



Emmental Sinileima -juuston tuotantoketjun ympäristövaikutukset ja parannusmahdollisuudet

Pasi Voutilainen, Hanna-Riikka Tuhkanen,
Juha-Matti Katajajuuri, Jouni Nousiainen
ja Niina Honkasalo



Maa- ja elintarviketalous 35
91 s., 2 liitettä

Emmental Sinileima -juuston tuotantoketjun ympäristövaikutuk- set ja parannusmahdollisuudet

Pasi Voutilainen, Hanna-Riikka Tuhkanen, Juha-Matti
Katajajuuri, Jouni Nousiainen ja Niina Honkasalo

ISBN 951-729-807-2 (Painettu)
ISBN 951-729-808-0 (Verkkajulkaisu)
ISSN 1458-5073 (Painettu)
ISSN 1458-5081 (Verkkajulkaisu)
www.mtt.fi/met/pdf/met35.pdf

Copyright
MTT

Pasi Voutilainen, Hanna-Riikka Tuhkanen, Juha-Matti Katajajuuri,
Jouni Nousiainen ja Niina Honkasalo

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
2003

Kannen kuva
Tapio Tuomela
Painopaikka
Data Com Finland Oy

Emmental Sinileima -juuston tuotanto- ketjun ympäristövaikutukset ja parannusmahdollisuudet

Pasi Voutilainen¹⁾, Hanna-Riikka Tuhkanen²⁾, Juha-Matti Katajajuuri¹⁾
Jouni Nousiainen¹⁾ ja Niina Honkasalo³⁾

¹⁾ MTT, Ympäristöntutkimus, 31600 Jokioinen, pasi.voutilainen@mtt.fi, juha-matti.katajajuuri@mtt.fi, jouni.nousiainen@mtt.fi

²⁾ MTT, Ympäristöntutkimus, Karilantie 2A, 50600 Mikkeli, hanna-riikka.tuhkanen@mtt.fi

³⁾ VTT Prosessit, PL 1606, 02044 VTT

Tiivistelmä

Tutkimuksessa kehitettiin toimintoverkkointegroitua elinkaariarviointia ja sovellettiin sitä Sinileima Emmental -juuston tuotannon ja käytön kokonais-ympäristövaikutusten arviointiin. Ympäristövaikutuksista tarkasteltiin ilmaston lämpenemistä, happamoitumista ja vesistöjen rehevöitymistä. Tutkimuksessa kehitettiin ja sovellettiin myös menetelmiä erilaisten toimintatapa- ja järjestelmämuutosten ympäristövaikututtavuuden mallintamiseksi elinkaariarvioinnin avulla.

Kaikissa tutkituissa ympäristövaikutusluokissa suurin osa ympäristövaikutuksista syntyy alkutuotannosta. Rehevöitymiseen vaikuttaa eniten peltoviljely ja happamoitumispotentiaaliin ammoniakkin haihdunta lannasta ja virtsasta. Eläinten ruuansulatuksesta vapautuvan metaanin osuus oli suurin ilmaston lämpenemiseen vaikuttava tekijä.

Toimintatapa- ja järjestelmämuutosten tarkastelun avulla löydettiin useita eri vaihtoehtoja tuote- ja tilakohtaisen ravinnekuormituksen pienentämiseksi. Esimerkiksi lisääessä olennaisesti väkirehun ja valkuaisen osuutta ruokinnassa lantaan erittyvien ravinteiden määrä lisääntyy. Lannan ravinnepitoisuuden nousu johtaa pelloille siirtyvän ravinnemäärän ja siten vesistöön huuhtoutuvien ravinteiden määrän kasvuun, mikäli lisälannoitusta ei vähennetä. Huuhtoumien kasvu voidaan estää tarkemmilla, lannan ravinteiden määrittämiseen perustuvilla laskelmilla, joiden perusteella voidaan lisälannoitteiden käyttö sovittaa todellista ravinteiden lisätarvetta vastaavaksi.

Pieni lannanlevitysala saattaa johtaa moninkertaisiin ravinnekuormituksiin suureen lannanlevityksensä verrattuna. Tutkimuksen mukaan maitotiloilla on suhteellisen pienet viljojen satotasot, jolloin ravinneylijäämät ja ravinnehuuhtoumat nousevat suhteellisen suuriksi esimerkiksi viljatilojen keskimääräisiin satotasoihin verrattuna. Esimerkiksi maan kasvukuntoa parantamalla maitotiloilla olisi mahdollisuudet satotasojen nostoon ja ravinneylijäämän pienentämiseen. Tuotantoeläinten elinikää nostamalla voidaan myös parantaa

tuotekohtaista ympäristötehokkuutta, koska lehmän kasvatuksen vaatima panostus jakaantuu suuremmalle maitomäärälle.

Järjestelmämuutosten tarkasteluissa havaittiin myös, että tuotekohtaisen tarkastelun lisäksi elintarvikeketjun ympäristökysymysten tarkastelussa on huomioitava myös muutosten vaikutukset alueellisiin ympäristövaikutuksiin.

Avainsanat: elintarvikkeet, juusto, elinkaari, elinkaariarviointi, ympäristövaikutukset, maatalous, ympäristöjohtaminen, lannoitus, ravinteet, rehevöityminen

Environmental impacts and improvement possibilities of Emmental blue-label cheese

Pasi Voutilainen¹⁾, Hanna-Riikka Tuhkanen²⁾, Juha-Matti Katajajuuri¹⁾
Jouni Nousiainen¹⁾ ja Niina Honkasalo³⁾

¹⁾ MTT Agrifood Research Finland, Environmental Research, FIN-31600 Jokioinen, Finland, pasi.voutilainen@mtt.fi, juha-matti.katajajuuri@mtt.fi, jouni.nousiainen@mtt.fi

²⁾ MTT Agrifood Research Finland, Environmental Research, Karilantie 2A, FIN-50600 Mikkelä, Finland, hanna-riikka.tuhkanen@mtt.fi

³⁾ VTT Prosessit, PL 1606, FIN-02044 VTT, Finland

Abstract

Supply web based Life Cycle Assessment (LCA) method was developed and applied to assess environmental impacts of Emmental blue-label cheese. Also new improvement assessment methods were developed and applied to assess the effects of different farming alternatives on the life cycle environmental impacts. Cheese was produced by Valio and manufactured in Toholampi. Milk was mainly from the farms in the Ostrobothnian region.

All essential production and distribution stages were assessed, starting from the production of fertilizers and other farm inputs, followed by the cultivation of crops, processing and packaging in industry, production of the packaging, and distribution to the retail stores. Global warming, eutrophication and acidification potentials were assessed based on environmental loads. Valuation methods were not applied.

According to the LCA results, the environmental loads from farming were dominant in each of the impact categories considered. Nitrogen and phosphorus run-off dominated eutrophication. Main sources of global warming potential were the methane emissions from cows, nitrous oxide emissions from agricultural soils and carbon dioxide emissions from tractors, drying of grain, use of lime and cheese production. Ammonia evaporation from cows and manure and sulphur emissions from cheese production were the main causes for the acidification potential of the product system.

As a result of the improvement assessment several improvement options were found in order to reduce the nutrient emissions of farming and, consequently, the eutrophication potential of the product. For instance, when a high share of concentrated feeds were used for cows, nutrient contents of the manure were high. This would increase the nutrient input to fields and emissions to water system through run-offs unless not taken into account in the use of additional fertilisers. The increase in the nutrient emissions can be

avoided by means of fertilising planning based on the actual, analysed nutrient contents of manure.

Small manure distribute area might cause multiple nutrient emissions to water systems in comparison with systems with sufficient manure distribute area. Crop yields per hectare on the milk farms are lower than those on the grain farms. Hence, the nutrient surpluses and the consequent run-offs are considerably higher than the average on the grain farms. Hectare yields on the milk farms could be increased and nutrient run-offs decreased, for instance, by improving the growing capacity of the soil.

By increasing the lifetime of cows the eco-efficiency can also be improved, because the inputs required for breeding can thus be shared with a larger amount of milk.

An important conclusion from the study was that for the agricultural products it is not necessarily sufficient to consider the overall loads of the product systems only. It was found that also regional carrying capacity aspects need to be considered especially for the water emissions from the agricultural production.

Key words: Life Cycle Assessment, Environment Management, cheese, milk, agriculture, continual improvement, eco-efficiency

Alkusanat

Tämä raportti on hankekokonaisuuden *Ympäristövaikutukset ruokakorissa -FOODCHAIN* osana toteutettu Emmental Sinileima -juuston elinkaariarviointi. Tässä osatutkimuksessa dokumentoitiin ja verifioitiin Valio Oy:n Toholammin tuotantolaitoksella tuotettavan Emmental Sinileima -juuston todellisten tuotantoketjujen mukaiset ympäristökuormitukset. Projektin taustalla on kasvava tarve tuottaa maatalouden ja elintarviketeollisuuden tuotteista ja -prosesseista niiden ympäristönäkökohtiin liittyviä elinkaari pohjaisia tietoja, joita voidaan käyttää sekä tuotteiden ja prosessien kehittämisen tukena että asiakasinformaationa. FOODCHAIN-tutkimus on jatkoa aiemmin toteutetulle tutkimukselle *Ympäristöhallinnan ja sen tietojärjestelmän kehittäminen maatilojen laatu järjestelmän osaksi ("Rehu-LCA")*.

FOODCHAIN-tutkimuksen päärahoittajina toimivat Ympäristöklusterin tutkimusohjelma, Maa- ja metsätalousministeriö, Kemira GrowHow, Lännen Tehtaat/APETIT, Raisio Yhtymä, Ruokakesko, Suomen Rehu, Valio, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT ja VTT. Tutkimuksen toteuttivat Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen (MTT) ympäristöhallintayksikkö ja VTT Prosessit. FOODCHAIN-tutkimuksen vastuullisina johtajina olivat tutkimuspäällikkö Torsti Loikkanen (VTT) ja professori Sirpa Kurppa (MTT) sekä projektipäällikkönä tutkija Juha-Matti Katajajuuri (MTT). FOODCHAIN-tutkimuksen johtoryhmään osallistuivat ylitarkastaja Heikki Latostenmaa ympäristöministeriöstä, ylitarkastajat Jouko Tammio ja Marja Innanen maa- ja metsätalousministeriöstä, kehityspäälliköt Seija Luomanperä ja Mikko Maisi Kemira GrowHowsta, kehitysjohtaja Juhani Hvitfelt Lännen Tehtaat Oyj/APETIT-yksiköstä, kehitysjohtaja Pekka Heikkilä Rehuraisiosta, ympäristöinsinöörit Sanna Kanerva, Eeva-Maria Koski ja Johanna Teinilä-Kurvinen Ruokakeskolta, toimitusjohtaja Erkko Pietarinen Siemenpe-runakeskuksesta, kehitysjohtaja Asko Haarasilta Suomen Rehusta, ympäristöpäällikkö Matti Pankakoski Valiolta, kehityspäällikkö Susanna Monni Maaseutukeskusten Liitosta, tutkimuspäällikkö Torsti Loikkanen VTT:stä johtoryhmän puheenjohtajana, professori Sirpa Kurppa MTT:ltä ja tutkija Juha-Matti Katajajuuri johtoryhmän sihteerinä.

Juuston tapaustutkimusta ohjanneeseen projektiryhmään osallistuivat Valion ympäristöpäällikkö Matti Pankakoski ja tutkimuspäälliköt Juha Nousiainen ja Tapani Kivelä, Suomen Rehun kehitysjohtaja Asko Haarasilta, kehityspäälliköt Kari Kilttilä ja Kari Hissa, Kemira GrowHown kehityspäällikkö Mikko Maisi, Rehuraision kehityspäällikkö Pekka Heikkilä ja Ruokakeskon ympäristöinsinööri Johanna Teinilä-Kurvinen. Tiedon tuottamiseen ja keruuseen osallistuivat Valiolta myös Jaakko Korkala, Leea Alakotila ja Ilkka Huhtanen Toholammin tuotantolaitokselta, ja Seppo Morander ja Tiina Kujala Vantaan tuotantolaitokselta sekä Kalevi Hilden, Mika Jyrkönen ja Markku Yppärilä

logistiikkatietojen määrittämiseen. Lannoitteiden tuotannon osalta Riikka Timonen Kemira Engineeringistä toimitti tietoja Kemira GrowHow'n ja Kemira Chemicalsin puolesta. Toimintoverkosta tietoja toimittivat mm. Amcor Flexiblesin, Fortumin, Nordkalkin, Raniplastin, StoraEnson ja UPM Walki-Packin useat edustajat. Tutkija Pasi Voutilainen MTT:ltä toimi tämän osahankkeen vetäjänä. Hankkeen muut päätutkijat olivat Hanna-Riikka Tuhkanen, Juha-Matti Katajajuuri ja Jouni Nousiainen, Pekka Huhtanen MTT:ltä sekä Niina Honkasalo VTT:ltä. Kristiina Regina MTT:ltä osallistui ilmaston lämpenemistä aiheuttavien alkutuotannon päästöjen arviointiin. Haastattelut ja aineiston keruun maitotiloilla suoritti tutkimusmestari Unto Nikunen MTT:ltä. Kuljetus- ja jakelulogiikan ja niiden ympäristökuormitusten mallintamisen toteutti VTT:n erikoistutkija Yrjö Virtanen. Erityiskysymysten osalta hankkeeseen osallistuivat lisäksi monet muut MTT:n ja VTT:n tutkijat. Suurkiitos kaikille tutkimuksen valmistumiseen myötävaikuttaneille henkilöille!

Tekijät

Sisällysluettelo

1	Johdanto	11
2	Tutkimuksen tavoite.....	12
3	Tutkimuksen soveltamisala	12
3.1	Toiminnallinen yksikkö.....	13
3.2	Tuotejärjestelmän rajaukset.....	13
3.2.1	Alkutuotanto.....	14
3.2.2	Juuston valmistus	15
3.2.3	Pakkausten tuotanto	15
3.2.4	Varastointi, jakelu ja kauppa.....	15
3.2.5	Pääjärjestelmän yleiset tukitoiminnot	16
3.3	Rajoitukset ja sovellettavuus	16
3.4	Allokoinnit	16
4	Tiedonkeruu	18
4.1	Panosten valmistus	18
4.2	Maitotilojen peltoviljely	18
4.2.1	Koneketju tilalla	19
4.2.2	Maitotilojen rehuntuotannon satotasot	19
4.2.3	Lannoitus.....	20
4.2.4	Kalkitus	20
4.2.5	Torjunta-aineiden käyttö	21
4.2.6	Siementen käyttö	21
4.2.7	Alkutuotannon ympäristökuormituksen arviointi	21
4.3	Ostorehujen tuotanto	28
4.4	Maidontuotanto - navetta	29
4.5	Maidon keräily ja kuljetus.....	31
4.6	Jalostus	32

4.6.1	Prosessikuvaus	32
4.6.2	Raaka-aineet ja sivuvirrat	32
4.6.3	Käyttöhyödykkeet	34
4.6.4	Paikallinen energian tuotanto	35
4.6.5	Jäteveden käsittely.....	35
4.7	Pakkausten valmistus	35
4.8	Jakelu ja kauppa	36
4.9	Pääjärjestelmän yleiset tukitoiminnot.....	36
5	Inventaarioanalyysin tulokset.....	37
5.1	Hiilidioksidi.....	38
5.2	Typpi- ja fosforikuormitukset.....	41
5.3	Muut päästöt	43
6	Vaikutusarvioinnin tulokset	45
6.1	Ilmastonmuutos	46
6.2	Rehevöityminen.....	48
6.3	Happamoituminen	50
7	Intensiteettitarkastelu	51
7.1	Tuotostaso	53
7.2	Satotaso	56
7.3	Tyypilannoitteen käyttö.....	58
7.4	Tuotantoalan suhde eläinten määrään	63
7.5	Väkirehun osuus rehuannoksesta	67
7.6	Väkirehun valkuaispitoisuus	71
7.7	Lypsykausien lukumäärä	75
8	Johtopäätökset.....	78
8.1	Hehtaarikohtainen vai tuotekohtainen tarkastelu?.....	82
8.2	Jatkotutkimustarpeet.....	84
9	Kirjallisuus	87
10	Liitteet	91

1 Johdanto

Nykyaikaisessa liiketoiminnassa tuotantoketjulähtöinen ympäristöhallinta on osa kilpailukyvyllä tärkeän liiketoimintaketjun hallintaa. Tutkimuksessa sovellettu ympäristövaikutusten arviointimenetelmä oli perinteisen, standardoidun elinkaariarvioinnin (Life Cycle Assessment, LCA, ISO 14040 -sarja) täsmäsovellus, jolla tavoiteltiin ketjun työnjaon ja omatoimisuuden lisääntymisen kautta hyvää kohdennettavuutta tutkittaviin ketjuihin ja sitä tulosten parempaa laatua ja hyödynnettävyyttä. Menetelmää, sen soveltamista ja saatuja hyötyjä on tarkasteltu tarkemmin FOODCHAIN-hankkeen yhteenvetoraportissa (Katajajuuri ym. 2003).

Elinkaariarviointia voidaan käyttää esimerkiksi tuotantoprosessien parannuskohteiden etsinnässä ja tuotevertailuissa sekä hyödyntää strategisen päätöksenteon tukena esimerkiksi kohdistettaessa tuotekehitys- ja innovaatiotoimintaa. Vaikka LCA-metodologia on standardoitu, se ei vastaa moniinkaan käytännön mallinnus- ja tiedonkäsittelykysymyksiin. Lisäksi menetelmän soveltaminen käyttökelpoisena työkaluna edellyttää ketjun toimijoiden aktiivista sitoutumista tehtävään työhön.

Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa elinkaariarviointia soveltamalla todellisiin tuotantoketjuihin perustuvia elinkaari pohjaisia ympäristötietoja. Niitä voidaan hyödyntää yritysten ja niiden välisten liiketoimintaketjujen kehitys- ja parannustoimien tukena sekä asiakasinformaationa. Siirtymällä kohti todellisiin tuotantolaitoksiin ja tiloihin perustuvaa tiedontuotantoa hanke oli merkittävä askel laatu ketjun jäljitettävyyden ja tuotantohistorian edistämiseksi.

Tutkittu tuote, Emmental Sinileima -juusto valittiin yhteistyössä projektiin osallistuvien yritysten kanssa. Tämä tutkimus täyttää FOODCHAIN-hankekokonaisuuden tapaustutkimusten valintakriteereiden vaatimukset merkittävänä kotimaisina raaka-aineina ja peruselintarvikkeina. Myös kriteerinä ollut koko tuotantoketjun yritysten sitoutuneisuus täyttyi esimerkillisesti tässä hankkeessa.

Tässä tutkimuksessa pyrittiin myös lisäämään dynaaminen elementti staattiseen mallinnusmenetelmään. Tämä on esitetty luvun 7 intensiteettitarkasteleissa, joissa arvioitiin, millaisia ympäristövaikutuksia tilojen erilaisilla toimenpiteillä olisi.

Suomessa on aiemmin toteutettu maidolle tai maitotuotteille yksi systemaattisesti maailmanlaajuisesti hyväksytyn ISO 14040-standardisarjan mukaisesti toteutettu elinkaari tutkimus (Grönroos ja Seppälä 2001). Sen lähtökohtana oli enemmänkin vertailla erilaisia tuotantotapoja (perinteinen vs. luomutuotanto) teoreettisin tilamallein kuin tavoitella ketjun parannustoimia. Lisäksi aiheesta on Suomessa tehty opinnäytetöitä (mm. Pulliainen 1996). Kansainvälisesti

erityisesti Pohjoismaissa on toteutettu tuotelähtöisiä ympäristöarvioita meijerisektorilla, enemmänkin akateemisista lähtökohdista (mm. Cederberg & Mattson 2000, Berlin 2002, Eide 2002a ja 2002b). Myös muualla Euroopassa on tehty muutamia meijerituotteiden elinkaariselvityksiä (mm. Hospido ym. 2003, Haas ym. 2000). Tässä tutkimuksessa tehtyä tuotantoketjun todelliseen toimintaan nojautuvaa selvitystä ei ole aiemmin tässä laajuudessa julkaistu tehdyin.

2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa Valion Toholammin tuotantolaitoksella valmistettavan ja Vantaan tuotantolaitoksella paloitetavan 350 g Emmental Sinileima -juuston todelliseen tuotantoketjuun ja -prosesseihin pohjautuvaa ympäristökuormitustietoa. Tuotantoketjun toimintaan perustuvia ympäristöinformaatiota voidaan hyödyntää yritysten ja niiden välisten liiketoimintaketjujen kehittämishankkeiden tukena ja asiakasinformaationa.

Tapaustutkimuksen erityistavoitteena oli mallintaa miten erilaiset maidontuotannon intensiteetti muuttajat vaikuttavat ympäristökuormitukseen koko tuotantoketjussa. Tiedon avulla voidaan auttaa maitotiloja valitsemaan viljely- ja ruokintatoimenpiteitä, jotka parantavat koko juuston tuotantoketjun ympäristövaikutuksia. Tavoitteena oli myös arvioida ja kehittää osallistuvien yritysten tuotekohtaisia tiedonkeruumenetelmiä ja -järjestelmiä tapaustutkimuksen avulla. Tutkimustulokset on tarkoitettu myös julkiseen käyttöön.

Intensiteetti muuttujatarkastelun avulla pyrittiin löytämään alkutuotannossa ne toimintatavat, joilla päästäisiin mahdollisimman ympäristöystävällisiin viljelykäytäntöihin maidontuotannossa. Intensiteettitarkastelussa tarkasteltiin sekä peltoviljelyllisiä tekijöitä että maidontuotannollisia tekijöitä. Peltoviljelyn muuttujina tarkasteltiin sadon lisäystä, typpilannoituksen lisäystä sekä pinta-alan suhdetta eläinmäärään nähden. Maidontuotantoon vaikuttavista tekijöistä tarkasteltiin väkirehunsuhteen, väkirehun valkuaisen ja eläimen iän vaikutusta tuotokseen ja ympäristökuormitukseen.

3 Tutkimuksen soveltamisala

Tutkimuksessa tarkasteltiin Emmental Sinileima -juuston tuotannon koko elinkaaren aikaisia ympäristökuormituksia. Tutkimuksen pääpaino kohdistui juuston tuotantoketjun pääosiin alkaen lannoitteiden ja kalkin tuotannosta, sisältäen rehujen viljelyn ja ostorehujen jalostuksen, maidon tuotannon, juuston valmistuksen ja pakkaamisen kuluttaja- ja ryhmäpakkauksiin, pakkausten valmistuksen ja jakelun kaappoihin.

Juustolle laskettiin inventaario- ja vaikutusarviointitulokset kauppaan juustokylmähylykköön asti. Tutkimuksessa pyrittiin keräämään kaikki kvantifioitavissa olevat ympäristökuormitukset, raaka-aineiden, polttoaineiden ja luonnonvarojen käyttö sekä aiheutuneet päästöt ilmaan, veteen ja maahan. Seuraavissa kohdissa on määritelty tutkimuksen soveltamisalaan liittyvät tärkeimmät näkökohdat.

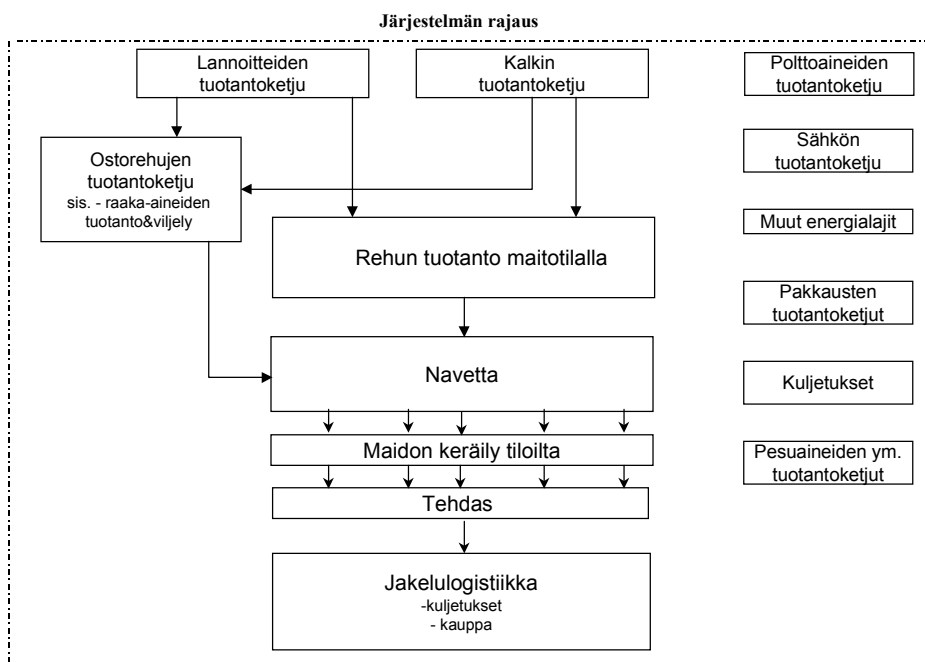
3.1 Toiminnallinen yksikkö

Tutkimuksen toiminnallinen yksikkö oli kulutetut 1 000 kg Emmental Sini-leima juustoa, joka on pakattu 350 gramman pakkauksiin. Juusto valmistetaan Valion Toholammin tuotantolaitoksella ja paloitellaan sekä pakataan Vantaan tuotantolaitoksella. Juuston tuotannon raaka-aine, maito, tuotetaan pääosin Keski-Pohjan Juustokunnan alueella.

3.2 Tuotejärjestelmän rajaukset

Kuvassa 1 on esitetty juustotuotteen järjestelmärajaukset. Järjestelmän rungon muodostavat panostuotanto eli lannoitteiden ja kalkin tuotanto, rehujen viljely, maidon tuotanto ja jalostus juustoksi, kuluttajapakkauksen valmistus, jakelu ja kauppa. Seuraavissa kohdissa näihin sisältyvät asiat on määritelty tarkemmin. Järjestelmän rungon lisäksi elinkaaren rajauksiin sisällytettiin mm. kuljetukset, polttoaineiden- ja energiantuotanto, jotka on yksilöity seuraavista kappaleissa. Tutkimuksen ulkopuolelle rajattiin järjestelmän infrastruktuuri, ihmistyö, koneiden, laitteiden ja rakennusten valmistus. Yksityiskohtaiset rajaukset, niiden perusteet ja allokoinnit on esitetty luvussa 4.

Tutkimuksen tavoitteena oli dokumentoida Valion tuottaman Emmental Sini-leima -juuston arvoketju panosten tuotannosta ja viljelystä aina kaupan juustokylmähylykköön saakka, selvittää arvoketjussa muodostuvat ympäristökuormitukset ja etsiä vaihtoehtoja joiden avulla ympäristökuormitusta voidaan vähentää. Tutkittu Emmental Sini-leima -juusto prosessoidaan Toholammin tuotantolaitoksella ja paloitellaan ja pakataan Vantaan tuotantolaitoksella. Juuston tuotannon raaka-aine, maito, tuotetaan pääosin Keski-Pohjan Juustokunnan alueella.



Kuva 1. Tutkimuksen rajaukset.

3.2.1 Alkutuotanto

Alkutuotantoon luetaan maidon- ja rehuntuotanto tilalla, eläinten pito sekä ostorehujen tuotanto. Alkutuotannon panoksia ovat kalkin ja lannoitteiden tuotanto. Lisäksi alkutuotannossa käytetään energiaa, pakkausmateriaaleja, kemikaaleja sekä tuotteita kuljetetaan tuotantolaitoksilta tilalle.

Panostuotannossa sekä lannoitteiden että kalkin valmistustiedot sisälsivät tiedot louhoksilta valmiiksi tuotteiksi saakka. Myös lannoitesäkkien tuotantoketju aina muovin raaka-ainelähteiltä asti sisältyi tutkimukseen. Panosten ja niiden raaka-aineiden kuljetukset huomioitiin tarkastelussa. Torjunta-aineiden valmistuksesta ei tietoa ollut saatavilla, ja niiden valmistus rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle.

Maitotilan rehun tuotanto sisälsi pelloilla tapahtuvat prosessit (kyntö, äestys, kylvö, kasvinsuojeluaineiden levitys, korjuu ym.) sekä vastaavasti viljelymaalta aiheutuvat kuormitukset (ravinnehuuhtoumat, CH₄-, NH₃- ja N₂O-päästöt). Rehunviljely sisälsi traktorin ja työkonien kuluttamat polttoaineet sekä niiden kulutuksesta aiheutuvat päästöt. Kasvintuotannosta inventoitiin panosten käyttö ja siitä aiheutuvat kuormitukset. Tilalla jatkokäsittelyyn sisältyivät tilan sisäiset kuljetukset ja siirrot, kuivaus ja varastointi. Viljelyä

tarkasteltiin haastatteluotantaan perustuvalla tiedonkeruulla yhden viljelykierron ajalta.

Navetta kuvaa maidontuotantoa tilalla eli eläinten ruokintaa ja hoitoa sekä maidon käsittelyä, kuten jäähdytystä tilalla. Navetan päästöihin on laskettu eläimistä ja panosten käytöstä syntyvät päästöt. Infrastruktuurin rakentaminen ei kuulu tutkimukseen.

Tiloille ostettavien väkirehujen valmistusketjut selvitettiin viljanviljelyn panosten tuotannosta valmiiksi väkirehuiksi. Ostorehujen tarkasteluun on sisällytetty rehun valmistusprosessit sekä kuljetukset maatiloille. Lisäksi tähän on sisällytetty myös rehunviljelyssä käytettyjen lannoitteiden ja kalkin tuotannosta aiheutuvat ympäristökuormitukset sekä kuljetukset. Teolliset rehut jaettiin täysrehuihin (viljapohjainen), puolitiivisteisiin (valkuainen 20-30 %) ja tiivisteisiin (valkuainen >30 %).

3.2.2 Juuston valmistus

Maidon jalostus juustoksi selvitettiin Valion Toholammin ja Vantaan tuotantolaitoksen todellisten prosessien mukaisesti: maidon vastaanotto, separointi, vakiointi, juustomassan valmistus, puristus juustoksi, suolaus, kypsytytys ja kuljetus Vantaan tuotantolaitokselle, jossa tapahtuu paloittelu ja pakkaaminen kuluttaja-, ryhmä- ja kuljetuspakkauksiin sekä varastointi. Juuston valmistuksen muiden raaka-aineiden määrät ovat niin pieniä suhteessa maidon määrään, ettei niitä sisällytetty tutkimukseen mukaan.

3.2.3 Pakkausten tuotanto

Kertakäyttöisten kuluttaja- ja ryhmäpakkauksien, juuston kypsytytys- ja suojaikalvojen ja kypsytykskonttien vannenauhojen valmistus sekä niiden raaka-aineketjut selvitettiin luonnonvarojen hankintaan saakka päämateriaalien osalta. Lisäksi kuljetuspakkausyksiköistä sisällytettiin kiristekalvon valmistus. Edellisten lisäksi valmistusketjut selvitettiin pääsääntöisesti myös muista pakkauksista, kuten tilojen käyttämien panosten pakkauksista. Kuormalavat ja kypsytykskontit ovat kiertäviä eikä niiden valmistus siten sisällynyt tutkimukseen.

3.2.4 Varastointi, jakelu ja kauppa

Tuotteiden varastointi Vantaan tuotantolaitoksella, jakelu aluemyyntipisteisiin, ja niistä edelleen valtakunnallinen jakelu kauppoihin selvitettiin. Kaupasta selvitettiin lisäksi erikseen juustohyllykön keskimääräinen jäähdytyksen energiankulutus.

3.2.5 Pääjärjestelmän yleiset tukitoiminnot

Kaikki oleelliset järjestelmärajoiden sisällä tapahtuvat kuljetukset sisällytettiin mukaan, lukuun ottamatta kuluttajan tekemää kauppamatkaa. Myös kaikki kuljetuksiin liittyvät paluukuljetukset, kuten lavojen ja konttien palautustositukset huomioitiin kuljetuslaskelmissa. Vastaavasti ketjun eri vaiheissa inventoidut polttoaineet ja energiat selvitettiin niiden raaka-ainelähteille saakka. Sähkön osalta käytettiin valtakunnallista keskiarvoa. Toholammin ja Vantaan tuotantolaitokselle tulevan höyryn ja lämmön valmistus selvitettiin omien energiantuotantokattiloiden mukaan.

3.3 Rajoitukset ja sovellettavuus

Hankkeessa kerätyt tiedot edustavat pääosin tuotantoketjun toimintaa vuosina 2000-2001, lukuun ottamatta viljelyprosessia, jonka osalta tiedot on kerätty yhden viljelykierron osalta, vuosilta 1997-2001. Tiedot ovat todellisen ketjun toimintaan perustuvia ja ne kuvaavat sekä dokumentoivat kyseisen tuotantoketjun ympäristölaatua. Yksityiskohtaisesti tiedon laatua ja alkuperää on tarkasteltu luvussa 4. Tiedot eivät edusta keskimääräistä maidon ja juuston tuotantoa ja jalostusta, ja siten niitä ei tule suoraan soveltaa vastaavien tuotantoketjujen tai koko kotimaisen juustontuotannon ympäristökuormitusten arviointiin. Viljelyn osalta pääosa ympäristökuormitustiedoista määritettiin kahdellakymmenellä tilalla tehtyihin haastatteluihin ja yksityiskohtaisiin viljelytietoihin, joten tulokset eivät välttämättä täysin kuvaa kyseiseen juustonvalmistukseen toimitettavaa keskimääräistä maidon tuotantoa.

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 päästöjen arviointiin, joten niitä ei tuloksissa esitetä.

Tutkimuksen johtopäätökset perustuvat järjestelmästä luotettavimmin kvantifioitavissa oleviin parametreihin, kuten kasvihuonekaasuihin, happamoittaviin ja rehevöittäviin päästöihin ja näitä vastaaviin ympäristövaikutusluokkiin. Järjestelmään ja erityisesti viljelyyn liittyviä maisema- ja biodiversiteettikysymyksiä tai maan laadun muuttumista ei tutkimuksessa huomioitu. Eryteisesti intensiteettimuuttujien mallinnuksessa ja vasteissa jouduttiin tekemään runsaasti yksinkertaistavia oletuksia.

3.4 Allokoinnit

Käsiteltäessä järjestelmiä, joissa syntyy samalla useampia tuotteita, kuten maataloustuotanto ja elintarvikkeiden jatkojalostus, tarvitaan allokointime-

nettelyjä. Allokoinnissa materiaali- ja energiavirrat samoin kuin niihin liittyvät ympäristöpäästöt allokoidaan eli jyvitetään eri tuotteille selvästi määriteltyjen menettelytapojen mukaan. Elintarvikkeiden alkutuotannossa, toimitaessa biologisessa ympäristössä, eri prosesseilla on usein tavanomaista laajempi vaikutus moniin muihin prosesseihin. Tästä johtuen allokointi eli prosessin syöte- ja tulosvirtojen jakaminen tutkittavaan tuotejärjestelmään on viljelyprosessissa ongelmallisempaa kuin useilla muilla teollisuudenaloilla.

Viljelyn osalta on huomioitava kohdentaminen mm. ravinnehuhtoumien ja panosten käytön osalta. Esimerkiksi kalkki voidaan kohdentaa tasaisesti kaikille kasveille tai jakaa se kasvien tarpeen suhteessa. Tässä tutkimuksessa päädyttiin jakamaan käytetty kalkkimäärä tasaisesti viljelykierron eri kasveille.

