuden ollessa yli 20 prosenttia, rehevöittävien päästöjen kasvamiseen vaikuttaisi enää yksinomaan soijan käytön aleneminen.



Kuva 22. Primäärienergian kulutuksen, ilmastonmuutos- ja rehevöitymisvai-
kutuksen muutos kun lisätään omaa viljaa välillä 0–40 %. Viimeisimmässä
vaihtoehdossa oma vilja onilmakuivattu. Kuvan luvut on esitetty suhteellisisa
muutoksina vaikutusluokkien sisällä siten, että perustilassa ympäristökuormi-
tuksille annettiin arvo 100. Typpihuhtoumat on arvioitu yhtälön 1 mukaan.

Kuljetusten ja prosessoinnin vähennyttä oman viljankäytön ollessa 40 prosenttia ilmastonmuutosvaikutus väheni kolme prosenttia ja primäärienergiankulutus neljä prosenttia ketjussa suhteessa perusrehun tilanteeseen. Ilmastonmuutosvaikutus laskisi lähinnä hiilidioksidipäästöjen vähentymisen myötä. Myös vaikutukset happamoitumisen ja alailmakehän otsonin muodostuksen suhteen alenisivat tasaisesti oman viljan osuutta lisättäessä ruokinnassa. Happamoitusvaikutukseen laskuun oman viljan käytön lisääntymisen myötä vaikutti kaikki happamoittavien päästöjen vähentymä ketjussa. Erityisesti rikkidioksidipäästöjen väheneminen soijan kuljetusmäärien ja tehdasrehun prosessoinnin määrän vähetessä laski selvästi happamoittavaa vaikutusta.

Vaikka neljässä vaikutusluokassa viidestä tilanne parani oman viljan käytön lisääntymisen myötä, niin kokonaisympäristövaikutus kasvaisi tasaisesti viljaa lisättäessä johtuen rehevöitymisen suhteellisen suuresta painoarvosta kokonaisvaikutuksiin. Kokonaisympäristövaikutusten kasvu olisi 3,5 prosenttia lisättäessä oman viljan osuus nolasta 40 prosenttia. Varastoitaessa oma vilja kaasutiiviiseen siiloon viimeisessä skenaariossa kokonaisympäristövaikutukset hieman laskisivat suhteessa edelliseen, mutta tällöinkin kokonaisympäristövaikutukset ovat vielä kolme prosenttia suuremmat kuin perusrehun tapauksessa.

Kohdassa 3.4.1.4 esitetyn mukaisesti broilerinlantaa käyttäneiden viljelijöiden tyyppihuhtoumien arviointiin on esitetty vaihtoehtoisia laskentatapoja. Mikäli edellä olisi käytetty Salon (2006) esittämää tarkennettua tyyppihuhtouman laskentatapaa (kohta 3.4.1.4) rehevöittävät päästöt nousisivat yhdeksän prosenttia ja kokonaisympäristövaikutus 2,8 prosenttia siirryttäessä tehdasrehun käytöstä 40 prosentin oman viljankäytön osuuteen, eli tulos ei merkittävästi poikkeaa edellä kuvatusista ja kuvan 22 tuloksesta.

5.2 Rehuviljan tuotantopanosten käytön tehostaminen

Rehun tuotannossa suurimmat ongelmat näyttävät keskittyvän broileritilan oman viljan tuotannon korkeisiin fosforikuormituslukuihin. Kauan jatkunut runsas fosforilannoitus broilerinlannan levittämisen myötä on tutkituilla tiloilla nostanut lohkojen viljavuusfosforipitoisuutta, millä on suora vaikutus huhtoutuvan fosforin määrään.

Vaikka broileritilojen oman viljan käyttö broilereiden ruokinnassa ei olisi-kaan merkittävää, on tilan lohkojen viljavuusfosforipitoisuuden alentaminen kuitenkin yleisten vesiensuojelun tavoitteiden mukaista. Käytännössä lannan ravinteiden hyväksikäytön parantaminen onnistuu vain toimittamalla lantaa tilan ulkopuolelle ja huolehtimalla siitä, että lannan ravinteet tulevat mahdollisimman hyvin kasvien käyttöön. Käytännön haasteena lannan toimittamiselle lienee muuttaa kasvinviljelijöiden asennetta siihen suuntaan, että ne ottaisi-

sivat enemmän lantaa vastaan. Tällä hetkellä kasvinviljelijät saattavat kokea lannan levityksen ja laskennan liian työlääksi. Myös rehuviljailoilla on yleensä mahdollista alentaa lohkojen fosforipitoisuutta, tosin niillä lähtötaso on broileritiloja alempi.

Myös typen huuhtoumien kannalta lannalla näyttää olevan epäedullisia vaikutuksia, koska lannoitettaessa esimerkiksi ympäristötuen ehtojen mukaan huolehditaan siitä, että liukoista typpeä tulee oikea määrä. Samalla kokonaistypen määrä saattaa muodostua hyvinkin korkeaksi, tosin valtioneuvoston nitraattiasetus (931/2000) rajoittaa lannan mukana tulevan kokonaistypen määrän 170 kiloon hehtaarilla. Tämä kuitenkin nostaa typpitasetta ja typpi-huuhtouman arviointimenetelmän mukaan myös typpihuuhtoumaa. Broileritiloilla saattaisikin olla erittäin järkevää suorittaa liukoisen typen mittaus keväällä ennen viljelytoimenpiteitä erityisesti niillä lohkoilla, joille edellisenä vuonna on levitetty karjanlantaa. Näin kevään typpilannoituksessa voitaisiin ottaa huomioon kasvukauden ulkopuolella mineralisoituneen orgaanisen lannan typen määrä. Sama toimenpide olisi järkevä toteuttaa myös lohkoilla, joilla sato on edellisenä vuonna selvästi jäänyt normaalia pienemmäksi ja typen hyödyntämisyhteysaste on sen seurauksena jäänyt huonoksi, jolloin käyttämättömää typpeä saattaa keväällä olla pellossa jäljellä. Tämä koskee kaikkea viljelystä, ei pelkästään broileritilojen viljanviljelystä.

Ravinteiden hyväksikäytön parantamisessa pellon peruskunnosta huolehtiminen on yksi olennaisimpia tekijöitä. Ojituksen ylläpito, tiivistymisen ehkäiseminen ja kalkituksesta huolehtiminen kuuluvat näihin perustoimenpiteisiin. Luonnollisesti myös ammattitaitoiset, oikein ajoitetut ja tarpeen mukaan toteutetut viljelytoimenpiteet vaikuttavat sadon onnistumiseen ja sitä kautta ravinteiden tehokkaaseen hyödyntämiseen. Satotason nostolla voidaan pienentää viljakiloa kohti muodostuvia ravinnepestäjäjä, jos ravinnepestäjäjä pidetään ennallaan. Satoihin voidaan vaikuttaa edellä luetelluilla tekijöillä, mutta myös torjunta-aineiden käyttöä lisäämällä, mikä vähentää rehevöitymistä mutta lisää ekotoksisia vaikutuksia. Tuoteyksikköä kohti pienentynyt ravinnekuormitus vähentää kuitenkin valtakunnan tasolla vesistöjen rehevöitymistä ainoastaan siinä tapauksessa, että pinta-alakohtainen kuormitus pysyy samana tai alenee ja että tuotantomäärä ei nouse, eli viljelyala vähenee.

5.3 Ammoniakkipäästöjen vähentäminen

Ammoniakkipäästöjen laskentaa koskevassa kohdassa (kohta 3.5.2) keskimääräiseksi koko broilerinlannan käsittelyketjua kuvaavaksi ammoniakkipäästökertoimeksi saatiin 0,18 kg NH₃/eläinpaikka/vuosi, joka ottaa huomioon kasvatusvaiheen päästöjen lisäksi käytännöt lannan varastoinnissa ja levityksessä. Koska esimerkkituloilta saatujen tietojen mukaan noin kolmasosa lannasta päätyy Biolan Oy:lle, varastoinnista ja peltolevityksestä peräisin olevan päästön osuus on melko pieni, noin 17 prosenttia. Päästöjen

vähentämisen kannalta suurin potentiaali on siis kasvatusvaiheessa, johon tässä yhteydessä enimmäkseen keskitytään.

Broilereiden kasvatuksen aikaisia päästöjä voidaan vähentää merkittävästikin, mutta tyypillisesti menetelmiin liittyy ristikkäisiä ympäristövaikutuksia ja ne aiheuttavat tuottajalle lisäkustannuksia. Päästövähennyskeinot voidaan jakaa kolmeen ryhmään: typen hyväksikäytön parantamiseen liittyvät ruokinnalliset keinot, kuivikepatjan vettymistä estävät menetelmät ja ilman puhdistamiseen liittyvät menetelmät. Ympäristövaikutusten ja kustannusten lisäksi eläinten hyvinvointi tulee ottaa toimenpiteitä arvioitaessa huomioon. Monet varsinkin kuivikepatjan kuiva-ainepitoisuuteen liittyvät menetelmät vaikuttavat positiivisesti ammoniakkipäästöjen vähenemisen lisäksi myös eläinten hyvinvointiin.

Lannassa erittyvän typen määrään vaikuttaa se, kuinka hyvin eläin pystyy aineenvaihdunnassaan hyödyntämään rehun valkuaisaineet. Tähän vaikuttaa annetun valkuaisen määrä ja laatu eläimen tarpeeseen nähden. Intensiivisen kotieläintalouden parasta käyttökelpoista tekniikkaa (BAT) koskevassa BREF-raportissa (EC 2003) todetaan, että yhden prosenttiyksikön lasku rehun proteiinipitoisuudessa vähentää lannan typpipitoisuutta ja ammoniakkin haihtumista 10 prosenttia. Samassa yhteydessä mainitaan, että valkuaispitoisuutta voitaisiin alentaa nykyisestä keskimääräisestä tasosta (n. 21 %) 17 prosentin tasolle, mutta se edellyttäisi aminohappojen lisäämistä rehuun. Tämän tutkimuksen esimerkkituloilla käytettiin rehuja, joiden valkuaispitoisuus oli 20–23 prosenttia rehutyyppistä riippuen.

Kuivikepohjan kuiva-ainepitoisuudella on merkittävä vaikutus lannan typen haihtumiseen ammoniakkinä. Kuivikepatjan vettyminen lisää merkittävästi ammoniakkin haihtumista ja vaikuttaa lintujen terveyteen epäedullisesti mm. jalkavaivojen (tulehdukset ja haavaumat) lisääntymisen seurauksena (esim. Weaver 1990, Su ym. 1999, Tucker ja Walker 1999).

Kuivikepatjan kuivaamisella johtamalla ilmaa kuivikepatjan läpi voidaan saavuttaa jopa 80 prosentin päästövähennys. Menetelmästä on esimerkkikohteita maailmalla vain vähän, se on kallis, hankala ylläpitää ja se lisää kasvattamon sisäilman pölyisyyttä (EC 2003, Ellen 2005). Lattialämmityksen avulla voidaan periaatteessa kuivikepohjaa pitää kuivempänä, mutta varsinkin Suomea lämpimimmissä ilmasto-olosuhteissa kasvatusvaiheen loppupuolella tarvitaan jäähdytystä, jotta kasvattamon lämpötila ei nouse liian korkeaksi. Hollantilaisten kehittämällä ns. *Kombidek-järjestelmällä* (ks. esim. Wiers ym. 2002 ja EC 2003, s. 156) voidaan lattiaa alussa lämmittää ja kasvatusvaiheen lopussa jäähdyttää. Tällä on saavutettu merkittävää ammoniakkipäästöjen vähenemistä. Järjestelmässä on lämmön varastointisysteemi, jolla myös energiankulutusta voidaan vähentää. Järjestelmän soveltuvuudesta pohjoisempiin olosuhteisiin ei ole käytännön kokemuksia. *ImagO-system* (mixed air ventilation, ks. esim. Ellen ym. 2005, www.fancom.com) on menetelmä,

jossa kasvattamossa olevilla puhallinyksiköillä tehostetaan ilman sekoittumista ja siten edistetään kasvattamoilman vaihtumista ja kuivikepatjan kuivumista. Päästövähennemäksi on esitetty noin 50 prosenttia. *Ridder ScanFeeder* on liikkuva ruokinta-juoma -automaatti. Se jo sinällään auttaa vähentämään ammoniakkipäästöjä koska linnut sijoittuvat kuivikepatjalle tasaisemmin kuin perinteisessä kasvattamossa, mikä vähentää vettyneiden kuivikekajien syntymistä. Laitteeseen on Hollannissa koemielessä asennettu kuivikepatjaa ilmastoivat putket, joiden avulla edistetään kuivikepatjan kuivumista. Päästövähennemäksi on tällaisella tekniikalla arvioitu 50–75 prosenttia (ks. Ellen ym. 2005 sekä www.ridderweb.com). Myös *kuivikepatjan vaihtaminen kesken kasvatusjakson* voisi olla potentiaalinen menetelmä ammoniakkipäästöjen vähentämisessä, mutta sen toimivuutta broilerikasvattamossa ei liene tutkittu käytännössä (Ellen ym. 2005).

Kuivikepatjan suoraa vettymistä estävät toimenpiteet, kuten *tippumattomat juomalaitteet ja kondenssiveden muodostumisen ja tippumisen esto* ovat myös mahdollisia. Kuivikepatjan paksuudella ja laadulla on oletettavasti vaikutusta, mutta tutkimustuloksia näihin liittyen ei ole olemassa.

Kasvattamon ilmasta tai kasvattamosta poistettavasta ilmasta voidaan poistaa ammoniakkia ja muita haitallisia yhdisteitä *erilaisilla suodattimilla ja pesureilla*. Näillä päästövähennelmä on parhaimmillaan 95 prosenttia (taulukko 10), mutta toisaalta ne ovat kalliita ja lisäävät sähkönkulutusta. Pesureista syntyy myös jätevettä tai -liuosta, johon ilmasta erotettu ammoniakki on sidottu, mutta joka voidaan hyödyntää esimerkiksi levittämällä se lannoitteeksi pelolle.

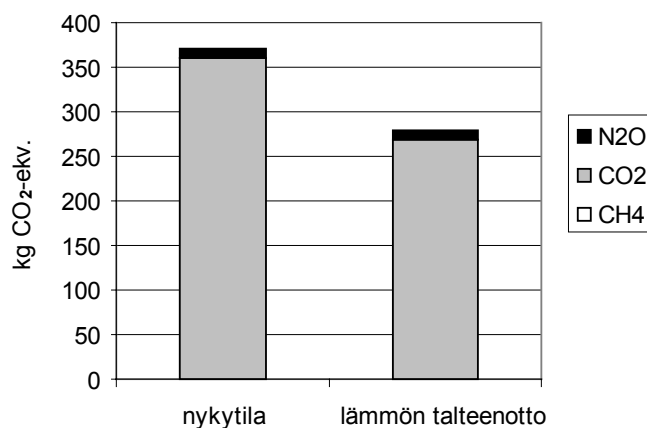
Taulukko 10. Ilmansuodatus- ja pesulaitteistot ja niiden maksimi ammoniakki-reduktiokapasiteetti (Ellen ym. 2005).

