



Elovena-kaurahiutaleiden ympäristövaikutukset

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



Ympäristö

Maa- ja elintarviketalous 33
47 s., 1 liite

Elovena-kaurahiutaleiden ympäristövaikutukset

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

ISBN 951-729-801-3 (Painettu)
ISBN 951-729-802-1 (Verkkójulkaisu)

ISSN 1458-5073 (Painettu)
ISSN 1458-5081 (Verkkójulkaisu)
www.mtt.fi/met/pdf/met33.pdf

Copyright

MTT

Juha-Matti Katajajuuri, Pasi Voutilainen,
Hanna-Riikka Tuhkanen 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

Elovena-kaurahiutaleiden ympäristövaikutukset

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

¹)MTT, 31600 Jokioinen, ²)MTT, Karilantie 2 A, 50600 Mikkeli, ³)VTT Prosessit, PL 1606,
02044 VTT

Tiivistelmä

Tutkimuksessa sovellettiin toimintoverkkointegroitua elinkaariarviointia kaurahiutaleiden ympäristövaikutusten arvioimiseksi. Kohteena oli Ravinto-Raision elintarviketoimialan Nokian tuotantolaitoksella valmistetut *Elovena-kaurahiutaleet*, joiden raaka-aine tuotettiin pääasiassa Pirkanmaalla, ja osin myös Hämeen ja Satakunnan alueella.

Tutkimuksessa keskityttiin tuotantoketjun oleellisimpiin osiin alkaen lannoitteiden ja muiden tuotantopanosten valmistuksesta ja sisältäen kauran viljelyn, jalostuksen ja pakkaamisen teollisuudessa, pakkauksien valmistuksen sekä jakelun kauppoihin. Lisäksi arvioitiin vaihtoehtoisten puuronvalmistustapojen energiankulutus ja siitä aiheutuvat päästöt kotitaloudessa. Ympäristökuormituksista laskettiin vaikutukset ilmaston lämpenemiseen, happamoitumiseen, vesistöjen rehevöitymiseen ja alailmakehän otsonin muodostumiseen. Arvotusvaihetta ei näiden ympäristöongelmien kesken tehty.

Tuotannon ympäristökuormitukset ja -vaikutukset aiheutuivat pääosin alkutuotannosta. Rehevöitymistä dominoivat pellolta huuhtoutuvat typpi ja fosfori. Ilmaston lämpenemispotentiaaliin vaikuttivat eniten lannoitteista denitrifioituva typpioksiduuli sekä hiilidioksidipäästöt työkoneiden käytöstä, kauran kuivauksesta ja kalkituksesta. Alailmakehän otsoniin vaikuttivat eniten tilan työkoneiden käytöstä aiheutuvat orgaaniset haihtuvat yhdisteet. Lannoitteista haihtuva ammoniakki yhdessä työkoneista aiheutuvien typen oksidien kanssa muodostivat yli 40 prosenttia koko ketjun happamoitumispotentiaalista. Kauran jalostuksen päästöt, erityisesti rikki- ja hiilidioksidipäästöt ovat pudonneet suhteellisen paljon parin viime vuoden aikana laitoksen siirryttyä käyttämään höyryn tuotannossa raskaan polttoöljyn sijasta bio- ja maakaasua.

Puuron valmistus sähköliedellä aiheutti moninkertaiset hiilidioksidipäästöt suhteessa kaurahiutaleiden tuotantoon. Puuron valmistus sähköliedellä oli myös suhteellisesti suurin tuotejärjestelmän ilmaston lämpenemistä aiheuttava tekijä. Puuron valmistustavalla voidaan vaikuttaa tuotejärjestelmän useimpiin ympäristövaikutuksiin. Valmistamalla puuro mikroaaltouunissa, useat ilmapäästöt ja niistä aiheutuvat ympäristövaikutukset olivat huomattavasti pienemmät kuin sähköliedellä valmistettaessa.

Avainsanat: ympäristövaikutukset, elinkaarianalyysi, kaura, elintarvikkeet, tuotanto

Environmental impacts of oat flakes

Juha-Matti Katajajuuri¹, Pasi Voutilainen¹, Hanna-Riikka Tuhkanen² and Niina Honkasalo³

¹MTT Agrifood Research Finland, 31600 Jokioinen, ²MTT Agrifood Research Finland, Karilantie 2 A, 50600 Mikkeli, Finland ³VTT Processes, PO BOX 1606, 02044 VTT, Finland

Abstract

Supply web based Life Cycle Assessment (LCA) was used to assess environmental impacts of oat flakes. Oat flakes were produced by RavintoRaisio in Nokia. Oat were cultivated mainly in Pirkanmaa and partly in Häme and Satakunta regions.