Tuotantoeläinten panosten käyttö kohdennettiin energiantarpeen mukaisesti pääasiassa maidolle, koska lehmä kasvatetaan maidontuotantoa varten. Vasikoiden kasvatuksen energiankulutus voitiin kohdentaa systemaattisesti vasikoille rehuntarpeen mukaan, mutta lehmän kasvatuksen energiantarpeen kohdentamisessa on useita enemmän tai vähemmän arvosidonnaisia vaihtoehtoja. Huomioitaessa taloudelliset realiteetit, kasvatuksen kaikkia panoksia ei voi kohdentaa lehmästä saatavalle lihalle, koska lihasta saatava tuotto on vain osa tarvittavien tuotantopanosten kustannuksista. Tämä tukee pääosan panoksista kohdentamista maidontuotannolle.

Juustolassa kaikki ympäristökuormitukset kohdennettiin päätuotteille eli juustoille ja kermalle. Näin ollen esimerkiksi sivutuotteena syntyvä hera on käyttäjälleen ympäristömielessä "ilmaista" eli sitä eivät rasita lainkaan ne ympäristökuormitukset, jotka syntyvät ennen kuin hera erotetaan juuston valmistusprosessista. Juuston ja kerman tuotannon ympäristökuormitukset allokoitiin kuiva-aineosuuskien mukaan. Sähkön ja lämmön yhteistuotannon syötteet ja tuokset allokoitiin energiaperiaatteen mukaan. Peruspakkausmateriaalien tiedot perustuivat pitkälti eurooppalaisten toimialajärjestöjen keräämiin tietoihin (FEFCO 2000, APME 1999). Ne olivat pääosin saatavilla vain aggregoituina, ja niiden taustalla tehdyt allokoinnit perustuvat pääosin massaosuuksiin. Sovelletut allokointiperiaatteet on kuvattu yksityiskohtaisesti luvussa neljä tiedonkeruun periaatteiden ja tietolähteiden esittämisen yhteydessä.

4 Tiedonkeruu

4.1 Panosten valmistus

Lannoitteiden valmistuksen ympäristökuormitus huomioitiin aina mineraali-raaka-aineiden hankinnasta lähtien kuljetuksineen valmiiksi tuotteiksi. Näihin sisältyvät valmistustiedot mm. tuotantoketjussa käytettävistä hapoista (typpi-, rikki- ja fosforihappo) ja muista pääraaka-aineista kuten kaliumkloridista. Myös niiden raaka-aineiden hankinnasta ja valmistuksesta, kuten typpihapon valmistuksessa tarvittavan ammoniakkin tuotannosta maakaasusta. Tiedot saatiin kotimaiselta lannoitevalmistajalta (Kemira GrowHow Oy, 2002, kirjallinen tiedonanto) ja ne sisälsivät luonnonvarojen ja energian kulutukset sekä valmistuksesta aiheutuneet päästöt. Tiedot lannoitteiden käytöstä saatiin maitoa toimittavien tilojen, 20 kpl, haastattelututkimuksesta, joka sisälsi lohkokohtaiset tiedot yhden viljelykierron (3-5 v.) ajalta. Näiden mukaan määritettiin keskimääräinen lannoitekoostumus, jota tiloilla käytettiin. Lannoitus muutettiin vastaamaan tiloilla yleisimmin käytettyä ja lähintä sitä vastaavaa lannoitemerkkiä, joka oli Pellon Y4-lannos. Myös lannoitteiden suursäkkien valmistuksen tiedot (UPM-Kymmene ja APME 1999) ja säkkien kuljetus tiloille sisältyvät laskelmiin.

Maanparannuskalkin valmistuksen päästötiedot saatiin kotimaiselta tuottajalta (Nordkalk Oy, 2002, kirjallinen tiedonanto). Tiedot kattavat vaiheet louhokselta jauhetuksi kalkiksi asti. Lisäksi kalkin kuljetus tiloille säiliöautoilla sisältyi selvitykseen.

4.2 Maitotilojen peltoviljely

Luotettavia tietoja maitotilojen peltoviljelystä, joka kuvaisi tilojen todellista toimintaa, ei ollut saatavissa ilman yksityiskohtaista tilahaastattelua. Suomen keskiarvotietojen käyttämistä ei nähty relevanttina todellisen tuotantoketjun parantamistoimenpiteitä määrittelevässä tutkimuksessa.

Viljelyprosessin ympäristövaikutuksiin vaikuttavia tekijöitä kartoitettiin laajan tilahaastattelun avulla. Tavoitteena oli kerätä tutkimuksen lähtötiedoiksi tarkat viljelysuunnitelman mukaiset, lohkokohtaiset viljelytiedot lypsykarjatan yhden nurmenviljelykierron ajalta vuosilta 1997-2001.

Haastattelulomake sisälsi tutkijoiden ja Valion yhteistyössä tekemiä kysymyksiä maidontuotannon ympäristönäkökohtiin vaikuttavista tekijöistä. Haastattelututkimuslomake täytettiin viljelijän kanssa tilakäynnin yhteydessä haastattelijan toimesta. Karjaan liittyviä tietoja selvitettiin myös maaseutukeskusten kotieläintoimihenkilöiltä.

Haastattelussa kerättiin tilan peltoviljelyn tietoja nurmiviljelykierron ajalta. Tiedot siirrettiin edelleen Maaseutukeskusten liiton laatutietopankkiohjelmaan muokattavaksi. Haastateltuja tiloja oli 20 kpl, jotka valittiin alueellisesti edustamaan Toholammin juustolaan toimittavia tiloja. Lisäksi pyrittiin saamaan mukaan karjamäärältään sekä suuria että pieniä tiloja.

4.2.1 Koneketju tilalla

Koneketjujen ja eri työvaiheissa tarvittavien konetehtojen määrittämisessä käytettiin Työtehosteuran mallilaskelmia ja niitä täydennettiin MTT:n maatalousteknologian tutkimusyksikön arvioimilla eri työvaiheiden tehontarvearvioilla. Työkoneiden oletettiin olevan karjatilalle tyypillisiä, teholtaan 80 hv, noin 4-5 vuoden ikäisiä. Koneiden työsaavutukset määritettiin työnmenekki-perusteella. Työnmenekkejä eri viljelyvaiheissa on tutkinut Suomessa kattavasti Työtehosteura. Työnmenekit eri työvaiheissa perustuivat Työtehosteuran maataloustiedotteeseen (Peltonen & Vanhala 1992). Näissä huomioidaan suoritusajan lisäksi myös apu- ja valmisteluajat. Työkoneiden päästölaskelmat perustuvat VTT:n yksikköpäästölaskelmiin, joiden pohjana ovat pääosin EU:n nykyiset raja-arvot (Mäkelä ym. 2000). Päästölaskelmien perusteet tarkastettiin yhteistyössä Sisu Dieselin ja Fortumin kanssa.

Viljan kuivauksessa on käytetty yleisintä tuotantoteknologiaa, lämminilma-kuivausta. Vilja kuivataan n. 14 % kosteuteen. Kuivauksen energiankulutus ja päästöt on huomioitu viljoille rehuohran elinkaaritutkimuksen mukaisesti (Katajajuuri ym. 2000).

4.2.2 Maitotilojen rehuntuotannon satotasot

Sadon määrittämisessä lähdettiin säilörehusadoissa asiantuntijoiden ohjeiden mukaan liikkeelle siten, ettei yksittäisen tilan sadon analyysituloksia oteta tilan sadonmäärittämisessä suoraan huomioon, vaan sadon määrää lähdettiin määrittämään paikallisen maaseutukeskuksen vuosittaisista keskiarvoista.

Satotietojen saattamisessa yhteismitalliseen muotoon (kg kuiva-ainetta/ha), käytettiin Maaseutukeskusten keskisatoja, haastateltujen tilojen satomittauksia sekä MTT:n Ruukin, Maaningan ja Toholammin (Järvenranta ym. 2001) tutkimuspaikkojen vuosittaisia satotasoja. Tukena käytettiin myös niiden haastateltujen viljelijöiden tietoja, joilla on ollut erittäin tarkat lohko-kohtaiset satotiedot määrästä ja laadusta. Tilojen rehuanalyysin tulosten luotettavuuteen vaikuttaa ratkaisevasti näytteenotto ja sen käsittely. Tuloksiin vaikuttavat myös sääolosuhteiden vaihtelut, jotka ovat vuosittain suuria. Rehuanalyysien tuottamat tulokset vaihtelevat paljon niin vuosi- kuin tilatasolla, samoin vaihtelevat sekä syys- että kevätasadot (Taulukko 1).

Taulukko 1. Esimerkki säilörehun analyysitulosten vaihtelusta ja siten sato-
tasojen virhemarginaalista.

	Kuiva-aine %
Esikuivattu säilörehu, auma	20,3-36,1
Esikuivattu säilörehu, pyöröpaali	26,3-61,0

Taulukko 2. Satojen kuiva-aineprosentit.

	Kuiva-aine %
Esikuivattu säilörehu	29
Esikuivattu säilörehu (Pallo)	31
Säilörehu kelasilppuri ym. tuore	21
Kuivaheinä (Niittoheinä)	83

Satotasot muunnettiin yhdenmukaisiksi siten, että rehuyksikkösatojen ja kuiva-
a-ineen laskennassa käytettiin yhtenäisiä, taulukossa 2 olevaa esikuivatun
säilörehun kuiva-ainepitoisuutta kaikilla tiloilla ja vuosittain nurmisatojen
kaikilla niittokerroilla. Tämä yksinkertaistus aiheuttaa virhettä tuloksiin,
mutta kunkin tilan ja sadon erikseen määrittäminen nähtiin liian monimutkai-
seksi ja näillä oletuksilla päästään tässä tutkimuksessa tarvittavaan tarkkuu-
teen.

4.2.3 Lannoitus

Lähtötietoina ostolannoitteiden käytölle kasveittain käytettiin viljelykierron
ajalta tehdyn lohko-kohtaisen haastattelututkimuksen tuloksia (Taulukko 3 s.
27). Keskimääräisiä lannan ravinnepitoisuuksien taulukkoarvoja ja tilakohtai-
sia lantamääriä ei pidetty riittävän tarkkoina lähtötietoina varsinkaan intensi-
teettilaskelmissa. Maaseutukeskuksen laatutietopankkiin viedyt lannanlevi-
tysmäärät eivät olleet täydellisiä, vaan tiedot olivat puutteellisia. Usean tilan
tiedoissa lannanlevitystietoja ei ollut kuin yhdelle tai kahdelle vuodelle ja
nekin tilan eläinmäärään nähden huomattavan pieniä. Tämän vuoksi karjan-
lannan ja siinä olevien ravinteiden määrä laskettiin tuotosvasteiden avulla.
Ruokinnasta ja tuotoksista oli käytössä tarkat tiedot joista pystyttiin määrit-
tämään lantaan erittyvien ravinteiden määrät.

4.2.4 Kalkitus

Maaperän oikealla pH-tasolla on huomattava merkitys viljelymaan satoisuu-
teen. Viljelymaan ollessa Suomessa luonnostaan hapanta pH-tasoa korjataan
kalkituksella. Viljelysuunnitelmista saadut kalkin käyttömäärät kg/ha/v olivat

pieniä (183 kg/ha). Näitä kalkin käyttömääriä ei tutkimuksessa nähty voitavan suoraan hyödyntää suuren epävarmuuden johdosta. Analysoitaessa tuloksia päädyttiin siihen, että osa lohkoista oli kalkittu ennen viljelykiertoa, jolta tiedot kerättiin. Viljelysuunnitelmista saatuja laskelmia tarkennettiin kalkitusyhdistyksen myyntitilastojen ja MTT:n sekä yritysten asiantuntijoiden haastattelujen avulla. Kalkitus tehdään lohkoille noin joka viides vuosi ja oletettavasti useamman tilan kohdalla kalkitus ei osunut kyselyn ajankohtaan. Koska kuitenkin kalkin vaikutukset peltomaassa jakaantuvat pidemmälle ajanjaksolle, päädyttiin käyttämään suurempaa kalkitusmäärää mallissa.

Kalkin määrä voidaan kohdentaa eri kasveille useilla erilaisilla periaatteilla, esimerkiksi kohdentamalla suurempi osuus niille kasveille, jotka sitä eniten tarvitsevat. Tällainen kasvi on esimerkiksi mallasohra. Maitotilojen tuottaessa pääasiassa rehua, tutkimuksessa päädyttiin käyttämään kalkin määränä ylläpitokalkitusta 400 kg/ha/v.

4.2.5 Torjunta-aineiden käyttö

Viljelykasvien kemiallinen kasvinsuojelu toteutetaan tiloilla tarpeen mukaan. Torjuntatarve ja kasvinsuojelutoimet vaihtelevat vuosittain sekä ajallisesti että laadullisesti kasvintuhoajien esiintymisen, sään ja halutun satotason mukaan.

Torjunta-aineet sisältävät yhden tai useamman tehoaineen lisäksi myös muita aineita. Samaan tarkoitukseen on hyväksytty tavallisesti useita eri kauppa-valmisteita. Torjunta-aineiden käyttömäärät ja ajankohdat selvitettiin lohko-kohtaisesti haastattelututkimuksessa, kuitenkin tietojen luotettavuus ja torjunta-aineiden käytön kirjo oli niin suuri, ettei niiden käsittelyä tämän tutkimuksen puitteissa nähty järkeväksi. Tutkimuksessa ei käsitelty torjunta-aineiden haitallisuutta eikä ympäristövaikutuksia, koska toistaiseksi torjunta-aineiden ympäristövaikutusten käsittelyyn ei ole luotettavia menetelmiä.

4.2.6 Siementen käyttö

Siementen käyttömäärät vaihtelevat kasvien ja tavoitellun satotason mukaan. Käyttömäärät ja ajankohdat selvitettiin lohko-kohtaisesti haastattelututkimuksessa.

4.2.7 Alkutuotannon ympäristökuormituksen arviointi

Elinkaari-inventaariomenetelmä on tehty alun perin teollisia prosesseja varten. Maatalouden ympäristökuormitus on hajakuormitusta, eikä se ole yhtä suoraviivaista kuin teollisuusprosesseissa. Tämän vuoksi maatalouden ympäristökuormitusta joudutaan arvioimaan muilla menetelmillä.

Peltolohkoilta ja lannan käsittelystä aiheutuvat päästöt ilmakehään

Merkittävimmät peltolohkoilta syntyvät ilmapäästöt ovat typpioksiduuli (N_2O), ammoniakki (NH_3), hiilidioksidi (CO_2) ja metaani (CH_4). Kasvihuo- nekaasupäästöt on arvioitu IPCC:n ohjeiston mukaisesti (IPCC 1997). Maa- peräpäästöissä ei huomioitu taustana kyseisen ekosysteemin päästöjä viljelyä edeltäneessä tilanteessa, esimerkiksi viljelystä poistettua peltoa tai ojittama- tonta suota. Ilmapäästöt laskettiin kasveittain IPCC:n raportointiohjeiden mukaisesti. Vertailumateriaalina käytettiin Suomessa tehtyjä mittaustuloksia (Syväsalu et. al. 2002)

Nautojen ruuansulatuksessa ja lannan käsittelyssä syntyvät me- taanipäästöt

Märehtijöiden ruuansulatuksesta peräisin olevat CH_4 -päästöt arvioitiin ker- tomalla eläinten lukumäärä eläinluokkakohtaisella kertoimella. Naudat on jaoteltu luokkiin lypsylehmät, emo- ja imettävät lehmät, sonnit, hiehot ja vasikat. Päästökerroin määräytyy eläimen päivittäisen bruttoenergiantarpeen ja eläinlajikohtaisen metaanimuunnoskerroimen mukaan IPCC:n mukaan (IPCC 1997).

Lannan käsittelyn ja varastoinnin aikaisia päästöjä laskettaessa käytetään osin samoja taustatietoja kuin ruuansulatuksen päästöjä arvioitaessa. Ravinnon laadun perusteella arvioidaan haihtuvan kiinteän aineksen määrä. Päästöker- toimessa huomioitiin myös eläinlajikohtainen maksimaalinen metaanintuot- tokapasiteetti ja lannan käsittelytavan mukainen metaanimuunnoskerroin sekä lietelannan, kuivikelannan ja laitumelle jääneen lannan osuudet.

Lannan käsittelyssä syntyvät ja maaperän typpioksiduulipäästöt

Lannan käsittelyn aikaiset N_2O -päästöt laskettiin maatalouden kasvihuone- päästöjen laskenta- ja raportointiohjelmalla, jota MTT ylläpitää Suomessa. Malli huomioi eläinlajikohtaisesti eritetyn typen määrän vuodessa ja typen jakautumisen eri lannankäsittelymenetelmien välillä (lietelanta, kuivalanta, laidun). Kuivikelannan ja laitumen päästökertoimena on 2 % ja lietelannan 0,1 % eritetyn typen määrästä (IPCC 1997).

N_2O -päästöt maaperästä mineraalimailla jakautuvat suoriin ja epäsuoriin päästöihin. Suorista päästöistä otettiin huomioon keinolannoituksesta ja lan- nan levityksestä syntyvät päästöt ja epäsuorista NH_3 -laskeumasta ja huuhtoutumista syntyvät N_2O -päästöt. Pellolle joutuneen typen määrästä (lannoite tai lanta) on ensin vähennetty ammoniakkinen haihtuva osuus ja jäljelle jäävän typen määrästä 1,25 % oletettiin muuntuvan N_2O :ksi. Vesistöihin huuhtoutu- neesta tyypestä oletettiin 2,5 % muuntuvan N_2O :ksi (IPCC 1997).

Orgaanisten maiden N_2O -päästöt ovat 8 kg N_2O-N/ha (IPCC 1997). Tässä tutkimuksessa kaikki peltolohkot on käsitelty samanarvoisina, samoin periaattein kuin kivennäismaiden viljely, koska tavoitteena oli löytää parantamismahdollisuuksia erilaisten viljelymenetelmien ja muiden tekijöiden kautta.

Maaperän ja kalkin käytön hiilidioksidipäästöt

Mineraalimailla on maahengityksen oletettu olevan yhtä suuri kuin kasvien sitoman CO_2 :n määrä. Tutkitulla alueella on orgaanista maata sisältäviä peltolohkoja, mutta tulosten käsittelyssä ei ole huomioitu näitä CO_2 -päästöjä, joihin tuotantoketjussa on mahdoton vaikuttaa.

Kalkista vapautuu n.450 kg hiilidioksidia pellolla käytettävää kalkkitonnia kohden. Maaperän kalkitus vapauttaa neutralointiprosessissa kaiken fossiilisessa kalkissa karbonaatteihin sitoutuneen hiilen hiilidioksidina ilmaan ja lisää siten pysyvästi ilmastoon kasvihuonekaasuja (IPCC 1997). Kalkituksesta vapautuva hiili on siis ylimäärähiiltä, joka vapautuu luonnon kiertokulkuun louhittaessa kalkkikiveä kalliosta ja siirrettäessä se neutraloimaan maaperää. Se on näin ollen hiilitaseeltaan verrattavissa esimerkiksi öljyn käyttöön. Tästä johtuen kalkituksella on huomattava osuus viljelyssä syntyviin hiilidioksidipäästöihin. On kuitenkin huomioitava, että kalkin käytöllä on myös paljon positiivisia ympäristövaikutuksia. Laskentaperiaatetta on käsitelty tutkimuksessa Katajajuuri ym. 2000.

Maidontuotannon ammoniakkipäästöt

Lypsylehmän keskimääräiset ammoniakkipäästöt ovat 31,5 kg NH_3/v , kun lannan typpimäärä on 100 kg N/v (n. 31 %) , hiehojen 13,2 kg NH_3/v , lannan typpimäärän ollessa 45 kg N/v ja vasikoiden 9,1 kg NH_3/v lannan typpimäärän ollessa 25 kg N/v (Grönroos 1998). Näiden arvojen ja IPCC:n (1997) perusteella päädyttiin käyttämään lannasta haihtuvan typen määränä 25 % lannan kokonaistypestä. Ammoniakkipäästöistä vapautuu keskimäärin karjasuojassa 26 %, varastoinnin aikana 39 %, levityksen yhteydessä 24 % ja laiduntamisen aikana 11 %. (Grönroos 1998). Tulokuvissa lannan levityksestä ja laiduntamisesta aiheutuvat NH_3 -päästöt on esitetty rehun tuotanto tilalla -kohdassa, ja muut lannasta aiheutuvat NH_3 -päästöt navetan kohdalla.

Ammoniakin haihtumiseen vaikuttaa se, mikä osuus typen erityksestä virtsassa ja mikä sonnassa; dieetin raakavalkuaispitoisuuden nosto esim. 14 %:sta 18 %:iin lisää virtsan typen osuutta.

Peltolohkojen vesistökuormituksen arviointi

Typen huuhtouma laskettiin typpitaseesta. Lannan typpi laskettiin tuotoksen ja sitä vastaavan ruokinnan typpipitoisuuden erotuksena. Lannan typen haihi-

dunnaksi oletettiin navetan ja varastoinnin sekä levityksen aikana yhteensä 25 %. Kasvien typen otto laskettiin satotason mukaan. Pellolta pois vietäväksi ravinnemääräksi laskettiin vain sadon mukana poistuvat ravinteet. Olkien oletettiin palaavan kiertoon viimeistään kuivikkeena olon jälkeen. Laskennassa käytetyt satojen typpi- ja fosforipitoisuudet (Saarela ym. 1995, Sillanpää, 1978) on esitetty taulukossa 3.

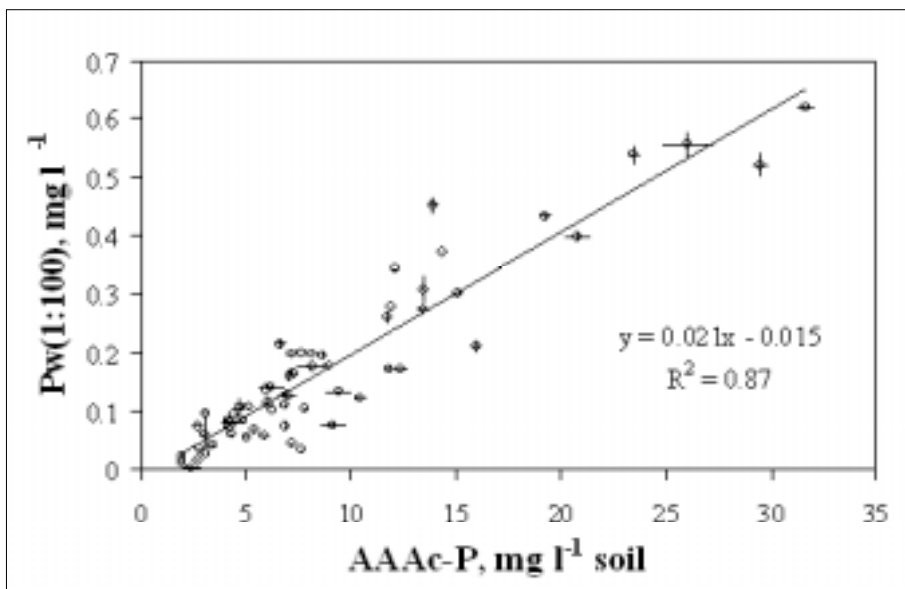
Väkilannoitteiden typpilannoitusmäärä laskettiin kyselyaineistoista keskimääräisenä hehtaarlannoituksena kullekin kasville. Lannan typen määrä laskettiin kasveittain lannan levitysmäärien suhteissa eli laitumelle 20 %, säilörehulle 20 % ja loput 60 % viljoille. Laskelmissa oletettiin, että väkilannoitetyypeä käytetään sama määrä kaikissa erilaisissa tuotantotapoja mallintavissa tapauksissa. Todellisuudessa huuhtoutuvan typen määrä vaihtelee useista tekijöistä, kuten esimerkiksi sääoloista, maaperästä ja kaltevuuksista johtuen. Tässä tutkimuksessa käytettiin rehevöittävien typpihuuhtoumien määränä 30 % typpitaseen ylijäämästä.

Koska tilojen karjanlannan käytöstä lohkoittain ei ollut tarkkoja tietoja, tehtiin oletus, että 20 % kokonaislantamäärästä päätyy laidunnuksen aikana laitumille. Tämä perustui oletukseen, että eläimet ovat noin neljännesvuoden laitumella ja vain osa tänä aikana tuotetusta lannasta päätyy laitumelle. Kuivaheinälle ja säilörehulle kokonaislantamäärästä 20 % levitettiin pintalannoituksena. Loput 60 % lannasta käytetään viljojen lannoitukseen. Viljojen lannoitus oletettiin sijoituslannoitukseksi.

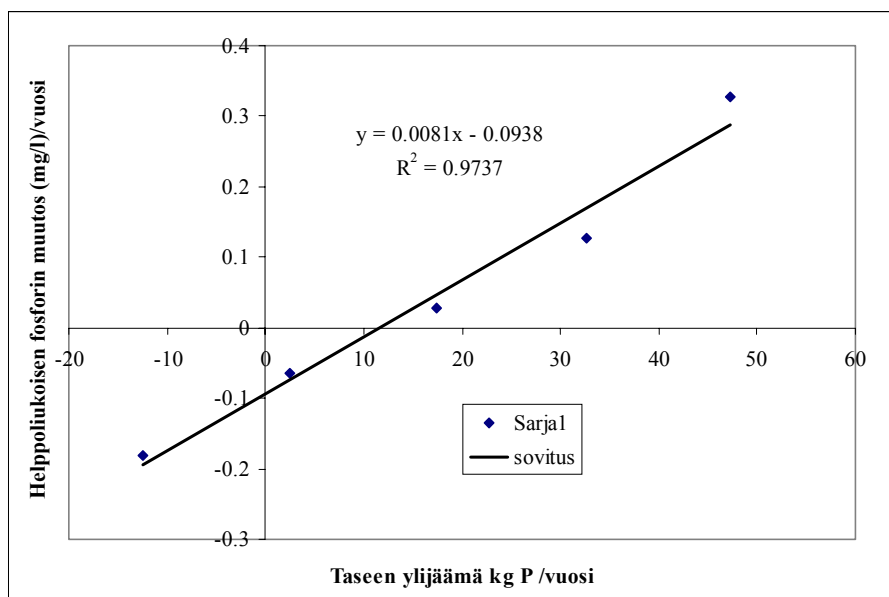
Fosforihuuhtouma koostuu kahdenlaisesta fosforista: kiintoainekseen sitoutuneesta ja liukoisesta fosforista. Liukoisen fosforin huuhtouma on laskettu maan helppoliukoisen fosforin pitoisuuden perusteella (Kuva 2).

Lannoituksen vaikutus helppoliukoisen fosforin kehitykseen perustuu fosforilannoituksen porraskokeiden tuloksiin. Kyseisen tutkimuksen tuloksista laskettiin fosforilannoituksen ylijäämä, jonka perusteella viljavuuden muutos lasketaan vuositasolla. Helppoliukoisen fosforin muutos laskettiin fosforilannoitusyliäämän funktiona (Kuva 3).

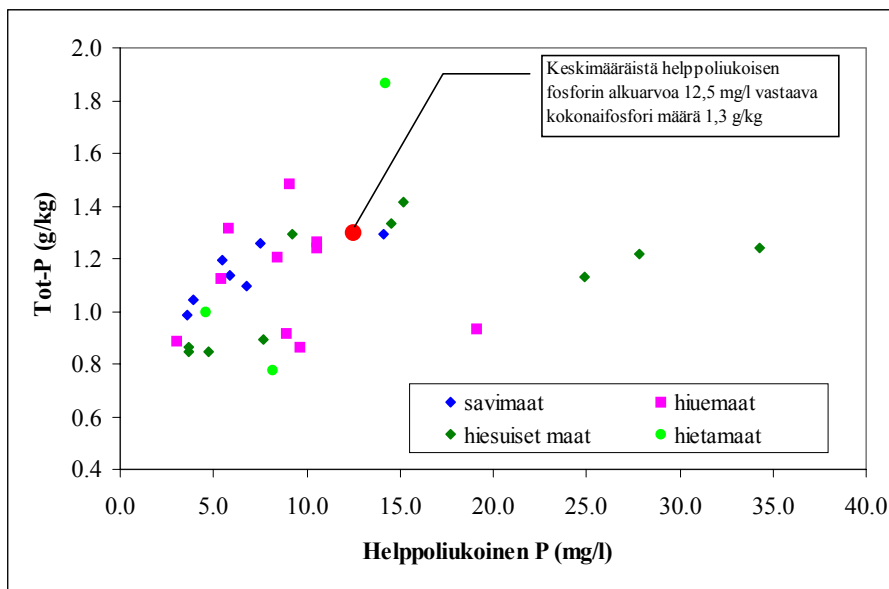
Kiintoainekseen sitoutunut fosfori laskettiin olettaen eroosio ja valunta vaki-oiksi. Molemmat vaihtelevat vuosittain, mutta koska kyseessä on pitkän ajan keskiarvo, oletettiin, että valitut eroosiomäärät vastaavat pitkän ajan keskiarvoja. Valunnan määränä käytettiin laskennoissa 250 mm/vuodessa. Nurmien eroosioksi arvioitiin 500 kg/ha ja viljojen 1400 kg/ha. Suuri ero johtuu siitä, että Suomessa suurin osa eroosiosta tapahtuu syyssateiden ja keväisen lumen sulamisen aikana, jolloin viljapellot useimmiten ovat paljaina ja muokattuna, kun taas nurmilla on talviaikaankin kasvusto suojaamassa eroosiolta.



Kuva 2. Veteen liukenevan fosforin määrä (P_w) maan helppoliukoisen fosforin funktiona (Uusitalo, Jansson 2002).



Kuva 3. Fosforitaseen ylijäämän vaikutus helppoliukoisen fosforin muutokseen laskettuna Fosforilannoituksen porraskokeiden tuloksista (Saarela ym. 1995).



Kuva 4. Kokonaisfosforin ja helppoliukoisen fosforin välinen yhteys erilaisilla maalajeilla sekä valittu alkuarvo.

Jotta pystyttiin määrittämään eroosion mukanaan kuljettaman fosforin määrä, kiinnitettiin maan kokonaisfosforipitoisuus vastaamaan alkutilan viljavuutta. Fosforilannoituksen porraskokeiden maanäytteistä analysoidujen kokonaisfosforimäärien ja helppoliukoisen fosforin välinen yhteys riippuu useasta tekijästä, eikä ole lineaarinen. Kuitenkin nähtiin, että yksinkertaistamalla laskentaa, päästään kohtuullisiin tuloksiin. Helppoliukoisen fosforin pitoisuutta 12,5 mg/l vastaamaan valittiin kokonaisfosforimäärä 1,3 g/kg. (Kuva 4)

Fosforin huuhtoumat laskettiin 10 vuoden periodilla. Kokonaisfosforin muutos laskettiin lannoituksen sekä lannan että väkilannoitteiden fosforin lisäyksen ja kasvien ottaman fosforin erotuksena. Kokonaisfosforin muutos laskettiin olettaen, että fosforilannoitus jakaantuu kaikkien kasvien kesken tasaisesti toisin kuin lannan typen laskennassa. Tämä oletus tehtiin, koska oletuksena oli, että tiloilla on kolmen vuoden viljelykierto, jolloin pitkällä aikavälillä kullekin lohkolle ja kasville kokonaisfosforilannoitus esim. 20 vuoden aikajänteellä on yhtä suuri. Näin ollen kullakin lohkolle fosforilannoituksen vaikutus maan fosforipitoisuuteen on yhtäläinen. Yksinkertaistus tehtiin, koska tässä ei pyritty dynaamiseen mallintamiseen, jossa vuotuiset sääolojen muutokset vaikuttaisivat huuhtoumiin. Lannan fosforin oletettiin päätyvän muokkauskerrokseen, joka tässä tarkastelussa valittiin 25 cm:ksi. Lannan fosfori oletettiin jakautuvan muokkauskerrokseen tasaisesti sijoituslannoituksessa. Todellisuudessa asia ei ole niin yksinkertainen, mutta suuremmalla alueella jakautumisen erot tasoittuvat.

Kokonaisfosforimäärä muuttuu taseen yli/alijäämän verran vuosittain ja erodoituvan maa-aineksen fosforipitoisuus oletettiin maan fosforipitoisuuden kanssa samaksi. Koska eroosio on selektiivistä, eli pienimmät partikkelit erodoituvat helpoimmin, voi tämä vääristää tuloksia. Esimerkiksi savespartikkeleilla on huomattavan suuri kyky sitoa fosforia ja näin myös eroosioaines on fosforirikkaampaa kuin koko muokkauskerroksen fosforipitoisuus. Tarkastelussa on pohjana koko tila-aineisto ja aineistossa useampia maalajeja, on erodoituneen aineen rikastumiskertoimeksi tässä valittu yksi. Valinnat eivät vaikuta tutkimuksen tärkeimpään tavoitteeseen, erilaisten viljelytapojen vertailuun olosuhteiden pysyessä samoina kaikissa tapauksissa.

Tiloilta kerätyn aineiston perusteella valittiin laskelmissa tuotantoalaksi tilojen keskiarvo 2,5 ha/tuotantoeläin. Kerätyssä aineistossa pienin pinta-ala/tuotantoeläin oli 1,1 ha/tuotantoeläin ja suurin 5,9 ha/tuotantoeläin. Kasvatus oletettiin tapahtuvan tilalla eli kutakin tuotantoeläintä kohden lasketaan olevan 0,4 vasikkaa ja 0,4 nuorkarjaa. Tämän perusteet on esitetty systeemitaseena luvussa 4.4, jota hyödynnetään ympäristökuormitusten kohdentamisessa systeemistä saatavien eri tuotteiden välillä. Laskelmissa otettiin huomioon sekä näiden eläinten tarvitsema rehumäärä että niiden tuottama lantamäärä. Koska väkilannoitteiden määrä laskettiin haastatteluaineistosta, oli perusteltua käyttää myös pinta-alana aineiston keskiarvoa.

Viljelyalan käyttö määritettiin perustapauksen ruokinnan tarpeen mukaan. Tiloilla on toimiva viljelykierto ja tiloilla viljellään sekä nurmea että viljaa. Perustapauksen ruokinnalla viljelykierto on keskimäärin noin kolme vuotta. Väkirehut, kuten tiivisteet, puolitiivisteet ja kivennäisrehut ostetaan. Intensiivitelaskelmissa tilalla viljeltyjen kasvien kasvatuspinta-alat ovat samat kuin perustapauksessa. Mikäli viljelypinta-ala ei riitä eläinten tarvitseman rehun tuottamiseen, lisärehut ostetaan ja ylimääräiset tuotokset myydään. Inventaarioanalyysissä otettiin huomioon vain ruokintaan käytetyn rehun viljelyalan (taulukko 3) typpi- ja fosforikuormitukset. Näistä kuormituksista kohdennettiin juuston tuotannolle 88,5 % luvun 4.4 mukaisesti.

Taulukko 3. Maitotilan viljelyalan käyttö perustapauksessa tuhatta juustokiloa kohden, kasvien satotasot ja satojen ravinnepitoisuudet sekä väkilannoitteiden käyttö.