Laitetyyppi	Ammoniakkireduktio (%)
Kasvattamon sisäilman puhdistus:	
Elektrostaattinen suodatin	> 50
Otsoni	58
Kaasupesuri	80
Poistoilman puhdistus:	
Biosuodattimet	50
Biologinen suodatin	70
Kemialliset pesurit	95
Veden suihkutus	70

5.4 Broilerikasvattamon energiankulutuksen vähentäminen lämmön talteenoton avulla

5.4.1 Lämmön talteenoton vaikutus ympäristökuormituksen vähentämiseksi

Kasvatuskauden alussa lintujen tuottama lämpömäärä on pieni mutta nopeasta kasvusta johtuen poistoilman sisältämä lämpömäärä kasvaa nopeasti. Jo parin viikon ikäiset linnut tuottavat energiankulutuksen laskentamallissa (luku 3.5.1) käytetyssä esimerkkikasvattamossa (noin 15 000 lintupaikkaa) noin 100 kilowatin teholla lämpöä, josta pääosa poistetaan ilmanvaihdon avulla. Sitä voidaan periaatteessa hyödyntää lämmönvaihtimilla, joissa korvausilmaa lämmitetään poistoilman lämpösisällöllä. Lintujen tuottamasta suuresta lämpömäärästä johtuen energiansäästöpotentiaali on suuri mutta menetelmän teknistä toteutusta vaikeuttavat poistoilman suuri pölypitoisuus, syntyvän kondensioveden käsittely sekä mahdolliset hygieniset ongelmat. Varsin vaatimattomallakin lämmönvaihtimen hyötysuhteella, esimerkiksi 10 prosentilla, voidaan lämmitysenergian kulutuksessa säästää laskentamallin mukaan yli kolmannes. Vastaavasti lämmöntuotannon osalta saavutettaisiin suoraan 35 prosentin hiilidioksidivähennemä.



Kuva 23. Broilerikasvattamon energiankulutuksen aiheuttama ilmastonmuutosvaikutus nykytilassa ja 10 prosentin lämmön talteenotolla.

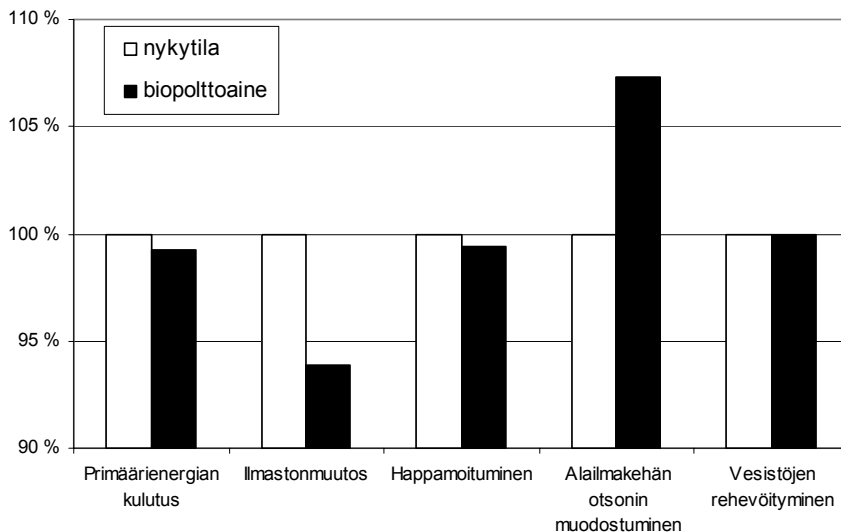
Kymmenen prosentin lämmön talteenotolla broilerikasvattamon kokonaisprimäärienergiankulutus pienenesi 25 prosenttia ja tuotantoverkon tasolla vastaavasti neljä prosenttia. Broilerikasvattamon lämmittämisestä aiheutuva ilmastonmuutosvaikutus laskisi noin 25 prosenttia (kuva 23). Otettaessa mukaan broilerikasvatuksen broilerinlannasta syntyvät kasvihuonekaasut tarkasteluun mukaan lämmön talteenoton vaikutus tarkoittaisi ilmastonmuutosvaikutuksen laskuna kasvatuksen osalta yhdeksää prosenttia ja tuotantoverkon

osalta 2,5 prosenttia. Mittatikulla esitettävissä kokonaistuloksissa muutos olisi vain yhden prosenttiyksikön verran, koska tuloksia dominoivat muut vaikutukset kuin ilmastonmuutos ja energiankulutus.

5.5 Broilerikasvattamon lämmittäminen vaihtoehtoisilla polttoaineilla

Broilerikasvattamojen lämmitykseen käytetään nykyisin pääosin kevyttä polttoöljyä. Jonkin verran käytetään myös jo haketta ja puupellettejä. Tässä tehtiin skenaariotarkastelu, jossa arvioitiin kasvattamojen lämmittämisen ja koko tuotantoverkon ympäristövaikutusmuutoksia, mikäli siirryttäisiin käyttämään kaikilla broileritiloilla pelkästään puuperäisiä polttoaineita.

Lämmitettäessä kasvattamo puoliksi hakkeella ja puoliksi puupelleteillä vähentyvät esimerkiksi ilmastonmuutosta aiheuttavat päästöt kasvattamoista noin 70 prosenttia nykytilanteeseen verrattuna. Koko tuotantoverkon tasolla yksinomaan tämä muutos vähentäisi ilmastonmuutosvaikutusta kuusi prosenttia (kuva 24). Myös primäärienergiankulutus ja happamoituminen vähenisivät yhden prosentin. Toisaalta alailmakehän otsonin muodostus lisääntyisi samanaikaisesti seitsemän prosenttia. Mittatikulla esitettävissä kokonaistuloksissa kokonaismuutoksena ympäristövaikutukset laskisivat yhden prosenttiyksikön verran.



Kuva 24. Broilerikasvattamojen lämmittämisen ympäristövaikutukset nykytilanteessa (käytettäessä pääosin kevyttä polttoöljyä) ja lämmitettäessä kasvattamo kotimaisilla biopolttoaineilla (puoliksi hakkeella ja puoliksi puupelleteillä). Kuvan luvut on esitetty suhteellisina muutoksina vaikutusluokkien sisällä siten, että perustilassa ympäristökuormituksille annettiin arvo 100 ilmanmuutosvaikutus

5.6 Lintutiheyden muuttaminen

Lintutiheys kasvatuskauden lopussa on perustapauksessa 38–40 kg/m². Skenaariossa laskettiin lintutiheyden pienentämisen (30 kilogrammaan/m²) ympäristövaikutukset. Tulevaisuudessa broilereiden kasvatustiheys mahdollisesti pienenee, jos Euroopan yhteisöjen komission direktiiviesitys lihantuotantoa varten pidettävien kanojen suojelua koskevista vähimmäisvaatimuksista hyväksytään ilman muutoksia. Tämän tutkimuksen toteutusvaiheessa direktiiviehdotuksessa sallittu broilereiden enimmäiseläintiheys oli 30 kg/m² ja vain erityisehdoin 38 kg/m². Kuten skenaariossa 5.1, myös tässä arvioitiin broilereiden kasvatuskauden aikainen keskimääräinen rehunkulutus perustapauksessa HK Ruokatalon aineistosta vuodelta 2004 ja broilereiden syöntikäyrä MTT:n broilerikasvatuskokeiden tuloksista. Kasvatustiheyden vaikutus broilereiden rehunkulutukseen ja elopainoon arvioitiin MTT:llä tehdyn kasvatustiheyskokeen tulosten perusteella. Kasvatustiheyttä pienennettäessä broilereiden loppupaino hieman nousee, mutta ne myös syövät enemmän, joten vaikutus rehunhyötysuhteeseen ei ole suuri.

Eläintiheyden alentamisen 38:sta 30:een (kg/m²) on arvioitu lisäävän teurastettua eläintä kohti laskettua kasvatuksesta aiheutuvaa energiankulutusta (luku 3.5.1). Koko tuotantoverkon primäärienergiankulutus lopputuotetta kohti laskettuna lisääntyisi sen seurauksena noin 2 %. Samalla energiantuotantoon kytköksissä olevat päästöt ja niiden aiheuttamat ympäristövaikutukset (ilmanmuutos, alailmakehän otsonin muodostuminen) lisääntyisivät noin 1–2 %. Tuotantoverkon happamoitumisvaikutus voisi kuitenkin arvion mukaan jopa merkittävästi pienentyä, mikä johtuu kasvatusvaiheen ammoniakkipäästöjen pienemisestä.

Alhaisemman eläintiheyden tapauksessa lintuja on noin 15 neliömetrillä, mikä on noin viidennes pienempi kuin vertailukohteenä olevassa perustapauksessa. Ammoniakkipäästön per lintupaikka katsotaan pienenevän eläintiheyden alenemisen myötä, koska pinta-ala per lintu kasvaa, mikä edesauttaa kuivikepohjan pysymistä kuivempana kuin korkeammalla eläintiheydellä. Kasvatusvaiheen päästövähennyksen lintupaikkaa kohti perustapaukseen verrattuna arvioidaan olevan 20 prosenttia, ja koko lannankäsittelyketjussa 13 prosenttia. Koska lannasta vapautuva ammoniakki hallitsee tuotantoverkon happamoitumisvaikutuksen muodostumista ja koska energiankäytön lisäyksestä aiheutuva happamoittavien päästöjen lisäys on hyvin pieni, vähenisi tuotantoverkon happamoittava vaikutus runsaalla kymmenellä prosentilla. Tuotantoverkon kokonaisympäristövaikutukset laskisivat vastaavasti 2,5 prosenttia.

Tulokseen sisältyy merkittäviä epävarmuuksia nimenomaan ammoniakkiin liittyen, koska tutkimustietoa eläintiheyden alentamisen vaikutuksesta ammoniakkin haihtumiseen ei ole. Kuivikepohjan vettymisen estämistä pidetään kuitenkin tärkeimpänä kasvatusvaiheen aikaisten ammoniakkitappioiden

vähentämiskeinona (EC 2003). Tässä yhteydessä on oletettu, että eläintiheyden aleneminen edesauttaa kuivikepohjan kuivana pysymistä, ja että ammoniakkin haihtuminen alenee samassa suhteessa eläintiheyden kanssa.

5.7 Broilerinlannan vaihtoehtoiset hyötykäyttötavat

Broilerinlannan kuiva-aine- ja fosforipitoisuus ovat korkeita muihin lantatyyppeihin verrattuna. Korkean fosforipitoisuuden takia sen normaali peltokäyttö voi olla hankalaa, koska hehtaarikohtaiset levitysmäärät muodostuvat lannoitusrajoitusten takia pieniksi. Näin käy varsinkin jos pellon viljavuusfosforipitoisuus on korkea. Ongelma korostuu alueilla, joille on keskittynyt kotieläintuotantoa. Lannan käytöllä voidaan korvata kemiallisten lannoitteiden käyttöä, tosin lannan korkean fosforipitoisuuden takia joudutaan yleensä käyttämään lisäksi väkilannoitetyyppä riittävän tyypilannoitustason saavuttamiseksi.

Broilerinlannan käyttömahdollisuuksia voidaan lisätä käsittelemällä sitä esimerkiksi kotipuutarhakäyttöön sopivaan muotoon. Tällaisia käsittelytapoja ovat lannan teollinen kuivaus ja rakeistus. Myös lannan polttaminen on nousut yhdeksi käsittelyvaihtoehdoksi, jossa saadaan fosforirikasta lannoitteena hyödynnettävää tuhkaa sekä lämpöenergiaa. Lannan ja siitä valmistettujen lannoitetuotteiden ravinteiden tehokkaalla hyödyntämisellä voidaan vähentää väkilannoitteiden tai ulkomailta tuotujen orgaanisten lannoitteiden käyttöä ja siten vähentää niiden tuotantoon liittyviä ympäristövaikutuksia.

Tässä yhteydessä aihetta lähestytään tarkastelemalla edellä mainittujen kolmen erityyppisen käsittelyvaihtoehdon ympäristövaikutuseroja yleisellä tasolla. Kvantitatiivisen vaikutusvertailun tekeminen vaatisi enemmän tietoa todellisten prosessien päästöistä ja energiankulutuksesta kuin mitä tällä hetkellä on käytettävissä.

Perustapaus: broilerinlannan normaali peltokäyttö

Lannan normaali käyttö peltoviljelyssä on perustoimenpide, johon muita vaihtoehtoja verrataan energiankulutuksen ja muutamien kuormittavien tekijöiden osalta. Perusvaihtoehdossa lanta varastoidaan tilalla keskimäärin kaksi viikkoa ennen levittämistä. Levitysmäärä on 10 m³ broilerin kuivikelantaa hehtaarille, jolloin hehtaarille tulee kokonaistyyppä 90 kg/ha, liukoista tyyppä 51 kg/ha, kokonaisfosforia 35 kg/ha ja liukoista fosforia (75 %) 26 kg/ha. Lannan käytöllä korvataan väkilannoitteita. Energiaa kuluu traktorin polttoaineen muodossa lannan lastaamiseen, kuljettamiseen ja levittämiseen. Lannan varastoinnin aikana ja levittämisen yhteydessä ja jälkeen vapautuu ilmaan lannan tyyppästä haihtunutta ammoniakkaa, noin 30 % lannan ammoniumtyypistä. Tyyppä haihtuu myös dityppioksidina lähinnä levittämisen jäl-

keen, jolloin 1,25 % lannan kokonaistypestä, joka ei ole haihtunut ammoniakkinä, haihtuu N₂O-typinä. Haihtumiselta säästynyt lannan liukoinen typpi vastanee lannoitusvaikutukseltaan väkilannoitetyyppiä. Orgaaninen typpi sen sijaan tulee kasvien käyttöön hitaasti mineralisaation seurauksena. Tämän takia myös huuhtoutumisriski lienee pienempi karjanlannan kokonaistypeillä kuin samansuuruisella määrällä väkilannoitetyyppiä (ks. luku 3.4.1.4). Broilerinlannan korkean fosforipitoisuuden takia fosforihuuhtoumariski nousee niillä lohkoilla, joilla lantaa käytetään säännöllisesti.

Lannan kuivaus ja rakeistus

Tässä vaihtoehdoissa käsittelytavassa lanta kuljetetaan teolliseen käsittelyyn, jossa se kuivataan, rakeistetaan ja pakataan vähittäismyymäläpakkauksiin, kuljetetaan kauppoihin ja käytetään esimerkiksi kotipuutarhoissa lannoitteena, joissa se korvaa väkilannoitteita. Raaka-aineena käytettävän lannan ja valmiiden pellettien ravinneanalyysien mukaan prosessoinnin aikana ei haihdu typpiä merkittävässä määrin. Myös ammoniumtyypin osuus kokonaistypestä on lähellä tuoreen lannan arvoja, eli noin 50 prosenttia. Lantarakeiden käyttötavasta riippuu, kuinka hyvin ravinteet tulevat kasvien käyttöön. Pintaan levityksessä haihtumis- ja huuhtoutumisriskit ovat suuremmat kuin sijoituslevityksessä.