All essential production and distribution stages were assessed, starting from the production of fertilizers and other farm inputs, including cultivation of oat, processing and packing in the industry, production of packaging, and distribution to the retail stores. In addition to the production chain, energy consumption and related emissions of several alternative home cooking methods of porridge were assessed. Global warming potential, photochemical ozone creation potential and environmental impacts on eutrophication and acidification were assessed based on environmental burdens. Valuation methods were not applied.

According to the LCA results obtained from selected impact categories, the environmental load from the arable land was the primary cause for environmental impacts in production system. Nitrogen and phosphorus run-off dominated eutrophication. Main sources of global warming potential were nitrous oxide emissions from agricultural soil and carbon dioxide emissions from the use of tractors, drying of grain and use of lime. Volatile organic compounds from tractor use had major effect on photochemical ozone creation potential. Ammonia volatilisation from fertilisers and nitrogen oxides from tractors contributed more than 40% to acidification potential of the production system. Sulphur and carbon dioxide emissions from processing of oat have been decreased relatively much during the last two years. This is due to replacement of heavy fuel oil by bio and natural gas in steam production needed in production.

Traditional porridge cooking caused multiple carbon dioxide emissions compared to the production of oat flakes. Cooking porridge had biggest contribution also to the global warming potential of the system. Most of the environmental impacts of the system can be affected by choosing the porridge cooking method. Most air emissions of porridge cooked in microwave were essentially smaller than when using traditional electric hot plate.

Key words: environmental impacts, life cycle assessment, foods, oat, production, production chain, supply web

Alkusanat

Tämä raportti on hankekokonaisuuden *Ympäristövaikutukset ruokakorissa -FOODCHAIN* osana toteutettu kauratuotteiden toimintoverkkoon integroitu elinkaariarviointi. Tässä osatutkimuksessa arvioitiin, dokumentoitiin ja verifioitiin RavintoRaisio Oy:n *Elovena-kaurahiutaleiden* tuotantoketjun, koko toimintoverkon mukaiset ympäristökuormitukset. Projektin taustalla on ollut kasvava tarve tuottaa luotettavia ympäristötietoja elintarvikkeista. Elinkeinolämä on sitoutunut aloitteeseen tunteakseen omien tuotteidensa ympäristövaikutukset ja kehittääkseen tuotteitaan ja prosesseitaan ympäristöä vähemmän rasittaviksi. Taustalla on myös ajatus vastata kuluttajien lisääntyneeseen tarpeeseen saada ympäristötietoa päivittäisten valintojen ja ostopäätösten tueksi. Toimintoverkkoon integroitu, tuotantoketjun kattava elinkaariarviointi tarjoaa hyvät mahdollisuudet arvioida lopputuotteiden välittömiä ja välillisiä ympäristövaikutuksia koko tuotantoketjusta aina maatilatuotannon panostuotannosta ja sen raaka-aineista kaupan hyllyyn ja valmiiksi ruoka-aksi asti. Hanke otti merkittävän askeleen laatu- ja ympäristövaikutusten edistämiseksi sekä tuotantohistorian ja sen ympäristövaikutusten määrittämisessä siirtymällä kohti todellisiin tuotantolaitoksiin ja maataloihin perustuvaa tiedontuotantoa.

FOODCHAIN-tutkimus on jatkoa aiemmin toteutetulle tutkimukselle Ympäristöhallinnan ja sen tietojärjestelmän kehittäminen maatalojen laatu- ja ympäristöjärjestelmän osaksi (”Rehu-LCA”), jossa arvioitiin elinkaariarvioinnin soveltuvuutta maataloustuotteille. FOODCHAIN-tutkimuksen päärahoittajina toimivat Ympäristöklusterin tutkimusohjelma, maa- ja metsätalousministeriön Elintarviketalouden laatu- ja ympäristöstrategia, Kemira GrowHow, Lännen Tehtaat Oyj Apetit, Raisio Yhtymän RavintoRaisio, RehuRaisio ja Finnamyl, Ruokakesko, Suomen Rehu, Valio, MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus) ja VTT. Tutkimuksen toteuttivat MTT:n ja VTT:n asiantuntijoista koottu tutkijaryhmä. FOODCHAIN-tutkimuksen vastuullisina johtajina toimivat tutkimuspäällikkö Torsti Loikkanen VTT:ltä ja professori Sirpa Kurppa MTT:ltä sekä projektipäällikkönä vanhempi tutkija Juha-Matti Katajajuuri MTT:ltä.