	Pinta- ala (ha)	Kuiva- ainesato (kg/ha)	Sadon P- pitoisuus (g/kg)	Sadon N- pitoisuus (g/kg)	Fosfori- lannoitus (kg/ha)	Typpi- lannoitus (kg/ha)
Säilörehu	1,04	5472	2,72	24,10	15	153
Laidun	0,36	3974	3,98	36,70	15	124
Heinä	0,22	3493	2,18	16,00	15	77
Kaura	0,32	2773	3,50	22,00	11	49
Ohra	0,50	2667	3,50	19,80	11	42

4.3 Ostorehujen tuotanto

Tiloille ostettavien väkirehujen valmistusketjut selvitettiin viljanviljelyn panosten tuotannosta valmiiksi väkirehuiksi. Teolliset rehut jaettiin täysrehuihin (viljapohjainen), puolitiivisteisiin (valkuainen 20-30 %) ja tiivisteisiin (valkuainen >30 %). Raisio ja Suomen Rehu määrittivät yhteistyössä rehujen keskimääräiset, kummankin yrityksen rehukoostumusta edustavat reseptit tutkimusta varten. Rehut koostuvat pääasiassa ohrasta, kaurasta, rypsiä sekä erilaisista teollisuuden sivutuotteista ja kivennäisistä. Rehujen raaka-aineiden tuotantoketjujen ympäristökysymykset selvitettiin samoin kuin koko hankkeessa aina panosten tuotannosta ja viljelystä alkaen. Teollisten rehujen sisältämät teollisuuden sivutuotteet (vehnäleseet, juurikasleikkeet ym.) oletettiin nollavirroiksi. Tällöin esimerkiksi viljan jalostuksessa tuotteiksi kaikki panokset kohdennettiin päätuotteelle, esimerkiksi kauran tai leivän jalostamiselle, ja viljan kuorinnassa syntyvälle teollisen rehun raaka-aineena käytettävälle sivuvirrälle ei kohdennettu ympäristöarastusta. Raaka-aineketjuista soijan viljelyketjua ei selvitetty yksityiskohtaisesti, koska soijan päätuotantoalueita ovat Yhdysvallat ja Brasilia. Soijan viljelyketjun osalta tutkimuksessa käytettiin kirjallisuuslähteitä (Cederberg 1998, Cederberg & Darelius 2000), joita täydennettiin panosten käytön ympäristöprofiililla sekä laivakuljetuksella Suomeen (Seppälä ym 2001).

Teollisten rehujen osalta satotasoina käytettiin rypsilille 1800 kg/ha ja ohralle sekä kauralle 4000 kg/ha. Vastaavasti lannoitustasoina käytettiin ympäristötukiehtojen mukaisia arvoja, rypsilille 100 kg/ha ja ohralle sekä kauralle 90 kg/ha. Tutkimuksessa huomioitiin myös viljanviljelyn tukiehtojen mukainen kesantoala 10 % viljelyalasta, jolta aiheutuvat huuhtoutumat jyvitetiin kieron viljelykasveille.

Rehujen raaka-aineet jauhetaan, sekoitetaan, lämpökäsitellään ja puristetaan raemuotoon rehutehtaalla. Valmistuksen tiedot laskettiin rehunvalmistajien tiedonantojen perusteella (kirjalliset tiedonannot: Suomen Rehu ja Rehuraisio, 2002.). Kasvipohjaisista raaka-aineista rypsi oletettiin tuotettavan Suomessa, koska siitä saatiin tällä tavoin luotettavimmat tiedot. Soijan ja rypsin jalostus selvitettiin Raision kasviöljytehtaan tuotantoprosessin mukaisesti (kirjallinen tiedonanto, Raisio/kasviöljyteollisuus, 2002). Prosessissa raaka-aineet rouhitetaan, hiutaloidaan ja lämmitetään, minkä jälkeen osa rypsiöljystä saadaan esipuristamalla ja loput uuttamalla. Uutosta saatu rypsirouhe lopuksi paahdetaan ja kuivataan. Soijalle prosessi on pitkälti vastaavanlainen, mutta soijaöljyä saadaan vain uuttamalla. Lopuksi uutetut öljyt tislataan.

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 kohdentamiseen päädyttiin lopulta käyttämään taloudellista arvoa.

Ostorehujen huuhtoumat laskettiin samalla periaatteella kuin maitotilojen kotoisille rehuille, olettaen maan helppoliukoisen ja kokonaisfosforin määrät samaksi sekä olettaen, että lannoitus oli ympäristötukien mukainen peruslannoitus.

4.4 Maidontuotanto - navetta

Ympäristövaikutusten arvioinnissa toiminnallista yksikköä kohden yksi suurimmista tekijöistä on lehmien maidontuotostaso, toimiihan se panosten jakajana laskettaessa maitolitrnan osalle tulevaa panosten käytöstä aiheutuvaa ympäristökuormitusta. Maidon tuotostaso sekä sen tuottamiseen tarvittava rehumäärä selvitettiin MTT:n eläinravitsemusyksikön tutkimuksista. MTT:n Kivennäisruokinnan vaikutus maidontuotantoon, eläinten terveyteen ja ympäristöpäästöihin tutkimuksen aineistosta poimittiin Toholammin juustolaan maitoa toimittavat tilat (714 kpl) sekä näiden tilojen tuotostasot (Kytölä 2001). Nautojen rehun tarve laskettiin MTT Eläinravitsemuksen tekemien rehuntarvelaskelmien perusteella. Rehunkulutus on laskettu näiden 714 tilan ilmoitettujen rehunkulutustietojen perusteella ja kasvatuksen rehuntarve ruokintanormien perusteella. Rehun tarpeen määrittäminen perustuu lukuisiin, satoja kokeita sisältäneisiin tuotosvastetutkimuksiin. Rehun tarpeessa huomiointiin myös lehmien kasvatukseen tarvittava energiankulutus. Tutkimustulosten ja tila-aineiston perusteella laskettiin myös maidontuotannossa syntyvän lannan typpi- ja fosforimäärät perustilanteessa sekä erilaisten intensiteetti- ja säilytysolosuhteiden vaikutuksesta.

Maidontuotannon fossiilisten polttoaineiden kulutus perustuu tilahaastatteluihin, joissa on eroteltu tilan kokonaisenergian kulutuksesta maidontuotantoon tarvittava navetan energiakulutus sekä muita tilan energian kulutuskohteita. Saatuja tuloksia verrattiin teoreettisiin energiankulutuslaskelmiin navetan koneiden käytöstä (Grönroos ja Seppälä 2000). Tiloilta saadut todelliset sähkökulutustiedot, navettatoiminnoille kohdistettuna, olivat jonkin verran korkeammat kuin teoreettisesti laskettuna saadut. Navetan prosesseista eniten sähköä kuluu tyypillisesti lypsyyn, pesuautomaattien lämmitykseen, ilmanvaihtoon sekä maidon jäähdyttämiseen ja säilyttämiseen tilasäiliössä (noin +3...4°C:ssa).

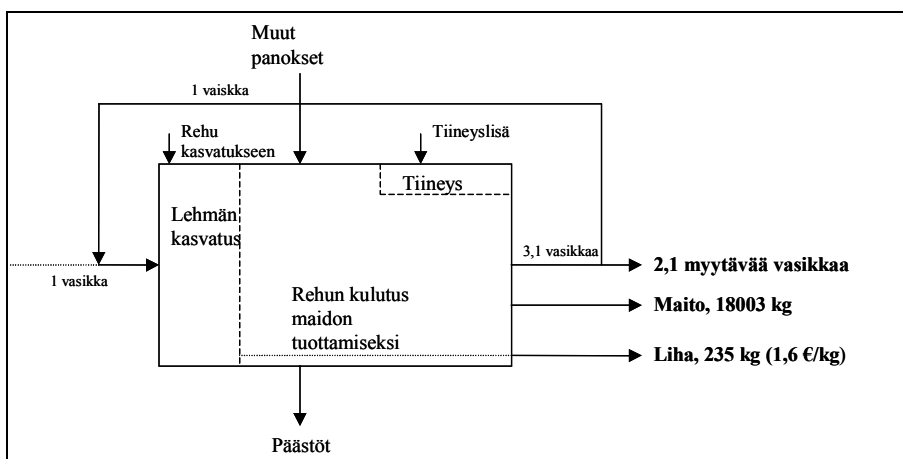
Maito- ja jätevesien käsittely otettiin huomioon niin, että oletettiin puolen tiloista käsittelevän jätevedet asianmukaisesti. Tämä perustuu käytännön havaintoihin ja siihen, että mm. Etelä-Pirkanmaan tiloilla vuonna 2002 tehtyjen selvitysten mukaan maito- ja jätevesistä käsitellään asianmukaisesti noin puolet. Vuonna 1998 tehdyissä selvityksissä 26 % tiloista käytti säiliöitä, 18 % imeytti ja 3 % maasuodatti jätevedet. Tiloista 54 % luokiteltiin

maitohuonejätevesien käsittelyn osalta ryhmään ”ei tietoa / ojaan” (Kallio & Santala 2002). Maitohuoneiden jätevesikuormituksen muodostuminen ei ole lineaarista maitolitran kohden, vaan tutkimuksessa käytetyt päästöluvut laskettiin teoreettisesti tyypillisen suomalaisen maitotilan vuosituotoksen mukaan. Navetan jätevesikuormituksen laskentaa on kuvattu tarkemmin em. julkaisussa.

Allokointi lehmästä saatavien eri tuotteiden välillä

Eläinten rehun tarpeen laskennassa joudutaan aina elinkaaritutkimuksissa allokointi- eli kohdentamisproblematiikan eteen. Eläinten käyttämä rehu on jaettava maidolle, lehmästä saatavalle lihalle ja vasikoille. Ensisijainen keino kohdentamisongelman ratkaisemiseksi on pyrkiä erittelemään eri tuotteiden tuotanto omiksi prosesseiksi ja kohdentaa niiden tuottamisen panokset, tuotokset ja päästöt suoraan eri prosesseille. Tässä tutkimuksessa erillisiksi prosesseiksi muodostettiin:

- a) maidontuotanto
- b) vasikoiden tuotanto
- c) lihan tuotanto



Kuva 5. Maidon, lihan ja vasikoiden välinen rehunkulutuksen kohdentaminen.

Vasikoiden tuotannon rehun tarve erotettiin kokonaisuudesta kohdentamalla myytävälle, maidontuotantoprosessiin palautumattomille, keskimäärin 2,1:lle vasikalle kokonaisrehuntarpeesta tiineysosuus. Lihan ja maidon välillä objektiivinen kohdentaminen oli ongelmallisempaa. Oikeastaan lehmä kasvatetaan maidontuotantoa varten. Tällöin olisi perusteltua kohdentaa kaikki kasvatukseen tarvittavat panokset maidolle, myös elinkaariarviointiin liittyvien standardien mukaan. Tätä tukee se, että lihasta saatava hinta ei kata edes

rehukustannuksia. Toisaalta maidon ja lihan tuotanto ovat integroitu osa kokonaisprosessia ja kasvatukseen tarvittavan rehun jakaminen on perusteltua. Tutkimuksessa testattiin ja arvioitiin useita erilaisia vaihtoehtoisia kohdentamismenettelyjä vaihtelun ymmärtämiseksi. Tässä tutkimuksessa päätettiin jakaa lihalle vain se osuus rehusta, jonka tuotantokustannukset saadaan katettua lihan myymisellä. Suuremman rehumäärän, ja niistä aiheutuvien päästöjen, kohdentaminen lihalle ei ole perusteltua.

Kohdentamisperiaatteilla on suuri merkitys tuloksiin. Jos kohdentamismenettelynä käytetään suoraan massaperusteista laskentaa, huomioimatta eri tuotteiden kuiva-ainetta, maidolle voitaisiin kohdentaa jopa 99 % kokonaispäästöistä. Taloudellisen arvioinnin tulos vaihtelee kulloisenkin hintatason mukaan, mutta suora taloudelliseen arvoon perustuva menettely kohdentaa noin 91 % maidolle.

Prosessit erottelevan kohdentamismenettelyn mukaan maidolle kohdennettiin 88,5 %, lihalle 9,5 % ja vasikoille 2 % rehun tarpeesta ja niiden tuottamisen ympäristökuormituksista. Mm. Cederberg (1998) sovelsi ”biologista” allokointitapaa päätyen samansuuntaisiin allokaatio-osuuksiin kuin tässä tutkimuksessa. Tutkimuksissa on maidon ja lihan tuotannon allokointiin sovellettu biologisten periaatteiden lisäksi ainakin taloudellisia arvoja (Iepema and Pijenburg 2001).

Allokoinnin suorittamisen periaatteista ja allokoinnin välttämisestä on keskusteltu aktiivisesti kansainvälisessä tutkimusyhteisössä (mm. Weidema, ym.). Cederberg & Stadig (2001) esittivät, että systeimirajoja laajentamalla voitaisiin maidon ja lihan tuotannon välinen allokointi välttää, ja että se ohjaisi oikeampaan lopputulokseen. Kriittiseksi tämä asiaa nousee lähettäessä vertailemaan eri tuotteiden välisiä ympäristövaikutuksia.

4.5 Maidon keräily ja kuljetus

Maidon keräily tiloilta Toholammien tuotantolaitokselle selvitettiin yhdessä Valion edustajien kanssa. Maidon keräily- ja siirtoajot perustuvat useisiin eri kuljettajien ajamiin reitteihin, joista määriteltiin tyypillinen jakelureitti Toholammille tulevalle maidolle. Kalustona käytettiin yhdistelmää nuppiauto ja perävaunu. Tyypillisellä reitillä kuljettaja ajaa yhdistelmän siirtoajojen (meno ja paluu) lisäksi kolme keruureittiä, joista kahden ensimmäisen reitin maidot tyhjenetään perävaunuun, ja kolmas tulee juustolalle nupin säiliössä. Kaikissa osakuljetusmatkoissa polttoaineenkulutus ja päästöt laskettiin kulloisenkin vaiheen todellisen kuormausasteen mukaan. Kaluston ikänä käytettiin vuoden 2002 tilanteen mukaista maidonkeruukalustoa ko. reiteillä. Kaluston ikäjakaa painotettiin ajetuilla kilometreillä ja kerätyillä maitolitroilla. Kaluston nuppiautoista 86 % kuului uusimpaan ikäluokkaan ja loput 14 % kuuluivat seuraavaan ikäluokkaan, jotka ovat vuosimalliltaan 1996-1999.

4.6 Jalostus

Valio Emmental Sinileima valmistetaan kahdella Valion tuotantolaitoksella. Näistä tutkimuksessa valittiin tarkasteltavaksi Toholammin tuotantolaitos, joka valmistaa ainoastaan Emmental Sinileima -juustoja. Valio Emmental Sinileima luokitellaan kovaksi juoksutinjuustoksi. Juuston valmistuksessa ensimmäisinä vaiheina maidon vastaanoton jälkeen ovat esikäsittelyvaiheet separointi ja vakiointi, joiden avulla maidon rasvaprosentti säädetään halutuksi. Juustokattilassa tapahtuu juuston raaka-aineiden yhdistäminen juustomassaksi, joka puristetaan juustoksi, sekä suolataan ja kypsytetään. Kypsytetyt juustot kuljetetaan Vantaan tuotantolaitokselle, jossa ne paloittellaan ja pakataan kuluttajapakkausihin.

Jalostuksen tiedot kerättiin ja tarkennettiin yhteistyössä Toholammin ja Vantaan tuotantolaitoksen edustajien kanssa useassa vaiheessa. Kaikki prosesseja ja tuotteita koskevat tiedot verifioitiin tiedonkeruun ja tiedon prosessoinnin jälkeen.

4.6.1 Prosessikuvaus

Maidon vastaanottoaikaan saapuva maito mitataan. Lyhyen varastoinnin jälkeen osa maidosta johdetaan separointiin, jossa maidosta erotetaan kermä rasvapitoisuuden alentamiseksi. Separoitu maito jäädytetään ja yhdistetään vakioinnissa suoraan vastaanotosta ja varastoinnista tulevaan raakamaitoon. Vakioitu maito pastöroidaan ennen kattilaan johtamista. Juustokattilaan ohjataan maidon lisäksi muut valmistuksessa käytetyt raaka-aineet, joita ovat vesi, kuparisulfaatti, kalsiumkloridi, juoksete sekä tuotantolaitoksessa valmistettu hapate. Hapatteen valmistuksessa pieneen osaan separoidusta maidosta lisätään bakteerikanta. Hapatteen ja juoksetteen avulla maito saostetaan. Saostuminen tapahtuu kun maidon sisältämä kaseiini-proteiini koaguloituu. Tällöin muodostuu hyytymä, joka sitten rikotaan nesteeseen poistamiseksi. Neste on juuston valmistuksen sivutuotteena syntyvää heraa. Puristusaltaissa juusto muovataan tiiviiksi massaksi, josta puristetaan vielä pois heraa. Tämän jälkeen noin 40 kilon harkoiksi paloittelu juusto suolataan suolausaltaissa. Suolattu juusto pakataan kolme kuukautta kestävästä kypsytystä varten kypsytys- ja suojamuoveihin. Viileässä tapahtuva kypsytys antaa Emmental Sinileimalle sille ominaisen maun ja rakenteen. Kypsytystä juusto viedään lähetyspakkaamoon pakattavaksi, jotta se voidaan kuljettaa Vantaan tuotantolaitokselle. Vantaan tuotantolaitoksella harkot siirretään varastosta paloittelu- ja pakkauslinjalle. Juusto paloittellaan säännönmukaisiksi 350 g paloiksi.

4.6.2 Raaka-aineet ja sivuvirrat

Emmental Sinileima -juuston valmistuksen suurimpia sivuvirtoja ovat hera, paloitteluissa syntyvät kanttipalat sekä kerma. Separoinnissa maidosta ero-

tettava kerma pastöroidaan ja kuljetetaan Valion Seinäjoen tuotantolaitokselle käytettäväksi rasvojen raaka-aineena. Juustomassasta erotettava hera on alunperin epätoivottu sivutuote, jolle on löydetty käyttökohteita elintarvikkeiden rehuteollisuudessa. Heraa syntyy yli kymmenkertainen määrä Toholammien tuotantolaitokselta lähtevään juustoon verrattuna. Prosessista erottamisen jälkeen hera separoidaan ja siitä haihdutetaan vettä pois ennen kuljetusta. Hera käytetään elintarvikkeiden raaka-aineena Valion Haapaveden tuotantolaitoksella.

Suurin osa leikkaamisesta aiheutuvista kanteista syntyy, kun juusto paloitetaan Vantaan tuotantolaitoksella ennen pakkaamista kuluttajapakkaukseen. Lähes kolmasosasta juustoa tulee tässä vaiheessa kanttipaloja, jotka käytetään sulatejuustojen valmistukseen. Juuston valmistuksessa syntyvien juustomurujen määrät ovat pieniä verrattuna muihin sivuvirtoihin. Ne hyödynnetään sulatejuustojen valmistuksessa ja kotieläinten ruokinnassa. Hävikkiä, joka päätyy jätevesiin, syntyy pääasiallisesti prosessin rajapinnoilla. Esimerkiksi kun juustokattila tyhjennetään, siihen jää aina hieman juustomassaa.

Prosessin sivuvirroista kermalle ja teollisuusjuustolle allokoitiin osa juuston tuotannon ympäristökuormituksista. Allokoinnin perusteena käytettiin kuiva-ainepitoisuutta, koska se on kaikille maitotuotteille yhteinen ominaisuus, joka on helposti mitattavissa. Lisäksi kuiva-ainepitoisuus on pysyvämpi ominaisuus kuin esimerkiksi taloudellinen arvo ja antaa siten mahdollisuuden verrata tuloksia mahdollisiin tulevaisuudessa suoritettaviin elinkaariarviointeihin. Sivutuotteille, joilla ei ole taloudellista arvoa niiden erotessa prosessista, päätettiin olla kohdistamatta ympäristökuormituksia juuston tuotannosta. Hera sisältyy näihin sivutuotteisiin. Sivuvirtojen Toholammilla tapahtuva lisäkäsitely, joka tehdään muualla tapahtuvaa jalostusta varten, pyrittiin poistamaan kuormituksiltaan juuston elinkaaresta ja kohdistamaan kokonaan kyseiselle sivuvirrälle. Heran haihduttamisen ympäristökuormitukset pystyttiin erottamaan, mutta heran separoinnin ja kerman pastöroinnin kuormitukset rasittavat juustoa. Nämä kuormitukset oletettiin kuitenkin pieniksi. Kuparisulfaatin, kalsiumkloridin, juoksetteen ja hapatteen sekä hapatteen bakteerikannan osuus lopputuotteesta on alle prosentin ja raaka-aineista alle promillen. Niiden valmistusta ei tutkimuksessa huomioitu. Raaka-aineiden, sivutuotteiden sekä tutkittavan tuotteen määrät perustuvat vuoden 2000 tuotantoon. Maidon hävikki selvitettiin laskennallisesti ja se perustuu raaka-aineiden, sivutuotteiden ja tuotteen määriin.

Toholammilla pakattujen juustoharkkojen kypsytys- ja suojapakkausmuovit puretaan Vantaalla ja laitetaan energiakäyttöön menevien jätejakeiden joukkoon. Emmental Sinileima palat pakataan PA/PE-laminaattiin ja aaltopahviin tukkulaatikoihin. Laminaattihävikki pakkaamisessa perustuu pitkän aikavälin keskiarvoon.

4.6.3 Käyttöhyödykkeet

Juuston valmistuksessa kuluu energiaa sähkön, höyryn ja paineilman muodossa. Prosessilaitteiden lisäksi sähköä kuluu runsaasti jäähdytykseen. Separoinnissa ja juustokattilassa tapahtuvaa kuumennusta lukuun ottamatta juuston valmistus tapahtuu viileässä. Höyryä kuluu edellisten kuumennusten ohella toimitilojen lämmitykseen. Paineilmaa, joka valmistetaan tuotantolaitoksen paineilmankeskuksessa, käyttävät lukuisat prosessilaitteet.

Kaikkien energiamuotojen kulutuksesta käytettiin vuoden 2000 määriä ja perustana ovat kulutuslukemat koko tuotantolaitokselta. Näistä poistettiin heran haihdutuksen ja konttoritoimintojen aiheuttama energiankulutus. Toholammin tuotantolaitoksella on lukuisia sähkömittareita, joten prosessilaitteiden sähkön kulutus pystyttiin jakamaan neljään eri osaan: vastaanottoon, separointiin ja vakiointiin, juuston valmistukseen sekä suolaukseen ja pakkaamoon. Prosessia tukevien toimintojen, kuten pesukeskuksen, paineilmankeskuksen, jäähdytyskeskuksen ja kiinteistön sähkön kulutus perustuu myös vuosikohtaiseen mittarilukemaan. Tukitoimintojen sähkön kulutuksen vyörytys arvioitiin eri prosessivaiheille. Höyryn kulutuksen jakaminen eri prosessinosille ja toimitilojen lämmitykseen perustuu kokonaan arvioituihin vyörytyskertoihin.

Vantaan tuotantolaitoksella Emmental Sinileima -juuston paloittelu- ja pakkauslinja kuluttaa sähköä ja paineilmaa. Valmistusprosessin ja valaistuksen sähkönkulutus määritettiin linjakohtaisesti. Lisäksi selvitettiin raaka-aine- ja tuotevarastoinnin valaistukseen ja jäähdytykseen tarvittavan sähköenergian määrä. Varastojen energiatietojen kohdistamiseen käytettiin varastoitujen tuotteiden kokonaisläpivirtausta. Toimitilojen ja veden lämmityksen osuus saatiin selvityksestä, jossa tuotantolaitoksen lämmönkäyttö oli kohdennettu kesto- ja sulatetuotteille. Paineilman käyttö kohdennettiin vastaavasti kesto- ja sulatetuotteille, josta saatiin arvioitua tuotteelle kohdistuva paineilman käytöstä aiheutuva sähkönkulutus.

Toholammin tuotantolaitos kuluttaa sekä verkosto- että jokivettä. Vettä kuluu eniten pesuihin ja jäähdytyksiin. Jäähdytyksiin käytetään sekä verkosto- että jokivettä ja pesuihin ainoastaan verkostovettä. Veden kulutusta määritettäessä perustana oli koko tuotantolaitoksen vuoden 2000 kulutus. Juustolle ei kohdistettu vedenkulutusta, joka kulutuksen seuranta varten asetettujen mittareitten perusteella kului konttoritoimintoihin ja heran lisäkäsitelyyn. Noin 75 % juustolle kohdistuvasta vedenkulutuksesta pystyttiin jakamaan vesimittareitten perusteella eri prosessivaiheille. Näistä allokoitiin osuudet kermalle ja kanttipaloille, loput kohdistettiin ainoastaan Emmental Sinileima -juustolle. Juustolle kohdistettiin kulutusta vastaava määrä jätevettä. Osa käytetystä vedestä palautetaan jäähdytysvesi suoraan jokeen. Vantaan tuotantolaitoksen käyttämä verkostovesi on pohjavettä, joka kuluu prosessissa lähinnä pesuihin.

Kestotuotteiden vedenkäyttö- ja jätevesimäärä kohdennettiin kestopuotteiden tuotekilojen suhteessa, kuten sähkönkulutuskin.

4.6.4 Paikallinen energian tuotanto

Toholammin tuotantolaitokselle höyryn toimittaa paikallinen tuotantolaitos, joka palvelee yksinomaan Toholammin tuotantolaitosta. Polttoaineena laitos käyttää raskasta polttoöljyä. Päästöt perustuivat vuoden 2000 tilanteeseen. Päästötiedot verifioitiin in ekotasietojen pohjalta (Fortum Oil & Gas 2002a). Vantaan tuotantolaitokselle lämpö ja höyry tuotetaan paikallisilla kattiloilla, joiden polttoaineena käytetään lähinnä maakaasua. Päästöt perustuivat vuoden 2001 tilanteeseen. Ne verifioitiin VTT:n energiatielätkantöjen perusteella (Virtanen ym. 1996). Kattilaläitösten kuluttama sähkö jyvitetiin molempien tuotantoläitösten osalta käytetyn lämpöenergian suhteessa tuotteille.

4.6.5 Jäteveden käsittely

Toholammin tuotantoläitöksen jätevedet käsitellään kunnan jäteveden puhdistamossa. Ennen yhdistämistä puhdistettaviin yhdyskuntajätevesiin ne esikäsitellään muiden teollisuuden jätevesien kanssa biosuotimessa. Jäteveden tunnusluvuista käytettiin puhdistetun veden tunnuslukuja vuodelta 2000. Tuotantoläitökselta suoraan jokeen palautettavan veden ympäristökuormitukset arvioitiin jokivedestä ja palautettavasta vedestä otettujen näytteiden perusteella merkityksettömiksi elinkaariarvioinnin kannalta. Vantaan tuotantoläitöksen jätevesi puhdistetaan Viikinmäen jätevedenpuhdistamolla, josta käytettiin vuoden 2000 puhdistetun jäteveden tunnuslukuja.

4.7 Pakkausten valmistus

Juustoläminaatin (polyamidi/polyeteeniläminaatti, PA/PE) valmistustiedot selvitettiin toimittajien valmistusprosessien mukaan. Tiedot kerättiin erikseen kalvojen valmistuksesta sekä painamisesta ja laminoinnista (Kirjallinen tiedonanto: Amcor Flexibles 2002 ja heidän toimittajat). Juuston suoja- ja kypsytyskalvon valmistustiedot selvitettiin toimittajien valmistusprosessin mukaan (Kirjallinen tiedonanto: UPM Walkipack 2002 ja RaniPlast 2002). Lisäksi tutkimukseen sisällytettiin kypsytyskonttien vannenauhan muovimateriaalin valmistustiedot. Perusmuovimateriaalien osalta käytettiin APME:n (1999) uusimpia tietoja.

Juuston tukkupakkauksina käytettävien aaltopahvilaatikoiden valmistustietoja selvitettiin FOODCHAIN-hankekokonaisuuden tapaustutkimusten toimittajien (Kirjalliset tiedonannot: Petersonwalki, SCA Packaging ja StoraEnso, 2002) ja Euroopan aaltopahviyhdistyksen (FEFCO) kanssa. Tiedoissa oli

valtavasti eroja niin systeemirajausten kuin tiedon laajuuden suhteen, osittain jopa verifiointissa virheellisiksi havaittuja tietoja. Lopulta aaltopahville käytetyiksi tiedoiksi valittiin kaikille FOODCHAIN-hankkeen tapaustutkimuksille samat tiedot. Nämä olivat keskimääräiset tiedot luotettaviksi oletetuista tiedoista. Kaikki kattavat tietoaineistot perustuvat FEFCO:n mallilla laskettuihin tietoihin (FEFCO, 2000). Näiden keskimääräisten aaltopahvilaatikoiden tiedot sisältävät koko niiden elinkaaren aikaiset päästöt ja resurssien kulutukset. FEFCO:n mallin tiedot perustuvat vuoden 1997 eurooppalaisten paperi- ja aaltopahvivalmistajien ilmoittamista tiedoista laskettuihin keskiarvoihin. Mallissa oletetaan kaiken aaltopahvien jätteen palautuvan takaisin aaltopahvin raaka-aineiden valmistukseen, mikä esimerkiksi Suomen osalta ei pidä paikkaansa, vaan Suomessa käytetty aaltopahvi käytetään lähinnä hylsykartongin valmistukseen. Käytetyt aaltopahvitiedot eivät ole siis tuottaja- ja tuotekohtaisia, eikä tietoja pystytty aggregoimaan vuoksi verifioimaan.

4.8 Jakelu ja kauppa

Jakelun mallintamisessa on kuvattu tuotteiden valtakunnallista jakelua. Tämä toteutettiin jakamalla myynti aluemyyntipisteisiin ja määrittelemällä Vantaan tuotantolaitoksen ja aluemyyntipisteiden runkokuljetusprofiilit. Aluemyyntipisteiden alueella tapahtuva jakelu mallinnettiin käyttämällä kunkin alueen tyypillisiä keskimääräisiä jakelureittejä. Kaikissa osakuljetusmatkoissa käytettiin yksityiskohtaisia kuormausasteita. Määritettyjen profiilien avulla laskettiin VTT:n LIISA-mallin yksikköpäästöjä (Mäkelä, ym. 2002) hyödyntäen kunkin osamatkan päästöt. Kuljetuskaluston ikäjakaumana käytettiin Suomessa vuonna 2000 käytettyä keskimääräistä kalustoa.

Kaupan osalta tutkimukseen sisällytettiin erillisenä arvio juustokylmähyllikön energiankäytöstä käyttäen nykyaikaisesta kylmähyllyköstä laskettua energiankulutusta, ja kohdentamalla se hyllysuunnittelun ja läpivirtaustietojen avulla keskimääräiseksi tuotekohtaiseksi energiankulutukseksi. Saatuja kulutustietoja vertailtiin mm. Dutilhin & Kramerin (2000) ja Carlsson-Kanyaman & Faistin (2000) tutkimusten tietoihin. Kaupan osalta selvitettiin lisäksi tuotteiden keskimääräinen hävikki (Ruokakesko, kirjallinen tiedonanto, 2002).

Kuluttajan osalta tutkimukseen sisällytettiin ainoastaan tuotteen kulutuksen jälkeinen pakkausmateriaalijätteen syntyminen, jonka oletettiin päätyvän kaatopaikalle.

4.9 Pääjärjestelmän yleiset 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 ja kaukolämmön tuotannon oletettiin vastaavan suomalaista keskimääräistä tuotantoa (Katajajuuri ym. 2000). Sähkön ja lämmön yhteistuotannon syötteet ja tuotokset allokoitiin energiaperiaatteen mukaan. Toholammin ja Vantaan tuotantolaitokselle tulevan höyryn ja lämmön valmistus selvitettiin omien energiantuotantokattiloiden mukaan. Raskaan ja kevyen polttoöljyn hankinnan osalta tietolähteenä käytettiin Bakkanen ym. tutkimusta (1994) ja Nesteeltä saatuja tietoja (Fortum Oil & Gas 2002a ja 2002b). Kivihiilen ja maakaasun hankintaketjun osalta käytettiin SEEP-hankkeessa kerättyjä tietoja (Virtanen ym. 1996).

Kaikki oleelliset järjestelmärajojen sisällä tapahtuvat kuljetukset sisällytettiin mukaan, lukuun ottamatta kuluttajan tekemää kauppamatkaa. Myös kaikki kuljetuksiin liittyvät paluukuljetukset, kuten lavojen ja konttien palautustoitukset huomioitiin kuljetuslaskelmissa. Kohdassa 4.7 mainittujen pakkausten lisäksi valmistusketjut selvitettiin pääsääntöisesti myös muista pakkauksista, kuten tilojen käyttämien panosten pakkausten osalta.

5 Inventaarioanalyysin tulokset

Inventaarioanalyysissä selvitettiin juuston tuotantoketjun perusvirrat eli syötteet ja tuotokset, tuotannosta aiheutuvat päästöt ja niiden määrät toiminnallista yksikköä, 1000 kiloa juustoa kohden. Inventaarioanalyysin tuloksia voidaan käyttää sellaisenaan tutkitun tuotantoketjun ympäristökuormituksesta ja parantamiskohteista. Inventaariovaiheen tulokset sisältävät tuotantoketjun eri päästöjen kokonaismäärät sekä niiden jakaantumisen ketjun eri vaiheisiin. Tuloksia ei voida suoraan soveltaa muiden vastaavien tuotantoketjujen arviointiin.

Vaikutusarvioinnin tulokset tukevat inventaariovaiheen tuloksia. Vaikutusarvioinnissa lasketaan yhteen ekvivalenttikertoimien avulla samaan vaikutusluokkaan kuuluvat päästöt, ts. vaikutusarvioinnilla saadaan laskettua esimerkiksi rehevöittävien typpi- ja fosforikuormitusten yhteispotentiaali rehevöitymiseen.

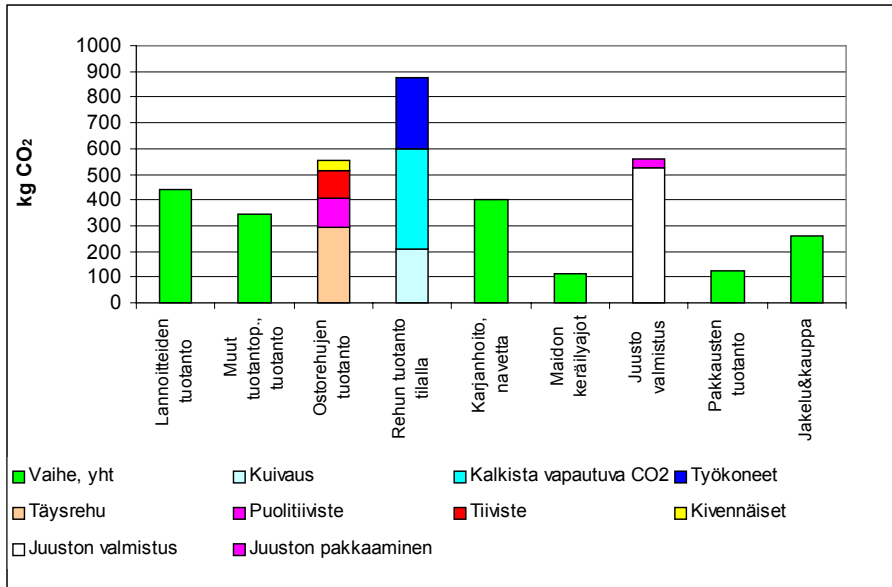
Tuloskuivissa esitellään tulokset jaettuina seuraaviin vaiheisiin: maitotiloilla käytettyjen lannoitteiden ja muiden panosten tuotanto, ostorehujen tuotantoketju (panostuotannosta valmiiksi väkirehuiksi), rehun viljely ja tuotanto maitotiloilla, karjanruokinta ja -hoito (navetta), maidon keruu tiloilta ja kuljetus juustolaan, juuston valmistus maidosta ja pakkaaminen, juustopakkausten tuotanto (kuluttaja-, ryhmä- ja kuljetuspakkaukset) ja tuotteiden siirto- ja jakelulogistiikka sekä kaupan kylmäsäilytys. Esimerkiksi panosten pakkausten valmistus ja kuljettaminen sisältyvät panostuotantoon, ja polttoaineiden hankinta ja valmistus polttoaineiden käyttökohteiden alle.

Juustotonnin tuottamiseen tarvittiin tutkitussa järjestelmässä viljelypinta-alaa yhteensä n. 2,6 hehtaaria, josta maitotilan ala oli reilut 2,1 hehtaaria. Todellinen tilan tarvitsema pinta-ala oli jonkin verran suurempi, mutta osa siitä allokoitiin lehmästä saataville muille tuotteille.