Ympäristövaikutusvertailun tekeminen lannan peltokäyttöön on vaikeaa muun muassa siksi, koska tietoa näiden käyttötapojen lannoitusvaikutuseroista ei ole, ja koska käyttökohteet ovat erityyppiset. Verrattuna edellä esitettyyn peltokäyttöön päästöt ilmaan ja vesiin lienevät tässä vaihtoehdossa suuruusluokaltaan samanlaiset. Myös väkilannoitteiden käytön vähentymisestä aiheutuvat hyvitykset lienevät samansuuruiset. Periaatteessa eroja voi lannoiterakeiden eduksi tulla siinä, että rakeistetun lannan käyttö on tarkempaa kuin käsittelemättömän, jolloin myös ravinnetappiot olisivat pienemmät, mutta tästä ei ole olemassa tutkimustuloksia. Selviä eroja vaihtoehtojen välillä löytyy kuitenkin energiankulutuksessa. Lannan teollinen käsittely ja siihen liittyvät pakkausmateriaalien valmistaminen sekä kuljetukset tuotantoketjun eri vaiheissa lisäävät rakeistetun lannan energiakertymää huomattavasti käsittelemättömään lantaan verrattuna (Niemi 1994).

Lannan polttaminen ja tuhkan rakeistaminen

Tässä vaihtoehdossa hyödynnetään lähinnä lannan energia- ja fosforisisältöä. Lopputuotteena olisi lantatuhkasta tehty raemainen fosforilannoite, jolla voitaisiin korvata väkilannoitefosforia peltoviljelyssä. Etuna lantapellettiin olisi energiansaannon lisäksi korkeampi lannoitteen fosforipitoisuus. Käsittelemättömään lantaan verrattuna lantatuhkarakeiden käyttö olisi teknisesti helpompaa ja tarkempaa. Ilman erityistoimia lannan typpi menetettäisiin kuitenkin kokonaisuudessaan lannan poltossa, millä olisi ympäristökuormituksen ja lannan lannoitusarvon alenemisen kautta merkittäviä ei-toivottuja vaikutuk-

sia. Myös orgaanisen aineksen maata parantavat vaikutukset menetettäisiin. Selviä ympäristöetuja saavutettaisiin, jos lannan typpi saataisiin prosessissa haihdutettua ja kerättyä talteen ennen polttamista ja käytettyä typpilannoitteenä korvaamassa väkilannoitetyyppeä.

Johtopäätökset

Tarkastelun mukaan lannan teollisella käsittelyllä voidaan saavuttaa ympäristöhyötyjä varsinkin rehevöitymisvaikutuksen vähenemisen kautta, jos vaihtoehtona on ylisuurten levitysmäärien ja epätarkkojen levitysmenetelmien käytöstä johtuvat keskimääräistä suuremmat ravinnehuuhtoumat vesiin lannan peltokäytössä. Jos lannalle löytyy riittävästi levityspinta-alaa ja lannan epäasiallinen käyttö estetään, ei näillä vaihtoehdoilla liene suuria eroja ravinnekuormituksen kannalta. Raemaisten lannoitteiden käyttö lienee teknisesti helpompaa ja tarkempaa kuin lannan.

Energiankulutuksen osalta lannan kuivaus ja rakeistus on epäedullista huolimatta siitä, että valmiilla lannoitteella voidaan korvata väkilannoitteiden käyttöä ja vähentää niiden valmistamisen energiankulutusta. Lannan poltossa tämä ongelma vältetään, mutta silloin menetetään orgaaninen aines ja ilman erityistoimia myös typpi. Lannan energian hyödyntämisen näkökulmasta broilerinlannan mädätys olisi myös yksi vaihtoehto, jolloin tuotettua biokaasua voitaisiin käyttää esimerkiksi kasvattamon lämmittämiseen tai liikennepolttoaineena. Lannan ravinteet eivät mädätyksessä häviä, typpi jopa muuntuu liukoisempaan muotoon. Koska mädätysjätteen käyttökohde lienee lähes yksinomaan peltoviljely, on riittävästi peltoalaa oltava käytettävissä, jotta vältytään fosforin kertymiseltä maahan.

6 Keskeisimmät tulokset ja merkittävimmät epävarmuudet

6.1 Keskeisimmät tulokset

Tutkimuksessa sovellettiin tuotantoverkkointegroitua elinkaariarviointia broilerinlihan tuotannon ympäristövaikutusten arvioimiseen. Ympäristövaikutusarvio perustui broilerin hunajamarinoitujen fileesuikaleiden tuotannon tuotantoverkon todellisiin tuotantoprosesseihin vuosina 2003–2005. Tuotantoverkkoon sisällytettiin kaikki olennaiset vaiheet maatalouden tuotantopanosten valmistuksesta ja broileriuntuvikkojen tuotannosta aina kaupassa myytäviin broilerin hunajamarinoituihin fileesuikaleisiin asti. Tuotantoverkon vaiheista selvitettiin primäärienergian käyttö, viljelyyn tarvittava peltopinta-ala, sivuvirtojen lajit, määrät ja käyttökohteet, kaatopaikkajätteen määrä sekä suorat ja välilliset päästöt ilmaan ja vesistöihin. Ympäristökuormitustie-

doista laskettiin vaikutukset ilmastonmuutokseen, happamoitumiseen, vesistöjen rehevöitymiseen ja alailmakehän otsonin muodostumiseen.

Tutkituissa ympäristövaikutusluokissa broilerin tuotanto muodosti valtaosan (65–85 %) koko tuotantoverkon aiheuttamista vaikutuksista. Broilerin tuotantoon sisällytettiin muun muassa kasvattamoiden sähkön- ja lämmönkulutus, broilerin ruokinta, broilerin lantaan liittyvät päästöt, rehuviljan viljely ja sen panostuotanto sekä rehujen teollinen prosessointi. Broilerin tuotannon osuus oli yli 80 prosenttia tuotantoverkon aiheuttamasta rehevöitymisestä ja happamoitumisesta, mikä johtui erityisesti rehuviljan viljelyssä syntyvistä ravinnehuuhtoumista ja broilerinlannasta haihtuvasta ammoniakista. Broilerinlannan käyttö broileritiloilla on tutkimuksessa kerätyn tila-aineiston mukaan myös johtanut siihen, että peltolohkoille vuosien aikana kertyneen fosforipanoksen ja tätä kautta peltolohkojen viljavuusfosforipitoisuuden nousun vuoksi rehuntuotannon hehtaarikohtaiset fosforipäästöt olivat suuremmat broileritilalla kuin viljatilalla, vaikka tilat eivät muuten eroaisi toisistaan (esimerkiksi satotasojen suhteen).

Tuotantoverkon primäärienergiankulutuksesta broilerin tuotanto muodosti 41 prosenttia, josta rehuviljan tuotannon (ml. panostuotanto) osuus oli lähes puolet. Vähittäiskaupassa tapahtuvan lopputuotteen kylmäsäilytyksen osuus oli 20 prosenttia tuotantoverkon primäärienergiankulutuksesta. Broilerin tuotannon osuus ilmastonmuutosvaikutuksesta oli 65 prosenttia. Tähän vaikuttivat energiaperäisten päästöjen ohella erityisesti lannoitteiden käytössä ja tuotannossa vapautuva dityppioksidi sekä broilerinlannan käsittelystä syntyvät metaani- ja dityppioksidipäästöt. Tuotantoverkon eri vaiheissa vapautunut hiilidioksidi oli kuitenkin eniten (59 %) ilmastonmuutosta aiheuttanut kasvihuonekaasu. Hiilidioksidipäästöt jakaantuivat tasaisemmin tuotantoverkon eri osiin ja korreloivat energiankulutuksen kanssa. Vähittäiskaupan osuus oli sekä eri ympäristövaikutusluokissa että kokonaisympäristövaikutuksissa suhteellisesti selvästi pienempi kuin energiankulutuksessa. Kokonaisympäristövaikutuksista vähittäiskaupan osuus oli neljä prosenttia. Untuvikkojen tuotannon (sisältäen nuorikkokasvatuksen, munituksen ja niiden rehujen tuotannon sekä haudonnan) osuus primäärienergiankulutuksesta ja kaikista ympäristövaikutusluokista oli seitsemästä yhdeksään prosenttia.

Pakkausten tuotannon osuus primäärienergiankulutuksesta oli 14 prosenttia, mutta enimmilläänkin niiden osuus oli vain muutamia prosentteja ympäristövaikutusluokissa ja kokonaisympäristövaikutuksista kaksi prosenttia. Kuluttajan ostosmatkaa ja ruoanvalmistusta ei tutkimukseen sisällytetty, koska tutkimuksen kohteena oli tuotantoverkon arviointi ja kehittämiskohteiden etsintä.

Broilereiden teurastuksen ja lopputuotteen valmistuksen sekä valtakunnallisen tuotteiden jakelun osuus tuotantoverkon kokonaisympäristövaikutuksista oli samankaltainen kuin pakkauksilla, eli noin kaksi prosenttia. Teurastuksen

ja tuotteen valmistuksen osuus tuotantoverkon ilmastonmuutoksesta oli yhdeksän prosenttia ja tuotteiden valtakunnallisen jakelun osuus viisi prosenttia. Muissa tutkituissa vaikutusluokissa näiden osuus oli edellisiä pienempi.

Tuotantoverkosta selvitettiin useiden kymmenien kuljetustapahtumien profiilit ja ympäristökuormitukset. Yhteenlaskettuna kaikki tuotantoverkon kuljetustapahtumat polttoainehankintaketjuineen vastasivat noin neljää prosenttia koko tuotantoverkon kokonaisympäristövaikutuksista. Kuljetusten suhteellisesti suurimmat osuudet tuotantoverkon ympäristövaikutuksista aiheutuivat energiankulutukseen, ilmastonmuutokseen ja happamoitumiseen eli kuljetuksille tyypillisten ilmapäästöjen vaikutusten kautta. Kuljetuksista tulokseen selvästi eniten vaikuttava tekijä oli lopputuotteiden valtakunnallinen jakelu. Poikkeuksena yhteenlaskettujen kuljetuspäästöjen jakautumisesta tuotantoverkon eri vaiheisiin olivat rikkidioksidipäästöt, jotka tulivat pääosin soijan laivakuljetuksesta Suomeen. Soijan rahtauksen rikkipäästöjen osuus tuotantoverkon kokonaisympäristövaikutuksista oli noin puoli prosenttia. Yksittäisten Suomen rajojen sisällä tapahtuvien kuljetussuoritteiden osuus ympäristövaikutuksiin tai kokonaisympäristövaikutuksiin oli huomattavasti vähäisempi.

Broilerituotteen tuotantoverkon aiheuttamia ympäristövaikutuksia havainnollistettiin niin kutsutulla Mittatikkueesitystavalla, jolla kuvataan tuotteiden keskimääräisestä päiväkulutuksesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia. Eri-tyyppisten ympäristövaikutustietojen esittäminen yhtenä lukuarvona edellyttää niiden normalisointia ja arvottamista siten, että ne voidaan laskea yhteen ja vertailla saatua lukuarvoa muihin tuotteisiin. Mittatikkutarkastelussa normalisoinnissa käytetään vertailusysteeminä henkilöä ja päivää kohti laskettuja Suomen ympäristövaikutuksia. Esitystavassa ympäristöongelmia on painotettu niiden keskinäisen vähentämistarkeyden mukaan Suomessa, ja sitä kautta saatu ne yhteismittallisiksi kokonaisympäristövaikutusindeksin laskemiseksi. Tarkastellun broilerituotteen keskimääräisen päiväannoksen (40 g) kokonaisympäristövaikutukset olivat kaksinkertaiset ruisleivän keskimääräiseen päiväannokseen (83 g) verrattuna ja kolmasosan juuston keskimääräisen päiväkulutuksen (30 g) vaikutuksista. Rehevöittävät päästöt muodostivat lähes 50 prosentin osuuden broilerituotteen tuotantoverkon kokonaisympäristövaikutuksista. Happamoittavien päästöjen osuudeksi tuli 25 prosenttia.

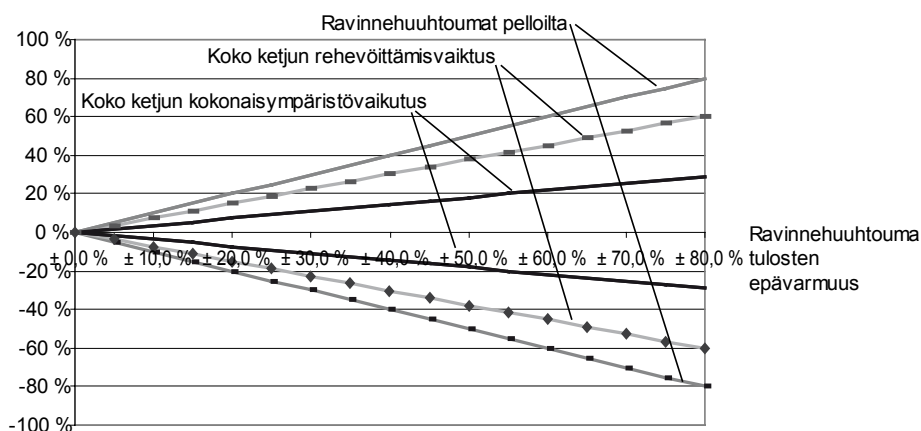
Broilerin rehuviljan ja soijan tuotannon osuus oli merkittävin tekijä (41 %) tuotantoverkon kokonaisympäristövaikutusten muodostumisen kannalta. Tästä kotimaisten viljojen osuus oli noin 85 prosenttia. Kotimaisen rehuviljan viljelyssä vesistöihin huuhtoutuneet typpi ja fosfori muodostivat yhteensä 33 prosenttia tuotantoverkon kokonaisympäristövaikutuksista, joista lähes 90 prosenttia aiheutui broilerien rehujen raaka-aineiden viljelystä. Broilerinlannasta syntyvän sekä happamoitumiseen että rehevöitymiseen vaikuttavan ammoniakkin osuus kokonaisympäristövaikutuksista oli peräti 27 prosenttia.

6.2 Epävarmuustarkastelut

6.2.1 Rehuviljan viljelyn ravinnehuuhtoumat

Johtuen viljelyn rehevöittävien päästöjen suuresta osuudesta kokonaisympäristövaikutuksista mukailevat kokonaisympäristövaikutustulokset aika hyvin pinta-alankäytön tuloksia (kohta 4.1.1). Rehevöittävien päästöjen suuri painoarvo kokonaisympäristövaikutusten muodostumisessa osoittaa ravinnehuuhtoumien laskentaan käytettyjen mallien ja niiden lähtötietojen luotettavuuden tärkeyden.

Typen ja fosforin huuhtoumien arviointiin käytetyt mallit perustuivat huuhtoutumiskentiltä tehtyihin havaintoihin. Mallit olivat tutkimuksen toteutusajankohdan mukaisia parhaita Suomeen sopivia huuhtoumien arviointimenettelyjä. Ne selittävät ravinnehuuhtoumia paremmin kuin aikaisemmat mallit, mutta silti niiden antamat tulokset ovat epävarmoja. Tulosten epävarmuuteen vaikuttaa mallien epävarmuuden lisäksi lähtötietojen epävarmuus. Ravinnehuuhtoumiin vaikuttavat mm. sääolot, maalaji, muokkaustavat, maan kaltevuus ja vesistöjen läheisyys.



Kuva 25. Rehuviljan viljelyn ravinnehuuhtoumien tulosten epävarmuuden heijastuminen tuotantoverkon rehevöitymisvaikutukseen ja kokonaisympäristövaikutuksiin.