FOODCHAIN-tutkimuksen johtoryhmään osallistuivat ympäristöneuvos Heikki Latostenmaa ympäristöministeriöstä, ylitarkastajat Marja Innanen ja Jouko Tammio maa- ja metsätalousministeriöstä, kehityspäällikkö Mikko Maisi ja viestintäpäällikkö Seija Luomanperä Kemira GrowHow:sta, kehitysjohtaja Juhani Hvitfelt Lännen Tehtaiden APETIT-yksiköstä, kehitysjohtaja Pekka Heikkilä Rehuraisiosta, ympäristöinsinöörit Johanna Teinilä-Kurvinen, Sanna Kanerva ja Eeva-Maria Koski Ruokakeskolta, toimitusjohtaja Erkko Pietarinen Siemenperunakeskuksesta, kehitysjohtaja Asko Haarasilta Suomen Rehusta, ympäristöpäällikkö Matti Pankakoski Valiolta, kehityspäällikkö Susanna Monni ProAgria Maaseutukeskusten Liitosta, tutki-

muspäälikkö Torsti Loikkanen VTT:stä johtoryhmän puheenjohtajana, professori Sirpa Kurppa MTT:ltä ja vanhempi tutkija Juha-Matti Katajajuuri johtoryhmän sihteerinä.

Kauran tapaustutkimusta ohjanneeseen projektiryhmään osallistuivat RavintoRaision Jouni Niemelä ja Tuula Laukkanen. Tiedon tuottamiseen ja keruuseen osallistuivat myös Jouni Järvensivu, Tapio Mäki-Mantila, Jukka Hollo ja Markku Appell Raisio Yhtymästä, Riikka Timonen Kemira Engineerin-
gistä Kemira GrowHow:n puolesta, Eeva-Maria Koski ja Johanna Teinilä-Kurvinen Ruokakeskolta. Kaurahiutaleiden toimintoverkosta tietoja toimittivat mm. Fortumin, Nordkalkin, M-Realin, Petersonwalkin, StoraEnson, UPM-Kymmene Wisapaperin ja Jalanderin useat edustajat. Juha-Matti Katajajuuri MTT:ltä toimi tämän osahankkeen vetäjänä. Muut päättäjät olivat Pasi Voutilainen MTT:ltä ja Niina Honkasalo VTT:ltä. Alkutuotannon päästöjen arvioinnin tekivät pääosin MTT:n tutkijat Hanna-Riikka Tuhkanen ravinnehuhtoumien osalta ja Kristiina Regina kasvihuonekaasupäästöjen osalta. Jakelulogistiikan ja raaka-aineen hankinnan mallinnuksen suoritti erikoistutkija Yrjö Virtanen VTT:ltä. Erityiskysymysten osalta hankkeeseen osallistuivat lisäksi monet muut MTT:n ja VTT:n tutkijat. Suurkiitos kaikille tutkimuksen valmistumiseen myötävaikuttaneille henkilöille!

Tekijät

Sisällysluettelo

1 Johdanto	9
2 Tutkimuksen tavoite ja soveltamisala	10
2.1 Tavoite.....	10
2.2 Toiminnallinen yksikkö.....	10
2.3 Tuotejärjestelmän rajaukset.....	11
2.4 Rajoitukset ja sovellettavuus	13
2.5 Allokoinnit	14
3 Tiedonkeruu	15
3.1 Panosten valmistus	15
3.2 Viljely.....	15
3.2.1 Koneketju tilalla	16
3.2.2 Panosten käyttö	17
3.2.3 Peltolohkoilta aiheutuvien ympäristökuormitusten arviointi ..	18
3.2.4 Kauran kuljetus tuotantolaitokselle.....	20
3.3 Kauran jalostus.....	21
3.4 Kuluttaja- ja ryhmäpakkauksien valmistus	23
3.5 Jakelu, kauppa ja kuluttaja	25
3.6 Järjestelmän tukitoiminnot	26
4 Tulokset.....	27
4.1 Inventaarioanalyysi	27
4.1.1 Ilmapäästöt	27
4.1.2 Vesistökuormitus.....	30
4.1.3 Järjestelmän tuottamat sivuvirrat ja kiinteät jätteet	32
4.1.4 Torjunta-aineiden käyttö	33
4.1.5 Puuron valmistus	33
4.2 Vaikutusarviointi	35