5.1 Hiilidioksidi

Juuston tuotantoketjussa, 1000 kg juustoa kohden tarkasteltuna, syntyi kokonaisuudessaan hiilidioksidipäästöjä 3670 kg. Huomattava osa juuston tuotantoketjun hiilidioksidipäästöistä syntyi alkutuotannossa sekä maitotilan että ostorehujen tuotannossa ja navetan energian käytöstä. Rehun tuotannossa hiilidioksidipäästöjä aiheutui työkoneiden käytöstä, viljan kuivaamisessa käytettävästä energiasta sekä kalkin käytön seurauksena neutralointiprosessissa vapautuvana hiilidioksidina.

Maatilalla tuotetun rehun hiilidioksidipäästöt olivat tässä tarkastelussa kokonaisuutena suuremmat kuin ostorehujen hiilidioksidipäästöt. On huomioitava, että tarkastellussa systeemissä ruokintaan käytetyistä rehuista pääosa tuotettiin omalla tilalla. Ostorehujen ja tilalla tuotettujen rehujen hiilidioksidipäästöt kuvassa 6 eivät ole rehuysikköä kohden vertailukelpoisia, koska määrällisesti suurin osa rehuista oli maitotiloilla tuotettua rehua. Lisäksi ostorehujen CO₂-päästöissä on mukana koko tuotantoketju, kuten lannoitteiden tuotannosta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt. Tilalla tuotettavien rehujen viljelyssä käytettyjen lannoitteiden ja muiden tuotantopanosten valmistuksen hiilidioksidimäärät on eritelty. Ostorehujen tuotannosta aiheutuvat CO₂ -päästöt aiheutuivat samoista rehun tuotantoprosesseista kuin maatiloilla sekä rehuraaka-aineiden kuljetuksista ja jalostuksesta tiivisteiksi, puolitiivisteiksi ja täysrehuiksi. Teollisten rehujen tuotannossa osa raaka-aineista oli peräisin teollisuuden sivuvirroista, joille ei allokoitu hiilidioksidipäästöjä, mutta toisaalta ostorehujä rasittavat jonkin verran rehujen kuljetukset.



Kuva 6. Emmental Sinileima juuston hiilidioksidipäästöt tuotantoketjun eri vaiheissa 1 000 kg juustoa kohden laskettuna. Yhteensä 3670 kg.

Maitotiloilla tuotettavan rehun hiilidioksidipäästöistä suuri osa oli kalkituksen seurauksena vapautuvaa hiilidioksidia. Myös maitotilojen rehun tuotannossa tarvittavien tuotantopanosten valmistuksesta aiheutuvat CO₂-päästöt olivat kuvan 6 mukaisesti suhteellisen suuret. Esimerkiksi lannoitteiden tuotantoketjusta aiheutui enemmän CO₂-päästöjä kuin maitotilojen työkoneiden käytöstä rehujen viljelyssä. Muiden tuotantopanosten osalta suurin yksittäinen tekijä oli nurmirehun säilöntäaineiden valmistus, osuuden ollessa samaa suuruusluokkaa kuin viljan kuivauksesta aiheutui. Säilörehun tuotannossa käytettävien paalimuovien tuotannon CO₂-päästöt olivat noin 75 % juustopakkaamisen tuotannon CO₂-päästöistä.

Juuston valmistuksen hiilidioksidipäästöt aiheutuivat pääosin raskaalla polttoaineella tuotettavan höyryn käytöstä juuston valmistuksessa. Siihen on sisällytetty maidon käsittely ja jalostusprosessit, ei heran käsittelyn prosesseja kuten haihduttamista. Juuston valmistuksen hiilidioksidipäästöt olisivat tutkitussa tapauksessa noin 30 % suuremmat, mikäli heran haihdutus kohdennettaisiin juuston tuotannolle. Heran haihduttaminen oli yksi tuotantolaitoksen suurimmista energian kulutuskohteista. Heran haihdutus on osa herasta valmistettavien tuotteiden tuotantoketjua ja tästä johtuen haihdutuksen energiankulutus kohdennettiin heratuotteille. Vastaavasti tuotantolaitoksella syntyvälle kermalle, muualla jatkojalostettavaksi tarkoitetuiksi tuotteiksi, kohdennettiin energiankulutuksesta ja hiilidioksidipäästöistä osuus tuotteiden kuiva-ainepitoisuuksien perusteella.

Maidon keräilyajojen CO₂-päästöt olivat samaa suuruusluokkaa kuin kuluttaja- ja tukkupaljauksien tuotannosta aiheutuvat CO₂-päästöt, mutta suuremmat kuin mitä juustojen valtakunnallisesta jakelulogistiikasta aiheutui. Kuvassa 3 jakelun ja kaupan hiilidioksidipäästöihin sisältyvät juuston siirto Toholammilta Vantaan tuotantolaitokselle, paloitetujen ja kuluttajapakattujen juustojen valtakunnallinen jakelu sekä juuston säilyttäminen kaupan kylmähylykössä, jälkimmäisen suhteellisen osuuden ollessa hiilidioksidipäästöistä suurin. Yhteenlasketuista kuljetuksista, juuston siirtokuljetus Vantaalle ja valtakunnallinen jakelulogistiikka, siirto-osuuden ja siihen liittyvien kuljetuskonttien paluukuljetusten osuus oli noin 35 %. Kuljetuskaluston jäähdytystarpeen aiheuttamat CO₂-lisäpäästöt havaittiin suhteellisen pieniksi.

Kaupan kylmähylykkösäilyttämisen teoreettinen energiankulutus laskettiin Emmental juuston hyllymetrien käytön ja läpivirtauksen perusteella tuoteyksiköille. Energiankulutustiedot olivat yhdensuuntaisia muutamissa kaupoissa aiemmin mitattujen kylmälaitteiden kulutustietojen kanssa. Tuoteyksiköille kohdennettu energiankulutus oli jonkin verran suurempi, kuin mitä vastaavan tyyppisissä tutkimuksissa on aiemmin esitetty, joskin kaupan prosessien sisällyttäminen elinkaaritutkimuksiin on aiemmin kansainvälisestikin ollut heikkoa. Kylmälaitteet ovat kehittyneet vähemmän sähköä kuluttaviksi, mm. kalusteita, säätöjärjestelmiä ja kylmäkoneistoja kehittämällä sekä lisäämällä tietotaitoa laitteiden asennuksessa, käyttöönnotossa, säädössä ja huollossa, vaikka lämpötilavaatimukset ovat kiristyneet. Saatu tulos viittaisi siihen, että tutkimuksissa ei olisi aiemmin riittävän hyvin huomioitu kylmälaitteiden energiankulutusta tuotekohtaisten todellisten läpivirtaus- tai mitoitus-tietojen perusteella. Tuotekohtaisen energiankulutuksen kannalta tuotteiden vaihtuvuus tai läpivirtaus on merkittävä tekijä.

Monikerrosmuovikalvoista valmistetun kuluttajapakkausten tuotannon CO₂-päästöt ovat noin 73 kg ja aaltopahvisen tukkupaljauksen 42 kg. Juuston kypsytyks- ja säilytyskelmujen sekä kuljetuspakkausten osuus on selvästi näitä pienempi.

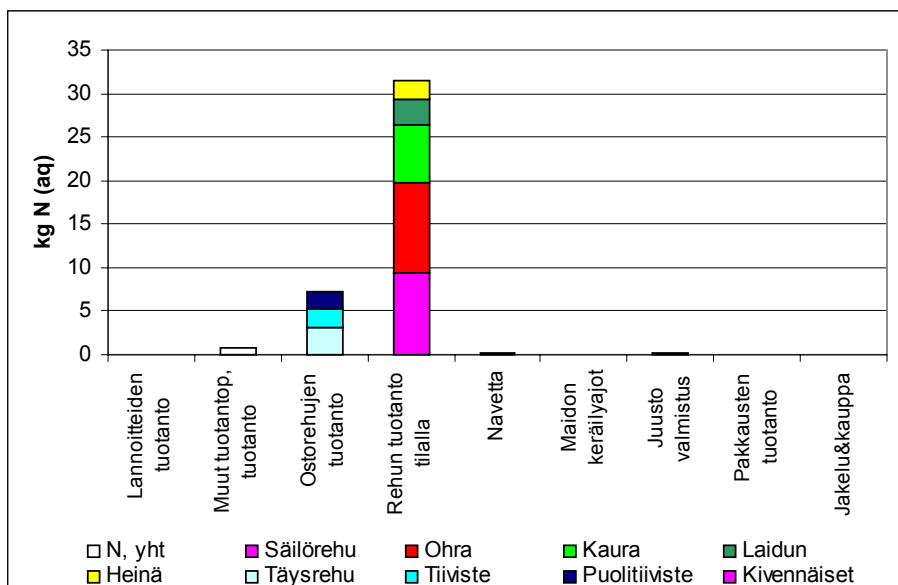
Juuston tuotannon hiilidioksidipäästöjen suuruusluokan hahmottamiseksi todettakoon, että yhden litran dieselpolttoaineen kulutus tuottaa 2,7 kg hiilidioksidia ilmakehään. Polttoainelitrin hankinnasta ja jalostuksesta aiheutuu noin 170 g hiilidioksidipäästöjä. Yhden dieselöljylitran käyttäminen tuottaa hiilidioksidia kokonaisuudessaan siis noin 2,9 kg. Bensiinikäyttöisellä henkilöautolla käytön aikainen hiilidioksidipäästö on 2,35...2,38 kg/l, ja hankinnasta ja jalostuksesta aiheutuu noin 300 g CO₂/l, yhteensä noin 2,7 kg/l (Fortum Oil and Gas 2002c, 2002d ja 2002e). Polttoaineenkulutuksella 8 l/100 km kilon Emmental juuston tuotannon CO₂-päästöt vastaisivat noin 17 km ajomatkaa. Autoilun hiilidioksidipäästöjen käyttämiseen vertailukohtana tulee suhtautua varauksin, koska polttoaineen kulutus ja päästöt riippuvat hyvin paljon esimerkiksi ajotavasta. Tämän kaltaisten vertailujen esittämistä on tarkasteltu tarkemmin Katajajuuren ym. (2003) raportissa.

5.2 Typpi- ja fosforikuormitukset

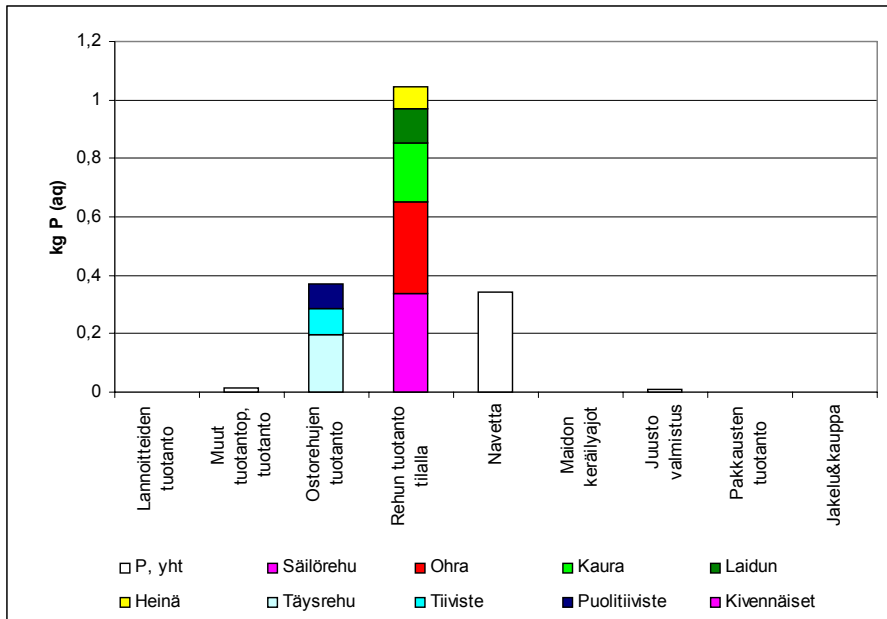
Suhteellisesti suurin vesistöjen typpikuormitus (Kuva 7) tuotantoketjussa aiheutui rehujen tuotannosta maitotiloilla, jossa suurin osa rehuista tuotetaan. Maitotilan typpikuormitus oli lähes 80 % tuotantoketjun typpikuormituksesta. Vajaat 20 % typpikuormituksesta aiheutui ostorehujen tuotannosta, käytännössä kokonaan niiden raaka-aineiden viljelystä. Säilörehun ja ohran suhteellisen suuri osuus johtui näiden suuresta osuudesta ruokinnassa. Soijan huuhtoumat arvioitiin kirjallisuustietojen pohjalta, ja sen osuus oli yli puolet sekä tiivisteiden että puolitiivisteiden typpikuormituksesta. Täysrehujen typpikuormituksesta suurin osa oli peräisin rypsin ja soijan viljelystä. Huuhtoumalaskelmien taustalla olevat tilakohtaiset ravinnetaseet on esitetty taulukossa 4.

Teollisten tuotantoprosessien typpikuormitus koko tuotantoketjussa oli suhteellisen pieni verrattuna alkutuotannon typpikuormitukseen. Tuotantolaitoksilla on tehokkaat jätevesien puhdistusmenetelmät, joiden avulla jätevesien ravinteista pystytään poistamaan suurin osa.

Juustoketjun muiden vaiheiden suhteellinen osuus typpikuormituksesta on pieni. Koska maitotilan oma rehuntuotanto on pääasiainen ravinnekuormituslähde maitoketjussa, ravinnekuormituksen vähentämisessä yksi parhaista



Kuva 7. Emmental Sinileima juuston typpipäästöt (N) tuotantoketjun eri vaiheissa 1 000 kg juustoa kohden laskettuna. Yhteensä 40 kg.

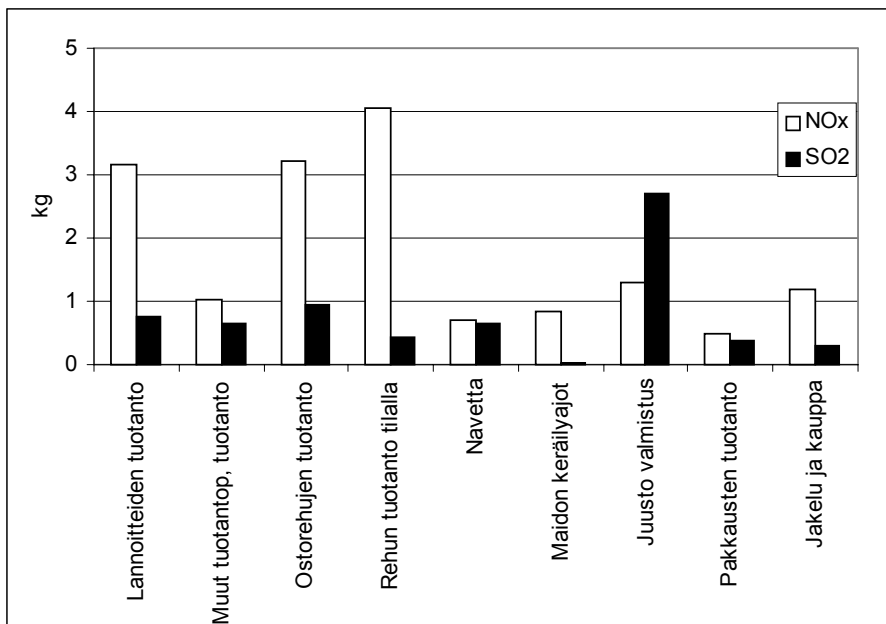


Kuva 8. Emmental Sinileima juuston fosforipäästöt (P) tuotantoketjun eri vaiheissa 1 000 kg juustoa kohden laskettuna. Yhteensä 1,8 kg.

käytännön toimenpiteitä olisi ravinteiden hyväksikäytön parantaminen maitotiloilla.

Koska suurin osa Suomen järvistä on fosforirajoitteisia, fosforia pidetään ongelmallisimpana rehevöittävästä ravinteesta Suomen järvissä. Juuston tuotantoketjussa suurin rehevöittävä fosforikuormitus (Kuva 8) muodostui maitotiloilla rehun viljelystä. Suuri osa fosforista huuhtoutuu vesistöön erodoituvan maa-aineksien mukana. Pinta-alan lisääntyessä myös fosforihuuhtoumat nousevat, koska eroosiolle altistuva pinta-ala kasvaa. Tällöin veden mukana kulkeutuviin maapartikkeleihin sitoutunut fosfori huuhtoutuu maa-aineksien mukana vesistöihin. Fosforikuormituksen vähentämisen kannalta tuotekohtaisesti tarkasteltaessa olisi tehokkainta tuottaa pienellä alalla suurempia satoja fosforilannoitusta lisäämättä.

Rehevöittävä fosforikuormitus navetasta on juuston muuhun tuotantoketjuun verrattuna suhteellisesti suurempi kuin navetan typpikuormitus suhteessa koko tuotantoketjun typpikuormitukseen. Navetasta viemäriin menevästä fosforista 90 % on peräisin lypsykoneen ja maitosäiliöiden pesussa käytetyistä fosfaatteja sisältävistä pesuaineista, typpi on peräisin pääosin maidosta. Maitojuonejätevesien fosforikuormituksen on laskettu olevan samaa suuruusluokkaa kuin valtakunnallinen fosforikuorma yhdyskuntien jätevesistä, eli jätevedenpuhdistamoissa puhdistettujen vesien sisältämä jäännösfosfori



Kuva 9. Emmental Sinileima juuston typen oksidi (NO_x) ja rikki (SO₂) –päästöt tuotantoketjun eri vaiheissa 1 000 kg juustoa kohden laskettuna. Yhteensä 22,8 kg.

vesistöihin (Kallio & Santala 2002). Maitotilojen määrän vähenemisen ja maitojuonejätevesien käsittelymenetelmien käyttöönoton seurauksena tilanne on lähivuosina nopeasti paranemassa. (Aaro Närvänen, 2002, tiedonanto). Maitojuoneiden jätevesien ravinnemäärät vaihtelevat paljon riippuen käytetyistä pesuaineista ja onko kyseessä parsi- vai pihattonavetta. Näin ollen maitojuoneiden jätevesikuormituksen muodostuminen ei ole lineaarista maitolitran kohden. Maitojuonejätevesistä aiheutuva kuormitus voi suuressa yksikössä olla kymmeniä prosentteja pienempi yhtä maitolitran kohden. Suurin tekijä maitojuoneiden jätevesikuormituksen vähentämisessä on kuitenkin niiden asianmukainen käsittely yksikön koosta riippumatta. Jatkossa maitojuoneiden jätevesien käsittelyn tiedot tulisikin kerätä tosiasiallisesti tiloilta.

5.3 Muut päästöt

Juuston tuotantoketjussa suhteellisesti suurimmat typenoksidipäästöt (NO_x) aiheutuivat rehun tuotannosta tiloilla sekä ostorehujen ja lannoitteiden tuotantoketjuista (kuva 9). Maitotiloilla suurin osa NO_x-päästöistä aiheutui työkonien käytöstä rehujen viljelyssä. Lisäksi NO_x-päästöjä aiheutui tilalla kuivaukseen tarvittavan polttoaineen käytöstä ja navetassa tarvittavan sähkön tuotannosta. Ostorehujen tuotantoketjussa eniten NO_x-päästöjä aiheutui soijan kuljetuksesta valtameren yli Suomeen. Myös ostorehuketjuissa työkonien osuus ja lannoitteiden valmistusketju aiheuttivat suhteellisen suuria NO_x-päästöjä kuten edellä maitotilan osalta kuvattiin.

Ketjun loppuosasta juuston valmistuksesta aiheutui suhteellisesti eniten NO_x-päästöjä. Tilan muun panostuotannon NO_x-päästöt olivat lähes yhtä suuret kuin juuston valmistuksesta. Muun panostuotannon suhteellisesti suurimmat NO_x-lähteet olivat rehujen säilöntäaineiden ja paalimuovien valmistusketjut. Maidon keräilyajojen NO_x-päästöt olivat samaa suuruusluokkaa kuin tuotteiden valtakunnallisen jakelulogistiikan, kun siihen oli sisällytetty myös siirtokuljetus Toholammilta Vantaan tuotantolaitokselle.

Merkittävin rikkidioksidipäästöjen (SO₂) aiheuttaja tuotantoketjussa oli juuston valmistusprosessissa käytettävän höyryn tuottaminen raskaalla polttoöljyllä. Ostorehuketjujen rikkidioksidipäästöjen osuus oli samaa suuruusluokkaa kuin tilan omien rehujen tuotannosta aiheutui. Ostorehuketjussa SO₂-päästöjä aiheutui suhteellisen paljon soijan laivakuljetuksesta valtameren yli Suomeen.

Tuotantoketjun muista ympäristöindikaattoreista esimerkiksi biokemiallinen hapenkulutus (BOD) kuvaa sitä liuenneen hapen määrää, joka kuluu jäteveden sisältämän helposti hajoavien orgaanisten aineiden hapettamiseen. Orgaanista ainesta pääsee tutkitun tuotantoketjun osalta vesistöihin mm. teollisuuden jätevesien mukana, esimerkiksi juuston tuotantolaitokselta, kuitupohjaisten pakkausten valmistuksesta sekä maito huoneista ja pelloilta. Peltoviljelyn osalta BOD-indikaattoria ei ole perinteisesti määritetty, ei niitä saatu tänäkään tutkimukseen käyttöön. Näin ollen vajavaisia tuloksia ketjun muiden osien BOD-indikaattoreista ei tässä esitetä. Todettakoon kuitenkin, että maito huoneiden jäteveden orgaaninen aines, noin 230-1700 mg/l, on lähinnä peräisin maidosta. Puhtaan maidon orgaanisen aineksen määrä on huomattava, biologisena hapenkulutuksena ilmaistuna noin 120 000 mg/l. Maitoa joutuu lypsylaitteiden pesun yhteydessä jäteveeseen normaalisti noin 2 litraa päivässä (Kallio & Santala 2002). Tämä tarkoittaisi maito huoneiden osalta biokemiallisena hapenkulutuksena noin 2,6 kg/lehmä/v olettaen että puolet jätevesistä ohjattaisiin asianmukaiseen käsittelyyn. Juuston tuotantoketjun osalta esimerkiksi juustolasta ja kuitupohjaisten pakkausten valmistuksesta aiheutuvista jätevesistä (puhdistuksen jälkeen) aiheutuva BOD-kuormitus on suhteellisen pientä maito huoneen jäteveden BOD-kuormitukseen suhteutettuna.

Systemin tuottamat sivuvirrat ja kiinteät jätteet

Tarkastellusta juuston tuotannon järjestelmästä syntyi juustotonnin ohella noin 470 kg kermää ja noin 13 000 kg herää, joka kuivataan ja kuljetetaan jatkojalostettavaksi. Tuotannosta kermalle kohdentuvat kuormitukset on huomioitu laskelmissa, joten lähinnä hera on juuston tuotantoketjelmästä syntyvä sivutuote.

Ketjussa syntyy kaatopaikalle päätyvää muovia reilut 16 kiloa, joka on valtaosin kuluttajilta kaatopaikalle päätyviä juustopakkauksia. Noin 10 kiloa

muovia ja pahveja päätyy teollisuudesta erilaisiin hyötykäyttötarkoituksiin, kuten massan valmistukseen ja energiahyötykäyttöön. Paperin/kartongin osalta luku ei sisällä esimerkiksi kaupoista kerättäviä aaltopahveja, koska ne on huomioitu oletusarvoisesti jo FEFCO:n avustuksella saatujen aaltopahvien valmistuksen raaka-aineena. Myös tuotteiden jakelulogistiikassa syntyy jonkin verran kiinteitä jätteitä, pakkauksia ja tuotehävikkiä.

Esimerkiksi lannoitteiden ja kalkin tuotantoketjussa syntyy useita sivuvirtoja, kuten sivukiveä, joiden tarkkoja määriä ei ole systeemistä arvioitu. Lähtöajatuksena kaikkien edellä mainittujen sivuvirtojen osalta oli, että ne ovat "ilmaisia" ympäristökuormituksiltaan niitä hyödyntäville muille tuotejärjestelmille. Kaikki niiden tuottamisesta syntyvät ympäristökuormitukset kohdennettiin tutkittavalle tuotejärjestelmälle.

6 Vaikutusarvioinnin tulokset

Tässä tutkimuksessa keskityttiin kvantitatiivisesti määritettävissä oleviin vaikutusluokkiin, ilmastonmuutokseen, happamoitumiseen ja rehevöitymiseen. Näitä vaikutusluokkia käytetään tyypillisesti elinkaariarvioinneissa ja niiden arviointiperusteet ovat parhaiten tieteellisesti perusteltavissa. Luonnon monimuotoisuutta voidaan myös pitää alkutuotannon osalta yhtenä merkittävänä ympäristövaikutusluokkana, koska maataloudessa siihen voidaan vaikuttaa. Monimuotoisuuden vähenemisen poisjättäminen johtuu yksinkertaisesti luonnon monimuotoisuuden arviointimenetelmien kehittymättömyydestä sekä tarvittavan lähtötiedon puuttumisesta. Menetelmien kehittymättömyys koskee myös ekotoksisuutta, minkä takia tätäkään vaikutusluokkaa ei esitetä vaikutusarviointimallissa.

Varsinainen vaikutusarviointilaskenta alkaa muuttamalla kuormitustekijöiden arvot yhteismitallisiksi kussakin vaikutusluokassa. Tässä ns. karakterisoinnissa eli luonnehdinnassa lasketaan karakterisointikertoimien avulla tuotteen potentiaalisesti aiheuttama kokonaisvaikutus kussakin vaikutusluokassa. Esimerkiksi ilmastonmuutoksen yhteydessä eri kasvihuonekaasupäästöt pystytään ilmaisemaan ilmaston lämpenemistä kuvaavan vaikutuspotentiaalikertoimen (Global Warming Potential, GWP) avulla CO₂-ekvivalenttimäärinä. Karakterisointikertoimet perustuvat elinkaariarvioinneissa sovellettaviin ns. ekvivalenttikertoimiin, joita määrättäessä otettiin huomioon nykytietämys eri tekijöiden merkityksestä kulloiseenkin vaikutusluokkaan. Kertoimet eivät kuitenkaan ota huomioon kuormitustekijöiden vaikutusalueiden (maaseutu/kaupunki) ympäristöolosuhteiden kaikkia eroja, joilla voi olla suurikin merkitys kuormitustekijöiden aiheuttamien vaikutusten suuruuteen. Toisaalta näiden tekijöiden huomiointi voisi tehdä elinkaariarvioinnista liian raskaan suhteessa tarkentuneiden tulosten tuomiin hyötyihin.

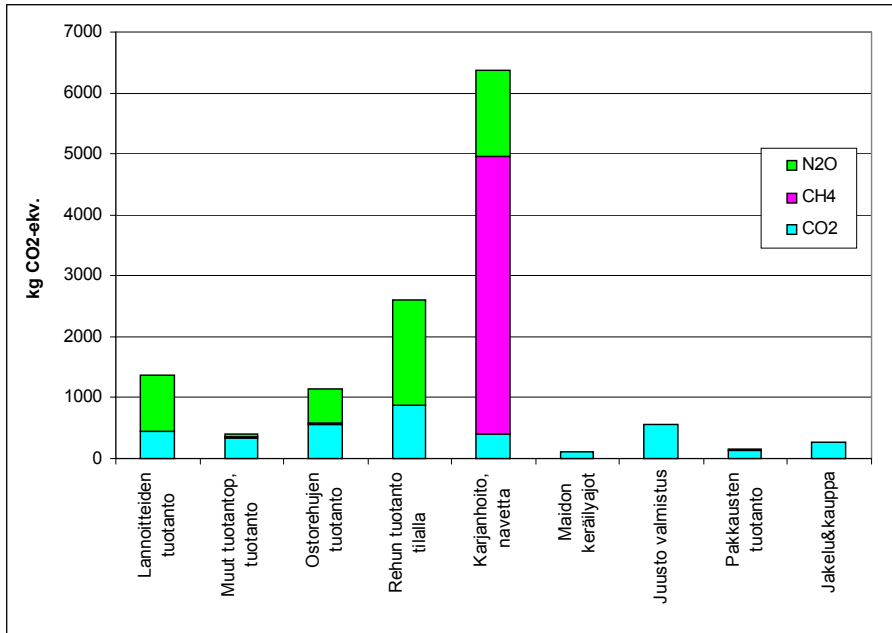
6.1 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutos on keskeisimpiä maailmanlaajuisia ympäristöongelmia. Ilmastonmuutoksen pelätään aiheuttavan merkittäviä muutoksia ympäristössä ja vaarantavan tulevaisuudessa ihmisen toiminta- ja elinmahdollisuuksia. Lämpimillä alueilla, kuten välimeren ja päiväntasaajan seudulla lisääntyvä haihtuminen vähentää entisestään vesivaroja. Keinokastelusta johtuvan suo-laantumisen tai suoranaisten vesivarantojen vähenemisen kautta syntyvät ravinnontuotannon ongelmat voivat johtaa konflikteihin. Ilmastonmuutoksella oletetaan olevan vaikutusta myös muihin luonnonilmiöihin, kuten myrskyjen lisääntymiseen.

Suomessa ilmastonmuutos voi mahdollisen lämpenemisen ja lisääntyvän hiilidioksidipitoisuuden johdosta lisätä kasvien kasvukautta ja siten sato-tasoja. Toisaalta se voi aiheuttaa sateita, jotka mm. estävät sadonkorjuun. Myös hallat ja erityisesti tuhoeläimet voivat lisääntyä ilmaston muutosten vaikutuksesta. On mahdollista, että ilmastonmuutoksen johdosta Golf-virta heikkenee. Tämä aiheuttaisi ilmaston viilenemisen Suomen alueella. Koska on mahdollista, että ilmastonmuutos aikaansaa hyvinkin suuria globaaleja ongelmia, valtiot ovat sopineet ilmastonmuutoskaasujen vähentämisestä. Tämä heijastuu erilaisina vaatimuksina, kuten parhaan mahdollisen käyttökelpoisen teknologian (BAT) käyttövaatimuksena ympäristölupaa haettaessa.

Arvioitaessa ihmisen toiminnasta aiheutuvia ympäristövaikutuksia, otetaan yleensä huomioon vain ns. suorat kasvihuonekaasupäästöt eli hiilidioksidi (CO_2), typpioksiduuli (N_2O), metaani (CH_4) ja halogeeniyhdisteet. Tutkimuksessa ilmastonmuutokseen liittyviä kysymyksiä arvioitiin ilmaston lämpenemispotentiaalin (GWP) avulla. GWP:n avulla voidaan arvioida myös eri kasvihuonekaasujen keskinäistä merkitystä. Käytetyt CO_2 -ekvivalentit olivat metaanille 23 ja typpioksiduulille 296 tarkasteltaessa 100 vuoden aikajännettä (IPCC 2001).

Juuston tuotantoketjun ilmastonmuutospotentiaalista (Kuva 10) suurin osuus aiheutui alkutuotannosta. Suhteellisesti suurin osuus oli eläinten ruuansulatuksesta aiheutuvalla metaanilla. Kuvassa 10 esitettyjä metaanipäästöjä aiheutui jonkin verran myös lannan varastoinnissa ja käsittelyssä. Eläinten ruuansulatuksessa vapautuvan metaanin määrään on vaikea vaikuttaa. Tuloksia tulkittaessa on huomioitava, että juuston raaka-aineen, maidon, tuottamiseksi on kasvatettava tuotantoeläintä syntymästä lähtien ja metaanipäästöjä kertyy myös kasvatuksen aikana. Energian kulutuksen kautta kaikissa vaiheissa syntyy hiilidioksidia, joka on yleisin ilmastonmuutoskaasu, joskaan juuston tuotannon kannalta se ollutkaan suhteellisesti niin suuri kuin metaani ja typpioksiduuli, vaan sen osuus oli yhteensä noin 28 % ilmaston lämpenemisestä.



Kuva 10. Sinileima Emmental juuston ilmastomuutospotentiaali 100 vuoden aikajänteellä 1 000 kg juustoa kohden tuotantoketjun eri vaiheissa. Hiilidioksidiekvivalenteina laskettuna yhteensä 12 973 kg CO₂.

Maitotilan metaanipäästöjen jälkeen suhteellisesti suurimmat kasviuonekaasupäästöt aiheutuivat rehun tuotannosta maitotiloilla ja väkirehujen raaka-aineiden tuotantotiloilla. Tähän vaikuttivat lannoitteista ja lannasta vapautuvat typpioksiduulipäästöt (N₂O) sekä hiilidioksidipäästöt, joita aiheutui viljan kuivaamisesta, työkoneista ja kalkituksesta. Ketjun kehittämisessä huomion kiinnittäminen typpioksiduulipäästöihin ei nykytietämyksen valossa ole relevanttia, koska viljelijän vaikutusmahdollisuudet N₂O-päästöjen vähentämiseksi ovat rajalliset. Fossiilisista polttoaineista aiheutuvien hiilidioksidipäästöjen vähentäminen koko juuston tuotantoketjussa on realistisemmin toteutettavissa.

Tulosten epävarmuus painottui pelloilta vapautuviin typpioksiduulipäästöihin. Näiden osalta ei ole riittävästi Suomen olosuhteissa tehtyjä mittauksia (Kristiina Regina, tiedonanto). Lähtötietoina onkin käytetty kansainvälisiä keskiarvoja (IPCC 1997). Vaikka lähdettä voidaan pitää luotettavimpana, näiden päästöjen kohdalla vaihtelut ja virhemarginaalit voivat olla suuria mm. sulamis- ja jäätymisolosuhteista johtuen. Typpioksiduuliin liittyvät kysymykset tarkentuvat lähivuosina, kun Suomen olosuhteissa tehtyjä mittaustuloksia on käytettävissä riittävästi.

Esimerkinomaisesti todettakoon että yhden *Emmental Sinileima* juustokilon tuotannon kasviuonekaasupäästöt vastaavat noin 60 kilometrin henkilöautolla ajoa, kun bensiinin kulutukseksi oletettiin 8 l/100 km. Autoilun hiilidi-

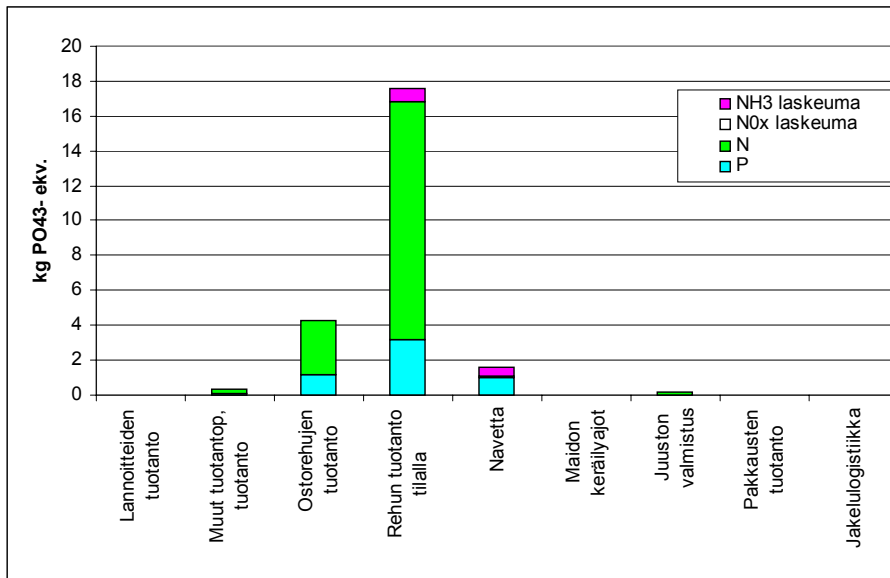
oksidipäästöjen käyttämiseen vertailukohtana tulee suhtautua varauksin, koska polttoaineen kulutus ja päästöt riippuvat hyvin paljon esimerkiksi ajotavasta. Polttoaineen kulutus ei myöskään kuvaa mm. rehevöittävien päästöjen vaikutusta.