Epävarmuuden suuruutta ei voida arvioida tarkasti. Voimme muodostaa kuitenkin käsityksen huuhtoumien epävarmuuksien heijastumisesta ketjun eri osakokonaisuuksien ympäristövaikutustuloksiin herkkyytstarkasteluihin. Oletamme sitä varten, että ravinnehuuhtoumatulosten epävarmuus on ± 25 prosenttia. Tämä siirtyy tämä lähes sellaisenaan ($\pm 24,1$ %... $\pm 24,7$ %) rehujen ja rypsinöljyn valmistuksen rehevöitymisvaikutusarvioon ja jonkin verran vaimentuneena koko elinkaaren rehevöitymisvaikutusarvioon ($\pm 18,9$ %). Elin-

kaaren kokonaisympäristövaikutuksessa ravinnehuuhtoumatulosten ± 25 prosenttia epävarmuus näkyy noin \pm yhdeksän prosentin epävarmuutena. Ravinnehuuhtoumatulosten epävarmuus siirtyy lineaarisesti koko ketjun rehevöittämisvaikutukseen ja kokonaisympäristövaikutukseen. Tämän perusteella alla olevassa kuvassa on esitetty niille yleinen riippuvuus ravinnehuuhtoumatulosten epävarmuudesta.

6.2.2 Ammoniakkipäästöt

Tutkimuksessa ammoniakkipäästöarviota lähestyttiin kahdella erityyppisellä tavalla, joiden tulokset ovat hyvin lähellä toisiaan. Molempiin arviointimenetelmiin – pääasiassa ulkomaiset ammoniakkimittaustulokset ja ruokinnan ravinnetaseen ja lanta-analyysien pohjalta laskettu typpitappio – sisältyy kuitenkin epävarmuuksia. Ruokinnan ravinnetaseen ja lanta-analyysitulosten pohjalta tehdyssä tarkastelussa suurimmaksi epävarmuustekijäksi muodostui kokonaistypen ja liukoisen typen pitoisuuksien suuri vaihtelu eri analyysitulosten välillä. Mittaustuloksiin perustuvassa menetelmässä ongelmana oli tulosten vähäisyys meille tyypillisissä olosuhteissa ja turvekuivikepohjalla tapahtuvasta kasvatuksesta. Ulkomaisissa tutkimuksissa käytetyin kuivikepohjamateriaali oli sahajauho. Huomio kiinnittyi näissä tutkimuksissa päästöjen suureen vaihteluväliin. Samoin kuin ravinnehuuhtoumien kohdalla, myös ammoniakkipäästöjen suuruus riippuu paikallisista olosuhteista ja toimintatavoista. Tilojen välillä ammoniakkipäästöissä voi olla jopa moninkertaisia eroja mm. kasvattamoiden sisäilmaston säätelyn eroavaisuuksien takia.

Kasvattamon osalta päädyttiin molempien reittien kautta samaa suuruusluokkaa olevaan arvioon, $0,15 \text{ kg NH}_3/\text{eläinpaikka/v}$, joka on sama kuin mikä on oletuskertoimena YK:n kaukokulkeutumissopimuksen raportointiohjeissa broilerin hallikasvatukselle (EEA 2004), ja jota senkin takia voidaan pitää parhaimpana estimaattina kasvatusvaiheen ammoniakkipäästöille. Broilerin kuivikelannan varastoinnista ja levityksestä peräisin olevista päästöistä on raportoitu kasvatusvaiheeseen verrattuna selvästi vähemmän mittaustuloksia. Myös näiden kohdalla vaihtelu tilojen välillä saattaa olla hyvin suurta erilaisen toimintatapojen ja lannan koostumuksen erojen takia. Tässä tutkimuksessa noin kolmasosa lannasta katsottiin päätyvän teolliseen jatkojalostukseen, mikä vähensi broilerin lihan tuotantoverkolle kohdistuvia ammoniakkipäästöjä. Samalla pienenevät varastoinnin ja levityksen suhteelliset osuudet tuotantoverkon kokonaisammoniakkipäästöissä.

7 Johtopäätökset ja suositukset

Hajapäästöluonteensa takia päästöjen hallinta erityisesti peltoviljelyssä on paljon vaikeampaa kuin teollisuudessa, mikä on pääselitys sille, miksi broilerin rehujen raaka-aineen tuotanto nousee tärkeimmäksi tuotantovaiheeksi

ympäristövaikutusten muodostajana. Prosessin yleiseen hallintaan on maataloudessa huonommat lähtökohdat kuin teollisuudessa, koska maataloudessa toimitaan luonnonolosuhteiden ehdoilla. Peltoviljelyn päästöjen vähentämiseen on kuitenkin olemassa keinoja, kuten typpilannoituksen tarkentaminen ottamalla tarkemmin huomioon maan typpivarat kasvukauden alussa, fosforilannoituksen vähentäminen (jos maan helppoliukoisen fosforin pitoisuus on päässyt kasvamaan ylisuureksi), peltomaan hyvän vesitalouden ja rakenteen ylläpitäminen, paremmin ravinteita hyödyntävien viljelykasvien kehittäminen, eroosion vähentäminen muokkausta muuttamalla, valumavesiä puhdistavien kosteikkojen perustaminen, viljelyn vähentäminen huonotuottoisimmilla lohkoilla ja vesistöjen kuormittumisen kannalta epäedullisimpien lohkojen muuttaminen suojavyöhykkeiksi. Tehokas kuormitusten vähentäminen edellyttää keinojen laajaa yhtäaikaista käyttöönottamista. Yhtä yksittäistä, nopeasti vaikuttavaa ja tehokasta toimenpidettä ei viljelyn kuormituksen vähentämiseksi nykytilanteessa ole. Se ei kuitenkaan saisi olla este toimenpiteisiin ryhtymiselle. On myös huomattava, että viljelijät ovat ympäristötuen kehittämisen myötä myös muuttaneet viljelymenetelmiään ympäristöystävällisemmiksi, mutta toimenpiteiden vaikutukset eivät ainakaan vielä tunnu näkyvän ympäristövaikutusten vähentymisenä.

Lannan ravinteiden hyödyntämisen maksimoinnilla on suorien huuhtouma-vaikutusten lisäksi vaikutusta myös väkilannoitteiden käyttöön ja sitä kautta lannoitteiden valmistuksen energiankulutukseen. Lannan ravinteiden hyväksikäytön parantamisessa typen haihtumisen estäminen jokaisessa lannankäsittelyvaiheessa ja lannan levittäminen fosforiköyhimmille lohkoille ovat tärkeimmät toimenpiteet. Broileritiloilla ei tyypillisesti ole mahdollista levittää lantaa viljavuustutkimuksen tuloksen mukaisesti. Ympäristötuki mahdollistaa lannan fosforin levittämisen korkean viljavuusluokan lohkoille, vaikka niille ei viljavuusanalyysin mukaan fosforia tarvitsisi antaa lainkaan. Poikkeuksesta huolimatta levitykseen soveltuvaa peltoalaa saattaa olla liian vähän, jotta voitaisiin toimia ympäristötuen ehtojen puitteissa. Vesiensuojelun kannalta olisikin myönteistä saada lähiseudun kasvinviljelytilat kiinnostumaan lannasta väkilannoitteiden korvaajana. Lannan osittainen siirtäminen on yksi mahdollisuus ravinteiden kierron tehostamiseen, ravinnekuormituksen pienentämiseen ja samalla lannankäsittelyn helpottamiseen. Käytännön haaste lannan toimittamiselle lienee kasvinviljelijöiden asenteen muokkaaminen siihen suuntaan, että he ottaisivat enemmän lantaa vastaan. Samanaikaisesti ollaan pohtimassa myös uusia teollisia keinoja käsitellä lantaa, tosin niillekin tulisi tehdä kattavat ympäristövaikutusselvitykset, jotta vältetään aiheuttamasta uusia ympäristöongelmia tai siirtämästä ongelmia paikasta tai muodosta toiseen.

Broilerin tuotannon kannattavuus perustuu alueelliseen ”massatuotantoon”. Broilerinlannan käsittelyyn liittyvien ongelmien vastapainona alueellisen keskittymisen etuna on esimerkiksi kuljetustarpeen väheneminen tuotantoverkossa. Broilerin kannalta on sitä parempi, mitä lyhemmän aikaa niitä

tarvitsee kuljettaa. Tuotannon keskittymisellä havaittiin olevan myös lievä positiivinen vaikutus ilmastonmuutokseen ja happamoitumiseen lisättäessä oman viljan käyttöosuutta suhteessa tehdasrehuun, koska kuljetusten määrä ja rehujen teollinen prosessointi sekä soijan kuljetustarve vähenevät. Toisaalta oman viljan osuuden kasvaessa vähenee soijan määrä broilereiden rehussa, ja tällöin syötettyä rehua kohti laskettu ravinnekuormitus näyttäisi kasvavan. Oman viljan käytön lisäämisen myötä kokonaisympäristövaikutukset näyttäisivät hieman nousevan. Toisaalta soijan tuotantoketjun ympäristövaikutusten arviointi perustui kirjallisuustietoihin, joten kovin pitkälle meneviä johtopäätöksiä ei asiasta voi tehdä. Soijan viljelyn ympäristövaikutusten tarkempi selvittäminen yhteistyössä paikallisten tutkijatahojen kanssa olisi tulevaisuuden arviointien ja vertailujen kannalta erittäin tärkeää. Yhtäältä jatkossa tulisikin etsiä kotimaisia soijaa osin korvaavia valkuaislähteitä ja arvioida esimerkiksi herneiden ja härkäpapujen tuotannon ympäristövaikutuksia osana broilerin ruokintaa.

Broilereiden kasvatus on prosessin ja päästöjen hallinnan kannalta helpompi tuotantovaihe kuin peltoviljely. Parhaimmassa tapauksessa päästöjä voidaan vähentää vaikuttamalla jo niiden syntymekanismeihin, missä kuivikepatjan ominaisuuksilla on suuri merkitys. Tällä on tutkimusten mukaan myös suuri merkitys lintujen terveyteen ja hyvinvointiin, koska korkeat ammoniakkipitoisuudet aiheuttavat linnuille iho- ja hengitystievaurioita. Asiaan liittyviä ulkomaisia tutkimuksia on julkaistu, mutta suoraan suomalaisiin tuotantolosuhteisiin sovellettavia tuloksia ei ole olemassa. Tämä johtuu siitä, että ulkomaiset tutkimukset perustuvat erityyppiseen kuivikemateriaaliin. Kuivikemateriaalin merkitys päästöihin ja eläinten hyvinvointiin kuiviketurvepohjalla havaittiinkin tärkeäksi uudeksi tutkimusaiheeksi. Ammoniakkipäästöjen vähentäminen on perusteltua myös hajuhaittojen vähentämiseksi. Jos ammoniakin haihtumista lannasta voidaan vähentää, se parantaa myös lannan lannoitusvaikutusta.

Toinen tapa ammoniakkipäästöjen vähentämiseksi on sen poistaminen kasvattamon poistoilmasta. Hyvän tuotantoympäristön ylläpitäminen kasvattamoissa edellyttää kosteuden, haitallisten kaasujen ja pölyn poistoa tuotantotilasta sekä eläimille sopivan lämpötilan ylläpitoa, jolloin huomattavia määriä ammoniakkia ja pölyä päätyy ympäristöön. Hollannissa maatalouden ammoniakkipäästöjen vähentämistavoitteet johtivat 1990-luvulla poistoilman happopoposureiden ja biofilttereiden kehittelyyn, ja tällä hetkellä lihasika- ja siipikarjarakennuksissa on käytössä noin 160 pesuria ja 45 biofiltteriä (Melse & Ogink 2005). Laitteiden valmistajia löytyy sekä Hollannista, Saksasta että Tanskasta.

Eläintiheyden alentamista kasvattamoissa on perusteltu eläinten hyvinvoinnin parantumisella. Eläintiheyden alentamisen arvioitiin lisäävän teurastettua eläintä kohti laskettua kasvatukselta aiheutuvaa energiankulutusta ja sitä kautta sen aiheuttamat ympäristövaikutukset (ilmastonmuutos, alailmakehän

otsonin muodostuminen) lisääntyisivät. Lintupaikkaa kohden määritetyn ammoniakkipäästön arvioitiin puolestaan pienenevän eläintiheyden alenemisen myötä, koska lintukohtaisen pinta-alan kasvaessa kuivikepohja pysyisi kuivempuna kuin korkeammalla eläintiheydellä. Kokonaisuudessaan eläintiheyden laskun arvioitiin laskevan tuotantoverkon kokonaisympäristövaikutuksia hieman johtuen ammoniakkipäästöjen vähentymisestä.

Kasvattamojen energiankulutusta voidaan alentaa lämmön talteenottolaitteistoilla, ja tutkimuksen yhteydessä tehtyjen laskelmien mukaan melko vaatimattomallakin hyötysuhteella toimivalla lämmönsiirtimellä voidaan kasvattamon lämmönkulutusta pienentää kolmanneksella. Tuotejärjestelmätasolla-kin ilmastonmuutosvaikutuksia saataisiin tällä vähennettyä kolme prosenttia. Kotieläinrakennuksiin tarkoitettujen lämmönsiirtimien tutkimus ja tuotekehittely on kuitenkin ollut hyvin vähäistä. Tämä johtunee sekä ilmanvaihtolaitteiden tuotannon keskittymisestä olosuhteisiin, joissa lämmitystarve on hyvin vähäistä (mm. Tanska ja Hollanti) että suhteellisen edullisista energian hinnoista. Tutkimusta on kuitenkin tehty mm. Puolassa ja Yhdysvalloissa yksinkertaisten ja edullisten ratkaisujen kehittämiseksi. Suomalaiset ilmasto-olosuhteet poikkeavat kuitenkin merkittävästi keskieurooppalaisista eivätkä sikäläiset tekniset ratkaisut ole suoraan siirrettävissä maahamme. Lämmönsiirtimien kohdalla ongelmia syntyy erityisesti laitteistojen jääytymisestä ja laitteistojen puhdistamisesta talvikaudella.

Poistoilman puhdistuslaitteiden ongelma on niiden korkeat investointi- ja käyttökustannukset. Hollannissa tämän vuosikymmenen alussa rakennettuihin lihasikaloihin ja broilerihalleihin asennettujen poistoilman happopesureiden (NH₃-poisto 95 %) ja biofilttereiden (NH₃-poisto 70 %) arvonlisäverottomat investointikustannukset olivat 1,3–1,45 \$ broileripaikkaa kohti (Melse & Ogink 2005). Vastaavasti vuotuiset kokonaiskustannukset (sisältäen mm. poistot ja koron) olivat noin 0,46 \$ broileripaikkaa kohden. Tämä merkisi 4 prosentin tuotantokustannusten lisäystä hollantilaisissa olosuhteissa.

Tuotantorakennusten ympäristökuormituksen vähentäminen edellyttää siis mittavia investointeja. Broilerikasvattamoiden ympäristökuormituksen vähentämistä tavoittelevan taloudellisesti järkevän ratkaisun kehittämiseksi rakennuksen ilmanvaihtoa, lämmitystä ja tuotanto-olosuhteita on tarkasteltava kokonaisuutena. Ammoniakin erottaminen poistoilmasta vähentää suoraan broilerikasvatusvaiheen ympäristövaikutuksia. Koska samalla myös poistoilman pölypitoisuus pienenee, paranevat lämmönsiirtimien toimintaedellytykset oleellisesti. Tämä puolestaan mahdollistaa kasvattamon ilmanvaihdon tehostamisen, jolloin kuivikepohja pysyy kuivempuna ja ammoniakkaa haihtuu vähemmän, millä on positiivinen vaikutus lintujen terveyteen. Näin eri prosessien integroiminen voisi tuottaa meidän olosuhteisiimme sopivia ympäristökuormitusta pienentäviä menetelmiä, jotka olisivat myös taloudellisesti kannattavia. Sekä ammoniakin että lämmön talteenoton kehittämisen edis-

tämiseksi tarvitaan pilottikohteita, joissa selvitetään ja kehitetään laitteistojen soveltuvuutta suomalaisiin ilmasto-oloihin.