4.2.1 Ilmaston lämpeneminen	36
4.2.2 Happamoituminen	38
4.2.3 Rehevöityminen	40
4.2.4 Alailmakehän otsonin muodostuminen	41
5 Yhteenveto ja johtopäätökset	43
6 Kirjallisuus	45
7 Liite	48

1 Johdanto

Kasvava kulutus ja kansalaisten käyttämät tuotteet ovat välittömästi tai välillisesti useimpien teollisuusmaiden ympäristöongelmien takana. YK:n Johannesburgin kokouksessa 2002 hyväksyttiin tuotannon ja kulutuksen työohjelma. Yksi sen haasteista on kulutuksen ympäristövaikutusten luotettava arviointi.

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

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

Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa elinkaariarviointia soveltamalla RavintoRaisio Oy:n elintarviketoimialaan kuuluvan *Elovena-kaurahiutaleiden* todelliseen tuotantoketjuun tai laajemmin toimintoverkkoon perustuvia ympäristökuormitustietoja. Tietoja voidaan hyödyntää tuote- ja järjestelmäkehityksessä etsittäessä tuotantoprosessien parannuskohteita, ja strategisen päätöksenteon tukena esimerkiksi tuotekehitys- ja innovaatiotoiminnassa sekä asiakasinformaationa.

Tutkittu tuote, RavintoRaision kaurahiutaleet valittiin yhteistyössä projektiin osallistuvien yritysten kanssa. Tämä tutkimus täytti FOODCHAIN-hankekokonaisuuden tapaustutkimusten valintakriteerit merkittävänä kotimaisena perusviljana ja usein syötynä aamiaisvalmisteenä eli puurona, jonka tuotannon ympäristökuormituksia ei ole aiemmin selvitetty, ei Suomessa eikä teki-jöiden tietojen mukaan missään muuallakaan.

Tutkimuksessa sovellettu ympäristövaikutusten arviointimenetelmä on perinteisen, standardoidun elinkaariarvioinnin (Life Cycle Assessment, LCA, ISO 14040 -sarja) täsmäsovellus, jolla tavoiteltiin ketjun työnjaon, organisaatioiden oppimisen ja omatoimisuuden lisääntymisen kautta tulosten parempaa laatua ja hyödynnettävyyttä. Vaikka LCA-tekniikka on standardoitu,

standardit eivät sisällä ohjeita LCA-projektien tai tuotteiden elinkaarten hallintaan eivätkä vastaa moniinkaan käytännön mallinnus- ja tiedonkäsittelykysymyksiin. Siksi tarvitaan uutta, poikkitieteellistä systeemanalyttistä osaamista sekä uusia toimintamuotoja tutkimusprojektien hallintaan. Lisäksi menetelmän soveltaminen käyttökelpoisena työkaluna edellyttää ketjun toimijoiden aktiivista sitoutumista työhön. Menetelmää, sen soveltamista ja saatuja hyötyjä on tarkasteltu tarkemmin FOODCHAIN-hankkeen yhteenvetoraportissa (Katajajuuri ym. 2003).

2 Tutkimuksen tavoite ja soveltamisala

Tutkimus käsittää *Elovena-kaurahiutaleiden* tuotantoketjun koko elinkaaren aikaiset ympäristökuormitukset. Tutkimuksen pääpaino kohdistui tuotantoketjun oleellisimpiin osiin alkaen lannoitteiden ja muiden tuotantopanosten valmistuksesta ja sisältäen kauran viljelyn, jalostuksen ja pakkaamisen teollisuudessa, pakkauksien valmistuksen sekä jakelun kauppoihin. Lisäksi arvioitiin kaurahiutaleille vaihtoehtoisten puuronvalmistustapojen energiankulutusta ja siitä aiheutuvia päästöjä.