6.2 Rehevöityminen

Veden rehevöitymisellä tarkoitetaan vesiekosysteemin häiriintymisestä johtuvaa veden eliöstön lisääntynyttä kasvunopeutta. Peruskriteerinä pidetään kasviplanktonin ja korkeampien vesikasvien lisääntynyttä tuotantoa (mitattuna tavallisimmin veden a-klorofyllipitoisuutena). Vesistöjen rehevöitymistä aiheuttavat pääasiassa fosfori (P)- ja typpikuormitukset (N). Rehevöitymistä aiheuttaa myös ilmapäästöistä veteen laskeutuva typpi, mutta sen merkitys Suomessa on hyvin pieni. Hidas rehevöityminen koskettaa lähes kaikkia vesialueita. Leväkukinnat ja ajoittainen happikato vaivaavat etenkin Itämeren. Typen ja fosforin pistekuormitus väheni 1990-luvulla, mutta etenkin mm. maataloudesta ja haja-asutuksesta aiheutuvaa hajakuormitusta pidetään edelleen liian suurena, mikä näkyy mm. näihin toimiin liittyvien ohjaustoimien, erityisesti ympäristölainsäädännön kiristymisenä.

Typpi ja fosfori ovat rehevöittäviä yhdisteitä liukoisessa muodossaan. Myös osa kiintoainekseen sitoutuneesta fosforista on leville käyttökelpoista. Rehevöitymistä tarkastellaan tässä tutkimuksessa pääosin vesiekosysteemin kannalta, koska maaekosysteemien rehevöitymisen oletetaan olevan Pohjois-Euroopassa, ml. Suomessa, vähäinen ongelma (Seppälä 1997). Vesiekosysteemeissä ravinteiden lisääntynyt määrä johtaa kasvimassan lisääntymiseen. Kasvimassa hajottamiseksi tarvitaan happea. Tätä hapen kulutusta voidaan pitää yhtenä rehevöittämistä kuvaavana indikaattorina. Rehevöitymistä tarkasteltiin Suomen ympäristökeskuksessa Suomen olosuhteisiin kehitetyn DAIA –menetelmän avulla (Seppälä 1997). Menetelmässä rehevöittävät päästöt suhteutetaan PO_4^{3-} ekvivalentin avulla. Tulokset on esitetty niin, että ne sisältävät vain kasveille käyttökelpoisessa muodossa olevat ravinteet.

Juustoketjussa huomattavimmat rehevöittävät kuormitukset syntyvät rehujen viljelyssä maitotiloilla (Kuva 11). On kuitenkin huomioitava, että suurin osa rehuista (80 %) tuotetaan tarkasteltavassa tuotantoketussa maitotilalla. Kyselytutkimuksesta saatujen tietojen perusteella maitotiloilla viljojen satotasot



Kuva 11. Emmental Sinileima juuston rehevöitymispotentiaali 1 000 kg juustoa kohden tuotantoketjun eri vaiheissa. Fosfaattiekvivalentina (PO_4^{3-}) yhteensä 24 kg.

jäivät keskimääräistä alhaisemmiksi, vaikka lannoitteita käytettiinkin tuotantoketjun mukainen maksimimäärä. Tällöin pellolle jää typpi- ja fosforiylijäämää, josta osa huuhtoutuu vesistöihin aiheuttaen rehevöitymistä.

Ostorehujen raaka-aineet tuotetaan viljailuilla, joilla peltotoimenpiteisiin kiinnitetään enemmän huomiota ja satotasot ovat korkeampia, tämän seurauksena ravinnetaseiden ylijäämät jäävät pienemmiksi ja huuhtoumariski vähenee. Useimmiten viljailut sijaitsevat Lounais-Suomessa, jossa kasvukausi on hieman pidempi, jolloin jo kasvuolosuhteista johtuen sadot ovat suurempia.

Rehujen viljelyn lisäksi vesistöjen rehevöitymiseen vaikuttavaa kuormitusta aiheutuu navetan maitohuonejätevesien fosforista ja haihtuvasta ammoniakista. Kuvassa navettavaiheeseen on sisällytetty karjasuojassa ja lannan varastoinnissa muodostuvat ammoniakkipäästöt, joita muodostuu karjasuojassa (26 %), lannan varastoinnissa (39 %). Loput ammoniakkipäästöt, joita syntyy lannan levityksessä ja laidunnuksessa, on sisällytetty rehujen tuotantoon. Maitohuonevesien fosforikuormituksesta suurin osa on peräisin maitohuoneissa käytetyistä fosforipitoisista pesuaineista.

6.3 Happamoituminen

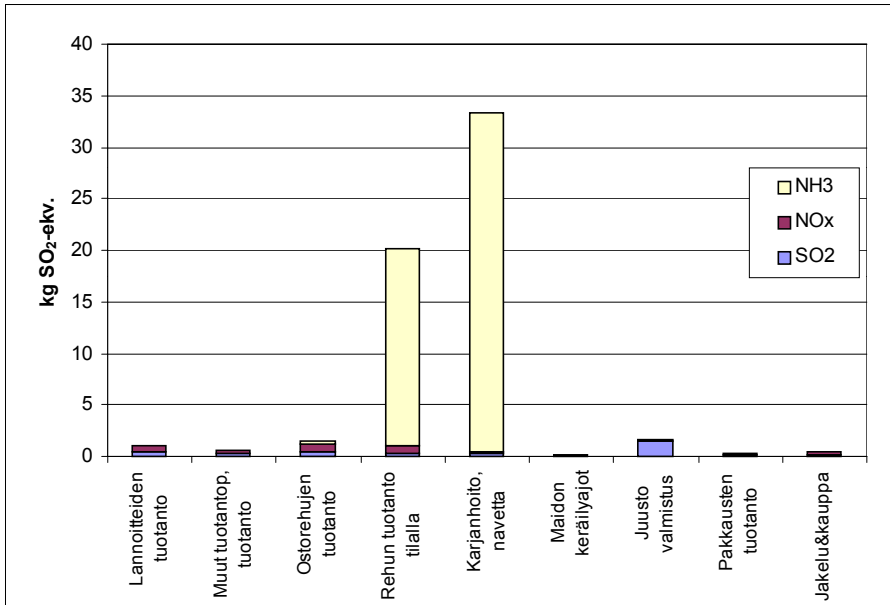
Happamoitumisella tarkoitetaan luonnon vastustuskyvyn heikkenemistä happamoittavaa laskeumaa vastaan. Kullakin alueella on sille ominainen kyky vastustaa happamoittavaa laskeumaa (ts. neutraloida vetyioneja). Tärkeimmät, tutkimuksessa käytetyt, happamoitumista aiheuttavat päästökemikaalit ovat rikkidioksidi (SO_2), ammoniakki (NH_3) ja typen oksidit (NO_x). Kymmenesosa Suomen vesistöistä on happamoituneita tai vaarassa happamoitua. Happamoittavat päästöt ja laskeuma vähenivät 1990-luvulla, eikä luonnon sietokyky enää ylity yhtä laajasti kuin ennen. Jotkut happamoitumisen vaurioittamat järvet ovat hiljalleen toipumassa. Suomessa maatalouden osuus happamoittavista kokonaispäästöistä on erittäin vähäinen lukuun ottamatta ammoniakkia, jonka päästöistä maatalouden osuus on yli 80 %. Maatalouden ammoniakkipäästöistä yli 90 % on peräisin kotieläintaloudesta, pääosin nautakarjasta.

Yleisimmät happamoittavat kaasut ovat rikkidioksidi (SO_2) ja typen oksidit (NO_x), joita syntyy energian tuotannosta, teollisista prosesseista ja liikenteestä. Lisäksi happamoitumiseen vaikuttavat ammoniakkipäästöt, joita muodostuu pääasiassa maataloudesta lannan varastoinnissa ja käsittelyssä. Kyseisessä juustontuotantoketjussa ammoniakkipäästöt ovat suurin happamoitumisen aiheuttaja (Kuva 12). Kuvassa navettavaiheeseen on sisällytetty karjasuojassa ja lannan varastoinnissa muodostuvat ammoniakkipäästöt, joita muodostuu karjasuojassa (26 %), lannan varastoinnissa (39 %). Loput ammoniakkipäästöt, joita syntyy lannan levityksessä ja laidunnuksessa, on sisällytetty rehujen tuotantoon.

Maatalouden ammoniakkipäästöjä voidaan vähentää estämällä ammoniakin haihtumista eläinsuojissa, varastoinnissa ja levityksessä.

Rehujen tuotannossa syntyy työkoneiden käytöstä myös happamoittavia NO_x - ja SO_2 -päästöjä. Myös lannoitteiden tuotannossa syntyy NO_x -päästöjä, samoin kuin kaikissa kuljetuksissa.

Juuston valmistuksessa happamoitumista aiheuttava tekijä on energian tuotannossa käytettävän polttoaineen rikki. Tuotantolaitoksella käytettävästä raskaasta polttoöljystä vapautuu lähes 40 % koko ketjun rikkidioksidipäästöistä. Tämä näkyy jalostuksen osuutena (Kuva 12).



Kuva 12. Emmental Sinileima juuston happamoitumispotentialiaali 1 000 kg juustoa kohden tuotantoketjun eri vaiheissa. Rikkidioksidiekvivalenttina (SO₂-ekv) laskettuna yhteensä 59 kg.

7 Intensiteettitarkastelu

Intensiteettitarkastelussa tarkastellaan juuston tuotantoketjua alkutuotannon näkökulmasta, koska sen osuus kaikissa vaikutusluokissa oli suhteellisen suuri. Juuston jalostuksen oletettiin pysyvän ennallaan. Tarkasteluun otettiin mukaan edellisissä tuloskuvissa esiintyvät maitotilojen lannoitteiden ja muu panostuotanto sekä ostorehujen valmistusketjut panostuotantoihin, koska maitotilan intensiteettitarkastelut vaikuttavat tilalle käytettävien panosten ja ostorehujen laatuun ja määrään. Tarkasteluissa rajoituttiin ravinnehuuhtoumien arviointiin.

Intensiteettimuuttujatarkastelun tavoitteena oli lisätä tietoa erilaisten muuttujien ympäristövaikutuksista ja näin löytää potentiaalisimmat käytännöt, joilla ympäristövaikutuksiin voidaan vaikuttaa. Ensimmäisenä intensiteettimuuttujana tarkasteltiin todellisia tuotoksia, jotka perustuivat Toholammin juustolalle toimittaneiden tilojen rehunkulutus- ja tuotostietoihin vuodelta 1998. Tilat jaettiin matalan, korkean ja perustason tuotoksen tiloihin. Perustasona ja tarkastelun lähtökohdana käytettiin Toholammin tuotantolaitokselle maitoa toimittavan tilan keskimääräisiä rehunkulutus- ja tuotostietoja vuodelta 1998. Samasta aineistosta poimittiin 143 vähiten tuottanutta tilaa, joiden keskituotos oli 6409 kg ja 144 eniten tuottanutta tilaa, joiden keskituotos oli 7906 kg.

Lisäksi tarkasteltiin kahta ruokinnallista intensiteettimuuttujaa, väkirehun osuutta ja väkirehun valkuaispitoisuutta. Ruokinnallisten intensiteettien tarkastelussa käytettiin tila-aineiston sijasta ruokintakokeiden tuloksia ja tilastollisia menetelmiä. Näin pystyttiin välttämään vertailua häiritseviä karjojen välisiä eroja eläinaineksessa, tarjotun karkearehun määrän suhteessa sen vapaaseen syöntiin ja eroja karkearehun sulavuudessa ja säilönnällisessä laadussa.

Ruokintaa muutettaessa, joko lisäämällä tai vähentämällä väkirehujen määrää tai väkirehun valkuaispitoisuutta, lannan ravinnepitoisuus muuttuu. Jos lantaa levitetään taulukkoarvojen mukaisesti, todellinen pelloille levitettävä ravinnemäärä voi poiketa huomattavasti taulukkoarvojen mukaan lasketuista määristä. Aliarvioitaessa ravinteiden määrä lannassa, pelloille levitetyn lannan ravinnemäärät voivat olla huomattavastikin suurempia ja peltojen ravinneyleijämä nousee, jolloin myös huuhtoumariski kasvaa.

Ruokintojen lisäksi tarkasteltiin peltoviljelyn muuttujia, kuten satotasojen vaihtelua, säilörehun typpilannoitusta ja tuotantoalan suhdetta eläinmäärään. Näissä tarkasteluissa karjan ruokintana käytettiin perustapauksen ruokinta- ja tuotostietoja.

Viimeisenä intensiteettimuuttujana tarkasteltiin tuotoseläinten tuotantoajan vaikutusta juustontuotannon ympäristövaikutuksiin. Rehunkulutus ennen poikimista laskettiin rehutaulukoiden tarvenormien mukaan rehuyksikkökulutukseen ja rehunkulutustietoihin perustuvien valtakunnallisten rehujen käyttöosuuksien mukaan.

Eri intensiteettimuuttujia tarkasteltaessa haluttiin saada esille haluttujen muuttujien vaikutus koko tuotantoketjun ympäristökuormitukseen. Tämän vuoksi pyrittiin muut tekijät pitämään vakioina, jotta yhden muuttujan vaikutus saataisiin esille. Monessa tapauksessa tällainen asettelu johtaa tuloksiin, jotka eivät käytännössä koskaan toteudu. Esimerkiksi tuotantoalan ja eläinmäärän suhteen muuttuessa, tuotantoalan vähetessä todennäköisesti vähennettäisiin teollisten lannoitteiden käyttöä peltohehtaaria kohden. Mutta koska haluttiin nähdä yhden tekijän muutosten suunta ja suuruus, oli välttämätöntä valita muut tekijät vakioiksi.

Huuhtoumat on laskettu kuten aikaisemmin on kuvattu. Intensiteettimuuttujatarkastelussa oletettiin tuotantoalan olevan vakio. Tuotantoala on 2,5 ha perustapauksen tuottavaa eläintä kohden eli perustapauksessa 3,7 ha tuhatta juustokiloa kohden. Laskennassa oletettiin, että lanta levitetään aikaisemmin mainittujen periaatteiden mukaan koko tuotantoalalle, mutta juustontuotannon kuormituksia laskettaessa otettiin huomioon ainoastaan se ala, joka tarvitaan rehuntuotantoon kullakin ruokintavaihtoehdolla tuhannen kilon juuston valmistukseen tarvittavan maidon tuottamisessa. Väkilannoitteiden käyttö peltohehtaaria kohden ja kasvien viljelypinta-ala olivat samat kuin perustapa-

uksessakin (Taulukko 3, s. 27). Pinta-ala poikkesi ainoastaan tuotantoalan ja eläinmäärän suhdetta vertailtaessa. Tällöinkin viljelykasvien suhde oli sama kuin muissa tarkasteluissa.

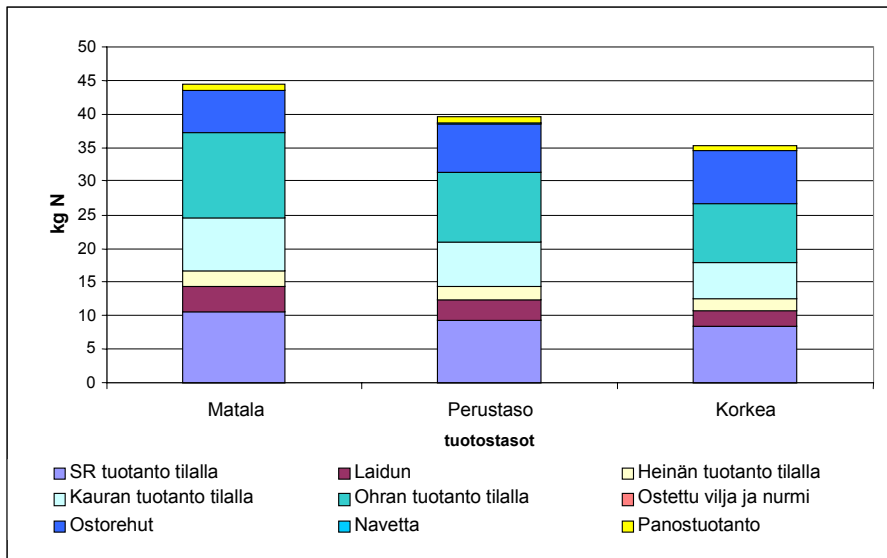
Kullekin kasville on laskettu erilliset huuhtoumat ja niistä on laskettu kussakin ruokintavaihtoehdossa rehutuotantoon tarvittavan pinta-alan suhteessa tuotannon kokonaishuuhtouma. Huuhtoumien laskennassa otettiin huomioon myös ruokinnan vaikutuksesta muuttuvat lannan typpi- ja fosforimäärät.

7.1 Tuotostaso

Tuotostason vaikutusta tarkasteltiin tila-aineiston todellisten tuotosten pohjalta. Tässä tarkastelussa käytettiin tila-aineistoon perustuvia ruokintatietoja kussakin tapauksessa. Perustasona ja tarkastelun lähtökohtana käytettiin 714 Toholammin juustolan maidontuotantotilan rehunkulutus- ja tuotostietojen keskiarvoa vuodelta 1998. Tilojen lehmien vuosittainen keskimääräinen maitotuotos oli 7155 kiloa ja kuiva-aineen syönti 5781 kiloa. Väkiprehun osuus kuiva-aineesta oli 39,6 %. Matalan tuotostason tilaryhmään kuuluvien tilojen keskituotos oli 6409 kg, kuiva-aineen syönti 5431 kg ja väkiprehun osuus ruokinnasta 36,5 %. Korkean tuotostason tiloilla keskituotos oli 7906 kg, kuiva-aineen syönti 6081 kg ja väkiprehun osuus ruokinnasta 42 %. Fosforin ja typen erityis lantaan tuotettua maitolitraa kohti laskettiin käyttäen rehunkulutustietojen typpi- ja fosforipitoisuuksia eri rehuille.

Tuotostason nousu tulee yleensä usean eri tekijän yhteisvaikutuksena, kuten säilörehun laadun, karjan geneettinen potentiaalin, ym. tekijöiden vaikutuksesta. Tarkastelun merkitys oli hahmottaa tuotostason merkitystä kokonaisuutena ketjun ympäristövaikutuksiin kohdentamatta sitä toimintatapaan, jolla se saadaan aikaan.

Todellisten tuotosten noustessa 1000 juustokilon tuottamisen typpikuormitus pienenee monen eri tekijän yhteisvaikutuksesta (kuva 13). Taulukosta 4 nähdään, että tuotostason noustessa 1000 juustokilon tuottamiseen tarvittavien eläinten määrä laskee, samoin kuin eläinten rehutarpeen täyttämiseen tarvittavan pinta-alan määrä pienenee. Tässä todellisiin tuloksiin perustuvassa tapauksessa myös lannan typpi- ja fosforipitoisuudet laskevat tuotostason noustessa.



Kuva 13. Todellisilla tuotostasolla lasketut typpikuormitukset tuhannen juustokilon tuotantoon tarvittavassa maidontuotannossa matalalla (6409 kg), keskimääräisellä (7155 kg) ja korkealla (7906 kg) tuotostasolla.

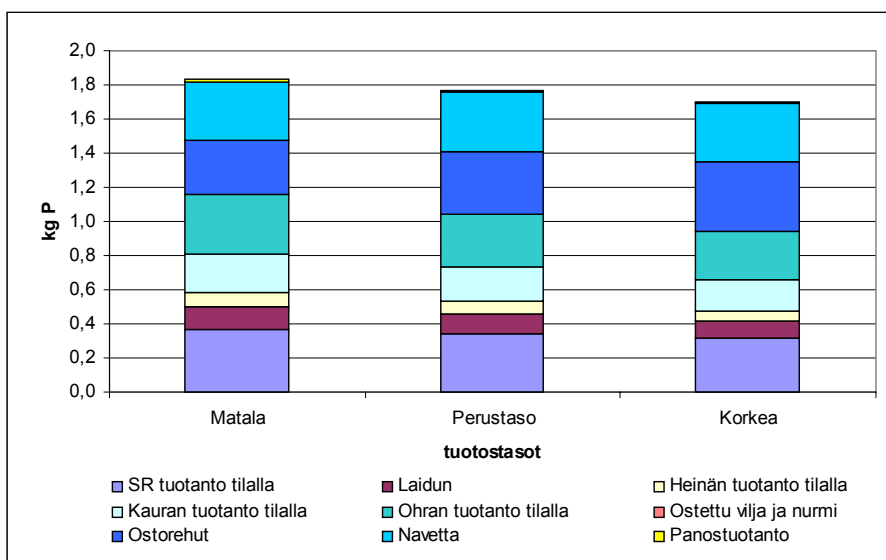
Tarkasteltaessa ympäristökuormitusta valmista tuotetta kohden on huomioitava, että matalalla tuotostasolla tarvitaan enemmän eläimiä tuottamaan sama määrä valmista tuotetta (taulukko 4). Samalla kun eläimiä tarvitaan enemmän myös niiden ruokintaan tarvitaan enemmän resursseja. Kun eläimiä on enemmän myös lantaa syntyy enemmän ja lannan mukana pelloille levitettävien ravinteiden määrä kasvaa. Taulukossa 4 on esitetty 1000 juustokilon valmistamiseen käytettävän maitomäärän tuottamiseen tarvittavien lehmien määrä sekä niiden ruokintaan käytettävän rehun viljelypinta-alan tarve. Ravinnetaseiden laskentaa on esitetty luvussa 4.2. Taseet laskettiin maitotiloilla kasvikohtaisesti, joista taulukon 4 luvut on saatu. Perustapauksen typpi-huuhtoumat vaihtelivat kasveittain 9...23 kg/ha ja rehevöittävät fosfori-huuhtoumat 0,35...0,75 kg/ha. Huuhtoumien laskennan periaatteet on esitetty kohdassa 4.2.7. Taulukossa esitetyt hehtaarikohtaiset luvut ovat keskimääräisiä, eivätkä siten kuvaa kasvikohtaisia eroja tilan sisällä. Ko. pinta-alojen viljelyn ja panostuotannon ympäristökuormituksista kohdennettiin juustolle kohdan 4.4 mukaan 88,5%.

Taulukko 4. Tila-aineiston todellisten tuotosten (keskimääräiset=perustapaus, matalammat ja korkeammat maitotuotostasot) mukaiset typpi- ja fosforitaseet.

Tuotostaso	Matala	Keskim	Korkea
Lehmien lukumäärä juustotoniin tarvittavan maidon tuottamiseksi	1,68	1,51	1,37
Lehmien rehuntuotantoon tarvittavan pinta-alan tarve (ha) (kokonais- ja lannanlevitysala 3,77 ha)	2,71	2,44	2,21
Lehmien maitotuotos (kg/v)	6409	7155	7906
Juustoa kohti keskimäärin	kg / 1000 kg juustoa		
Typpi –N			
N lannasta pellolle	237,2	221,7	207,3
N väkilannoitteesta pellolle	413,8	413,8	413,8
N satoon	394,7	394,7	394,7
NH ₃ -N-haihdunta ilmaan	61,8	57,9	54,3
N ₂ O-N-haihdunta ilmaan	8,3	8,0	7,7
N ylimäärä maaperään ja vesistöön	186,3	175,0	164,4
Fosfori –P			
P lannasta pellolle	36,6	35,1	33,3
P väkilannoitteesta pellolle	51,8	51,8	51,8
P satoon	48,1	48,1	48,1
P ylimäärä maaperään ja vesistöön	40,3	38,8	37,0
Hehtaaria kohti keskimäärin		kg / ha	
Typpi –N			
N lannasta pellolle	62,9	58,8	54,9
N väkilannoitteesta pellolle	109,7	109,7	109,7
N satoon	104,6	104,6	104,6
NH ₃ -N-haihdunta ilmaan	16,4	15,4	14,4
N ₂ O-N-haihdunta ilmaan	2,2	2,1	2,0
N ylimäärä maaperään ja vesistöön	41,0	38,0	35,1
Fosfori –P			
P lannasta pellolle	9,7	9,3	8,8
P väkilannoitteesta pellolle	13,7	13,7	13,7
P satoon	12,8	12,8	12,8
P ylimäärä maaperään ja vesistöön	10,7	10,3	9,8

Kuten typpikuormituskin myös fosforikuormitus laskee tuotostason noustessa (Kuva 14). Fosforikuormituksen laskuun eniten vaikuttaa rehuntuotantoon tarvittavan pinta-alan pieneneminen. Kun rehuntuotantoon tarvittava pinta-ala pienenee, silloin myös eroosiolle ja valunnalle altistuva pinta-ala vähenee.

Todellisilla tuotoksilla myös hehtaariohaiset ravinteiden ylijäämät ovat suurimpia matalalla tuotostasolla ja pienimpiä korkealla tuotostasolla



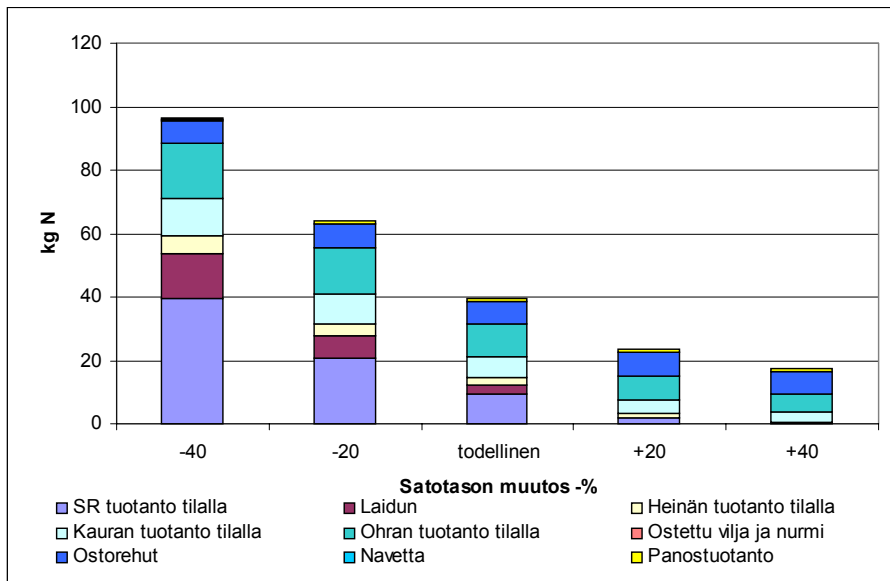
Kuva 14. Todellisilla tuotostasoilla lasketut fosforikuormitukset tuhannen juustokilon tuotantoon tarvittavassa maidontuotannossa matalalla (6409 kg), perus- (7155 kg) ja korkealla (7906 kg) tuotostasolla.

Tuotostasot ovat pienempiä kuin karjantarkkailun keskiarvot nykyisin, mutta vastaavat hyvin keskimääräistä maidontuotosta, koska osa maidosta tuotetaan tarkkailuun kuulumattomilla tiloilla. Tarkastelun mukaan Toholammin alueella suurimman maitotuotoksen saavuttaneet tilat ovat pystyneet tuottamaan maitoliträn ympäristön kannalta tehokkaimmin.

7.2 Satotaso

Tiloilla tuotettavan rehun satotasojen vaikutusta tarkasteltiin käyttämällä vertailtavina satotasoina 20 % ja 40 % matalampaa ja korkeampaa satotasoa kaikille viljelykasveille verrattuna kohdealueelta luvun 4.2.3 mukaisesti määritettyihin keskimääräisiin satotasoihin. Lannan ravinnemäärien laskennassa käytettiin perustapauksen tuotos- ja ruokintatietoja.

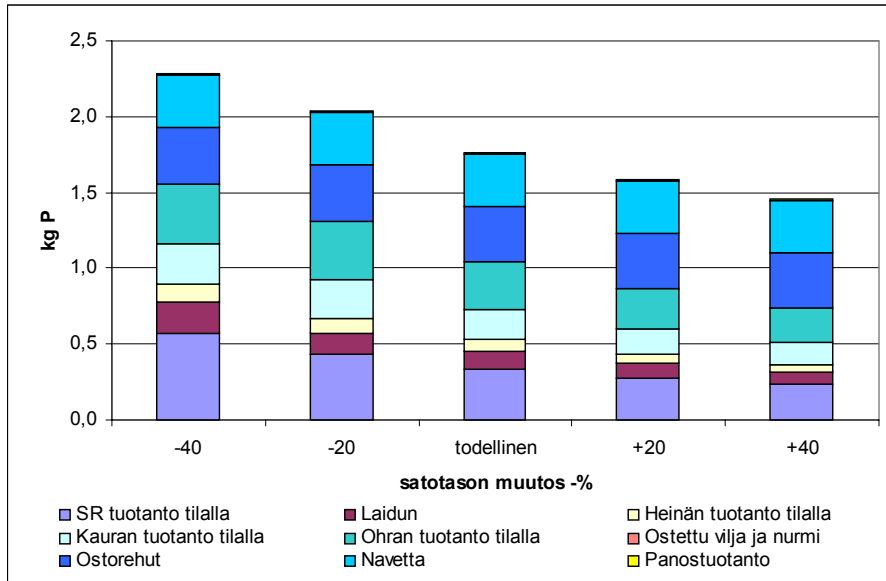
Satotasoihin vaikuttavat sääolosuhteet. Optimaalisissa sääolosuhteissa voidaan saavuttaa huomattavia sadon lisäyksiä. Oikein huonoina vuosina sadot voivat jäädä hyvinkin alhaisiksi. Sadon määrään vaikuttavat myös maan rakenteelliset ja kemialliset ominaisuudet. Lannoituksella ja kalkituksella voidaan satotasoon jonkin verran vaikuttaa. Tässä on tarkasteltu satotason nousua teoreettisesti olettaen, että satotaso nousee esimerkiksi pellon kasvukunnon paranemisen vaikutuksesta. Ostorehujen satotasot kuitenkin pysyvät vakiona.



Kuva 15. Samoilla tuotantopanoksilla saavutetun satotason muutoksen (± 20 % ja ± 40 %) vaikutus rehevöittävään typpekuormitukseen 1 000 juustokiloa kohden laskettuna. Satotason jäädessä matalaksi lisääntyy huuhtoumariski.

Satotasolla on hyvin suuri merkitys koko juuston tuotantoketjun ympäristövaikutuksiin. Satotason noustessa ja lannoituksen pysyessä samana, typpekuormitus vähenee kasvien ravinteiden oton noustessa ja laskiessa kuormitus kasvaa (Kuva 15). Suuremmilla satotasoilla kasvien ravinteiden otto nousee huomattavasti ja N-ylijäämä pienenee, kun väkilannoitusmäärät pysyvät vakiona. Suurilla satotasoilla valitulla 3,7 ha:n alalla pystytään tuottamaan rehua yli oman tarpeen, kun rehujen tuotantoon tarvittavan rehumäärän viljelyyn tarvittava pinta-ala pienenee.

Satotasojen noustessa myös fosforikuormitus laskee (Kuva 16). Satotasojen nousun seurauksena myös kasvien fosforinotto nousee ja kun fosforitaseen ylijäämä jää pienemmäksi, niin silloin maahan jäävän fosforin määrä on pienempi. Satotasolla ei kuitenkaan ole yhtä dramaattisia vaikutuksia fosforikuormitukseen kuin typen kuormitukseen, koska maan fosforivarat kompensoivat muutoksia. Satotason noustessa myös rehuntuotantoon tarvittavan pinta-ala pienenee (Taulukko 5) jolloin juustontuotantoon tarvittava laskennallinen pinta-ala, jolta maa-aines erodoituu ja fosfori huuhtoutuu, jää pienemmäksi.



Kuva 16. Samoilla tuotantopanoksilla saavutetun satotason muutoksen (± 20 % ja ± 40 %) vaikutus rehevöittäväan fosforikuormitukseen 1 000 juustokiloa kohden laskettuna. Satotason jäädessä matalaksi lisääntyy huuhtoumariski.

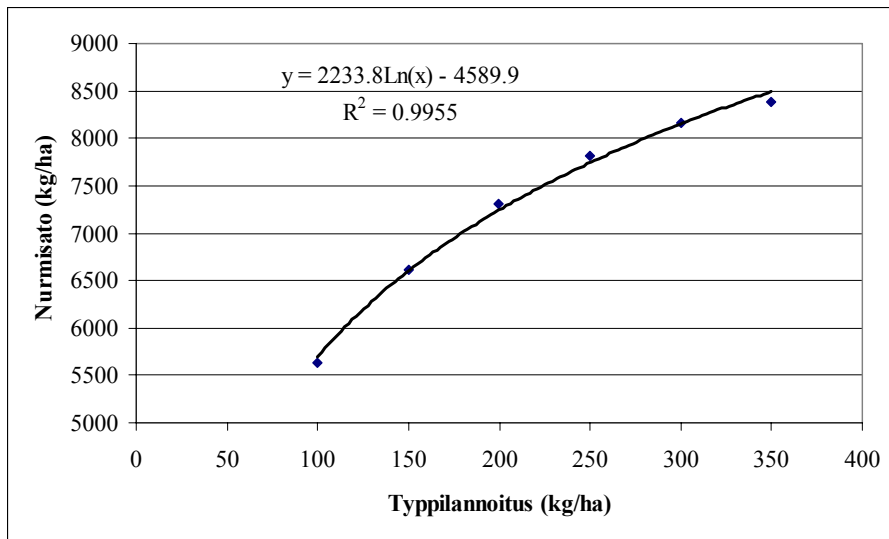
7.3 Typpilannoitteen käyttö

Lannoitteiden käytön merkitystä mallinnettiin käyttämällä säilörehun ostolannoitemääränä tiloilla keskimääräisen 153 kg/ha lisäksi tasoja 140, 160, 180, 200 ja 220 kg/ha. Typpilannoituksen vaikutusta rehun typpipitoisuuden nousuun ei näissä laskelmissa huomioitu. Käytännössä typpipitoisuus rehussa nousee, mutta eläinten ruuansulatus ei hyväksikäytä tätä ylimääräistä typpeä, vaan se erittyy virtsaan. Koska rehun typpipitoisuus pysyi samana, voitiin olettaa, että lannan typen määrä pysyi samana kaikissa tarkasteluissa.

Typpilannoituksen vaikutuksen laskenta perustuu tutkimustuloksiin (Sillanpää, 1978). Tämän tutkimuksen aineistoista on määritetty funktio typpilannoituksen ja sadon määrän välille, jonka mukaan satotaso nousee typpilannoitusta lisättäessä. Sillanpään tutkimustuloksia käytettiin laskennan perustana, koska tutkimuksessa oli hyvin laaja lannoitusskaala (Kuva 17).

Taulukko 5. Ravinnetaseet eri satotasoilla.