Broilerinlihan tuotantoverkon energian käytössä huomio kiinnittyy tiettyjen tuotantovaiheiden suureen osuuteen koko tuotantoverkon energiankulutuksessa, mutta myös uusiutumattomien energianlähteiden suureen osuuteen. Broilerikasvattamojen energiankulutusta voidaan vähentää esimerkiksi lämmön talteenoton avulla. Kasvattamojen lämmityksessä olisi lisäksi melko helppoa siirtyä käyttämään uusiutuvia polttoaineita. Pelkästään jo näillä toimenpiteillä olisi mahdollista saada näkyviä tuloksia aikaan koko tuotantoverkon tasolla. Toinen merkittävä muutos liittyy rehuviljan viljelyn energiankäytön tehostamiseen. Muokkaustoimenpiteitä ollaan jo nyt vähentämässä ja suorakylvöä lisäämässä, minkä kautta myös energiantarve vähenee. Samalla saavutetaan hyötyjä myös ravinnekuormituksen vähentämisessä. Hyödyt biopolttoaineiden käytöstä traktoreiden polttoaineena ovat toistaiseksi epävarmoja. Tuotantoverkossa energiaa kuluu merkittävästi myös kylmäsäilytyksessä vähittäiskaupoissa. Kylmäsäilytyksen energiankulutusta voisi vähentää esimerkiksi lisäämällä umpinaisten kylmälaitteiden käyttöä ja nopeuttamalla tuotteiden kiertoa.

Vaihtoehtoisiin toimintatapoihin saattaa liittyä myös ristikkäisiä vaikutuksia. Esimerkiksi vaihdettaessa kaikille broileritiloille lämmön tuotannon polttoaineeksi kotimaisia biopolttoaineita voitaisiin tuotantoverkon ilmastomuutosvaikutusta vähentää noin kuusi prosenttia. Samanaikaisesti alailmakehän otsonin muodostukseen vaikuttavia päästöjä syntyisi enemmän, ja kokonaisyhyöty tuotantoverkon kokonaisympäristövaikutuksissa jäisi lähes olemattomaksi.

Ympäristövaikutusten kokonaisarviointiin ei tutkimuksessa ole sisällytetty esimerkiksi mahdollisia ihmistoksisia vaikutuksia, torjunta-aineiden ja muiden haitallisten aineiden käytöstä ja päästöistä johtuvia ekotoksisia vaikutuksia tai viljelystä johtuvia monimuotoisuusvaikutuksia. Alustavissa torjunta-aineisiin liittyvissä vaikutusarviointilaskelmissa havaittiin eri aineiden ja eri kasvien viljelyn välillä olevan suuria eroja ekotoksisten vaikutusten muodostumisessa. Jatkossa arviointimenetelmän kehittyessä ekotoksisuusvaikutukset on mahdollista ottaa mukaan kokonaisvaikutusarviointeihin, mutta se edellyttää menetelmäkehitystyön lisäksi haitallisten aineiden päästöjen selvittämistä koko tuotantoverkon osalta. Tähän liittyen tulisi jatkossa myös pyrkiä kuvaamaan nykyistä selvemmin torjunta-aineiden käytöstä aiheutuvat ympäristöhyödyt, kuten kasvien ravinteiden hyväksikäytön tehostuminen. Tämä sama kuvaamisen ongelma liittyy kaikkiin muihinkin tilanteisiin, jossa tietyllä panoskäytöllä (esim. lannoitus ja kalkitus) parannetaan tuotantoverkon ympäristön suorituskykyä, mutta tuloksena niistä kuitenkin jäävät eksplisiittisesti esiin vain negatiiviset ympäristövaikutukset eli esimerkiksi panosten tuotannon aiheuttama ympäristökuormitus.

Tärkeintä broilerin lihan tuotantoverkon ympäristövaikutusten vähentämisen kannalta olisi ottaa käyttöön entistä vähemmän ympäristöä rasittavia viljelymenetelmiä sekä broileri- että viljailoilla. Esimerkiksi jo kymmenen prosentin satolisäyksellä toimintoverkon kotimaisissa viljelyosuuksissa saavutettaisiin arviolta neljän prosentin vähennys kokonaisympäristövaikutuksissa. Toisaalta on otettava huomioon, että maataloudessa toimitaan viljelylohkojen olosuhteiden ja sääolojen puitteissa, joten viljelijä ei halutessaankaan aina pysty ravinnekannuksiin riittävästi vaikuttamaan. Myös kasvatusvaiheen ammoniakkipäästöt painottuivat ympäristövaikutustarkastelussa ja tätä kautta myös lintujen hyvinvointiin liittyvät asiat tulivat esiin. On myös huomattava, että broilerirodunjalostuksen ja rehujen kehityksen myötä on broilereiden elävyys ja ruokinnan hyötysuhde parantunut, mikä on vastaavassa suhteessa vähentänyt ruokinnan ja rehun tuotannon kautta syntyviä ympäristövaikutuksia. Nämä vaikuttavat saatujen tulosten taustalla vaikeivat tuloksien yhteydessä varsinaisesti esiintyneekään.

Ruoan tuotannon ja kulutuksen ympäristövaikutuksiin liittyvässä yhteiskunnallisessa keskustelussa ovat kuluttajapakkaukset usein hallitsevassa roolissa. Kuluttajalle asti tarkastellun tuotantoverkon suurimmat kaatopaikkajätteen määrät aiheutuivat tässäkin tapauksessa kuluttajapakkauksista, mutta tämä selittyy myös sillä, että elinkeinoelämässä on jo vuosikausia satsattu paljon kaatopaikkajättemäärien vähentämiseksi. Toisaalta pakkausten tuotannon osuus tutkitun tuotantoverkon ympäristövaikutuksista oli suhteellisen vähäinen. Myöskään koko tuotantoverkon yhteenlaskettujen kuljetustapahtumien kokonaisympäristövaikutusten osuus ei ollut kovin suuri.

Tuotantoverkon sisä- ja ulkopuolelta tuleva paine lienee tärkein koko ketjun ympäristömyötäisyyteen vaikuttava tekijä. Elinkaaritarkastelut antavat aiempaa paremmat mahdollisuudet järjestelmän toimijoille tarkastella toimintaansa ja sen vaikutuksia. Tarkastelujen kautta myös kuluttajilla on entistä paremmat mahdollisuudet perehtyä tuotteiden tuotantoon koko elinkaaren osalta. Vaikka maataloustuotannolla onkin suuri merkitys elintarviketuotannon ympäristövaikutusten muodostumisessa, myös ketjun loppupäällä on tärkeä rooli ja vastuu siinä, millainen markkinoille tarjottu tuote ympäristövaikutuksiltaan on. Broilerin tuotantoketjua ohjataan yksityiskohtaisesti aina untuvikkojen tuotannosta broilereiden teurastukseen asti. Tällaisella keskitetysti ohjattavalla tuotantoketjulla on edellytyksiä kehittää koko tuotantoverkkoa vähemmän ympäristöä kuormittavaksi. Ratkaisujen etsintä ja uusien yhteistyömuotojen ja pilottikokeilujen kehittäminen alkutuotannon kanssa edellyttävät broilerin tuotantoketjulta yhteistä näkemystä ja ennakoivaa toimintaa. Tätä kautta broilerin tuotantoketju voisi myös toimia hyvänä esimerkkinä muille elintarvikeketjuille.

Tuotantoverkkointegroitu elinkaariarviointitutkimus tuotti osallistuville tahoille uusia näkemyksiä ja ajatuksia yhteistyön ja toiminnan kehittämisestä sekä niiden painopisteistä. HK Ruokatalon omassa tuotannossa havaittiin

yksityiskohtaisen tiedonkeruun yhteydessä suoraan muutamia yksittäisiä parannuskohteita, jotka toteuttamalla saavutetaan samanaikaisesti myös kustannussäästöjä.

8 Kirjallisuus

- Arnold, M., Kuusisto, S., Wellman, K., Kajolinna, T., Räsänen, J., Sipilä, J., Puumala, M., Sorvala, S., Pietarila, H. & Puputti, K. 2006. Hajuhaitan vähentäminen maatalouden suurissa eläintuotantoyksiköissä. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT tiedotteita 2323. Espoo. 74 s.
- Asp, J., Kreuger, J. & Ulén, B. 2004. Riktvärder för bekämpningsmedel i ytvatten. Sveriges lantbruksuniversitet. Ekohydrologi 82. Uppsala. 111 s.
- Bakkane, K. 1994. Life cycle data for Norwegian oil and gas. TAPIR publishers. 146 s.
- Bennett, C.D., Classen, H.L. & Riddell, C. 2002. Feeding broiler chickens wheat and barley diets containing whole, ground and pelleted grain. Poultry Science 81 (7) 995–1003.
- Birkved, M. & Hauschild, M.Z. 2006. PestLCI – a model for estimating field emissions of pesticides in agricultural LCA. Ecological modelling 198: 433–451.
- Cederberg, C. 1998. Life cycle assessment of milk production – a comparison of conventional and organic farming. SIK-Rapport nro 643. The Swedish institute for food and biotechnology. 86 s.
- Cederberg, C & Dareljus, K. 2000. Livscykelanalys (LCA) av nötkött – en studie av olika produktionsformer. Naturresursfrom, Landstinget, Halland. 85 s.
- CORPEN, 1996. Estimation des rejets d'azote par les élevages avicoles (Estimation of nitrogen excretion from poultry production). Technical references edited by the French ministry of agriculture. 9 s.
- Demmers, T.G.M., Burgess, L.R., Short, J.L., Philips, V.R., Clark, J.A., Wathes, C.M., 1999. Ammonia emissions from two mechanically ventilated UK livestock buildings. Atmospheric environment 33 (2): 217–227.
- EC 2003. Reference document on best available techniques for intensive rearing of poultry and pigs. European Commission. 383 s. (<http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm> -> BREF (07.03))
- EEA (European Environment Agency) 2004. EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook – 2004. Technical report No 30. Manure management regarding nitrogen compounds. 41 p.

- Ekholm, P., Turtola, E., Grönroos, J., Seuri, P. & Ylivainio, K. 2005. Phosphorus loss from different farming systems estimated from soil surface phosphorus balance. *Agriculture, ecosystems & environment* 110: 266–278.
- Ellen, H.H., Harn, J. van ja Veldkamp, T. 2005. Inventarisatie mogelijkheden reductie ammoniakemissie uit vleeskuikenstallen (englanninkielinen yhteenveto: Desk study on possibilities to reduce ammonia emission from broiler houses). Wageningen University and Research Centre. *Praktijk Rapport Pluimvee (Practical report) 16*. 23 s. (<http://www.pv.wageningen-ur.nl/english/products/books/PraktijkRapport/PNK/16.asp>)
- Elwinger, K. & Svensson, L. 1996. Effect of dietary protein content, litter and drinker type on ammonia emission from broiler houses. *Journal of agricultural engineering research*. 64: 197–208.
- Eronen, U. 1997. Elinkaariarviointi, tapaustutkimus kivennäisrehuteollisuudessa. Pro gradu -tutkimus: Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos, Helsingin yliopisto, 57 s.
- Fortum Oil & Gas 2002a. Ekotasetiedote (1.3.2002) kevyt polttoöljy.
- Fortum Oil & Gas 2002b. Ekotasetiedote (1.3.2002) euro- ja citydieselöljy.
- Groot Koerkamp, P.W.G., & Uenk, G.H. 1997. Climatic conditions and aerial pollutants and emissions from commercial animal production systems in Netherlands. Schroder M., Linkert K.H., Pedersen S., Takai H., Johnsen J.O., Wathes C.M. 1998. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in northern Europe. *Journal of agricultural engineering research* 70 (1): 79–95.
- Groot Koerkamp, P.W.G., Metz, J.H.M., Uenk, G.H., Phillips, V.R., Holden, M.R., Sneath, R.W., Short, J.L., White, R.P., Hartung, J., Seedorf, J., Teoksessa: Voermans, J.A.M., Monteny, G. (toim.), Ammonia and odour control from animal production facilities. *Proceedings of the international symposium, 6–10 October, The Netherlands*. s. 139–144.
- Grönroos, J. (toim.) 2003. Erilaisten maatalouskäytäntöjen ravinnehuhtoumien arviointiosio 2. Hankkeen loppuraportti maa- ja metsätalousministeriölle 22.9.2003.
- Grönroos, J., Nikander, A., Syri, S., Rekolainen, S. & Ekqvist, M. 1998. Maatalouden ammoniakkipäästöt. Osa 1: Päästöt ja niiden kehittyminen, Osa 2: Päästöjen vähentäminen ja vähentämiskustannukset. Suomen ympäristökeskus. *Suomen ympäristö* 206. Helsinki. 62 s.
- Grönroos, J. & Seppälä, J. (toim.) 2000. Maatalouden tuotantotavat ja ympäristö. Helsinki, Suomen ympäristökeskus. *Suomen ympäristö* 431. 243 s.
- Grönroos, J., Seppälä, J., Silvenius, F. & Mäkinen, T. 2006. Life cycle assessment of cultivated rainbow trout. *Boreal environment research* 11: 401–414.

- Guinée, J.B., Gorree, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., de Koning, A., van Oers, L., Sleswijk, A.W., Suh, S., Udo de Haes, H.A., de Bruijn, H., de Duin, R. & Huijbregts, M.A.J. 2001. Life cycle assessment. An operational guide to the ISO standards. Final report, May 2001. Centre of environmental science, Leiden University. (CML) (<http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/ssp/projects/lca2/lca2.htm>)
- Guiziou, F. & Beline, F. 2005. In situ measurement of ammonia and greenhouse gas emissions from broiler houses in France. *Bioresource technology* 96: 203–207.
- Hauschild, M. 2000. Estimating pesticide emissions for LCA of agricultural products. Teoksessa: Weidema, B.P. & Meeusen, M.J.G. (toim.) *Agricultural data for Life Cycle Assessments*. LEI report 2.00.01. s. 70–84. (<http://www.lcacenter.org/library/library.html>)
- Hauschild, M., Bastrup-Birk, A., Hertel, O., Schöpp, W. & Potting, J. 2004. Photochemical ozone formation. Teoksessa: Potting, J. & Hauschild, M. (toim.) 2004. *Background for spatial differentiation in life cycle assessment – the EDIP 2003 methodology*. Institute of Product Development, Copenhagen. *Environmental news* 80.
- Hayes, E.T., Curran, T.P. & Dodd, V.A. 2005. Odour and ammonia emissions from intensive poultry units in Ireland. *Bioresource technology* 97: 933–939.
- Hertwich, E.G., Jolliet, O., Pennington, D., Hauschild, M., Schultze, C., Krewitt, W. & Huijbregts, M. 2002. Fate and exposure assessment in the life cycle impact assessment of toxic chemicals. Teoksessa: Udo de Haes, H.A., Jolliet, O., Finnveden, G., Goedkoop, M., Hauschild, M., Hertwich, E.G., Hofstetter, P., Klöpffer, W., Krewitt, W., Lindeijer, E.W., Müller-Wenk, R., Olson, S.I., Pennington, D.W., Potting, J. & Steen, B. (eds.) 2002. *Towards best practice in life cycle impact assessment – report of the second SETAC-Europe working group on life cycle assessment*. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), Pensacola. s. 101–122.
- Hetland, H., Svihus, B. & Olaisen, V. 2002. Effect of feeding whole cereals on performance, starch digestibility and duodenal particle size distribution in broiler chickens. *British poultry science* 43 (3): 416–423.
- Huijbregts, M.A.J. 1999. Priority assessment of toxic substances in the frame of LCA. Development and application of the multi media fate, exposure and effect model USESLCA. Amsterdam. University of Amsterdam. (<http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/lca2/index.html>).
- Huijbregts, M.A., Thissen, U., Guinee, J.B., Jager, T., Kalf, D., van de Meent, D., Ragas, A.M., Sleswijk, A.W., Reijnders, L. 2000. Priority assessment of toxic substances in life cycle assessment. Part I: calculation of toxicity potentials for 181 substances with the nested multi-media fate, exposure and effects model USES-LCA. *Chemosphere* 41(4): 541-73.