Kaurahiutaleille laskettiin inventaario- ja vaikutusarviointitulokset kauppaan asti. Lisäksi laskettiin tulokset esimerkinomaisesti muutamalle päästöparametrille ja ilmaston lämpenemispotentiaalille siten, että kaurapuuron valmistus hiutaleista sisällytettiin mukaan. Tutkimuksessa kerättiin pääsääntöisesti kaikki kvantifioitavissa olevat ympäristökuormitukset, raaka-aineiden, polttoaineiden ja luonnonvarojen käyttö sekä aiheutuneet päästöt ilmaan, veteen ja maahan.

2.1 Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa RavintoRaision Nokian tuotantolaitoksella valmistettujen *Elovena-kaurahiutaleiden* todelliseen tuotantoketjuun ja -prosesseihin pohjautuvat ympäristökuormitustiedot. Tuotantoketjun toimintaan perustuvia ympäristötietoja voidaan hyödyntää tuote- ja järjestelmäkehityksessä etsittäessä tuotantoprosessien parannuskohteita, ja strategisen päätöksenteon tukena esimerkiksi tuotekehitys- ja innovaatiotoiminnassa sekä asiakasinformaationa. Tavoitteena oli myös arvioida ja kehittää osallistuvien yritysten tuotekohtaisia tiedonkeruumenetelmiä ja -järjestelmiä. Tutkimustulokset on tarkoitettu julkiseen käyttöön.

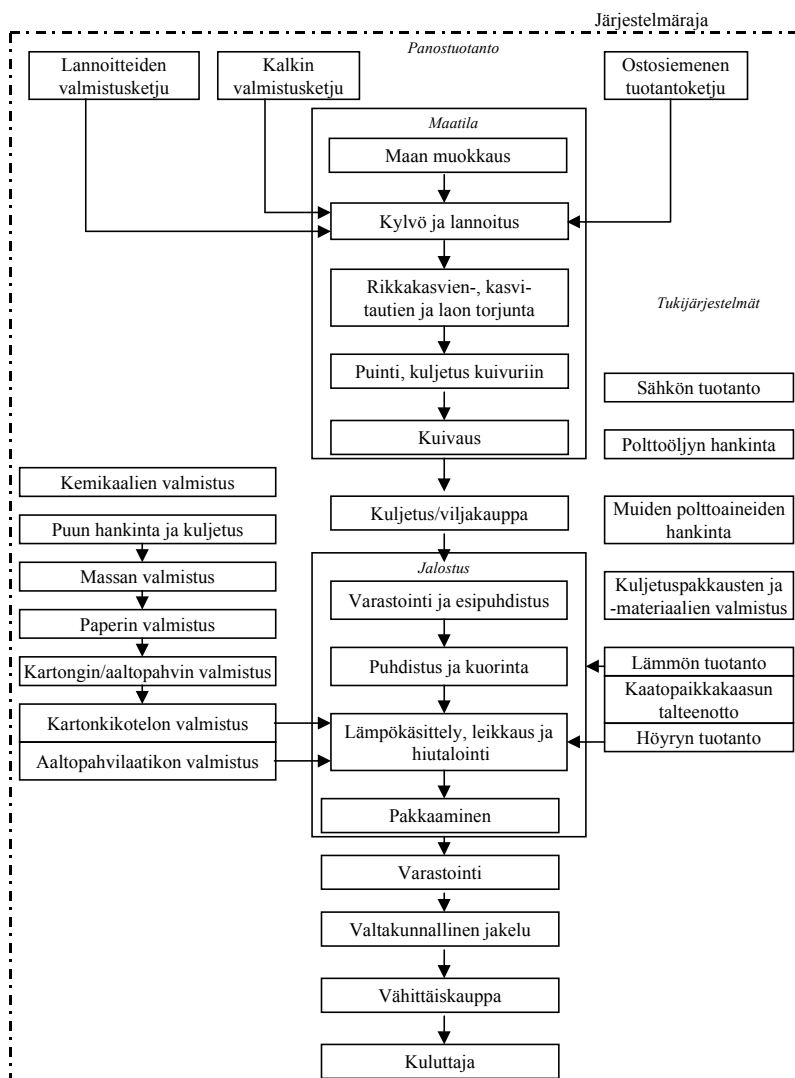
2.2 Toiminnallinen yksikkö

Tutkimuksen toiminnallinen yksikkö oli 10 000 kg kaurahiutaleita, jotka valmistettiin ja pakattiin kilon pakkauksiin RavintoRaision elintarviketoi

mialan Nokian tuotantolaitoksella. Kaura tuotettiin pääasiassa lähialueilla Pirkanmaalla. Osa raaka-aineesta tuli Hämeen ja Satakunnan alueelta.