Satotasot	-40%	-20%	Nyky-tila	+20%	+40%
Lehmien lukumäärä juustotettiin tarvittavan maidon tuottamiseksi	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51
Lehmien rehuntuotantoon tarvittavan pinta-alan tarve (ha) (kokonais- ja lannanlevitysala 3,77 ha)	4,06	3,05	2,44	2,03	1,74
Lehmien maitotuotos (kg/v)	7155	7155	7155	7155	7155
Juustoa kohti keskimäärin			kg / 1000 kg juustoa		
Typpi –N					
N lannasta pellolle	222	222	222	222	222
N väkilannoitteesta pellolle	414	414	414	414	414
N satoon	237	316	395	474	553
NH ₃ -N-haihdunta ilmaan	57,9	57,9	57,9	57,9	57,9
N ₂ O-N-haihdunta ilmaan	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
N ylimäärä maaperään ja vesistöön	332,9	254,0	175,0	96,1	17,1
Fosfori –P					
P lannasta pellolle	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1
P väkilannoitteesta pellolle	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8
P satoon	33,0	40,6	48,1	55,6	63,2
P ylimäärä maaperään ja vesistöön	53,9	46,4	38,8	31,3	23,7
Hehtaaria kohti keskimäärin			kg / ha		
Typpi –N					
N lannasta pellolle	58,8	58,8	58,8	58,8	58,8
N väkilannoitteesta pellolle	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7
N satoon	62,8	83,7	104,6	125,6	146,5
NH ₃ -N-haihdunta ilmaan	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7
N ₂ O-N-haihdunta ilmaan	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
N ylimäärä maaperään ja vesistöön	88,26	67,33	46,40	25,47	4,55
Fosfori –P					
P lannasta pellolle	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
P väkilannoitteesta pellolle	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7
P satoon	8,8	10,8	12,8	14,8	16,8
P ylimäärä maaperään ja vesistöön	14,3	12,3	10,3	8,3	6,3



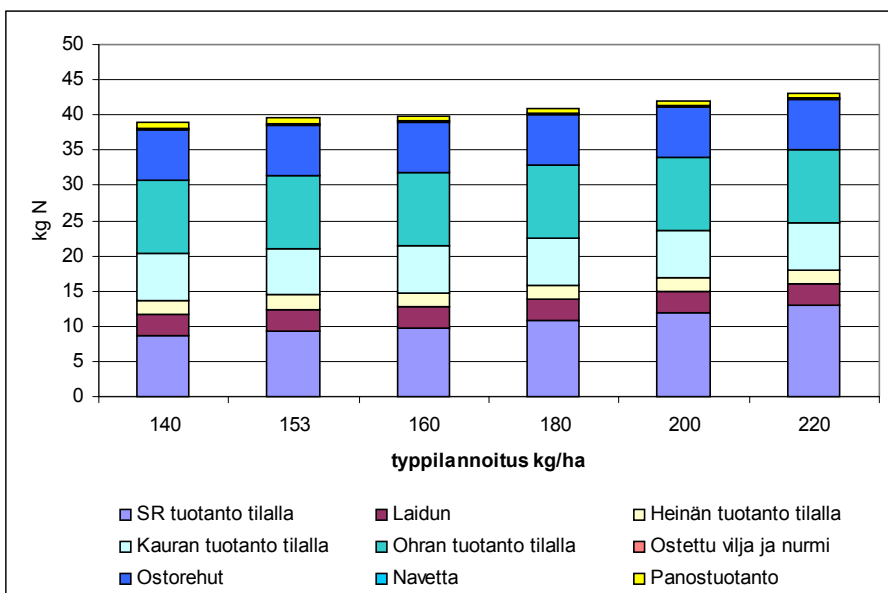
Kuva 17 Laskennassa käytetty arvio typpilannoituksen vaikutuksesta säilörehun satotasoon (Sillanpää 1978).

Typpilannoitusta lisättäessä myös satotasot nousevat. Kuitenkaan satotason nousun seurauksena kasvien typenotto ei kasva yhtä paljon kuin pellolle tuleva typpilannoitus (Taulukko 6) (Kuva 18). Kasvit eivät siis pysty hyödyntämään kaikkea lannoitetyyppiä ja tästä johtuen typpikuormitus kasvaa jonkin verran typpilannoitusta lisättäessä.

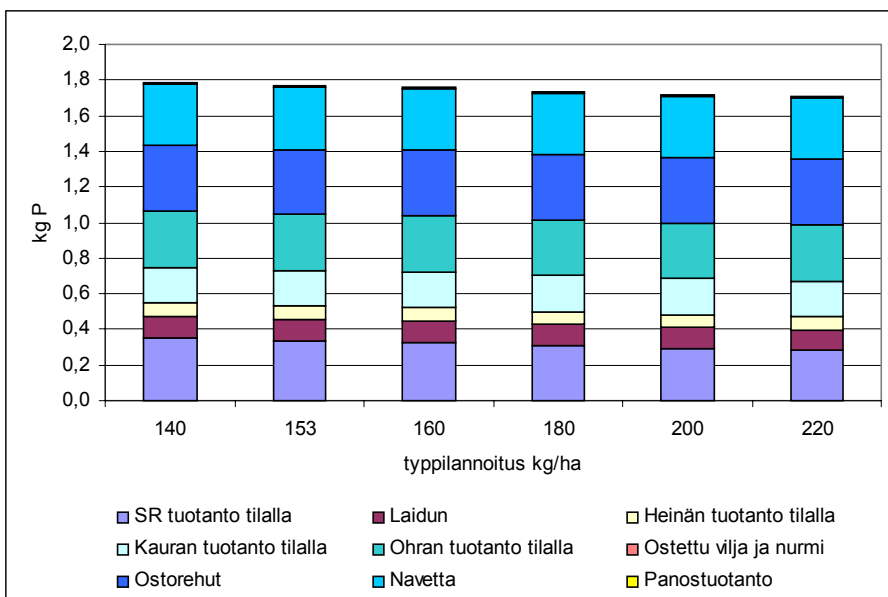
Typpilannoituksen aiheuttama satotason nousu nostaa myös kasvien fosforinottoa (Taulukko 6). Tästä syystä typpilannoituksen vaikutuksesta fosforikuormitus pienenee satotason noustessa (Kuva 19). Fosforikuorman pieneminen on osaltaan myös seurausta tarvittavan rehuntuotantoalan pienemisestä satotason noustessa.

Taulukko 6. Säilörehun tyypilannoituksen vaikutus ravinnetaseisiin.

Tyypilannoite (kg/ha)	140	Nyky-tila	160	180	200	220
Lehmien lukumäärä juustotoniin tarvittavan maidon tuottamiseksi	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51
Lehmien rehuntuotantoon tarvittavan pinta-alan tarve (ha) (kokonais- ja lannanlevitysala 3,77 ha)	2,49	2,44	2,41	2,36	2,31	2,27
Lehmien maitotuotos (kg/v)	7155	7155	7155	7155	7155	7155
Juustoa kohti keskimäärin						
		kg / 1000 kg juustoa				
Typpi –N						
N lannasta pellolle	222	222	222	222	222	222
N väkilannoitteesta pellolle	392	414	426	460	495	529
N satoon	379	395	403	425	447	469
NH ₃ -N-haihdunta ilmaan	57,8	57,9	58,0	58,2	58,4	58,6
N ₂ O-N-haihdunta ilmaan	7,7	8,0	8,1	8,5	9,0	9,4
N ylimäärä maaperään ja vesistöön	168,4	175,0	178,7	189,8	201,4	213,4
Fosfori –P						
P lannasta pellolle	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1
P väkilannoitteesta pellolle	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8
P satoon	46,9	48,1	48,7	50,3	51,7	53,0
P ylimäärä maaperään ja vesistöön	40,0	38,8	38,2	36,6	35,2	33,9
Hehtaaria kohti keskimäärin						
		kg / ha				
Typpi –N						
N lannasta pellolle	58,8	58,8	58,8	58,8	58,8	58,8
N väkilannoitteesta pellolle	103,8	109,7	112,9	122,0	131,1	140,2
N satoon	100,6	104,6	106,8	112,8	118,6	124,4
NH ₃ -N-haihdunta ilmaan	15,3	15,4	15,4	15,4	15,5	15,5
N ₂ O-N-haihdunta ilmaan	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5
N ylimäärä maaperään ja vesistöön	44,6	46,4	47,4	50,3	53,4	56,6
Fosfori –P						
P lannasta pellolle	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3	9,3
P väkilannoitteesta pellolle	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7
P satoon	12,4	12,8	12,9	13,3	13,7	14,1
P ylimäärä maaperään ja vesistöön	10,6	10,3	10,1	9,7	9,3	9,0



Kuva 18 Typpilannoituksen lisäyksen vaikutus typpihuuhtoumiin 1000 juustokiloa kohden laskettuna typpilannoitusmäärillä 140,160, 180, 200 ja 220 kg N/ha, peruslannoitustaso: 153 kg/ha tila-aineistosta.

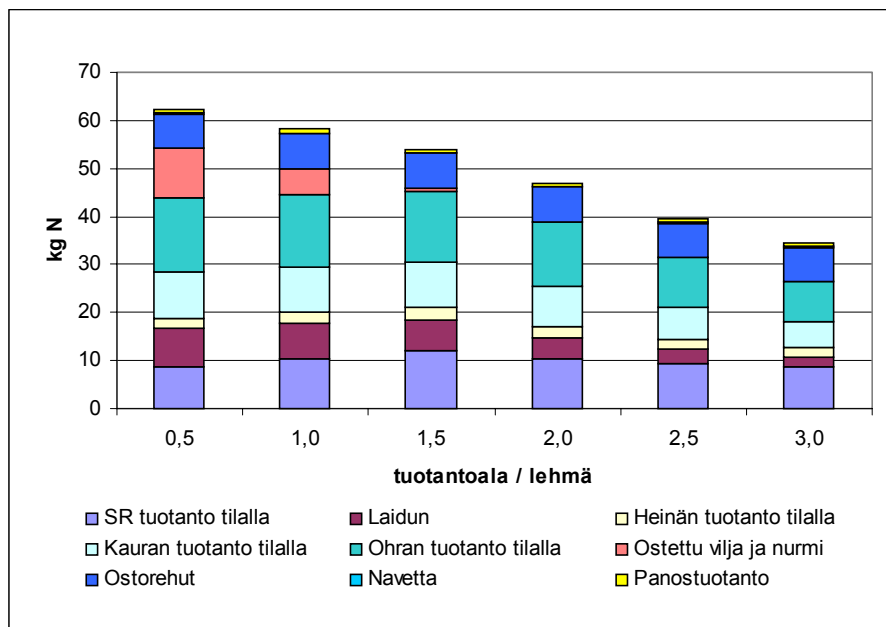


Kuva19. Typpilannoituksen lisäyksen vaikutus fosforihuuhtoumiin 1 000 juustokiloa kohden laskettuna typpilannoitusmäärillä 140, 160, 180, 200 ja 220 kg N/ha, peruslannoitustaso: 153 kg/ha tila-aineistosta.

7.4 Tuotantoalan suhde eläinten määrään

Tämän intensiteettimuuttujan tarkoituksena oli kuvata rehualan ja samalla lannan levitysalan merkitystä ympäristökuormituspotentiaaliin. Mallinnukset tehtiin rehupinta-aloilla 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 ja 3 ha/tuotantoeläin. Siirryttäessä yhä suurempiin yksiköihin ja lisättäessä tilan ulkopuolelta tulevan rehun käyttöä, peltoalalle käytettävä lantamäärä sekä ravinnekuormitus nousevat ellei tilalla ole riittävästi viljelyalaa lannan levitykseen.

Tuotantoalan ja eläinmäärän suhteen tarkastelussa tuotantoala muuttuu. Väkilannoitemäärät hehtaaria kohden ovat samat kuin perustapauksessa (Taulukko 3). Lanta on levitetty lohkoille samassa suhteessa kuin aikaisemminkin. Tässä tarkastelussa pienimmälle pinta-alalle tuodaan siis eniten lantaa. Koska tuotantoala ei riitä pienimmillä tuotantoaloilla rehuntuotantoon, on ostorehun kuormitus huomattavasti suurempi kuin muissa tarkasteltavissa vaihtoehdoissa.



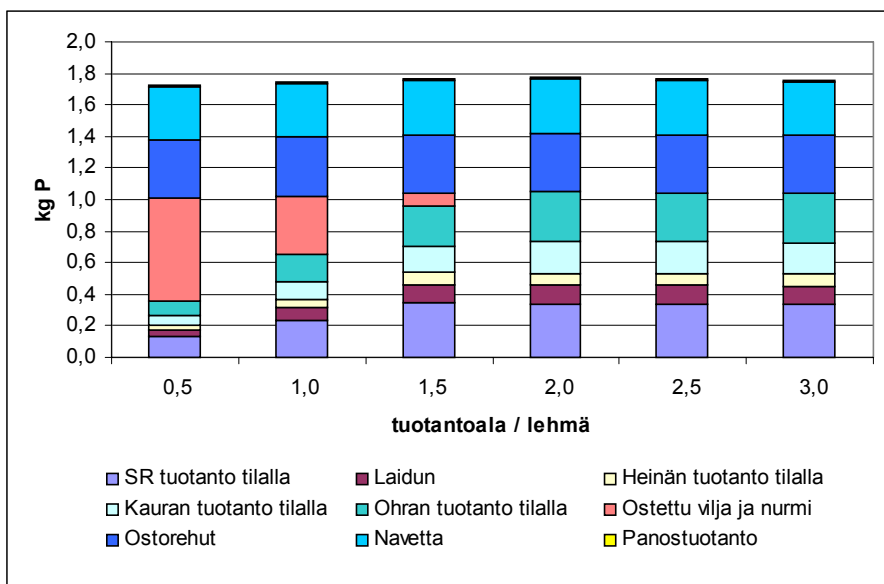
Kuva 20. Juuston tuotantoketjun typpikuormitus 1 000 kg juustoa kohden tuotantoalan (lannan levitysalan) kasvaessa puolesta kolmeen hehtaariin/tuotantoeläin.

Kokonaistyyppihuuhtouma pienenee tuotantoalan kasvaessa elinmäärää kohden (Kuva 20). Tämä johtuu karjanlannan mukana tulevan typen määrän vähenemisestä pinta-alaa kohden. Tarkastelussa on huomioitava, että väkilannoitetyyppiä käytetään hehtaaria kohden yhtä paljon kullakin tuotantoalan ja eläinmäärän suhteella. Kasvien typenotto on lähes yhtä suurta kuin väki-

lannoitetyypin käyttö. Rehuntuotantopinta-alan ollessa alle 1,5 ha kaikki tilalla viljeltävät rehut käytetään omaan tuotantoon. Tätä suuremmilla tuotantoalan ja eläinten suhteilla rehua tuotetaan ylimäärin, ja tämän ylijäämän typpikuormitus ei enää kohdennu tutkittuun juustontuotantoon. Hehtaarikohdainen kuormitus pienenee rehuntuotantoalan kasvaessa, sillä lannan määrä hehtaaria kohden vähenee (Taulukko 7).

Taulukko7. Tuotantoalan ja eläinmäärän suhteen vaikutus ravinnetaseisiin.

Tuotantoala / lehmä (ha)	0,5	1	1,5	2,0	2,5	3
Lehmien lukumäärä juustotoniin tarvittavan maidon tuottamiseksi	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51	1,51
Lehmien rehuntuotantoon käytettävä pinta-ala maitotilalla (ha)	0,75	1,51	2,26	2,44	2,44	2,44
Lannanlevitysalaa	0,75	1,51	2,26	3,02	3,77	4,53
Lehmien maitotuotos (kg/v)	7155	7155	7155	7155	7155	7155
Juustoa kohti keskimäärin	kg / 1000 kg juustoa					
Typpi –N						
N lannasta pellolle	222	222	222	222	222	222
N väkilannoitteesta pellolle	83	166	248	331	414	497
N satoon	79	158	237	316	395	474
NH ₃ -N-haihdunta ilmaan	55,9	56,4	56,9	57,4	57,9	58,4
N ₂ O-N-haihdunta ilmaan	3,9	4,9	5,9	6,9	8,0	9,0
N ylimäärä maaperään ja vesistöön	165,8	168,1	170,4	172,7	175,0	177,3
Fosfori –P						
P lannasta pellolle	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1	35,1
P väkilannoitteesta pellolle	10,4	20,7	31,1	41,4	51,8	62,2
P satoon	9,6	19,2	28,9	38,5	48,1	57,7
P ylimäärä maaperään ja vesistöön	35,9	36,6	37,3	38,1	38,8	39,6
Hehtaaria kohti keskimäärin	kg / ha					
Typpi –N						
N lannasta pellolle	293,9	147,0	98,0	73,5	58,8	49,0
N väkilannoitteesta pellolle	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7
N satoon	20,9	41,9	62,8	83,7	104,6	125,6
NH ₃ -N-haihdunta ilmaan	74,1	37,4	25,2	19,0	15,4	12,9
N ₂ O-N-haihdunta ilmaan	5,1	3,2	2,6	2,3	2,1	2,0
N ylimäärä maaperään ja vesistöön	219,8	111,4	75,3	57,2	46,4	39,18
Fosfori –P						
P lannasta pellolle	46,5	23,3	15,5	11,6	9,3	7,8
P väkilannoitteesta pellolle	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7
P satoon	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
P ylimäärä maaperään ja vesistöön	47,5	24,3	16,5	12,6	10,3	8,7



Kuva 21. Juuston tuotantoketjun fosforikuormitus 1000 kg juustoa kohden tuotantoalan kasvaessa puolesta kolmeen hehtaariin / lehmä.

Alueellisesti tarkasteltuna, esimerkiksi järven valuma-alueella, on käytössä tietty peltopinta-ala. Jos tätä peltopinta-alaa kohden eläinten määrää lisätään (tuotantoala/eläin pienenee), silloin peltohehtaaria kohden laskettuna lantaa ja sen mukana ravinteita tuodaan pellolle enemmän, jolloin ravinnekuormitusriski kasvaa. Mikäli rehuntuotantoalaa ei tällä alueella ole tyydyttämään eläinten ruokinnan tarvetta, täytyy rehut tuoda muualta ja näin alueellinen tase jää positiiviseksi ja ravinnekuormitusriski alueella kasvaa entistä enemmän.

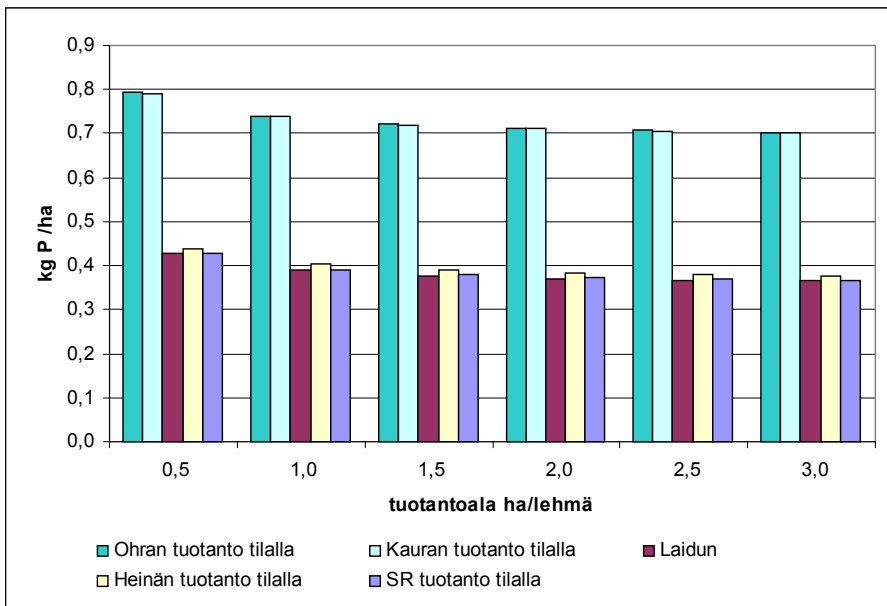
Fosforikuormituksen muutokset eivät ole yhtä suuria kuin typen huuhtoumassa (Kuva 21). Oletuksena olleet väkilannoitefosforimäärät pitävät maan fosforitasot ennallaan, sillä ne ovat suuremmat kuin kasvien fosforin otto kaikissa tarkastelluissa vaihtoehdoissa. Hehtaaria kohden pelloille levitettävä lannan fosforimäärä vähenee tuotantoalan noustessa. Tällöin pinta-alayksikköä kohden fosforikuormitus pienenee. Kun tuloksia tarkastellaan tuhatta juustokiloa kohden kokonaisfosforikuormitukset pysyvät lähes vakioina. Vaikka hehtaarikohtaiset huuhtoumat nousevat, on tuotantopinta-alan väheneminen suhteellisesti suurempi kuin hehtaarikohtaisen kuormituksen muutos.

Kun tilalla tuotettavan rehun määrä laskee pinta-alan pienentyessä, tarvitaan enemmän ostorehuja. Näillä oletusarvoilla fosforikuormitus kokonaisuudessaan ei juurikaan muutu, viljeltiinpä vilja omalla tilalla tai viljanviljelytilalla. Tarkasteltaessa fosforikuormitusta alueellisesti, eli katsottaessa tuloksia hehtaaria kohden, kuormitukset ovat suurempia pienillä tuotantoaloilla eläinmää-

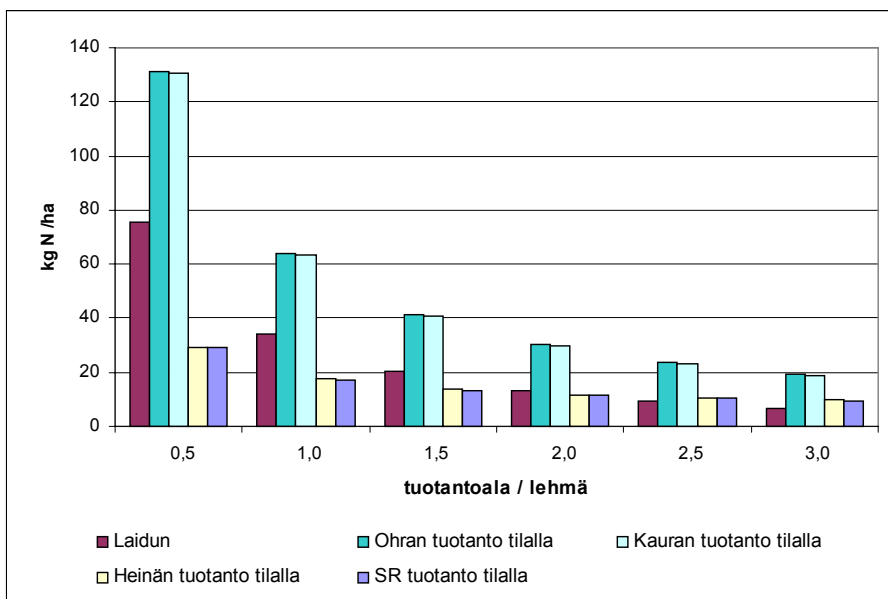
rää kohden. Maan fosforivarat ovat kuitenkin kohtalaisen suuret verrattuna vuosittain jäävään fosforiylijäämään.

Vaikka maitotilan fosforikuormitus suurenee tuotekohtaisessa tarkastelussa pinta-alan muuttuessa 0,5 ha:sta 1,5 ha:iin, hehtaaria kohden (Kuva 22) kuormitukset ovat pienillä pinta-aloilla huomattavasti suuremmat. Vastakkaiset tulokset johtuvat siitä, että osa fosforikuormituksesta tulee erodoituneen maa-ainekseen sitoutuneena ja pinta-alan kasvaessa eroosion määrä nousee samassa suhteessa pinta-alan kanssa, kun taas erodoituneen maa-aineksen fosforipitoisuus nousee vain n. 10 %.

Hehtaarikohtaiset typpekuormitukset vähenevät pinta-alan kasvaessa eläinmäärään nähden huomattavasti enemmän kuin fosforin (Kuva 23). Tuotekohtaisessa tarkastelussa typpekuormitus nousee hieman pinta-alan muuttuessa puolesta puoleentoista hehtaarin. Suurin syy tähän on se, että koko kasvintuotantoala käytetään tilalla käytettävien rehujen tuotantoon ja kaikki lannan mukana pelloille tuleva typpilannoitus kohdentuu tutkittuun juustosysteemiin. Pinta-alan kasvaessa lannan määrä vähenee pinta-alayksikköä kohden. Pinta-alan noustessa yli 1,5 ha /tuotantoeläin, rehua tuotetaan ylimäärin, jota ei tarvita eläinten ruokintaan tutkittua tuotetta kohden, jolloin tätä ylimäärää vastaava kuormitus ei enää kohdennu juustontuotannolle.



Kuva 22. Ohran, kauran, ja nurmien hehtaarikohtaisen fosforikuormituksen muutos tuotantoalan muuttuessa suhteessa eläinmäärään.



Kuva 23. Ohran, kauran, ja nurmien hehtaarikohtaisen typpekuormituksen muutos tuotantoalan muuttuessa suhteessa eläinmäärään.

7.5 Väkiprehun osuus rehuannoksesta

Väkiprehun osuuden vaikutusta ympäristökuormitukseen tarkasteltiin kolmella erilaisella ruokintavaihtoehdolla. Ensimmäinen ruokinta perustui Toholamin juustolalle toimittavien tilojen keskimääräisiin rehunkulutustietoihin (AP). Tässä tarkastelussa väkiprehuruokinta oli siis keskimääräinen sekoitus useammasta väkiprehusta, joiden suhdetta muutettiin. Toisena väkiprehuruokintana tarkasteltiin väkiprehun määrän muutosta puolitiivisteen ja viljan osuuksia muuttamalla (PTV) ja kolmantena tiivisteen ja viljan osuuksia muuttamalla (TV).

Väkiprehun osuuden muuttamisen vaikutus eri tekijöihin laskettiin 14:sta ruokintakokeen perusteella, joissa puolestaan oli yhteensä 38 alakoetta (2 tai useampia väkiprehutasoja), ruokintoja kokeissa oli kaikkiaan 112. Ruokintojen keskimääräinen päivittäinen maitotuotos oli 28,7 kg ($\pm 3,27$ kg), kuiva-aineen syönti 20,0 kg ($\pm 1,79$ kg), ja väkiprehun osuus 41,6 % ($\pm 11,46$ %). Väkiprehun osuuden vaikutus selvitettiin regressioyhtälöllä:

$$X \text{ (tutkittava muuttuja)} = \text{väkiprehuus} + \text{väkiprehuus} * \text{väkiprehuus.}$$

Satunnaisina tekijöinä (sama alakoe) olivat karkearehun tyyppi ja väkiprehun koostumus. Regressioyhtälöitä käyttäen ennustettiin maitotuotos ja kuiva-aineen syönti väkiprehun osuuksilla 30, 40, 50 ja 60 % kuiva-aineesta. Tila-

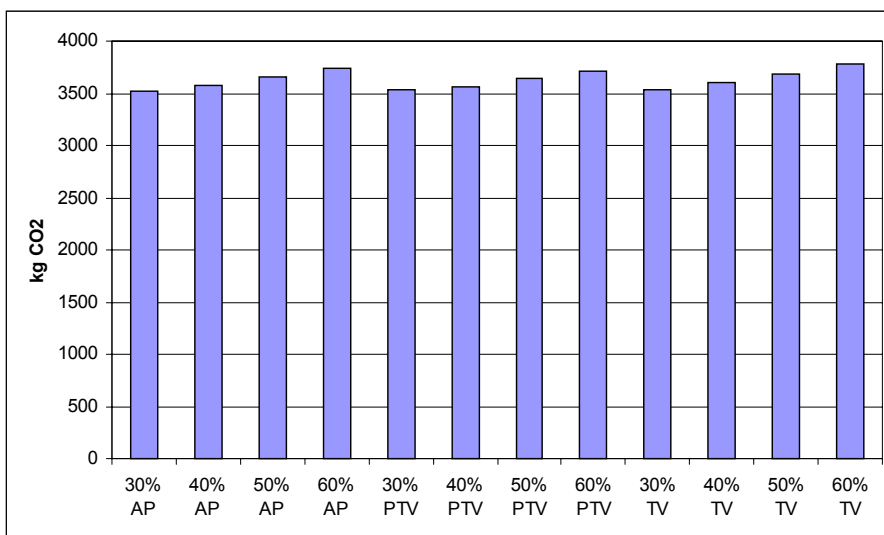
aineistosta saadun perustapauksen ruokinnan 39,6 % väkirehuosuutta käytettiin suhdelukuna 1 ja vuosittaiset maitotuotokset ja kuiva-aineen syönnit enustettiin kertomalla 7155 maitokiloa ja 5481 kuiva-ainekiloa vastaavilla suhdeluilla.

Taulukko 8. Ruokinnan väkirehuosuuksien (30, 40, 50 ja 60 %) tuotos- ja rehunkulutusmäärät. Rehunkulutus kg kuiva-ainetta.

Väkirehuuusuu	30 %	40 %	50 %	60 %
Maitotuotokset	6809	7169	7492	7809
Rehunkulutus	5481	5794	6104	6412

Tarkastelussa käytettiin samoja rehujen typpi- ja fosforipitoisuuksia kuin perusaineistossakin. Väkirehun ja karkearehun suhteelliset osuudet säilytettiin muuten samana, paitsi että kaikkien väkirehuosuuksien kivennäismäärä muutettiin 85 kiloksi (perusdatan kivennäismäärä) vähentämällä tai lisäämällä kivennäismäärää sen mukaan, mitä täysrehusta, puolitiivisteestä ja tiivisteestä arvioitiin tulevan kivennäistä. Vastaavat rehuseokset tehtiin myös puolitiiviste-viljaseoksella ja tiiviste-viljaseoksella.

Väkirehun käytön vaikutusta koko ketjun ilmapäästöihin tarkasteltiin indikaattorina ilmastonmuutospotentialiin vaikuttava hiilidioksidi (Kuva 24). Voimakkaassa väkirehuokinnassa hiilidioksidipäästöjä nostavat sekä teollisten rehujen tuotanto että tiloilla tapahtuva viljan viljely. Väkirehun tuotannossa viljan kuivauksella on suuri merkitys hiilidioksidipäästöihin. Väkirehun tuotantoketju, jossa ei tarvittaisi kuivausta, olisi hiilidioksidipäästöjen



Kuva 24 Juuston tuotantoketjun hiilidioksidipäästöt 1 000 kg juustoa kohden väkirehun osuuksilla 30 %, 39,6 %, 40 %, 50 % ja 60 %. (AP = alkuperäinen rehuseos, TV = tiiviste ja vilja, PTV = puolitiiviste ja vilja).

osalta nykymallia parempi.

Väkirehuprosenttia on mallissa nostettu lisäämällä alkuperäisen ruokinnan suhteessa kotoisia ja teollisia väkirehujä (AP) ja vähennetty vastaava ravintomäärä samassa suhteessa säilörehua, laidunta ja heinää. Lisäksi väkirehuprosentin nousun vaikutusta tarkasteltiin käyttämällä ruokinnassa tiivistettä ja viljaa (TV) sekä puolitiivistettä ja viljaa (PTV).

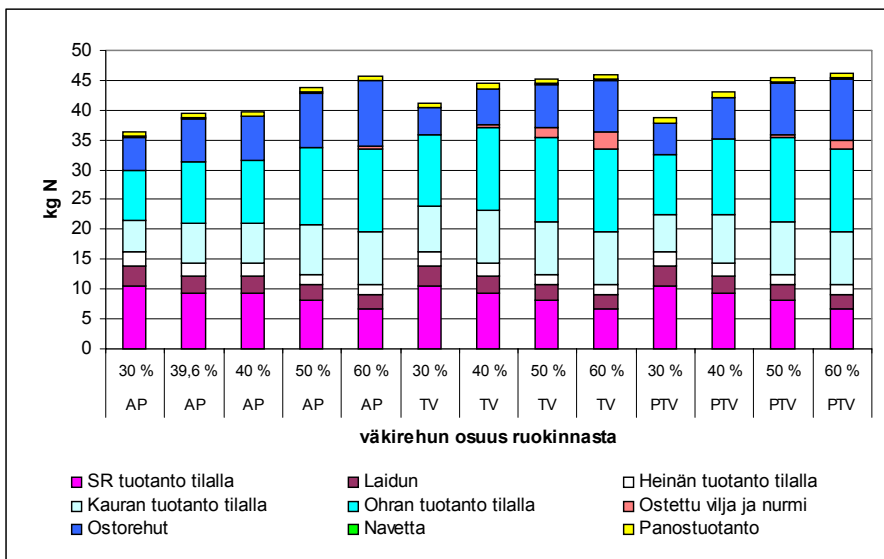
Väkirehun suhteen noustessa eläinten tuotos nousee. Eläinten ruuansulatus ei kuitenkaan pysty käyttämään hyväkseen kaikkea ravinnosta tulevaa typpeä ja fosforia. Lisättäessä väkirehun osuutta ruokinnassa voimakkaasti ravinteiden saanti kasvaa hyväksikäyttöä enemmän ja näin ollen lantaan erittyvien ravinteiden määrä kasvaa.

Lannan levitysmäärä (m^3/ha) määräytyy pääasiassa vakioarvojen perusteella. Koska voimakkaassa väkirehuruokinnassa todelliset ravinnemäärät lannassa ovat taulukkoarvoja suuremmat, pelloille menevien ravinteiden määrä kasvaa. Tämä johtaa vesistöjä rehevöittävien ravinnehuuhtoumien lisääntymiseen. Tilannetta voitaisiin korjata tiloilla taselaskelmiin perustuvilla lannan ravinnemäärälaskelmilla, joiden perusteella ostolannoitteiden määrää vähennettäisiin.

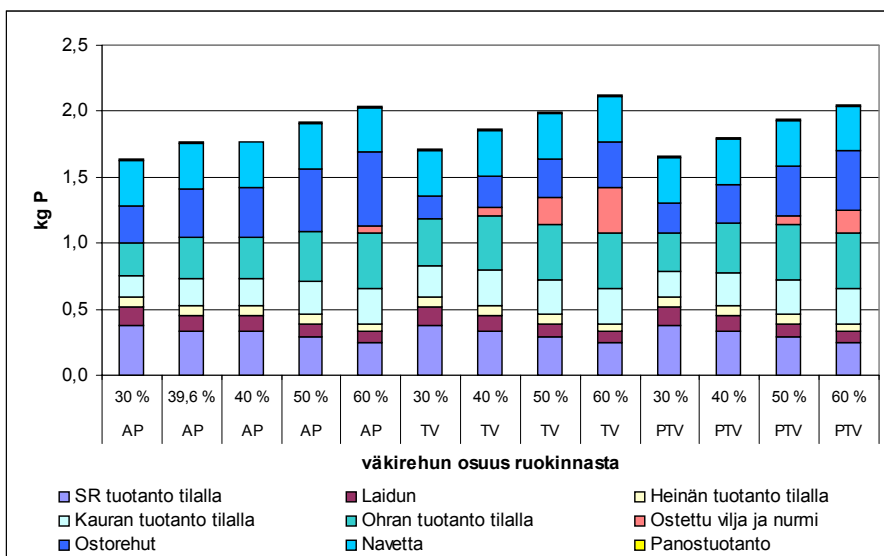
Väkirehun osuutta lisättäessä karkearehun määrä laskee. Tällöin eläinten ruokintaan tarvittavan nurmirehun tuotantopinta-ala ja siten nurmirehun tuotannosta syntyvän ympäristökuormituksen osuus pienenee, vaikka väkirehun osuuden lisääntyessä lannan typpipitoisuus nousee ja näin myös nurmirehujen typpilannoitus kasvaa. Jos tilannetta tarkastellaan tilan ympäristön näkökulmasta alueellisesti, vapautuva tuotantopinta-ala pidetään käytännössä viljeltynä. Näin ollen tilan ympäristökuormitus vesistöön kasvavaa väkirehun määrää lisättäessä kuvassa 25 esitettyä tuotekohtaista tarkastelua voimakkaammin.

Tärkeimpiä tekijöitä fosforin huuhtoutumiseen on eroosio. Voimakkaassa väkirehuruokinnassa fosforikuormitus vesistöön (Kuva 26) kasvaa. Tähän vaikuttavat nurmipinta-alan pieneneminen ja vilja-alan kasvaminen sekä väkirehun suhteen nostamisesta aiheutuva lannan fosforipitoisuuden lisääntyminen. Talviaikaisen kasvipeitteisyyden väheneminen johtaa siihen, että suurimpien valuntojen aikaan keväällä ja syksyllä eroosio ja kiintoainekseen sitoutuneen fosforin määrät kasvavat.