- Huijbregts, M.A.J., Struijs, J., Goedkoop, M., Heijungs, R., Hendriks, A.J. & van de Meent, D. 2005. Human population intake fractions and environmental fate factors of toxic pollutants in life cycle impact assessment. *Chemosphere* 61: 1495–1504.
- Hyde, B.P., Carton, O.T., O'Toole, P. & Misselbrook, T.H., 2003. A new inventory of ammonia emissions from Irish agriculture. *Atmospheric Environment* 37 (2003): 55–62.
- IPCC 1997. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Lim B., Treanton K., Mamaty I, Bonduki Y., Griggs D.J. & Callender B.A. 1997. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Lontoo, IPCC, OECD & IEA. (<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>)
- IPCC 2001. Houghton, J., Ding, Y., Griggs, D., Noguer, M., van der Linden, P., Dai, X., Maskell, K. & Johnson, C. (toim.) *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of working group I to the third assessment report of IPCC*. 786 s. (http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1)
- Joliet O, Margni M, Charles R, Humbert S, Payet J, Rebitzer G and Rosenbaum R, 2003. *IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology*. *International journal of life cycle assessment* 8: 324-330.
- Katajajuuri, J.-M., Loikkanen, T. Pahkala, K., Uusi-Kämpö, J., Voutilainen, P., Kurppa, S., Laitinen, P., Mikkola, H., Kivinen, T. & Salo, S. 2000. Ympäristöhallintaa tukevan tietopohjan kehittäminen osana maatalojen laatu- ja ympäristöjärjestelmää. Case: Rehuohran elinkaariarviointi. VTT Kemianteleknikka, Espoo. VTT Tiedotteita 2034. 134 s. (<http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2034.pdf>)
- Katajajuuri, J.-M., Virtanen, Y., Voutilainen, P., Tuhkanen, H.-R. & Kurppa, S. 2003a. Elintarvikkeiden ympäristövaikutukset FOODCHAIN. MMM:n julkaisu 6/2003. Maa- ja metsätalousministeriö. 63 s. (http://www.mmm.fi/julkaisut/julkaisusarja/MMMjulkaisu2003_6.pdf)
- Katajajuuri, J.-M., Voutilainen, P., Tuhkanen, H.-R., Honkasalo, N. Elovena- kaurahiutaleiden ympäristövaikutukset 2003b. Maa- ja elintarviketalous. 2003: 33, 47 s. (<http://www.mtt.fi/met/pdf/met33.pdf>)
- Kirchmann, H. & Widén, P. 1994. Separately collected organic household wastes. Chemical composition and composting characteristics. *Swedish journal of agricultural research* 4.
- Kulay, L. & Silva, G. 2005. Comparative screening LCA of agricultural stages of soy and castor bean. *Innovation by life cycle management LCM 2005 International conference, proceedings, Volume I: s. 491–495. September 5–7, 2005, Barcelona, Spain.*
- Lehtinen, R. 1998. Ruoka-Saarioisten raakojen broilertuotteiden elinkaari-inventaariotutkimus. Lisensiaatintyö. Teknillinen korkeakoulu. 114 s.
- Lindgren, M., Pettersson, O., Hansson, P.-A. & Norén, O. 2002. Jordbruks- och anläggningsmaskinernas motorbelastning och avgasemissioner – samt

- metoder att minska bränsleförbrukning och avgasemissioner. Institutet för jordbruks- och miljöteknik (JTI). JTI-rapport Lantbruk & Industri 308. Uppsala. 61 s.
- Mackay, D. 2001. Multimedia environmental models: the fugacity approach. 2. painos, Boca Raton, New York.
- Martins, O. & Dewes, T. 1992. Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes. *Bioresource technology* 42:103-111.
- Melse, R.W. & Ogink, N.W.M. 2005. Air Scrubbing Techniques for Ammonia and Odor Reduction at Livestock Operations: Review of On-Farm Research in the Netherlands. *Transactions of the ASAE* 48(6):2303–2313.
- Mikkola, A., Katajajuuri, J.-M., Grönroos, J., Voutilainen, P., Näkkilä, J. & Hovi-Pekkanen, T. Kasvihuonekurkun tuotantoketjun ympäristövaikutukset ja niiden vähentämismahdollisuudet. Julkaistaan Maa- ja elintarviketalous (2006) -sarjassa.
- Miller, S. & Theis, T. 2006. Comparison of life cycle inventory databases. A case study using soybean production. *Journal of industrial ecology*. Winter/Spring 2006, Vol. 10, No. 1-2: 133–147.
- MMM 2004. Johannesburgin kestävä kehityksen huippukokouksen päätökset: Strateginen arvio uusiutuvia luonnonvaroja ja maaseutua koskevista toimista. MMM:n julkaisu 13/2004. 157 s. (http://www.mmm.fi/luonnonvarat_vesivarat_maanmittaus/luonnonvarapoliitiikka/Johannesburg%20julkaisu%20final.pdf)
- MMM 2005. Hakuopas 2005. Maa- ja puutarhatalouden tuet ja niiden hakeminen v. 2005. Maa- ja metsätalousministeriö. Helsinki. 176 s.
- Mälkki, H. & Frilander, P. 1997. Life cycle assessment of peat utilisation in Finland. 1997. VTT Publications 333. Espoo, VTT. 86 s. ISBN 951–38–5211–3.
- Niemi, H. 1994. Luonnonmukaisten kasvualustojen ja lannoitteiden elinkaarianalyysi. Diplomityö. Tampereen teknillinen korkeakoulu. 83 s.
- Nissinen, A., Grönroos, J., Heiskanen, E., Honkanen, A., Katajajuuri, J.-M., Kurppa, S., Mäkinen, T., Mäenpää, I., Seppälä, J., Timonen, P., Usva, K., Virtanen, Y. & Voutilainen, P. 2006. Developing benchmarks for consumer-oriented LCA-based environmental information on products, services and consumption patterns. *Journal of cleaner production*. 15 (6): 538–549.
- Ohje kotieläintalouden ympäristönsuojelusta 1998. Ympäristöministeriö 30.9.1998. Helsinki. 27 s.
- Ojala, H. & Reinikainen, O. 2004. Influence of litter quality and quantity on ammonia emissions in broiler chicken production. Poster presentation in 12th International Peat Congress 6–11–June 2004. Tampere, Finland.

- Peltonen, M. & Vanhala, A. 1992. Maatalouden työnormit kasvintuotannon yleiset työt. Työtehoseuran tiedote 14/1992. Nro. 421. Työtehoseura. Helsinki. 8 s.
- Pennington, D., Margni, M., Payet, J., Charles, R. & Jolliet, O. 2003a. Estimating cumulative toxicological risks and potential impacts for human health and ecosystems in LCA. Submitted to Environmental toxicological chemistry.
- Pennington, D., Amman, C., Pelichet, T., Margni, M. & Jolliet, O. (2003b): Spatial multimedia chemical fate and human exposure model for Western Europe. Submitted to Environmental science & technology.
- Perttilä, S., Valaja, J., Partanen, K., Jalava, T. & Venäläinen, E. 2002. Apparent ileal digestibility of amino acids in protein feedstuffs and diet formulation based on total vs digestible lysine for poultry. *Animal feed science and technology* 98: 203–218.
- Plastics Europe 2006. Association of Plastics Manufacturers in Europe. Eco-Profiles of the European Plastics Industry (<http://www.plasticseurope.org/content/default.asp?PageID=392>)
- Puumala, M. & Sarin, H. 2000. Lannan aumavarastointi. VAKOLAn tiedote 80/2000. Vihti: Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. 25 s.
- Rodhe, L. & Karlsson, S. 2002. Ammonia emissions from broiler manure - Influence of storage and spreading method. *Biosystems engineering* (2002) 82 (4): 455–462.
- Salo, T. & Turtola, E. 2006. Nitrogen balance as an indicator of nitrogen leaching in Finland. *Agriculture, ecosystems and environment* 113: 98–107.
- Saloniemi, H. & Rajala, P. 1996. Kotieläinten terveys ja tuotantoympäristö. (<http://www.agronet.fi/mkl/20/terveys.htm>)
- Schröder, M. Linkert, K.H., Pedersen, S., Takai, H., Johnsen, J.O. & Wathes, C.M. 1998. Concentrations and emissions of ammonia in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of agricultural engineering Research* 70: 79–95.
- Seppälä, J. (toim.) 2004. Ympäristövaikutusten arviointi elinkaariarvioinnissa – alailmakehän otsonin muodostuminen, happamoituminen, pienihiukkaset ja ekotoksisuus. *Suomen ympäristö* 673. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 85 s.
- Seppälä J. & Jouttijärvi T. (toim.) 1997. Metsäteollisuus ja ympäristö. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 89. Helsinki. 128 s.
- Seppälä, J., Knuutila, S. & Silvo, K. 2004. Eutrophication of aquatic ecosystems. A new method for calculating the potential contributions of nitrogen and phosphorus. *International journal of life cycle assessment* 9 (2): 90–100.

- Seppälä J., Koskela S., Palperi M. & Melanen M. 2000. Metallien jalostus ja ympäristö. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 428. Helsinki. 155 s.
- Seppälä, J., Posch, M., Johansson, M. & Hettelingh, J-P. 2006. Country-dependent characterisation factors for acidification and terrestrial eutrophication based on accumulated exceedance as an impact category indicator. *International journal of life cycle assessment* 11(6): 403-416.
- Silvenius, F & Grönroos, J. 2004. Suomen kalatuotteiden elinkaariarviointi. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 629. Helsinki. 101 s. ISBN 952-11-1658-7.
- Statistics Finland 2006. Greenhouse gas emissions in Finland 1990-2004. National inventory report to the UNFCCC. 221 s.
- Su, G., Sørensen, P. & Kestin, S.C. 1999. A note on the effects of perches and litter substrate on leg weakness in broiler chickens. *Poultry science* 79: 1259-1263.
- Suomen ympäristökeskus 2006. Suomen ympäristökeskuksen kuormitustilastot. (<http://www.ymparisto.fi> > Tilastot > Päästöt)
- Tenhunen J. & Seppälä J. (toim.) 2000. Alueellinen ympäristöanalyysi: esimerkkinä Etelä-Savo. Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 383. Helsinki. 110 s.
- Tucker, S.A. ja Walker, A.W. 1999. Hock burn in broilers. Teoksessa: Wiseman, J., Garnsworthy, P.C. (toim.) 1999. Recent developments in poultry nutrition 2. Nottingham University Press, Nottingham. s. 107-122.
- Tuori, M., Kaustell, K., Valaja, J., Aimonen, E., Saarisalo, E., & Huhtanen, P. 1996. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset : märehittäjät – siat – siipikarja – turkiseläimet – hevoset. 102 s.
- Tuunanen, L. & Karhunen, J. 1984. Eläinsuojien ilmanvaihdon mitoitus. Vihti: Vakola. 112 s.
- Udo de Haes, H.A., Jolliet, O., Finnveden, G., Hauschild, M., Krewitt, W. & Müller-Wenk R. 1999. Best available practise regarding impact categories and category indicators in life cycle impact assessment. *International journal of life cycle assessment* 4: 66-74.
- Viljavuuspalvelu 2005. Viljavuuspalvelun internet-sivuilla olevat lanta-analyysiyhteenvedot vuosilta 2000-2005. (http://www.viljavuuspalvelu.fi/user_files/files/kotielain/lanta_tilastot_2000_2004.pdf)
- Virtanen, Y., Usva, K. & Katajajuuri, J.-M. 2006. Mallasohra -toimintoverkon kestävyuden parantamisen työkalut (MOKE) - Suomalaisen keskioluen ympäristövaikutusten elinkaariarviointi ja analyysi kokonaisympäristövaikutuksista. Painossa.

- Voutilainen, P., Katajajuuri, J.-M., Tuhkanen, H.-R. & Honkasalo, N. 2003. Kesäpöytä Juustokermaperunoiden ja Pirkka perunajauhon ympäristövaikutukset. Maa- ja elintarviketalous 2003: 34. (<http://www.mtt.fi/met/pdf/met34.pdf>)
- Voutilainen, P., Tuhkanen, H.-R., Katajajuuri, J.-M., Nousiainen, J. & Honkasalo, N. Emmental Sinileima -juuston tuotantoketjun ympäristövaikutukset ja parannusmahdollisuudet. Maa- ja elintarviketalous (2003): 35, 91 s. (<http://www.mtt.fi/met/pdf/met35.pdf>)
- Vähemmästä enemmän ja paremmin. Kestävän kulutuksen ja tuotannon toimikunnan (KULTU) ehdotus kansalliseksi ohjelmaksi. 2005. Helsinki: Ympäristöministeriö ja kauppa- ja teollisuusministeriö. 146 s.
- Wathes, C.M., Holden, M.R., Sneath, R.W., White, R.P. & Phillips, V.R. 1997. Concentrations and emission rate of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. *British poultry science* 38 (1): 14–28.
- Weaver, W.D. 1990. The effect of different levels of relative humidity and air movement on litter conditions, ammonia levels, growth and carcass quality for broiler chickens. *Poultry science* 70: 746–755.
- Webb, J. & Misselbrook, T.H. 2004. A mass-flow model of ammonia emissions from UK livestock production. *Atmospheric environment* 38: 2163–2176.
- Wiers, W.J.W., J.H. van Middelkoop, J.H. & van Harn, J. 2002. Effect verwarmen en koelen strooiselbed vleeskuikens (englanninkielinen yhteenveto: Effect of heating and cooling litterbetting of broilers). Wageningen University and Research Centre. *PraktijkRapport Pluimvee* (Practical report) 1. 33 s.