2.3 Tuotejärjestelmän rajaukset

Kuvassa 1 on esitetty *Elovena-kaurahiutaleiden* järjestelmärajaukset. Järjestelmän rungon muodostivat panostuotanto, kauran viljely ja jalostus hiutaleiksi, kuluttajapakkauksen valmistus, jakelu ja kauppa. Seuraavissa kohdissa näihin sisältyvät asiat on määritelty tarkemmin. Järjestelmän rungon lisäksi



Kuva 1. *Elovena-kaurahiutaleiden* tuotejärjestelmän perusrajaus.

elinkaaren rajauksiin sisällytettiin mm. kuljetukset, polttoaineiden ja energian tuotanto. Lisäksi puuron valmistus sisällytettiin tutkimukseen esimerkinomaisesti. Tutkimuksen ulkopuolelle rajattiin järjestelmän infrastruktuuri, ihmistyö, koneiden, laitteiden ja rakennusten valmistus. Yksityiskohtaisemmat rajaukset, niiden perusteet ja allokoinnit on esitetty luvussa 3.

Tuotejärjestelmästä rajattiin ulkopuolelle joidenkin apu- ja lisäaineiden sekä torjunta-aineiden valmistus. Niissä kohdissa joissa rajauksia tehtiin, rajauskriteerinä käytettiin yhden promillen massavirtaa tuotetun kauran määrästä.

Panostuotanto

Sekä lannoitteiden että kalkin valmistustiedot sisälsivät tiedot luonnonvarojen hankinnasta valmiiksi tuotteiksi saakka. Myös lannoitesäkit ja niiden raaka-aineiden valmistus sisälsivät tiedot muovin raaka-ainelähteille asti. Myös kaikki edellä mainittujen panosten ja niiden raaka-aineiden kuljetukset huomioitiin. Torjunta-aineiden valmistuksesta ei tietoa ollut saatavilla, ja se rajattiin tutkimuksen ulkopuolelle rajauskriteereiden puitteissa.

Kauran viljely

Kauran viljely sisälsi pelloilla tapahtuvat prosessit (kyntö, äestys, kylvö, kasvinsuojeluaineiden levitys, korjuu ym.) sekä vastaavasti viljelymaalta aiheutuvat kuormitukset (ravinnehuuhtoumat, NH_3 - ja N_2O -päästöt). Pelloilla tapahtuva työ sisälsi traktorin ja työkoneiden kuluttamat polttoaineet sekä niiden kulutuksesta aiheutuvat päästöt. Kasvintuotannosta inventoitiin panosten käyttö. Jatkokäsittelyyn sisältyivät tilalla tapahtuvat kuljetukset ja siirrot, kuivaus sekä varastointi. Lisäksi selvitettiin kaurakuljetukset tiloilta tuotantolaitokselle. Viljelyä tarkasteltiin haastatteluotantaan perustuvalla tiedonkeruulla yhden vuoden osalta. Haastatteluista saatuja tietoja täydennettiin huomioimalla peltokasvien CAP-tuen ehtojen mukaisen viljelykierron keskimääräinen kesantoalavaatimus.

Kauran jalostus ja varastointi

Jalostus tuotantolaitoksella selvitettiin todellisen prosessin mukaisesti: raaka-kauran puhdistus, kauran kuorinta, lämpökäsittely, jyvien leikkaus, hiutalointi ja valmiiden kaurahiutaleiden pakkaaminen kuluttaja-, ryhmä- ja kuljetuspakkauksiin. Prosesseista huomioitiin käyttöhyödykkeiden kulutus ja hävikit. Myös pakattujen kaurahiutaleiden kuljetus välivarastoon ja varastoinnin energiankulutus huomioitiin.

Pakkauksien valmistus

Kertakäyttöisten kuluttaja- ja ryhmäpakkauksen valmistus ja niiden raaka-aineketjut selvitettiin luonnonvarojen hankintaan saakka päämateriaaleista.

Lisäksi kuljetuspakkausyksiköistä sisällytettiin kiristekalvon ja kertakäyttöisten lavojen valmistus.

Jakelu ja kauppa

Tutkimuksessa selvitettiin tuotteiden jakelu tukkuliikkeen keskusvarastoon ja sieltä edelleen valtakunnallinen jakelu aluevarastoihin ja aluevarastoista kauppoihin.