Eläinten fosforin saanti nousee huomattavasti yli tarvenormien väkirehun suhdetta lisättäessä. Jo tutkimusaineiston perustilanteessa (väkirehu-% 39,6) fosforin saanti on noin kaksi kiloa tarvenormeja suurempi. Fosforin saanti jo 30 %:n väkirehutasolla ylittää fosforitarpeen 0,7 kg/lehmä/vuosi. Suurimalla, 60 %:n väkirehupitoisuudella tarve ylittyy 5,2 kg/lehmä/vuosi.



Kuva 25. Juuston tuotantoketjun tyyppihuuhtoumat 1000 kg juustoa kohden väkirehun osuuksilla 30 %, 39,6 % 40 %, 50 % ja 60 %. (AP = alku-



Kuva 26. Juuston tuotantoketjun fosforihuuhtoumat 1000 kg juustoa kohden väkirehun osuuksilla 30 %, 39,6 % 40 %, 50 % ja 60 %. (AP = alkuperäinen rehuseos, TV = tiiviste ja vilja, PTV = puolitiiviste ja vilja).

Koska eläimet saavat ravintoaineita enemmän kuin eläin voi niitä hyödyntää, nousevat lannan ravinnemäärät ja sitä kautta ravinneylijäämä pelloilla kasvaa.

7.6 Väkirehun valkuaispitoisuus

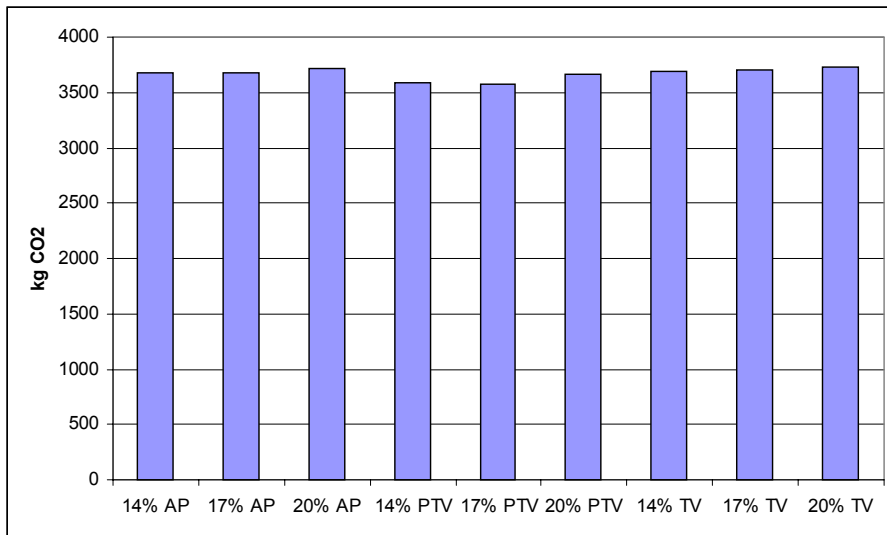
Kuten väkirehunsuhdetta tarkasteltaessa valkuaispitoisuuttakin tarkasteltiin muuttamalla eläinten ruokintaa kolmella tavalla. Ensimmäisessä väkirehun valkuaispitoisuuden tarkastelussa käytettiin Toholammin juustolalle maitoa toimittavien tilojen keskimääräisen rehunkulutuksen tietoja, joiden suhdetta muutettiin (AP) niin, että valkuaispitoisuus saatiin halutuksi. Toisena tarkasteltavana ruokintana tarkasteltiin tilannetta, jossa ruokinnan väkirehun valkuaisen suhdetta muutettiin muuttamalla puolitiivisteiden ja viljan määrää ruokinnassa (PTV). Kolmantena vaihtoehtona tarkasteltiin ruokintaa, jossa väkirehuna käytettiin tiivistettä ja viljaa (TV).

Väkirehun valkuaispitoisuuden vaikutuksen selvittämiseen käytettiin 27 ruokintakoetta, joissa 60 alakoetta, ruokintoja kaikkiaan 186. Ruokintojen keskimääräinen päivittäinen maitotuotos oli 27,6 kg ($\pm 3,75$ kg), kuiva-aineen syönti 19,6 kg ($\pm 1,95$ kg), väkirehun valkuaispitoisuus 16,7 % ($\pm 3,25$ %) ja väkirehun osuus 40,7 % ($\pm 6,19$ %). Väkirehun osuuden vaikutus selvitettiin regressioyhtälöllä:

X (tutkittava muuttuja) = väkirehun valkuaispitoisuus + väkirehun valkuaispitoisuus².

Satunnaisina tekijöinä (sama alakoe) olivat karkearehun tyyppi ja väkirehun määrä. Regressioyhtälöitä käyttäen ennustettiin maitotuotos ja kuiva-aineen syönti väkirehun osuuksilla 14, 17, ja 20 % kuiva-aineesta. 16,36 % väkirehun osuutta käytettiin suhdelukuna 1 ja vuosittaiset maitotuotokset ja kuiva-aineen syönnit ennustettiin kertomalla 7155 maitokiloa ja 5481 kuiva-ainekiloa vastaavilla suhdeluvuilla. Vuosittaiset maitotuotokset olivat eri väkirehun valkuaispitoisuuksilla: 14 % 6980 kg, 17 % 7197 kg, ja 20 % 7368 kg. Kuiva-aineen syönnit olivat vastaavasti 5698, 5802 ja 5890 kiloa.

Ruokinnat muutettiin käyttämällä samoja rehujen tyyppi- ja fosforipitoisuuksia kuin perusaineistossakin. Väkirehujen valkuaispitoisuutta muutettiin sekoittamalla viljaa ja täysrehu-puolitiiviste-tiivistettä (osuudet säilytettiin samana kuin perusaineistossa). Eri karkearehujen osuudet säilytettiin samana kuin perusaineistossa ja kaikkien väkirehuosuuksien kivennäismäärä muutettiin 85 kiloksi (perusdatan kivennäismäärä) vähentämällä tai lisäämällä kivennäismäärää sen mukaan, mitä täysrehusta, puolitiivisteestä ja tiivisteestä arvioitiin tulevan kivennäistä. Vastaavat valkuaispitoisuusseokset tehtiin myös puolitiiviste-viljaseoksella ja tiiviste-viljaseoksella.

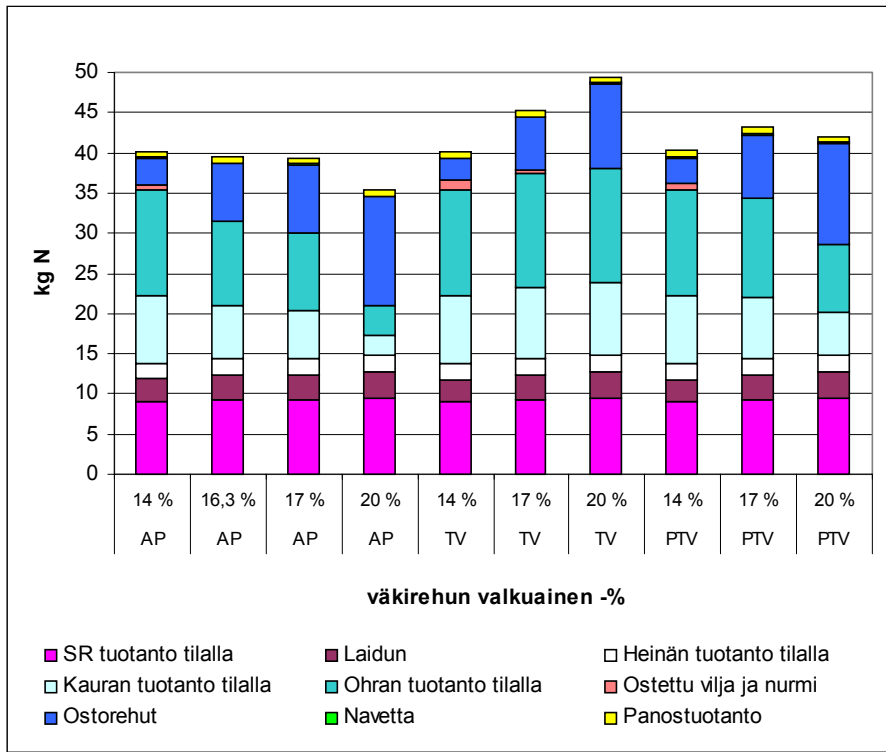


Kuva 27. Juuston tuotantoketjun hiilidioksidipäästöt, 1000 kg juustoa kohden väkirehun valkuaispitoisuuksilla 14, 17 ja 20 %. (AP = alkuperäinen rehuseos, TV = tiiviste ja vilja, PTV = puolitiiviste ja vilja).

Eri väkirehu- ja valkuaisruokintaryhmistä laskettiin vuodessa lantaan tuleva typen tai fosforin määrä rehuista saadun ja maitoon sekä vasikkaan menevien määrien erotuksena.

Koko elinkaarta tarkasteltuna hiilidioksidipäästöjen painopiste vaihteli alkutuotannossa eri tuotantotavoilla, mutta erot eivät olleet koko ketjun kannalta merkittävän suuria. Nurmivaltaisessa tuotannossa hiilidioksidipäästöjä lisäävät AIV –liuokset ja muovit ja väkirehuvaltaisessa tuotannossa viljan kuivaus ja teollisten ostorehujen tuotanto ja kuljetusketjut. Koko elinkaaren hiilidioksidipäästöt kuitenkin kasvoivat jonkin verran valkuaispitoisuuden noston vaikutuksesta (Kuva 27). Tarkasteltaessa vain yhtä elinkaaren osaa, rehun tuotantoa, erot olivat suhteellisesti suurempia.

Valkuaispitoisuuden muutos maitotiloilla toteutetaan käytännössä pääasiassa tiivisteiden lisäyksellä. Jos tilalla on mahdollisuus käyttää omaa viljaa sitä myös käytetään ja ostorehut ostetaan mahdollisimman konsentroituna eli tiivisteinä. Valkuaispitoisuuden muutos tiivisteiden ja viljan (TV) suhdetta muuttamalla vähentää vain vähän viljan määrää ruokinnassa, koska tiiviste on pääasiassa valkuaisista ja eikä siten vähennä oleellisesti eläimen muuta rehun tarvetta. Näin ollen tiiviste on ruokinnan lisäpanos ja sen tuotanto lisää ympäristörasitusta (Kuva 28). Väki-rehun valkuaispitoisuutta nostettaessa typen ja fosforin saanti nousee ja lantaan erittyvien ravinteiden määrä kasvaa. Suuremman ravinnemäärän siirtyminen pelloille lisää vesistöön huuhtoutuvien ravinteiden määrää.



Kuva 28. Alkutuotannon typpihuuhtoumat 1 000 kg juustoa kohden väkirehun valkuaispitoisuuksia (14, 17 ja 20 %) muutettaessa alkuperäisen dieetin suhteessa (AP), tiivisteellä ja viljalla (TV) ja puolitiivisteellä ja viljalla (PTV).

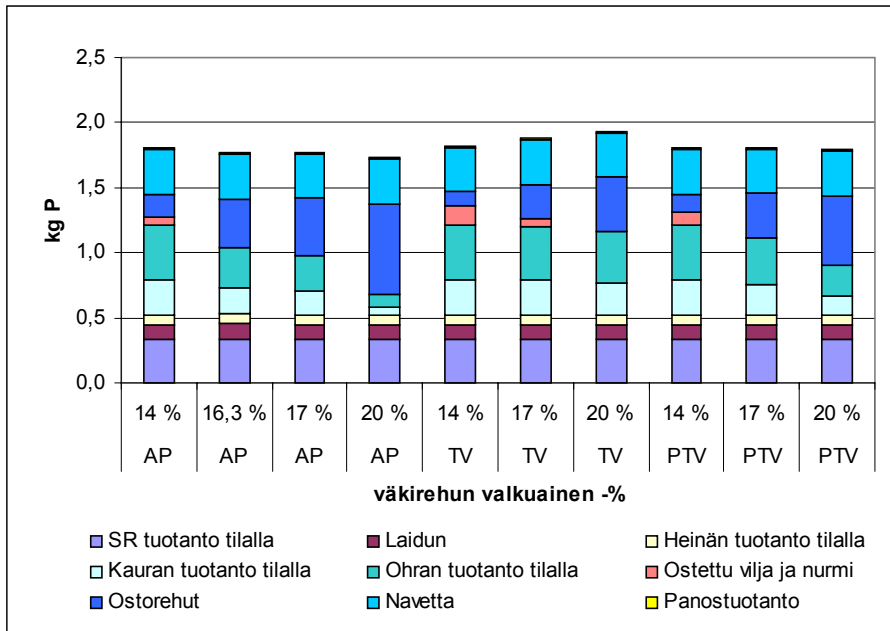
Väkirehun valkuaispitoisuutta muutettaessa puolitiivistettä ja viljaa käyttäen (PTV), viljan osuus ruokinnassa vähenee, jolloin myös viljan tuotantoalalta huuhtoutuvat typpikuormat vähenevät. Vastaavasti ostorehujen määrä ja niiden tuotannosta aiheutuva typpikuormitus kasvaa. Puolitiivistettä lisättäessä 14 %:sta 17 %:iin typpikuormitus nousee, koska ostorehujen kuormituksen nousu on suurempi kuin kotoisten rehujen viljelystä aiheutuvan typpikuormituksen väheneminen. Todella runsas puolitiivisteen käyttö korvaa maitotilalla tuotettavan viljan tarvetta (PTV 20% kauran tuotanto tilalla ja ohran tuotanto tilalla, kuva 28). Tällöin *tuotekohtaisessa*, 1000 kg juustoa kohden tehtävässä tarkastelussa kuormitus tuotetta kohden voi jopa pienentyä. Erityisesti, jos osa ostorehuista on teollisuuden sivuvirtoja joiden tuotannosta ei aiheudu ravinnepäästöjä ympäristöön. Lähivesistön näkökulmasta kuitenkin tilanne on päinvastainen. Käytännössä tilalla tuotetaan viljaa ja muita rehuja koko käytettävissä olevalla pinta-alalla ja väkirehun valkuaispitoisuuden nousun myötä tapahtuvasta ravinteiden lisääntymisestä lantaan aiheutuu lisäkuormitus ympäristölle. Voimakas ostorehujen käyttö johtaa myös lannan määrän kasvuun. Jos tilalla ei ole riittävästi lannanlevitysalaa, lähivesistön ravinnekuormitus kasvaa jopa moninkertaiseksi (Kuva 23). Tuotekohtaisessa

tarkastelussa on myös huomioitu se, että väkirehun valkuaispitoisuuden nosto on biologisesti tehokkain ruokinnallinen tapa lisätä maitotuotosta ja maidon valkuaisen tuotosta. Kun tuotos nousee, tarkasteluyksikkönä olevan 1000 kg juuston valmistamiseen käytettävän maidon tuotantoon tarvittava eläinmäärä vähenee (Liite 2). Koska tuotekohtainen ja alueellinen tarkastelu voivat antaa jopa päinvastaisen tuloksen, elintarviketuotteita tarkasteltaessa on aina huomioitava tuotekohtaisen tarkastelun lisäksi myös alueellinen näkökulma.

Alkuperäisen ruokinnan mukaisessa muutoksessa (AP) omalla tilalla tuotetun rehun käyttö eläinten ruokinnassa vähenee. Koska maitotiloilla tuotettavalla viljalla oli tutkimuksen mukaan suhteellisen huonot tyypitaseet, viljan määrän väheneminen johti siihen, että kokonaiskuormitus väheni vaikka ostorehuista aiheutuikin ravinnekuormituksen lisääntymistä (Kuva 28). Todellisia valintoja tehtäessä on kuitenkin huomioitava, että alkuperäisen (AP) ruokinnan mukainen tapaus on tilastollinen keskiarvo Toholammin tuotantolaitokselle maitoa toimittavien tilojen ruokinnasta. Tilastollisena keskiarvona se on teoreettinen. Todellisuudessa tilalla viljeltäisiin edelleen koko pinta-alalla rehuja tai muita kasveja ja ostorehujen tuotannon ja lannan ravinnepitoisuuden lisääntymisen kautta syntyvät päästöt olisivat lisäkuormitusta. Tehtäessä valintoja on varmistettava, että tuotantotapa ei johda luonnon kantokyvyn ylittymiseen.

Perustilanne, joka perustuu 714:n Toholammin alueen karjantarkkailun rehunkulutustietoihin vuodelta 1998, ei ole ruokinnan fosforitasoltaan optimaalinen. Siinä on fosforiyliruokintaa noin kaksi kiloa vuodessa/lehmä. Perustilanteessa väkirehun valkuaispitoisuus oli keskimäärin 16,36 % kuiva-aineessa ja fosforipitoisuus 0,637 % kuiva-aineessa. Fosforipitoisuutta voitaisiin vähentää n. 0,5 % tasolle erityisesti vähentämällä kivennäisistä saatavaa fosforia ilman tarvenormien mukaisen fosforin saannin vaarantumista. Valkuaispitoiset rehut sisältävät jo itsessään paljon viljaa ja karkearehuja enemmän fosforia.

Muutettaessa väkirehun valkuaispitoisuutta alkuperäisen (AP) ruokintaseoksen ja puolitiivisteiden ja viljan (PTV) suhteita muuttamalla (Kuva 29), viljan määrän laskiessa ja tuotoksen noustessa, tilan omaa rehuntuotantoalaa tarvitaan vähemmän 1000kg juuston tuottamiseen tarvittavan maitomäärän tuottamiseen. Ostorehujen fosforikuormitus kuitenkin kasvaa, jolloin juuston tuotannolle kohdennettavan fosforikuormituksen kokonaismäärä pysyy lähes samana ruokinnan valkuaispitoisuudesta riippumatta.



Kuva 29. Väkirehun valkuaispitoisuuden muutoksen vaikutus vesistöjä potentiaalisesti rehevöittäväan fosforikuormitukseen nostettaessa väkirehun valkuaispitoisuutta alkuperäisen dieetin suhteessa (AP), tiivisteellä ja viljalla (TV) ja puolitiivisteellä ja viljalla (PTV).

Tiivisteiden ja viljan (TV) osuutta muuttaen toteutetussa tarkastelussa tuotoksen nousun ja viljan osuuden väheneminen kumoavat tuotekohtaisessa tarkastelussa pinta-alakohtaisen fosforikuormituksen kasvun (Liite 2) tilan rehuntuotannossa. Ostorehujen fosforikuormitus kasvaa, jolloin kokonaisfosforikuormitus kasvaa. Hehtaarisella tarkasteltuna kuormitus kasvaa tuotekohtaista tarkastelua enemmän, sillä lannan mukana tulevan fosforin määrä nousee.

7.7 Lypsykausien lukumäärä

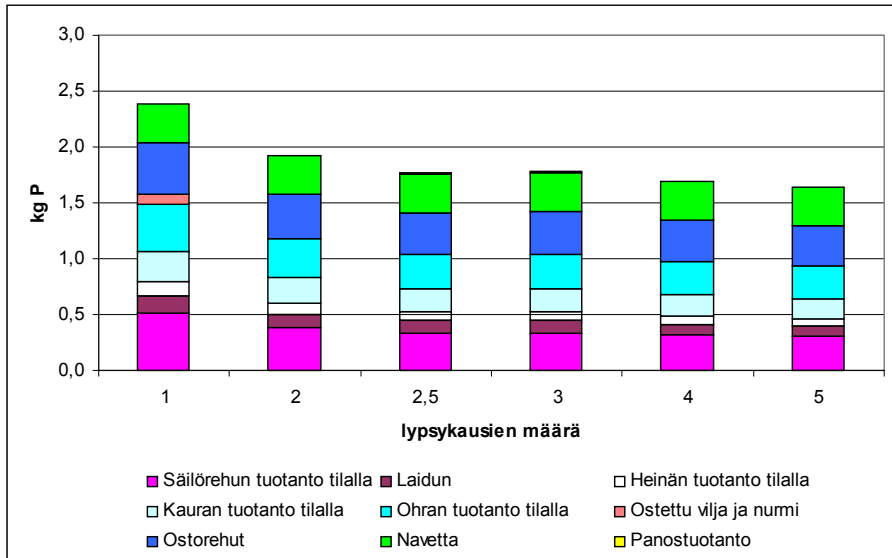
Lypsykausien lukumäärän tarkastelussa esille nousee kasvatukseen käytettävän ruokinnan ja kasvatuksen aikaisen lannan tuoton sekä eläimen elinikäisen tuotoksen määrä. Tutkimusaineistojen mukaan eläinten tuotos kasvaa jopa viidenteen laktaatioon saakka.

Rehunkulutus ennen poikimista laskettiin rehutaulukoiden tarvenormien mukaan rehuyksikkökulutuksen ja rehunkulutustietoihin perustuvien, valtakunnallisten eri rehujen käyttösuuksien mukaan. Eri rehujen typpi- ja fosforipitoisuuksina käytettiin Toholammin perusaineiston tietoja. Alle vuoden ikäisten eläinten muut rehut oletettiin täysmaidoksi.

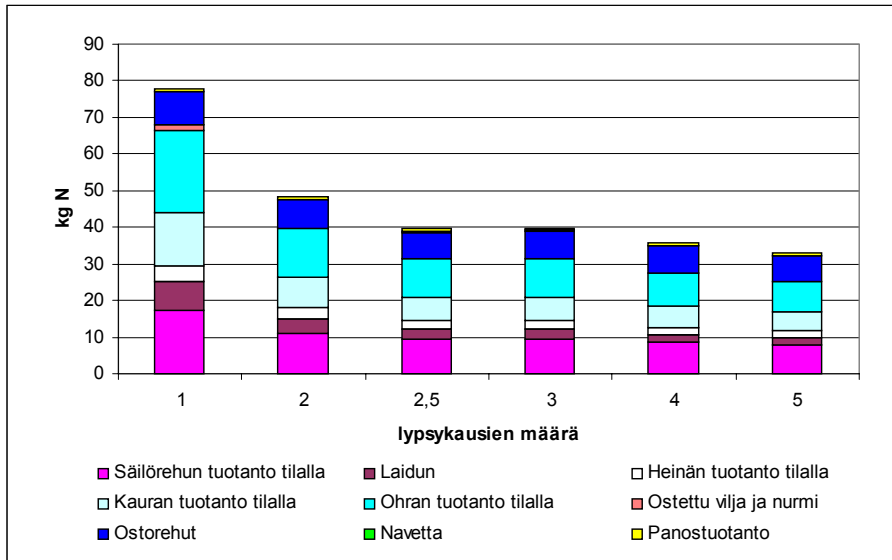
Eri poikimakertojen suhteellisina tuotoksina käytettiin 1: 0,8, 2: 0,95, 3:1, 4: 1,06 ja viidennen kerran poikineilla 1,11. Ensikoiden osuutena käytettiin 35 %, 2 kertaa poikineiden 27 % ja 3 ja useamman kerran poikineiden 38 %:a. Eri poikimakerroilla maitotuotokset olivat siten 6346, 7339, 7756, 8224 ja 8614 kg/vuosi. Rehunkulutus laskettiin tarpeen mukaan siihen asti, kun maitoa oli tuotettu 18003 kiloa, ja myös 3 ja 4 lypsykauden loppuun. Eri rehuja käytettiin samassa suhteessa kuin perusaineistossa. Typen ja fosforin elinikäinen ylijäämä laskettiin vähentämällä typen ja fosforin saannista maitoon, vasikoihin ja eläimen kasvuun pidättynyt typpi ja fosfori. Lehmän elinikää tarkasteltiin 1-5 laktaation välillä.

Lehmän elinikä, lypsykausien lukumäärällä mitattuna, on hyvä esimerkki ympäristötehokkuusindikaattorista (Kuva 30 ja 31). Mikäli lehmän kasvatukseen käytettyjä panoksia ei hyödynnetä riittävästi, vaan tuotetaan maitoa vain vuoden ajan, käytetyt panokset ovat suuria suhteessa tuotoksiin. Tällainen ympäristötehokkuusajattelu kuvaa sekä taloudellista että ympäristöllistä hyötyä. Ympäristökuormitus pienenee, kun lehmän kasvatukseen tarvittava energiamäärä jakaantuu eliniän jatkuessa suuremmalla maitomäärällä. Tulokseen vaikuttaa sekä kasvatukseen kulutetun rehun jakaantuminen useammalle laktaatiolle että tuotoksen nousu eläimen iän myötä. Pääosa eläimen kasvatuksen tarvitsemasta rehumäärästä tulee kohdentaa maidolle, koska myytävästä lihasta ei saada pois kasvatuksen tuotantokustannuksia. Lehmän eliniän kasvattaminen parantaa ympäristöprofiilia kaikissa ympäristövaikutusluokissa.

Maitolitraa kohden laskettavat fosforihuuhtoumat pienenevät lehmän eliniän myötä muun muassa siksi, että kasvatukseen käytetty panostus kohdentuu suuremmalle tuotetulle maitomäärälle (Kuva 31).



Kuva 30. Lehmän eliniän vaikutus (1; 2; 2,5; 3; 4 ja 5 laktaatiota) typpihuutoumiin 1000 juustokiloa kohti.



Kuva 31. Lehmän eliniän vaikutus (1, 2, 2,5, 3, 4, ja 5 laktaatiota) fosforihuutoumiin 1 000 juustokiloa kohti.

Taulukko 9. Lehmän lypsykausien lukumäärän vaikutus ravinnetaseisiin.

Lypsykausien lukumäärä	1	2	2,5	3	4	5
Lehmien lukumäärä juustotoniin tarvittavan maidon tuottamiseksi	1,70	1,58	1,51	1,51	1,46	1,41
Lehmien rehuntuotantoon tarvittavan pinta-alan tarve (ha) (kokonais- ja lannanlevitysala 3,77 ha)	3,72	2,74	2,44	2,43	2,27	2,17
Lehmien maitotuotos (kg/v)	6346	6843	7155	7147	7416	7656
Juustoa kohti keskimäärin	kg / 1000 kg juustoa					
Typpi –N						
N lannasta pellolle	341	251	222	222	207	197
N väkilannoitteesta pellolle	414	414	414	414	414	414
N satoon	395	395	395	395	395	395
NH ₃ -N-haihdunta ilmaan	87,7	65,3	57,9	58,1	54,3	51,8
N ₂ O-N-haihdunta ilmaan	8,3	8,1	8,0	8,0	7,9	7,8
N ylimäärä maaperään ja vesistöön	264,1	197,0	175,0	175,5	164,2	156,9
Fosfori –P						
P lannasta pellolle	52,4	39,5	35,1	35,4	33,2	31,7
P väkilannoitteesta pellolle	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8
P satoon	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1
P ylimäärä maaperään ja vesistöön	56,1	43,2	38,8	39,1	36,9	35,4
Hehtaaria kohti keskimäärin	kg / ha					
Typpi –N						
N lannasta pellolle	90,4	66,6	58,8	59,0	64,9	52,3
N väkilannoitteesta pellolle	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7
N satoon	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6
NH ₃ -N-haihdunta ilmaan	23,3	17,3	15,4	15,4	14,4	13,7
N ₂ O-N-haihdunta ilmaan	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
N ylimäärä maaperään ja vesistöön	70,02	52,24	46,40	46,53	43,52	41,60
Fosfori –P						
P lannasta pellolle	13,9	10,5	9,3	9,4	8,8	8,4
P väkilannoitteesta pellolle	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7
P satoon	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
P ylimäärä maaperään ja vesistöön	14,9	11,5	10,3	10,4	9,8	9,4

8 Johtopäätökset

Juustontuotantosysteemin ravinnekuormitukset syntyivät lähes kokonaan tilan omien ja ostorehujen tuotannossa. Rehevöittävä fosforikuormitusta aiheutui näiden lisäksi navetassa käytetyistä fosfaattipitoisista pesuaineista.

Hiilidioksidipäästöjä systeemissä aiheutui energian käytöstä eri prosessivaiheissa, kuljetuksista sekä peltojen kalkituksen yhteydessä neutralointiprosessissa.

Typenoksidipäästöjä syntyi kaikissa tuotannon vaiheissa. Suurimmat typenoksidipäästöt aiheutuivat työkoneiden ja autojen polttomoottoreiden käytöstä. Rikkidioksidipäästöjä aiheutui jonkin verran tuotantoketjun kaikissa vaiheissa. Eniten, rikkidioksidia aiheutui juuston valmistuksessa käytettävän höyryn tuottamisesta raskaalla polttoöljyllä.

Juustontuotantoketjussa suurimmat tekijä ilmastonlämpenemispotentiaaliin olivat tuotantoeläinten ruuansulatuksessa syntyvät metaanipäästöt ja alkutuotannon typpioksiduulipäästöt, joihin ei nykytietämyksen mukaan voida käytännössä juuri vaikuttaa. Näiden lisäksi ilmastonmuutospotentiaaliin vaikutti ketjun eri vaiheissa käytetyistä fossiilisista polttoaineista syntyvät hiilidioksidipäästöt. Suurimpia rehevöitymispotentiaaliin vaikuttavia tekijöitä olivat rehun tuotannosta syntyvät ravinnehuuhtoumat sekä navetan maito-huonejätevedet. Hyvin pieni osuus rehevöitymispotentiaaliin vaikuttavasta kuormituksesta oli peräisin juuston valmistuksesta ja tilalle tuotavien muiden tuotantopanosten, lähinnä siementen tuotannosta. Juuston valmistuksen päästöt Toholammin tuotantolaitoksella olivat tuotekohtaisesti tarkasteltuna suhteellisen pieniä. Tuotantolaitoksen ravinnekuormitusten hallinta on kuitenkin erityisesti alueellisesti tarkasteltuna tärkeää, koska elintarviketuotantolaitokset voivat olla suhteellisen suuria pistekuormituslähteitä erityisesti jätevedenpuhdistukseen liittyvissä häiriötilanteissa.

Happamoitumispotentiaaliin vaikuttivat eniten eläinten lannasta ja virtsasta sekä lannoitteista haihtuva ammoniakki. Rikkidioksidin ja typen oksidit, jotka olivat peräisin fossiilisten polttoaineiden käytöstä, syntyi kaikissa juustontuotantoketjun vaiheissa, mutta nämä olivat hyvin pieniä ammoniakkin aiheuttamaan happamoitumispotentiaaliin verrattuna.

Elintarvikeketjun näkökulmasta kotimaisen elintarviketeollisuuden sivutuotteiden hyödyntäminen eläinten rehuna on kestävyteen tähtäävien periaatteiden mukaista toimintaa. Tässä tutkimuksessa näille väkirehuihin käytetyille sivutuotteille ei kohdennettu muita kuormituksia kuin niiden kuljettaminen sekä mahdollinen prosessointi, ja siten ne pienensivät jonkin verran väkirehujen ympäristökuormitusta. Mikäli sivutuotteita ei käytettäisi rehujen valmistuksessa tai sellaisenaan eläinten rehuna, päätyisivät ne esimerkiksi kaatopaikalle tai kompostointiin aiheuttaen päästöjä. Sivutuotteet korvaavat myös osan eläinten ravinnontarpeesta, jolloin käytetyin oletuksin välttyttiin ympäristökuormitukselta, joka olisi aiheutunut tämän ravintoainemäärän tuottamisesta.

Juustontuotannon ympäristötehokkuuteen vaikuttaa oleellisesti raaka-aineiden hyödyntäminen. Juustontuotannon sivutuotteena syntyi heraa yli kymmenen kertaa enemmän kuin juustoa. Heraa hyödynnetään muiden tuotteiden valmistukseen, ja sen käsittelystä syntyvät kuormitukset, kuten heran haihdutukseen käytetystä energiasta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt, kohdennettiin heratuotteille. Mikäli heraa ei hyödynnettäisi, suuri määrä ravinteita

päätyisi vesistöön. On siis sekä liiketoiminnan tuloksen että ympäristön etu, kun tuotetuista raaka-aineista aikaansaadaan hyödynnettäviä tuotteita.

Tuotostasoittain jaetun tila-aineiston tulosten mukaan korkean tuotostason tiloilla ravinnekuormitus oli pienintä. Vaikka tarkastelussa muuttujina olivat tila-aineiston keskimääräiset ruokinnat sekä niillä saavutetut maitotuotokset, tuloksiin vaikuttivat useammat tekijät, kuten eläinainees, säilörehun laatu ym. Tuloksissa ei huomioitu tilaryhmien välisiä peltoviljelyn eroja, vaan peltoviljelyprosessi oli suppeamman kyselyaineiston keskimääräinen peltoviljelyprosessi. Koska kyselytutkimusaineistossa oli vain 20 tilan viljelytiedot, niiden jakoa pienempiin tilaryhmiin ei nähty järkevänä, vaikka mukana oli kukin tilaryhmä edustettuna. On kuitenkin mahdollista, että erot tilaryhmien välillä kasvaisivat entisestään, mikäli huomioitaisiin myös peltoviljelyn erot.

Peltoviljelyn tehokkuutta ja sen vaikutuksia mallinnettiin satotason muutoksilla. Sadon määrällä oli huomattava merkitys koko tuotantoketjun ravinnehuuhtoumiin. Satotaso vaikutti kahta kautta: mikäli samoilla tuotantopanoksilla saatiin suuremmat sadot, kasvien ravinteiden otto kasvoi ja samalla rehuntuotantoon tarvittava tuotantoala jäi pienemmäksi. Tuotantoalan vähentyminen tuotetta kohden vaikuttaa varsinkin rehevöittävään fosforikuormitukseen.

Typpilannoituksella tavoiteltiin korkeampia satoja, mutta viljelykasvit eivät yleensä pysty käyttämään annettua lisätyppä riittävän tehokkaasti hyväkseen. Typpilannoitusta lisättäessä ravinnekuormitusriski kasvoi. Kun typpilannoituksen lisäys kasvatti satotasoa, kasvien fosforinotto kasvoi ja pitkällä aikavälillä fosforikuormitus hieman laski. Tutkituissa tapauksissa peltojen fosforin saanti ylitti kasvien pellostä ottaman fosforin määrän. Fosforin lisääminen olisi lisännyt ympäristökuormitusta. Jatkossa tulisi tarkastella fosforia suhteessa peltojen fosforitilaan ja tilojen ravinnetaseeseen fosforilisäyksen tarpeen näkökulmasta.

Tulosten mukaan rehevöittävä ravinnekuormitus jäi pienimmäksi sekä tuotekohtaisessa että hehtaarikohtaisessa tarkastelussa silloin, kun ravinteiden kierto ja hyödyntäminen ovat hallinnassa. Väkirehun osuutta ja valkuaispitoisuutta lisättäessä ravinnekuormitukset nousivat, koska lannan mukana peltolle siirtyvät ravinnemäärät kasvoivat. Vaihtoehtojen erot olivat hehtaarikohtaisessa tarkastelussa huomattavasti tuotekohtaista suurempia. Nostettaessa väkirehun määrää tai valkuaispitoisuutta ruokinnassa on tärkeää varmistaa riittävä lannanlevitysala. Lannan levitys on nähty maitotilojen ongelmana. Lannan kuljettaminen pitkiä matkoja ei ole taloudellisesti kannattavaa ja tästä johtuen lantaa kuljetetaan enemmän tuotantorakennusten läheisille lohkoille. Ylilannoitetuttujen lohkojen ravinnepitoisuudet nousevat, mikä johtaa myös kasvaviin ravinnehuuhtoumiin. Lantaongelma korostuu tilanteissa, joissa maitotiloilla keskitytään karkearehun tuotantoon, jolloin lanta levitetään pin-talannoituksena nurmille.

Maitotilan lähiympäristön näkökulmasta katsoen olisi parempi vaihtoehto, että tilan sisäinen ravinteidenkierto olisi tehokasta eikä sinne tuotaisi ylimäärin lisäravinteita. Käytännössä tämä tarkoittaisi sitä, että mahdollisimman suuri osa rehuista tuotettaisiin tilalla käyttäen lannoitteena karjanlantaa ja minimoitaisiin sekä ostolannoitteiden että ostorehujen käyttö. Cederbergin mukaan useat ravinneylijäämien negatiiviset vaikutukset aiheutuvat siitä, että nykyaikainen eläintuotanto keskittyy suhteellisen pienelle alalle. Tämä kehitys on ollut mahdollista tuomalla tiloille runsaasti ulkopuolelta lisäpanoksia, lannoitteita ja rehua. Tämä on johtanut ravinteiden kerääntymiseen maahan, ja ylijäämän kasvun myötä huuhtoumina (Cederberg 2002).