Liitteet

Liite 1. Ilmanvaihdon ja lämmitysenergian tarpeen arvioiminen kotieläinsuojissa

Ilmanvaihtotarve

- Ilmanvaihdon tavoitteena on luoda eläintilaan sellainen ilmastoympäristö, jossa eläimet viihtyvät ja jossa niiden terveys ja tuottavuus säilyvät (Saloniemi & Rajala, 1996). Tuotantorakennuksessa vallitsevien olosuhteiden ei tulisi myöskään aiheuttaa kohtuutonta haittaa rakennuksessa työskenteleville ihmisille eikä rakennusmateriaaleille (Tuunanen 1984). Ilmastoinnin tulee (Saloniemi ja Rajala, 1996) poistaa liika kosteus, jota eläintilaan muodostuu mm. eläinten hengityksessä
- ylläpitää suhteellisen tasainen lämpötila eläintilassa
- poistaa eläintilaan muodostuneet haitalliset kaasut (ammoniakki, rikkivety ym.)
- vähentää ilmassa olevia tautia aiheuttavia mikro-organismeja (esim. bakteereja)

Tuotantorakennuksen ilmastoympäristöön vaikuttavat tekijät voidaan jakaa fysikaalisiin (ilman lämpötila, ilman suhteellinen kosteus, ilman liike (veto)), kemiallisiin (kaasupitoisuudet kuten ammoniakki, hiilidioksidi, metaani, rikkivety) ja biologisiin (pölypitoisuus, mikrobipitoisuus) tekijöihin. Puutteellinen tai huonosti toimiva ilmanvaihto johtaa tuotantorakennuksen sisäilman laadun heikkenemiseen, joka puolestaan näkyy tuotantoeläinten stressaantumisenä, vastustuskyvyn heikkenemisenä, sairauksien lisääntymisenä ja tuottavuuden heikkenemisenä (Saloniemi ja Rajala, 1996).

Pienin mahdollinen ilmanvaihtotarve määräytyy useimmissa tapauksissa hiilidioksidin poistamistarpeen mukaan, mutta myös kosteuden poisto asettaa omat vaatimuksensa ilmanvaihdolle. Suurimmillaan ilmanvaihtotarve on kesällä, jolloin eläinsuojassa kehittyvän lämmön poistaminen on mitoittavana tekijänä (Tuunanen ja Karhunen, 1984).

Lämpötila

Kotieläimemme ovat tasalämpöisiä. Jokaisella eläimellä on tietty lämpötila-alue, jolla se viihtyy ja voi hyvin ja voi saavuttaa optimituotannon.

Ilmastointitekijät vaikuttavat ennen kaikkea eläinten lämpötasapainoon ja sen säätelyyn. Vastasyntyneillä ja nuorilla eläimillä elimistön lämmönsäätelyky-

ky on vielä huonosti tai puutteellisesti kehittynyt, joten niiden terveydelle ympäristöoloilla ja lämpötilalla on suurempi merkitys kuin vanhemmilla. Eläinten täytyy ylläpitää tasapaino tuottamansa tai ympäristöstä saamansa ja menettämänsä lämmön välillä. Optimista poikkeavissa oloissa eläinten täytyy jatkuvasti tehdä ylimääräistä työtä säilyttääkseen tämän tasapainon. On huomattava, että harvoin yksittäinen ympäristötekijä, esim. liian kylmä ympäristö on suoranaisesti sairauden synnyn synnä, vaan se vaikuttaa epäsuorasti aiheuttaen stressiä ja heikentäen vastustuskykyä ja tästä seurauksena muiden altistavien tekijöiden yhteisvaikutuksena sairaus puhkeaa. Tuotantoeläinten kohdalla huonot ympäristöolot näkyvät myös heikentyneenä tuotoksena (Saloniemi & Rajala, 1996).

Jokaisella eläimellä on tietty ihanteellinen lämpötila-alue. Ns. termisen miellyttävyyden alueeksi kutsutaan sellaista lämpötila-aluetta, jolla eläimet eivät ainoastaan pysty saavuttamaan optimituotantoa, vaan jolla ne viihtyvät niin hyvin (tuntevat olonsa miellyttäväksi), että eivät pyri vaihtamaan paikkaa. Tätä lämpötila-aluetta on vaikea määritellä, koska siihen vaikuttavat monet seikat: eläinlaji, eläimen ikä, koko, aikaisemmat kokemukset ja muut ympäristöolot. Se voi olla hyvin kapea, kuten vastasyntyneellä porsaalla tai hyvin laaja, kuten täysikasvuisella naudalla (Saloniemi & Rajala, 1996).

Tämän alueen molemmin puolin on taas ns. termisen neutraliteetin alue, jonka ylä- ja alarajaa kutsutaan ylemmäksi ja alemmaksi kriittiseksi lämpötilaksi. Mikäli lämpötila nousee tai putoaa näiden raja-arvojen ulkopuolelle, ollaan tilanteessa, jolloin eläimen täytyy aktiivisesti tehdä töitä säilyttääkseen ruumiinsa lämpötasapainon. Alempaa kriittistä lämpötilaa kylmemmässä ympäristössä eläimen täytyy kuluttaa normaalia enemmän rehua pysyäkseen lämpimänä. Ylempää kriittistä lämpötilaa korkeammassa lämpötilassa eläin yleensä vähentää rehunkulutusta vähentääkseen ruumiinsa lämmöntuotantoa ja sen on tehtävä aktiivisesti työtä poistaakseen elimistönsä tuottaman ylimääräisen lämmön (Saloniemi & Rajala, 1996).

Optimilämpötiloja määriteltäessä on huomioitava kyseessä olevan eläinryhmän erityistarpeiden lisäksi muiden ilmastointi- ja ympäristötekijöiden vaikutus. On mahdotonta antaa jokin lämpötila-alue, joka yksiselitteisesti olisi tietylle eläinryhmälle aina optimaalinen. Annettaessa jokin eläinlaji- tai eläinryhmäkohtainen optimilämpötila tarkoitetaan sillä sitä lämpötilaa, jonka eläin itse kokee ja tuntee ja se saattaa olla hyvinkin erilainen kuin lämpömittarin näyttämä lukema. Eläimet pystyvät itse aktiivisesti säätelemään lämpötasapainoaan ja sopeutumaan erilaisiin lämpötilaoloihin, jos niille annetaan siihen mahdollisuus, esim. mahdollisuus liikkumiseen ja paljon kuivikkeita. Jos eläin makaa paljaalla, kostealla betonilattialla vetoisessa ympäristössä ja vaikka lämpömittari näyttäisi annetun optimi lämpötila-alueen lukemaa, on todennäköistä, että eläin silti palelee. Jos esiintyy vetoa, täytyy lämpötilan olla korkeampi tai päinvastoin eli jos lämpötila on kovin korkea, voi ilman liikenopeus olla suurempi ilman, että siitä olisi haittaa eläimen hyvinvoinnille

ja terveydelle. On siis muistettava, että pelkkä lämpötilan mittaus ei aina kerro koko totuutta siitä, millaisena eläin ympäristön lämpötilan kokee.

Eri eläinlajeille esitettävät optimilämpötila-alueet (esim. vastasyntyneen porsaan lämpötila-alue 30–32 °C) koskevatkin lähinnä sellaisia oloja, joissa eläimellä itsellään ei ole mahdollisuutta vaikuttaa omaan lähiympäristöönsä. Mikäli eläimellä on mahdollisuus liikkumiseen, sillä on suojaista, vedoton, kuiva ympäristö ja paljon kuivikkeita (sillä on siis mahdollisuus itse aktiivisesti vaikuttaa omaan lämpötasapainoonsa ja lämmönsäätelyynsä) ja sen riittävästä ruokinnasta on huolehdittu, se selviää huomattavasti viileämmässä ympäristössä kuin nämä yleiset suosituslämpötilat antavat ymmärtää.

Yleisenä sääntönä voidaan pitää, että ilman liikenopeus (=veto) ei saisi ylittää 0,2 metriä sekunnissa. Eläinsuojan ilman suhteellisen kosteuden tulisi olla 60–80 prosenttia ja yli 10 prosenttia vaihteluja vuorokauden aikaisessa ilman suhteellisessa kosteudessa pidetään haitallisena terveydelle samoin kuin yli 5 asteen lämpötilan vaihteluja.

Haitalliset kaasut, pöly ja mikrobit

Ns. lantakaasuja voi kertyä eläintiloihin korkeita pitoisuuksia nimenomaan lietelantaa käsiteltäessä ja näissä yhteyksissä on ilmennyt jopa kuolemantapauksia. Mikäli ilmastointi on puutteellinen eläintilaan saattaa muutenkin muodostua sellaisia määriä haitallisia kaasuja, että ne vaikuttavat eläinten terveyteen ja tuotantoon mm. vähentäen syöntiä, hidastaen kasvunopeutta ja lisäten eläinten herkkyyttä tautia aiheuttaville pieneliöille (Saloniemi & Rajala, 1996).

Lantakaasuista rikkivety on vaarallisin ja se voi jo pieninäkin pitoisuuksina aiheuttaa kuolemantapauksia. Ammoniakki on ärsyttävä kaasu, joka aiheuttaa limakalvovaurioita, erityisesti hengitysteissä. Hiilidioksidi ei yleensä ole vaarallinen ihmiselle tai eläimille (korkeat pitoisuudet sisätiloissa voivat aiheuttaa happivajausta). Hiilidioksidipitoisuutta eläinsuojan ilmassa voidaan kuitenkin pitää karkeana mittana ilmaston tehokkuudesta, toisin sanoen sisäilman korkea hiilidioksidipitoisuus tarkoittaa sitä, että ilmanvaihto on riittämätön (Saloniemi & Rajala, 1996).

Kotieläinrakennuksen ilmassa on aina jonkin verran pölyhiukkasia ja mikrobeja (bakteereja, viruksia sekä sienten ja homeiden itiöitä). Mitä pienempiä (PM_{2,5}, halkaisijaltaan <2,5 µm) pölyhiukkaset ovat, sitä vaarallisempia ne ovat pystyessään tunkeutumaan syvemmälle hengitysteihin kuin suuret hiukkaset. Pölyhiukkasiin on usein myös tarttunut erilaisia mikrobeja ja siten pöly altistaa infektio-tauteille toimiessaan mikrobien levittäjänä. Pöly ärsyttää mekaanisesti ja aiheuttaa tulehduksia limakalvoilla ja lisäksi se voi aiheuttaa allergisia reaktioita. Ensisijaisesti pöly tietenkin altistaa hengitystiesairauksil-

le, mutta voi levittää myös muita taudinaiheuttajia. Kuiva huoneilma lisää pölyn haittavaikutuksia (Saloniemi & Rajala, 1996).

Kaasupitoisuuksien mittaamiseen on olemassa melko yksinkertaisia ja helpokäyttöisiä mittareita (mm. Dräger- kaasunilmaisinlaite). Pölypitoisuuden mittaaminen on hankalaa eikä meillä tällä hetkellä ole käytäntöön soveltuvia helpokäyttöisiä laitteita sitä varten. Ilman suhteellisen kosteuden ja liikenopeuden (vedon) mittaaminen on käytännössä yksinkertaista. Eläinsuojien olosuhteiden kartoittamiseen tarvittavia mittareita on mm. maatalouskeskuksissa (Saloniemi & Rajala, 1996).

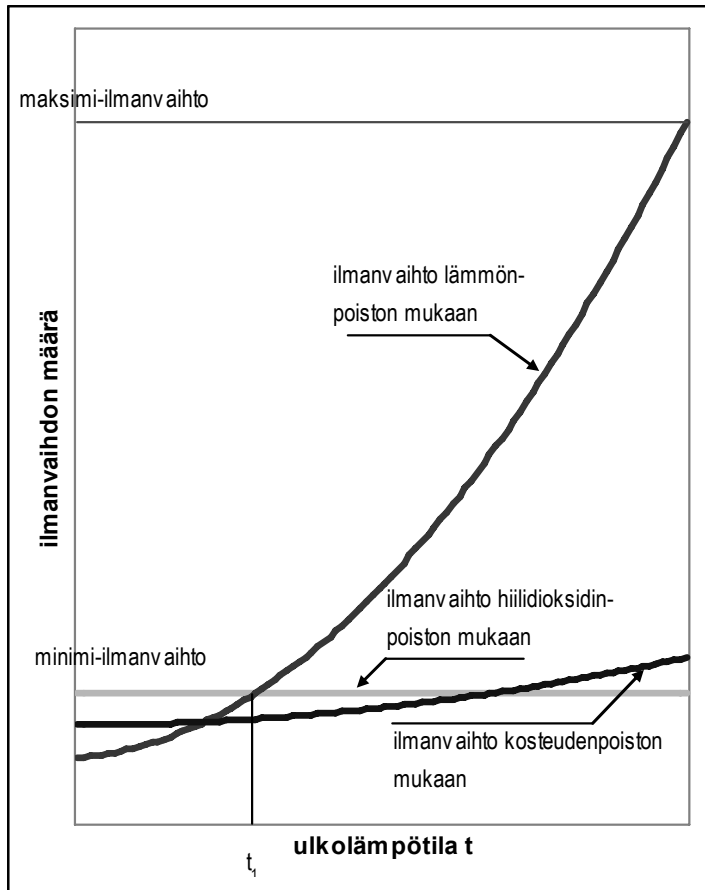
Taulukko 11. Kotieläinsuojien ilman epäpuhtauksia ja niiden vaikutuksia (Saloniemi & Rajala 1996).

Epäpuhtaus	Suurin sallittu pitoisuus (Ruotsin eläinsuojelulaki)	Korkean pitoisuuden haittavaikutuksia
Ammoniakki (NH ₃)	10 ppm	limakalvovauriot
Rikkivety (H ₂ S)	0,5 ppm	tukehtumiskuolemat
Hiilidioksidi (CO ₂)	3000 ppm	happivajaus, uneliaisuus
Pöly, mikrobit	10 mg/m ³	mm. hengitystieinfektiot

Ilmanvaihdon mitoitusmenetelmät

Ilmanvaihdolla pyritään poistamaan tuotantorakennuksessa syntyvä lämpö, vesihöyry ja haitalliset kaasut. Vallitsevista olosuhteista riippuen joku näistä kolmesta määrää pienimmän mahdollisen ilmanvaihdon suuruuden. Pakkas-kaudella mitoittavana tekijänä on yleensä joko kosteuden tai haitallisten kaasujen poistaminen. Kesällä mitoitus puolestaan määräytyy lähes poikkeuksetta ylimääräisen lämmön poistotarpeen mukaan (Tuunanen & Karhunen, 1984).

Ilmanvaihtotarve on periaatteessa kuvan 26 esittämällä tavalla riippuvainen ulkolämpötilasta, mutta lämmön, kosteuden ja hiilidioksidin poistamiseksi tarvittavien ilmamäärien keskinäiset suuruussuhteet poikkeavat toisistaan mm. eläinlajista ja tuotantotavasta riippuen. Minimi-ilmanvaihto määräytyy joko hiilidioksidinpoiston (kuten kuvassa 26) tai kosteudenpoiston perusteella. Ulkolämpötilan noustessa liikalämmön poistamiseksi tarvittava ilmavirta kasvaa nopeimmin ja jostakin lämpötilasta (t_1) lähtien se tulee ilmanvaihtotarvetta määrääväksi (Tuunanen & Karhunen, 1984).