Kuluttaja

Puuron valmistus kaurahiutaleista kotitaloudessa arvioitiin erikseen. Vaihtoehtoisina valmistustapoina selvitettiin valmistus mikroaaltouunissa ja perinteisesti keittolevyllä.

Pääjärjestelmän yleiset tukitoiminnot

Kaikki oleelliset järjestelmärajojen sisällä tapahtuvat kuljetukset sisällytettiin mukaan. Vastaavasti ketjun eri vaiheissa inventoidut polttoaineet ja energiat selvitettiin niiden raaka-ainelähteille saakka. Sähkön ja kaukolämmön ympäristökuormitusten osalta käytettiin valtakunnallista keskiarvoa. Nokian tuotantolaitokselle tulevan höyryn tuotanto selvitettiin yksityiskohtaisesti huomioiden kunnallisella kaatopaikalla tapahtuvan biokaasun talteenoton.

2.4 Rajoitukset ja sovellettavuus

Hankkeessa kerätyt tiedot edustavat pääosin tuotantoketjun toimintaa vuosina 2000 - 2001. Tiedot olivat todellisen kuvassa 1 esitetyn toimintoverkon toimintaan perustuvia ja ne kuvasivat ja dokumentoivat kyseisen tuotantoketjun ympäristölaatua. Yksityiskohtaisesti tiedon laatua ja alkuperää on tarkasteltu luvussa 3. Tutkimuksessa kerätyt tiedot ja saadut tulokset edustivat tutkitun järjestelmän tilaa tutkimuksen suoritusajkaan ja ehkä neljästä viiteen vuotta eteenpäin olettaen, että keskeisimmissä teollisuus- ja alkutuotantoprosesseissa ei tapahdu poikkeuksellisen suuria muutoksia. Tiedot eivät edusta keskimääräistä kauran viljelyä ja jalostusta, ja siten niitä ei tule suoraan soveltaa vastaavien tuotantoketjujen tai esimerkiksi valtakunnallisen kaurantuotannon ympäristökuormitusten arviointiin. Tulosten perusteella ei tulisi suoraan tehdä johtopäätöksiä muissa yhteyksissä. Tulokset eivät päde suoraan esimerkiksi samantapaisiin tuotteisiin toisissa yhteyksissä.

Viljelyn ympäristökuormitustiedot määritettiin parinkymmenen tilan loma-kekselyin yhden viljelykauden ajalta ja kirjallisuuteen perustuen, joten tulokset eivät täysin kuvanneet *Elovena-kaurahiutaleiden* valmistukseen keskimäärin toimitettua kauraa.

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

Tiedonkeruussa selvitettiin järjestelmärajojen sisälle kuuluvien kaikkien prosessien syöte- ja tuotostiedot niin kattavasti kuin mahdollista. Suuria epävarmuuksia liittyi kuitenkin mm. raskasmetallipäästöjen, hiukkaspäästöjen ja haitallisiin aineisiin liittyvien päästöihin arviointiin, joten niitä ei tuloksissa esitetä.

Tutkimuksen johtopäätökset perustuvat järjestelmästä luotettavimmin kvantifioitavissa olleisiin parametreihin, kuten kasvihuonekaasuihin, happamoittaviin ja rehevöittäviin päästöihin sekä energiankulutukseen ja näitä vastaaviin ympäristövaikutusluokkiin. Vaikutusluokkien normalisointia ja yhteismitatonta arvotusvaihetta ei sisällytetty tutkimukseen. Järjestelmään ja erityisesti viljelyyn liittyviä maisema- ja monimuotoisuuskysymystä tai maan laadun muuttumista ei tutkimuksessa huomioitu.

2.5 Allokoinnit

Maataloustuotannossa ja elintarvikkeiden jatkojalostuksessa, kuten myös monissa muissa järjestelmissä, syntyy samalla useita tuotteita. Käsiteltäessä tällaisia järjestelmiä tarvitaan allokointimenettelyjä. Allokoinnissa materiaali- ja energiavirrat samoin kuin niihin liittyvät päästöt ja muut kuormitukset allokoidaan eli jyvitetään eri tuotteille selvästi määriteltyjen menettelytapojen mukaan. Elintarvikkeiden alkutuotannossa toimitaan biologisessa ympäristössä, jossa eri prosesseilla on usein tavanomaista laajempi vaikutus muihin prosesseihin. Tästä johtuen allokointi on viljelyprosessissa ongelmallista. Viljelyn osalta tutkittiin ainoastaan kauran tuotantoprosessia, ei esimerkiksi tilan kokonaistoimintaa, jolloin kohdentamisen tuomilta epävarmuuksilta vältyttiin. Tähän lähtökohtaan päädyttiin, koska kauratiloilla tuotetaan pääsääntöisesti myytäviä kasveja.