Yksi merkittävä tekijä ympäristörasituksen pienentämisessä juustotonna kohden olisi pyrkiä pitämään eläimet tuotannossa mahdollisimman kauan panostamalla eläinten hyvinvointiin ja terveyteen. Kun eläimen tuotantoaika pitenee, kasvatukseen kuluneet tuotantopanokset ja ympäristökuormitus jakaantuvat suuremmalle maitomäärälle.

Toteutetussa intensiteettitarkastelussa rajauduttiin tarkastelemaan typpi- ja fosforikuormitusta vesistövaikutusten näkökulmasta. Ruokinnan typpipitoisuutta vähentämällä voidaan yrittää vaikuttaa myös lannasta vapautuviin ammoniakkipäästöihin. Erityisesti virtsassa erittyvän typen määrää voidaan rajoittaa, koska rehuannoksen typpipitoisuus ja sitä kautta lisääntynyt typen saanti vaikuttavat siihen voimakkaasti (ks. esim. Smits 1995, Nousiainen J.I. ym. 2003). Lannasta vapautuvan ammoniakkin ollessa happamoittavan potentiaaliltaan kannalta selvästi suurin tekijä, tulevaisuudessa myös eri ruokintavaihtoehtojen vaikutukset tuotejärjestelmän ammoniakki- ja muiden ilmapäästöjen vähentämiseksi tulisi selvittää tässä tutkimuksessa ensi kertaa sovelletulla menettelytavalla. Sontaan ja virtsaan erittyvän typen määrä voidaan ennustaa varsin luotettavasti kuiva-aineen syönnin, dietin valkuaispitoisuuden ja maidon urean avulla (Huhtanen ym. 2003, Nousiainen J. ym.2003)

Maitotiloilla suoritettujen haastattelujen perusteella maitotilojen viljakasvien satotasot olivat alhaisempia kuin Suomessa keskimäärin. Lannoitteita, lannan ravinteet mukaan lukien, kuitenkin käytettiin tukiehtojen mukaisia maksimimääriä. Tilojen alhaisemmat sadot johtuvatkin muista tekijöistä, kuten esimerkiksi kalkituksen vähäisyydestä ja mahdollisesti maan rakenteellisista ominaisuuksista. Kyselyn mukaan tiloilla kalkitusmäärät olivat huomattavasti keskimääräistä pienemmät, joka voi vaikuttaa satotasoihin. Kalkituksen vähäisyyttä voi selittää myös se, että kalkitus oli tehty ennen kyselyä, jolloin se ei näy aineistossa. Lohkojen keskimääräinen pH oli 5.6 (viljavuusluokka välttävä), joka on jonkin verran alhaisempi kuin koko maan peltojen keskiarvo. Kiinnittämällä huomiota peltojen perusparannukseen kuten kalkitukseen ja rakenteellisten ominaisuuksien parantamiseen, voitaisiin viljojen satotasoja jonkin verran nostaa ja tätä kautta ravinteiden hyväksikäyttö paranisi. Satotasoihin vaikuttaa myös moni tekijä, joihin viljelijöillä ei ole vaikutusmahdollisuuksia, kuten ilmastolliset olosuhteet.

Ympäristömyötäisellä maitotilalla on hyvä rehuhehtaarien satotaso, pitkäikäiset ja geneettiseltä kyvyltään keskimääräistä paremmat lehmät, ja kohtuullinen väkirehutaso ruokinnassa sekä ennen kaikkea käytettävissä riittävästi viljelypinta-alaa lannan levitykseen. Lannan ravinteiden hyväksikäyttö rehuntuotannossa on keskeinen tekijä, koska se vähentää potentiaalisten ravinnehuuhtoumien määrää. Hyvän ravinteiden hyväksikäytön aikaansaaminen on monen tekijän summa.

8.1 Hehtaarikohtainen vai tuotekohtainen tarkastelu?

Elinkaariarviointi on menetelmä tuotelähtöiseen, tuotteen koko arvoketjun kattavaan ympäristöasioiden hallintaan. Elinkaariajattelun avulla ympäristönsuojeluun kohdennettavat resurssit voidaan osoittaa koko ketjun kannalta potentiaalisimpiin kohteisiin ja kuluttajat voivat tuotekohtaisilla valinnoillaan vaikuttaa ympäristöasioiden kehittymiseen.

Suomessa on voimakkaasti maidontuotantoon erikoistuneita alueita. Kun kasvavien yksiköiden myötä eläintiheys kasvaa, niiden rehuntuotokapasiteetti ei riitä rehujen tuotantoon, vaan rehut hankitaan alueen ulkopuolelta. Kun suuri osa rehuista tuodaan muualta, alueelle tuodaan enemmän ravinteita, kuin sieltä viedään tuotteiden mukana. Näillä alueilla kasvava kuormitus aiheuttaa vesistöjen rehevöitymistä. Paikallisesti tällainen tuotanto voi olla kestäväntöntä. Se johtaa maan fosforipitoisuuksien nousuun pidemmällä aikavälillä ja vaikuttaa suuresti sekä typpi että fosforikuormitukseen. Intensiteettitarkastelussa nähtiin, että useamman muuttujan kohdalla tuotekohtaisesti tarkasteltaessa eri vaihtoehtojen erot olivat pieniä, mutta pinta-alayksikköä kohden kuormituserot olivat suuria. Tästä johtuen tuotelähtöisen, ekotehokkuutta painottavan näkökulman lisäksi on huomioitava alueellinen kantokyky alueellisella tarkastelulla. Tuotekeskeinen tarkastelu huomioi vain sen peltoalan ravinnehuuhtoumat, joka on tarvittu tarkasteltavan tuotteen tuottamiseen. Käytännössä ympäristökuormitusta syntyy jokaiselta peltohehtaarilta. Näin ollen alueen kokonaiskuormituksen määrä ja lähijärven rehevöityminen voivat lisääntyä vaikka tuotekeskeinen ympäristöprofiili paranee.



Kuva 32. Vesistöjen rehevöitymistä aiheuttavien ravinteiden huuhtoutuminen vesistöön. Pieni pinta-alan tarve vähentää tuotekohtaista kuormitusta. Alueellisesta näkökulmasta pieni hehtaariohtainen kuormitus on parempi lähi-vesistölle (Kuva: Jaana Uusi-Kämpä).

Tuotekohtaisessa tarkastelussa ympäristöystävällistä on tuottaa mahdollisimman suuri määrä tuotteita pienellä pinta-alalla (kuvassa 32, esim. alue B). Jos tuotetta kohden tarvitaan enemmän pinta-alaa ($A + B$), voidaan havaita tuotekohtaisten ravinnehuuhtoumien lisääntyvän lähes samassa suhteessa, koska kaikelta viljelypinta-alalta tulee huuhtoutumia. Tuotekohtaisessa tarkastelussa ympäristöprofiili joissain tapauksissa paranee vaikka hehtaariohtaiset ravinnehuuhtoumat nousevat.

Hehtaariohtaisessa, alueellisessa tarkastelussa ei huomioida sitä, mikä on alueelta saatava tuotemäärä. Alueellinen tarkastelu kertoo sen, kuinka suuri paikallinen vesistökuormitus on. Laajemmin tarkasteltuna saman tuotemäärän tuottaminen aiheuttaa ravinnekuormitusta jossain muualla, esimerkiksi rehuviljan tuotanto viljatilalla.

Elintarvikkeiden tuotantoketjua tarkasteltaessa on huomioitava molemmat näkökulmat, tuotelähtöinen näkökulma tuotteiden ympäristöprofiiliin ja tuotannon ekotehokkuuden parantamiseksi sekä alueellinen tarkastelu varmistamaan, ettei tuotantotapa ylitä paikallista kantokykyä.

8.2 Jatkotutkimustarpeet

Tutkimus avasi mielenkiintoisia näkökulmia juuston koko tuotantoketjun ympäristönäkökohtiin ja parantamismahdollisuuksiin. Jatkotutkimustarpeena nousivat esille erityisesti ravinnehuuhtoumien arviointimallien jatkokehitys, jolloin voitaisiin luotettavammin mallintaa erilaisten vaihtoehtojen eroja. Tässä tutkimuksessa käytetyssä laskentatavassa on tehty useita oletuksia, jotka aiheuttavat epävarmuuksia tuloksiin. Ravinnehuuhtoumiin vaikuttavat niin sääolosuhteet kuin maalajikin. Esimerkiksi maan kyky sitoa ravinteita vaikuttaa ravinnehuuhtoumiin, eikä se ole todellisuudessa lineaarinen, kuten tässä tutkimuksessa on oletettu. Liiallisen fosforilannoituksen seurauksena jossain vaiheessa maa saturoituu, jonka jälkeen fosfori ei enää sitoudu maahan, vaan lisätty fosfori joko suotautuu pohjavesiin tai huuhtoutuu pintavalintojen mukana vesistöihin.

Teollisuusvetoinen, käytännönläheinen tutkimustyö, joka jatkuu tutkimuksen jälkeen yrityksessä tehtävillä käytännön toimenpiteillä, todettiin koko tuotantoketjun analysoinnin kannalta parhaaksi toimintamalliksi. Jatkohankkeissa tulisikin entistä enemmän käyttää resursseja tutkimuksen tulosten hyödyntämisen käytännössä mm. ketjun toimijoiden koulutuksella. Juuston koko tuotantoketjua tarkasteltaessa kaikkien toimijoiden, kuten tutkimukseen osallistuneiden yritysten ja hallinnon, tulisi yhdessä myötävaikuttaa alkutuotannon ympäristövaikutusten vähentämistoimenpiteiden edistämiseen parhaimman lopputuloksen saavuttamiseksi. Tulevaisuudessa kannattaisi myös pyrkiä saamaan alkutuotannon edustajia hankkeisiin, jolloin myös viljelijöiden omat näkökulmat tuotantoketjussa saataisiin paremmin esille. Elinkaarivaikeiden elinkaariarvioinnin kehittämishankkeissa eri alojen tutkijoiden sirpaleista, kapea-alaista tietoa pystytään hyödyntämään koko ketjussa yhtenä kokonaisuutena.

Toteutettu tutkimus oli erittäin laaja ja yksityiskohtaisesti tehty. Erityisesti intensiteettimuuttujamallinnuksen periaatteiden liittäminen staattiseen elinkaari-metodologiaan todettiin hankalaksi mutta erittäin hyödylliseksi metodologiseksi uutuudeksi. Elinkaarimallinnusohjelmistoja ei ole suunniteltu epälineaariseen vastemallinnukseen, ja tehdyt intensiteettimuuttujamallinnukset edellyttävät vielä huomattavasti lisää perustietoutta siitä, miten eri muuttujien vasteet saadaan määritettyä luotettavasti ja tuotua elinkaari-mallinnukseen. Keskeistä on pystyä vastaamaan kysymykseen, miten jokin tuotejärjestelmän muutos vaikuttaa tulokseen. Vaikka nykytilanteen arvioinnin tulisi ensisijaisesti perustua todelliseen kentältä havaittuun tilanteeseen (kuten maitotilojen ruokinnan ja maitotuotoksen suhde), ei yksittäisen tekijän (esim. dieetin valkuaispitoisuus) tuotosvastetta (maitotuotos) voi määrittää luotettavasti tila-aineistoista, koska tuotokseen vaikuttavat lisäksi monet ruokintaan ja hoitoon liittyvät tekijät sekä lypsykarjan geneettinen kapasiteetti. Luotettavan vasteen määrittämiseksi tarvitaan erillisiä kontrolloiduissa olosuhteissa tehtyjä tutkimuksia, joissa muutetaan yhtä tekijää ja pidetään muut

vakioina. Tällaisia tuloksia esimerkiksi erityyppisten ruokintastrategioiden tuotos- ja lantavasteista tarvitaan lisää erilaisten ruokintastrategioiden ympäristövaikutusten arvioimiseksi.

Erityisen haastavaksi tehtäväksi hankkeessa havaittiin peltoviljelyn ja maidon tuotannon kytkentä luotettavasti toisiinsa. Perinteisesti maataloudessa ja siihen liittyvässä erityyppisessä laskennassa tarkastellaan erikseen maidontuotantoa ja sen tekijöiden vasteita, ja erikseen viljelyn hehtaariohtaisia kuormituksia, mutta kokonaissysteemimallinnusta, puhumattakaan sen viemisestä kuluttajatuotetasolle, ei ole juurikaan tehty. Tämä edellyttää käytännössä koko tilatason ja kaikkien sen peltolohkojen ravinnetaseiden mallinnusta, ja nimenomaan maidontuotannon tuotosten, erityisesti lannan ja sen typpikomponenttien määrittämistä. Ennen lohko-kohtaista tarkastelua tulee kuitenkin keskittyä tilatasolla ravinnetaseiden selvittämiseen ja ravinneylijäämien minimointiin. Tutkimuksen intensiteettitarkasteluissa keskityttiin ravinneylijäämien ja -huuhtoumien määrittämiseen eikä esimerkiksi eri ruokintastrategioiden vaikutusta ammoniakkin haihtumiseen tai metaanin muodostumiseen tarkemmin arvioidu, mutta niiden suhteellisen merkityksen vuoksi muuttamisessa vaikutusluokissa näistä tarvitaan jatkossa tarkempaa tietoa ympäristövaikutusten mallinnukseen.

Systeemianalyyssissä tulisi huomioida tutkittavan systeemin kaikki ravinnevirrat, kuten esimerkiksi sellaiset lantaerät, jotka levitetään muualle kuin omalla viljelyalalla, tai systeemin viljelyalalle muualta tuotavat lantamäärät. Lisäksi pitää esimerkiksi tietää, miten lantaa on keskimäärin levitetty tilan eri lohkoille viljelykierron aikana, maidon tuotannon ja peltoviljelyn kokonaisvaltaiseen tarkastelemiseen. Myöskään varastoinnin kasvihuukien määristä ei ollut tarkkaa tietoa saatavilla, ja niitä oli siten vaikea luotettavasti kohdistaa tilatason ja sen lohko-kohtaisiin ravinnetaseisiin. Ympäristövaikutusarvioinnin keskeisiksi muuttujiksi, panosten käytön jakajiksi, havaittiin hankkeessa mm. maidon tuotannon ja peltoviljelyn tuotostasot sekä lehmää kohti käytettävissä oleva lannanlevitysala, joista erityisesti viimeksi mainitun suhteen tilojen välillä voi olla todella suuria eroja. Näiden määrittäminen entistä tarkemmin on välttämätöntä luotettavien arvioiden tekemiseksi. Tuotostasoista erityisesti säilörehun ja laitumen satotasojen määrittäminen havaittiin hankalaksi. Säilörehujen osalta ehkä hankalimmaksi kohdaksi osoittautui kuiva-ainepitoisuuden määrittäminen.

Hankkeen aikana on huomattu ja keskustelu useaan otteeseen eri elintarvikkeiden ympäristöprofiilien määrittämiseksi helpottamaan esimerkiksi kuluttajavalintoja. Tässä hankkeessa keskityttiin ketjun suurimpien ympäristökuormitusten määrittämiseen ja tilatason parannus- ja kehitysmahdollisuuksien arviointiin. Elinkaarimetodologia on rajoitteistaan huolimatta kehittynyt huomasti viime vuosien aikana kansainvälisen ja kansallisen tutkimusverkostoitumisen ja -yhteistyön myötä. Tiedon luotettavuus on parantunut huomattavasti, kun on siirrytty soveltamaan prosesseista mitattuja ja laskettuja

”todellisia tietoja”, myös siis jo osittain maatalouden osalta, kuten N₂O-mittaukset Suomessa. Ravinteiden mallinnus- ja arviointimenetelmät ovat myös tarkentumassa koko ajan. Näin ollen samankaltaisia tuotteita on periaatteessa jo hyvinkin mahdollista vertailla toisiinsa eri vaikutusluokkien tai päästöjen suhteen, niiden perustuessa nykyaikaisiin vastikään toteutettuihin, samoin oletuksiin ja mallinnusperiaattein tehtyihin tutkimuksiin. Kenties keskeisimmäksi haasteeksi ruokakorin eri tuotteiden vertailemiseksi toisiinsa asettuu kysymys ympäristövaikutusten kohdentamisesta eri tuotteille ja sivutuotteille silloin, kun ne syntyvät samassa prosessissa ilman, että prosessia voidaan pilkkoa selvästi eri osiin, joiden vasteet tunnettaisiin. Hyvä esimerkki tästä on esimerkiksi maidon ja lihan ympäristövaikutusten allokoiminen. Systeemirajojen laajentamisesta on ehdotettu tämän ongelman ratkaisemiseksi, ja siitä on jo muutamia mielenkiintoisia ratkaisumalleja kansainvälisissä julkaisussa esitettykin.

Tuotteiden kestävyuden parantamiseksi ja vertailemiseksi mainittakoon vielä sellaiset vaikutusluokat, kuin ekotoksisuus, muutokset maan laadussa ja biodiversiteettivaikutukset, joissa omaa tutkimusta tehdään parhaillaankin kiihkaasti, ja joiden integrointia tuotelähtöisiin (ympäristö)kestävyysarvioihin tulee lähteä omina vaikutusluokkinaan kehittämään. Kestävyuden eri vaikutuksia ei voida tieteellisesti yhteismitallistaa, mutta kuluttajien näkökulmasta jonkinlaisen arvoasteikon tai mittarin asettaminen saattaa olla tarpeen asian havainnollistamiseksi ja ymmärtämiseksi. Elintarvikkeiden tuotannolla on kuitenkin vaikutuksia moniin erityyppisiin, merkittäviin ja yhteismitattomiin ympäristövaikutuksiin, joten kuluttajille pitäisi jättää myös mahdollisuus antaa omat arvot näille vaikutuksille, kuten haluaako vähentää tai minimoida esimerkiksi globaalia ilmastonmuutosta, paikallisen vesistönsä rehevyyttä tai torjunta-aineiden käyttöä. Yhtä lailla yhteiskunnan näkökulmasta tämä edellyttää myös aluetasoisien kestävyuden yhteensovittamista tuotelähtöiseen ajatteluun, etteivät esimerkiksi globaalisti tai kansallisesti tuotetasolla tehdyt parannukset tai kulutusmuutokset johda paikallisten tai alueellisten vaikutusten haitalliseen lisääntymiseen.

9 Kirjallisuus

- APME 1999. Eco-profiles of the European plastics industry. (CD ROM).
- Bakkane, K. 1994. Life Cycle Data for Norwegian Oil and Gas. TAPIR publishers. 146 s.
- Berlin, J. 2002a. Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese. *International Dairy Journal* 12: 939–953.
- Berlin, J. 2002b. Environmental systems analysis of dairy production. Goteborg: Chalmers University of Technology. Thesis for the degree of licentiate of engineering. 23 pages+appendices.
- Carlsson-Kanyama, A. & Faist, M., 2000. Energy Use in the Food Sector: a Data Survey. Swedish Environmental Protection Agency, AFR Report 291, Stockholm.
- 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. 2002. Life cycle assessment (LCA) of animal production. Thesis for the degree of doctor of philosophy. Goteborg University. 46 s.
- Cederberg, C & Dareljus, K. 2000. Livscykelanalys (LCA) av nötkött – en studie av olika produktionsformer. Naturresursfrom, Landstinget, Halland. 85 s.
- Cederberg, C. & Mattson, B. 2000. Life cycle assessment of milk production - a comparison of conventional and organic farming. *Journal of Cleaner Production* 8: 49–60.
- Cederberg, C. & Stadig, M. 2001. System Expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. International conference on LCA in foods, Gothenburg, Sweden, 26-27 April, 2001. Proceedings. S. 22-27.
- Dutilh, C. & Kramer, K. 2000. Energy consumption in the food chain – comparing alternative options in food production and consumption. *Ambio* 29 (2), March 2000.
- Eide, M. H. 2002a. Life cycle assessment (LCA) of industrial milk production. Goteborg: Chalmers University of Technology. Thesis for the degree of Doctor of Philosophy. 53 pages + appendices.
- Eide, M. H. . 2002b. Life cycle assessment of industrial milk production. *International Journal LCA*. 7(2): 115–126.

- FEFCO, 2000. European database for corrugated board Life cycle studies. FEFCO.
- Fortum Oil & Gas 2002a. Ekotasetiedote (1.3.2002), raskas polttoöljy.
- Fortum Oil & Gas 2002b. Ekotasetiedote (1.3.2002), kevyt polttoöljy.
- Fortum Oil & Gas 2002c. Ekotasetiedote (1.3.2002), citydieselöljy.
- Fortum Oil & Gas 2002d. Ekotasetiedote (1.3.2002), reformuloitu bensiini.
- Fortum Oil & Gas 2002e. Ekotasetiedote (1.3.2002), eurobensiini.
- Grönroos, J., Nikander, A., Syri, S. Rekolainen, S. & Ekvist, M. 1998. Maatalouden ammoniakkipäästöt. Suomen ympäristö 206. Suomen ympäristökeskus Helsinki. 65 s.
- Grönroos, J. & Seppälä, J. (toim.) 2000. Maatalouden tuotantotavat ja ympäristö. Suomen ympäristö 431. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 146 s. ISBN 952-11-0771-5. ISSN 1238-7312
- Haas, G., Wetterich, F., & Köpke, U. 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 83: 43–53.
- Hospido, A., Moreira, M. T., & Feijoo, G. 2003. Simplified life cycle assessment of Galician milk production. *International Dairy Journal*. In press. Received 16 September 2002; accepted 12 April 2003. 14 p.
- Hütsch B.W. 2001 Methane oxidation in non-flooded soils as affected by crop production - invited paper. *European Journal of Agronomy* 14:237-260.
- Iepema, G. & Pijnenburg, J., 2001. Conventional versus organic animals. Dairy farming. A comparison of three experimental farms on environmental impact, Animal Health and Animal Welfare. MSc thesis. Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
- 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. (eds.) *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of working group I to the third assessment report of IPCC*. 786 s.
- Järvenranta, K., Virkajärvi, P. & Nikunen, U. 2001. Säilörehunurmen lannoitus 1998-2000 (Kem N1). In: toim. Mika Isolahti. *Lannoitus- ja kasvinsuojelukokeiden tuloksia 2000*. p. 20-25

- Kallio, J. & Santala, E. 2002. Maituhuoneen jätevesien käsittely. Ympäristö-opas 91. Suomen ympäristökeskus : Ympäristöministeriö 2002. Helsinki. 84 s.
- Katajajuuri, J.-M., Loikkanen, T. Pahkala, K., Uusi-Kämpä, J., Voutilainen, P., Kurppa, S., Laitinen, P., Mikkola, H., Kivinen, T. & Salo, S. 2000. Ympäristöhallintaa tukevan tietopohjan kehittäminen osana maatilojen laatu-järjestelmää. Case: Rehuohran elinkaariarviointi. VTT Kemianteekniikka, Espoo. 134 s. VTT Tiedotteita - Meddelanden - Research Notes: 2034. ISBN 951-38-5675-5; 951-38-5676-3.
- Katajajuuri, J.-M., Virtanen, Y., Voutilainen, P. & Kurppa, S. 2003. Elintarvikkeiden ympäristövaikutukset FOODCHAIN. MMM:n julkaisuja 6/2003. Maa- ja metsätalousministeriö.63s.
- KYTÖLÄ, K. 2001. Pärjäisikö lypsylehmä vähemmällä fosforilla. Maito ja me (2001):9, 27
- Mäkelä, K., Tuominen, A. & Rusila, K. 2000 TYKO Työkoneiden päästömalli. VTT Tutkimusraportti 546/2000. VTT, Espoo. 49 s. (<http://www.vtt.fi/rte/projects/tyko/malli.htm>)
- Mäkelä, K., Laurikko, J. & Kanner, H. 2002 Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt. LIISA 2001.1 –laskentajärjestelmä. VTT Tiedotteita - Research Notes : 2177. VTT, Espoo . 63 s. (<http://www.vtt.fi/rte/projects/lipasto/index.htm>)
- Nousiainen, J.I., Kytölä, K., Khalili, H. & Huhtanen, P. 2003. Ruokinnalliset mahdollisuudet parantaa typen hyväksikäyttöä maidontuotannossa. Teoksessa Uusi-Kämpä et al (toim.): Lypsykarjataloudesta tulevan ympäristökuormituksen vähentäminen. Maa- ja elintarviketalous 25: p. 26-39. <http://www.mtt.fi/met/pdf/met25.pdf>
- NOUSIAINEN, J., SHINGFIELD, K.J., & HUHTANEN, P. 2003. Evaluation of milk urea concentration as a diagnostic of protein feedind. Accepted to Journal of Dairy Science
- HUHTANEN, P., NOUSIAINEN, J.I., KYTÖLÄ, K. & KHALILI, H. 2003. Partitioning of nitrogen in dairy cows fed grass silage based diets. Submitted to Livestock Production Science (22.5.2003).
- Peltonen, M. & Vanhala, A. 1992. Maatalouden työnormit kasvintuotannon yleiset työt. Työtehoseuran tiedote 14/1992. Nro. 421. Työtehoseura. Helsinki. 8s.
- Pipatti, Riitta. Greenhouse gas emissions and removals in Finland. Espoo 2001. Technical Research Centre of Finland, VTT Research notes 2094. 59 p. + annexes 95 p.

- Pulliainen, M. 1997. Maitotuotteiden elinkaaren ympäristökuormitukset. Diplomityö. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto.
- Saarela, I., Järvi, A., Hakkola, H. & Rinne, K. 1995. Fosforilannoituksen poraskokeet 1977-1994. Vuosittain annetun fosforimäärän vaikutus maan viljavuuteen ja peltokasvien satoon monivuotisissa kenttäkokeissa. Maatalouden tutkimuskeskus Tiedote 16/95. Jokioinen 1995.
- Seppälä, 1997. Decision analysis as a tool for life cycle impact assessment. The Finnish Environment 123. Finnish environment institute. Helsinki. 137 p.
- Seppälä, J., Silvenius, F., Grönroos, J., Mäkinen, T., Silvo, T. & Storhammar E. 2001. Kirjoloihen tuotanto ja ympäristö. Suomen ympäristö 529. Suomen ympäristökeskus. Helsinki. 164 s.
- Sillanpää, M. 1978 Lannoitus ja kalkitus ”vihreän linjan” viljelyssä. Maatalouden tutkimuskeskus, Maantutkimuslaitos, Tiedote N:o 4.
- Smits, M., Valk, H., Elzing, A. & Keen, A. Effects of protein nutrition on ammonia emissions from a cubicle house for dairy cattle. Livestock Production Science 1995;44:147-56.
- Syväsalo, E., Regina, K. & Esala, M. 2002. Emissions of nitrous oxide from agricultural clay and fine sand soils. In: NJF seminar no: 342 : Agricultural soils and greenhouse gasses in cool-temperate climate, Hotel Reykholt, Reykholt W-Iceland 31.July-3.August 2002. 1 p.
- Uusitalo, R. & Jansson, H. 2002. Dissolved reactive phosphorus in runoff assessed by soil extraction with an acetate buffer. Agricultural and food science in Finland 11, 4: 343-353.
- Virtanen, Y., Askola, R. & Junttila, V. 1996. Kenttäsuuntautunut elinkaaritietojen hankintamenetelmä. Suomen energiantuotannon elinkaaritietokanta - SEEP. Osa I. VTT Tiedotteita 1782. 62 s.
- Weidema, B. 2001. Avoiding co-product allocation in life-cycle assessment. Journal of Industrial Ecology 4(3):11-33.

10 Liitteet

Liite 1. Väkirehun suhteen vaikutus tilan ravinnetalouteen

Liite 2 Väkirehunvalkuaisinen muutoksen vaikutus ravinnevirtoihin.

Liite 1 Väkirehun suhde.

	AP	AP	AP	AP	AP	TV	TV	TV	TV	PTV	PTV	PTV	PTV
Lehmien lukumäärä juustotoniin tarvittavan maidon tuottamiseksi	30 %	39,6 %	40 %	50 %	60 %	30 %	40 %	50 %	60 %	30 %	40 %	50 %	60 %
Lehmien rehuntuotantoon tarvittavan pinta-alan tarve (ha)	1,59	1,5	1,51	1,44	1,38	1,59	1,51	1,44	1,38	1,59	1,51	1,44	1,38
Tuotos (kg/v)	2,47	2,44	2,44	2,41	2,29	2,76	2,70	2,49	2,29	2,60	2,61	2,49	2,29
Typpi –N	6809	7155	7169	7492	7806	6809	7169	7492	7806	6809	7169	7492	7806
						kg/1000 kg juustoa							
N lannasta pellolle	224	222	223	223	223	224	223	223	224	224	223	223	223
N väkilannoitteesta pellolle	414	414	414	414	414	414	414	414	414	414	414	414	414
N satoon	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395
NH3-N-haihdunta ilmaan	58,4	57,9	58,1	58,3	58,3	58,4	58,2	58,3	58,4	58,4	58,1	58,3	58,3
N2O-N-haihdunta ilmaan	8,1	8,0	8,0	7,8	7,7	8,1	8,0	7,8	7,7	8,1	8,0	7,8	7,7
N ylimäärä maaperään ja vesistöön	176,4	175,0	175,7	176,2	176,5	176,3	175,8	176,3	176,7	176,4	175,6	176,2	176,3
Fosfori –P						kg/1000 kg juustoa							
P lannasta pellolle	34,2	35,1	35,1	36,2	37,3	33,2	33,7	34,3	35,1	33,7	34,3	35,2	36,0
P väkilannoitteesta pellolle	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8
P satoon	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1
P ylimäärä maaperään ja vesistöön	37,9	38,8	38,8	39,9	41,0	36,9	37,4	38,0	38,8	37,4	38,0	38,9	39,7
Typpi –N						kg/ha							
N lannasta pellolle	59,3	58,8	59,0	59,2	59,2	59,3	59,1	59,2	59,3	59,3	59,0	59,2	59,2
N väkilannoitteesta pellolle	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7
N satoon	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6
NH3-N-haihdunta ilmaan	15,5	15,4	15,4	15,5	15,5	15,5	15,4	15,5	15,5	15,5	15,4	15,5	15,4
N2O-N-haihdunta ilmaan	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2,1	2,1	2,1	2,0	2,1	2,1	2,1	2,0
N ylimäärä maaperään ja vesistöön	46,76	46,40	46,58	46,73	46,80	46,75	46,60	46,75	46,85	46,76	46,56	46,72	46,74
Fosfori –P						kg/ha							
P lannasta pellolle	9,1	9,3	9,3	9,6	9,9	8,8	8,9	9,1	9,3	8,9	9,1	9,3	9,5
P väkilannoitteesta pellolle	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7
P satoon	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
P ylimäärä maaperään ja vesistöön	10,1	10,3	10,3	10,6	10,9	9,8	9,9	10,1	10,3	9,9	10,1	10,3	10,5

Liite 2. Väkirehun valkuaisen muuttajat

	AP	AP	AP	AP	TV	TV	TV	PTV	PTV	PTV
Lehmien lukumäärä juustotoniin tarjittavan maidon tuottamiseksi	14 %	16 %	17 %	20 %	14 %	17 %	20 %	14 %	17 %	20 %
Lehmien rehuntuotantoon tarvittavan pinta-alan tarve (ha)	1,55	1,51	1,50	1,47	1,55	1,50	1,47	1,55	1,50	1,47
Tuotos (kg/v)	6980	7155	7197	7368	6980	7197	7368	6980	7197	7368
Typpi –N					kg/1000 kg juustoa					
N lannasta pellolle	213	222	226	239	213	225	238	213	225	238
N väkilannoitteesta pellolle	414	414	414	414	414	414	414	414	414	414
N satoon	395	395	395	395	395	395	395	395	395	395
NH ₃ -N-haihdunta ilmaan	55,7	57,9	59,0	62,3	55,6	58,7	62,0	55,6	58,8	62,1
N ₂ O-N-haihdunta ilmaan	8,0	8,0	7,9	7,9	8,0	7,9	7,9	8,0	7,9	7,9
N ylimäärä maaperään ja vesistöön	168,3	175,0	178,2	188,4	168,1	177,5	187,4	168,1	177,5	187,6
Fosfori –P					kg/1000 kg juustoa					
P lannasta pellolle	33,7	35,1	35,7	37,7	33,0	33,7	34,5	33,3	34,5	35,9
P väkilannoitteesta pellolle	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8
P satoon	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1	48,1
P ylimäärä maaperään ja vesistöön	37,4	38,8	39,4	41,4	36,7	37,4	38,2	37,0	38,2	39,6
Typpi –N					kg/ha					
N lannasta pellolle	56,4	58,8	59,9	63,5	56,4	59,7	63,1	56,4	59,7	63,2
N väkilannoitteesta pellolle	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7	109,7
N satoon	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6
NH ₃ -N-haihdunta ilmaan	14,8	15,4	15,6	16,5	14,7	15,6	16,4	14,8	15,6	16,5
N ₂ O-N-haihdunta ilmaan	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
N ylimäärä maaperään ja vesistöön	44,64	46,40	47,23	49,94	44,56	47,06	49,69	44,57	47,07	49,73
Fosfori –P					kg/ha					
P lannasta pellolle	8,9	9,3	9,5	10,0	8,7	8,9	9,1	8,8	9,1	9,5
P väkilannoitteesta pellolle	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7
P satoon	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8
P ylimäärä maaperään ja vesistöön	9,9	10,3	10,4	11,0	9,7	9,9	10,1	9,8	10,1	10,5

Maa- ja elintarviketalous -sarjassa ilmestyneitä julkaisuja

Ympäristö

- 35 Emmental Sinileima -juuston tuotantoketjun ympäristövaikutukset ja parannusmahdollisuudet. *Voutilainen ym.* 90 s. Hinta 20 euroa.
- 34 Kesäpöytä Juustokermaperunoiden ja Pirkka-perunajauhon ympäristövaikutukset. *Voutilainen ym.* 54 s. Hinta 20 euroa.
- 33 Elovena-kaurahiutaleiden ympäristövaikutukset. *Katajajuuri ym.* 47 s. Hinta 15 euroa.
- 28 Biojäte- ja lietekompostien käyttömahdollisuudet kasvintuotannossa. *Lehtonen ym.* 120 s. Hinta 25 euroa.

Kasvintuotanto

- 26 Luomumansikan viljelytekniikka ja kasvinsuojelu. Kirjallisuusselvitys. *Prokkola ym.* 160 s. (verkkojulkaisu osoitteessa: www.mtt.fi/met/pdf/met26.pdf).
- 17 Uhanalaisten lääkekasvien markkinat ja viljely. Kirjallisuusselvitys. *Galambosi & Jokela.* 88 s. (verkkojulkaisu osoitteessa: www.mtt.fi/met/pdf/met17.pdf).

Talous

- 30 Suurten tilojen talous Suomessa ja vertailumaissa. *Remes ym.* 114 s. Hinta 25 euroa.
- 29 Kumppanuus kuntatasolla maaseutupolitiikan toimeenpanossa. *Mustakangas ym.* 179 s. Hinta 25 euroa.
- 24 Lähiruoan markkinointi vähittäiskauppoihin, suurkeittiöihin ja maaseutumatkailuyrityksiin. *Paananen & Forsman.* 62 s. Hinta 20 euroa.

Teknologia

- 31 Viljan korjuu ja varastointi laajenevalla viljatilalla. *Suomi ym.* 100 s. Hinta 25 euroa.
- 21 Luomusikala Suomen olosuhteissa. *Kivinen.* 79 s. Hinta 20 euroa.

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