Kuva 26. Ilmanvaihtotarpeen riippuvuus ulkolämpötilasta (Tuunanen & Karhunen, 1984)

Ilmanvaihtotarpeen laskeminen lämmönpoiston perusteella

Liikalämmön poistamiseksi tuotantorakennuksesta tarvittava ilmavirta V_l voidaan laskea kaavan (1) avulla

$$\dot{V}_l = \frac{3,6 \cdot Q_{iv}}{\rho \cdot C_p \cdot (t_s - t_u)} \quad (10)$$

jossa V_l = ilmavirta, m^3/h

Q_{iv} = ilmanvaihdon mukana poistuva vapaa lämpö, W

ρ_s = ilman tiheys sisäilman lämpötilassa, kg kuivaa ilmaa / m^3

C_p = ilman ominaislämpökapasiteetti, $1,006$ $kJ/(kg \cdot K)$

t_s = sisälämpötila, $^{\circ}C$

t_u = ulkolämpötila, $^{\circ}C$

Ilmanvaihtotarpeen laskeminen poistettavan vesihöyryn perusteella

Rakennuksessa syntyvän vesihöyryn poistamiseksi tarvittavan ilmavirran määrittämiseksi on tiedettävä rakennuksen sisä- ja ulkopuolisen ilman lämpötila- ja kosteustiedot sekä rakennuksessa syntyvän kosteuden määrä. Näiden tietojen perusteella ilmavirran suuruus voidaan ratkaista kaavan (2) mukaisesti (Tuunanen & Karhunen, 1984).

$$V_2 = \frac{g_s}{\rho_s \cdot (x_s - x_u)} \quad (11)$$

jossa $V_2 =$ ilmavirta, m^3/h

$g_s =$ rakennuksessa tapahtuva vesihöyrynmuodostus, g/h

$\rho_s =$ ilman tiheys sisäilman lämpötilassa, kg kuivaa ilmaa / m^3

$x_s =$ sisäilman vesisisältö, g/kg

$x_u =$ ulkoilman vesisisältö, g/kg

Ilmanvaihtotarpeen laskeminen poistettavan hiilidioksidin perusteella

Tunnettaessa tuotantorakennuksessa aikayksikössä kehittyvän hiilidioksidin määrä, korvausilman CO_2 -pitoisuus ja eläinsuojassa sallittava korkein pitoisuus, voidaan ilmanvaihtotarve laskea kaavan (3) avulla (Tuunanen & Karhunen, 1984).

$$V_3 = \frac{K}{c - c_u} \quad (12)$$

jossa $V_3 =$ ilmavirta, m^3/h

$K =$ hiilidioksidin kehittymisnopeus, l/h

$c =$ suurin sallittu CO_2 -pitoisuus tuotantorakennuksessa, l/m^3

$c_u =$ ulkoilman CO_2 -pitoisuus, l/m^3

Eläinten lämmönkehitys

Eläinten lämmönkehitys on ilmanvaihtoa tarkasteltaessa jaettava vapaaseen ja sidottuun lämpöön. Vapaa lämpö siirtyy eläimestä ympäröivään ilmatilaan säteilyn, johtumisen ja konvektion kautta ja lämmittää siten ympäristöään. Sidotulla lämmöllä tarkoitetaan haihtumisen osuutta eläimen luovuttamasta kokonaislämpöenergiasta. Sidottu lämpö ei vaikuta ympäröivään lämpötilaan, mutta sitä voidaan lämmönvaihtimen avulla käyttää esimerkiksi korvausil-

man lämmittämiseen, jolloin höyry tiivistyy vedeksi ja vapauttaa sitomaansa lämpöä.

Eläinten lämmöntuotto on peräisin niiden syömistä rehuista. Siihen vaikuttavat mm. eläinlaji, tuotantotaso, aktiivisuus ja ympäristön lämpötila. Termisen neutraliteetin alueella eläimen lämmönkehitys johtuu pelkästään rehun energian muuntumishäviöistä eikä ympäristön lämpötila vaikuta aineenvaihduntaan. Alemman kriittisen lämpötilan alapuolella normaali aineenvaihdunta ei riitä ylläpitämään riittävää ruumiinlämpöä, vaan eläin käyttää osan rehusta lämmönmuodostamiseen. Ylemmän kriittisen lämpötilan yläpuolella eläin pyrkii vähentämään lämmönmuodostusta pienentämällä rehunkulutusta. Termisen neutraliteetin alueen ulkopuolella eläimen rehuhyötysuhde ja/tai tuotos siis pienenee.

Broilerin tuotannossa lintujen ympäristö pyritään pitämään koko tuotantokauden eläinten viihtyvyyden ja tuotantokyvyn kannalta optimaalisena. Untuvikot vaativat aluksi korkean 32–33 °C lämpötilan mutta lintujen oman lämmöntuotanto alkaa kasvaa muutamassa päivässä ja kasvattamon lämpötilaa lasketaan yleensä 0,5 lämpöastetta päivässä. Kasvatusvaiheen lopulla lämpötila on noin 20 °C.

Ilmanvaihdon mukana poistuva lämpömäärä

Ilmanvaihdon mukana tuotantorakennuksesta poistuu osa vapaasta lämmöstä ja sidottu lämpö kokonaan (Tuunanen & Karhunen, 1984). Ilmanvaihdon lämmönkulutuksen suuruus voidaan laskea kun tiedetään ulko- ja sisäilman lämpötila ja suhteellinen kosteus sekä ilmanvaihdon määrä. Energiankulutus voidaan laskea kaavan (4) avulla (Tuunanen & Karhunen, 1984)

$$Q_i = \frac{\rho_s \cdot \dot{V}}{3,6} \cdot (h_s - h_u) \quad (13)$$

jossa Q_i = ilmanvaihdon mukana poistuva lämpö, W
 ρ_s = ilman tiheys sisäilman lämpötilassa, kg kuivaa ilmaa / m³
 V = poistoilmavirta sisäilman lämpötilassa, m³/h
 h_s = sisäilman entalpia, kJ/kg kuivaa ilmaa
 h_u = ulkoilman entalpia, kJ/kg kuivaa ilmaa

Rakenteiden läpi johtuva lämpö

Jos sisä- ja ulkoilman välillä on lämpötilaero, siirtyy lämpöä rakennuksen vaipan läpi lämpimämmästä tilasta kylmempään. Siirtyvän lämpövirran suuruus riippuu rakennuksen vaipan eristyskyvystä sekä lämpötilaerosta. Rakenteen lämmöneristyskyvystä puhuttaessa käytetään termiä lämmönläpäisykerroin. Lämmönläpäisykerroin ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuus-tilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla

olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen. Kertoimen yksikkö on (W / (m²·K)). Rakenneosan lämpöhäviö voidaan laskea kaavan (5) mukaan

$$Q = U \cdot A \cdot (t_s - t_u) \quad (12)$$

jossa Q = lämpövirta, W
 U = lämmönläpäisykerroin, $W / (m^2 \cdot K)$
 A = rakennusosan pinta-ala, m^2
 t_s = sisälämpötila, °C
 t_u = ulkolämpötila, °C

Alapohjan lämpöhäviö voidaan laskea muista rakennesista poiketen kokemuseräisesti (Tuunanen & Karhunen, 1984) ja lämpöhäviö saadaan kaavasta (6)

$$Q = q \cdot A \quad (14)$$

jossa Q = lämpövirta, W
 q = lämmönvirran tiheys, W / m^2
 A = alapohjan pinta-ala, m^2

Alapohjan lämpöhäviöt voidaan laskea käyttäen kokemuseräisiä lämpövirran tiheyden arvoja (Tuunanen & Karhunen, 1984)

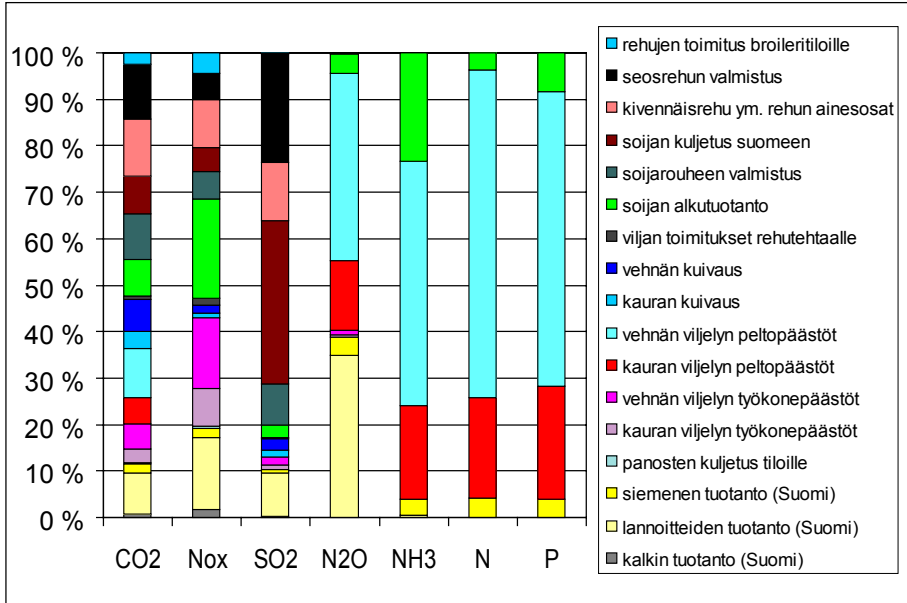
Pohjan pinta-ala	50 m ²	q = 13 W/m ²
	100 m ²	q = 10 W/m ²
	200 m ²	q = 7 W/m ²
	300 m ²	q = 6 W/m ²

Liite 2. Inventaariotulokset 1000 kg hunajamarinoituja broilerin fileesuikaleita kohden.

	Prim. energia (MJ)	CH4 (kg)	CO2 (kg)	N2O (kg)	NOx (kg)	SO2 (kg)	NH3 (kg)	NMVOG (kg)	N* (aq) (kg)	P* (aq) (kg)
Untuvikkojen tuotanto	3443	1,29	191	0,29	0,67	0,28	1,53	0,21	0,37	0,05
Broilerin rehuntuotan- toketju	10599	1,08	765	1,73	3,77	1,56	3,49	0,43	2,95	0,39
Broilerikasva- tus	6621	16,9	349	1,06	0,74	0,31	15,3	0,79	0,00	0,00
Marinadin tuotanto	1206	0,43	79	0,20	0,34	0,10	0,03	0,03	0,45	0,03
Teurastus ja tuotteen valmistus	3782	0,39	208	0,01	0,30	0,41	0,00	0,01	0,04	0,00
Pakkausten tuotanto	5960	0,43	131	0,00	0,29	0,31	0,00	0,56	0,00	0,00
Tuotteiden valtakunnalli- nen jakelu	2216	0,11	128	0,01	1,13	0,06	0,00	0,08	0,00	0,00
Vähittäis- kauppa	8495	1,29	292	0,05	0,55	0,47	0,15	0,01	0,00	0,00
Yhteensä	42322	21,9	2143	3,34	7,80	3,50	20,5	2,13	3,82	0,46

*kasveille käyttökelpoinen typpi/fosfori (karakterisointikertoimesta toimiala-kohtaiset kuljetus- ja vaikutuskertoimet on jo sisällytetty tähän mukaan)

Liite 3. Broilerin kasvatusrehun (täysrehu II) tuotannon muutamien päästökomponenttien osuudet rehuntuotantoketjun eri vaiheissa.



Liite 4. Vaikutusarvioinnin karakterisointikertoimet

(koostuvat vaikutus-, kulkeutumis- ja ekvivalenttikertoimista)

	Vesistöjen rehevöityminen ¹	Ilmastonmuutos ² 100 v	Happamoituminen ³	Alailmakehän otsonin muodostuminen ⁴
Ilmapäästöt:	kg PO ₄ ³⁻ -ekv kg ⁻¹	kg CO ₂ -ekv kg ⁻¹	kg AE-ekv kg ⁻¹	1000 m ² x ppm * h kg ⁻¹
CH ₄		23		0,33
CO ₂		1		
NH ₃	0,040		0,535	
N ₂ O		296		
NO _x	0,015		0,186	0,35
SO ₂			0,463	
NMVOC				0,27
Vesipäästöt:				
N (maatalous)	0,221 (0,42*)			
N (teollisuus)	0,236 (0,42*)			
P (maatalous, kasveille käyttökelpoiselle fosforille)	3,06			
P (teollisuus)	1,53 (3,06*)			

¹Seppälä ym. 2004

²IPCC 2001

³Seppälä ym. 2006

⁴Hauschild ym. 2004

*Ekvivalenttikerroin; pätee päästön rehevöittäväälle osalle; inventaarioanalyysin tuloksiin sisältyivät rehevöittävien vesipäästöjen osalta kulkeutumis- ja vaikutuskertoimet

Liite 5. Mittatikkuiin liittyvät normalisointi- ja painokertoimet

Ympäristövaikutusluokkien painoarvot mittatikkulaskennassa:

Ilmastonmuutos: 0,30

Vesistöjen rehevöityminen: 0,26

Primäärienergiankulutus (uusiutuva ja uusiutumaton): 0,19

Happamoituminen: 0,16

Alailmakehän otsonin muodostuminen: 0,10

Normalisointiarvot mittatikkulaskennassa:

Ilmastonmuutos: 43,1 kg CO₂-ekv/henkilö/päivä

Vesistöjen rehevöityminen: 0,012 kg fosfaattiekvivalenttia/henkilö/päivä

Primäärienergiankulutus (uusiutuva ja uusiutumaton yhteensä): 760 MJ/henkilö/päivä

Happamoituminen: 0,05 kg AE-ekv/henkilö/päivä

Alailmakehän otsonin muodostuminen: 0,10 (1000 m²*ppm*tuntia/henkilö/päivä)

Maa- ja elintarviketalous -sarjan ympäristöteemassa ilmentyneitä julkaisuja

2006

- 90** Broilerin fileesuikaleiden tuotantoverkon ympäristövaikutukset ja kehittämismahdollisuudet. *Katajajuuri, J-M. ym.* 118 s. Hinta 25 euroa
- 81** Jätekompostit lannoitteena peltoviljelyssä – biologiset ja kemialliset vaikutukset. *Halinen, A. ym.* 105 s. Hinta 25 euroa.
- 76** Laitumien ja suojavyyöhykkeiden ravinnekierto ja ympäristökuormitus. *Virkajärvi, P. & Uusi-Kämppä, J. (toim.).* 208 s. Hinta 25 euroa.

2005

- 66** Lyijy ja kadmium rohdos- ja yrttikasveissa. Kirjallisuuskatsaus. *Roitto, M. & Galambosi, B.* 103 s. Hinta 25 euroa.
- 65** Recept ur marknadsförarens kokbok: ingredienser och tillredningsanvisningar för en inbjudande lägerskola. Miljölägerskola Eco Learn. *Miemois, A.* 53 s. (webbpublikation: www.mtt.fi/met/pdf/met65.pdf)

2004

- 63** Maan laadun arviointi tiloilla – kirjallisuuskatsaus. *Kukkonen, S. ym.* 86 s. Hinta 20 euroa
- 59** Maatalouden ympäristötuen seuranta MYTVAS 2. Osahankkeiden 2-7 väliraportit 2000-2003. *Turtola, E. & Lemola, R. (toim.).* 175 s. Hinta 25 euroa.
- 47** Suuret pihatot – eläinten hyvinvointi, lypsyn työnmenekki, työolot ja ympäristönhoito. *Uusi-Kämppä, J. & Rissanen, P. (toim.).* 184 s. Hinta 25 euroa

2003

- 38** Valuma-alueen ja vesistön välisen vuorovaikutuksen arviointi. *Nyholm, A-M. ym.* 75 s. Hinta 20 euroa.
- 27** Kadmium Suomen peltoekosysteemeissä: pitoisuuksia, taseita ja riskejä. *Mäkelä-Kurtto, R.* 51 s. Hinta 20 euroa.

Julkaisuvitteet löytyvät sarjojen internetsivuilta
www.mtt.fi/julkaisut/sarjathaku.html.