Kauran jalostuksessa kaikki ympäristökuormitukset kohdennettiin päätuotteelle eli kaurahiutaleille. Näin ollen esimerkiksi rehuksi menevä pikkukaura ja muu kaurahävikki ovat käyttäjälleen ympäristömielessä ilmaisia eli niitä rasittavat ainoastaan ne ympäristökuormitukset, jotka syntyvät sen jälkeen kun kyseiset sivutuotteet eroavat kaurahiutaleiden tuotantoprosessista. Järjestelmien sivuvirtojen käsittely- ja hyvitysperiaatteita on käsitelty yksityiskohtaisemmin luvun 3 tiedonkeruun yhteydessä.

Sähkön ja lämmön yhteistuotannon syötteet ja tuotokset allokoitiin energia-periaatteen mukaan. Peruspakkausmateriaalien tiedot perustuivat pitkälti

eurooppalaisten toimialajärjestöjen keräämiin tietoihin. Ne olivat saatavilla vain aggregoituina, ja niiden taustalla tehdyt allokoinnit on suoritettu pääosin massaperusteisesti.

3 Tiedonkeruu

3.1 Panosten valmistus

Lannoitteiden valmistuksen ympäristökuormitus huomioitiin aina mineraali-raaka-aineiden hankinnasta lähtien kuljetuksineen valmiiksi tuotteiksi. Näihin sisältyivät valmistustiedot mm. tuotantoketjussa käytettävistä hapoista (typpi-, rikki- ja fosforihappo) ja muista pääraaka-aineista (kuten kaliumkloridi) sekä niiden raaka-aineiden hankinnasta ja valmistuksesta, kuten typpihapolle ammoniakkin tuotannosta maakaasusta. Tiedot saatiin kotimaiselta lannoitevalmistajalta (Kemira Growhow Oy, 2002, kirjallinen tiedonanto), ja ne sisälsivät luonnonvarojen ja energian kulutukset sekä aiheutuneet päästöt. Valmistusketjun tiedot perustuivat prosesseista pääosin vuosina 1996-2000 kerättyihin tietoihin. Myös lannoitteiden suursäkkien valmistuksen tiedot (UPM-Kymmene Oyj ja Euroopan muovituottajien kattojärjestö APME 1999) ja säkkien kuljetus tiloille sisältyivät laskelmiin.

Tiloilta todennettu käyttömäärillä ja pinta-aloilla painotettu keskimääräinen ravinteiden käyttö mallinnettiin käyttämällä tiloilla neljää selvästi yleisimmin käytettyä lannoitemerkkiä. Laskettu keskimääräinen lannoitemerkkikohtainen käyttömäärä ravinteiden perusteella hehtaarille oli 120 kg Pellon Y3-lannosta, 90 kg Pellon Y4-lannosta, 90 kg Pellon Y5-lannosta ja 141 kg Pellon typpi Y-lannosta. Lannoitteiden valmistusketjun ympäristökuormitukset laskettiin näiden neljän lannoitteen mukaan. Tämä lannoitteiden käyttöprofiili vastasi tilojen keskimääräistä lannoitustasoa 96,7 kg N, 14,5 kg P ja 24,9 kg K. Lannoitteet oletettiin pakattavan suursäkkeihin.

Maanparannuskalkin valmistuksen päästötiedot saatiin kotimaiselta tuottajalta (Nordkalk Oy, 2002, kirjallinen tiedonanto). Polttoaineiden käytön tietoja ei aineistossa toimitettu, vaan ainoastaan niistä lasketut päästötiedot. Tiedot kattoivat vaiheet louhinnasta jauhetuksi kalkiksi asti. Lisäksi kalkin kuljetus tiloille säiliöautoilla sisältyi tutkimukseen. Kalkin käyttötiedot määritettiin kohdan 3.2.1 mukaisesti.

3.2 Viljely

Viljelyprosessin ympäristövaikutuksiin vaikuttavat pääasiassa maan fosforitaso, lannoitteiden, torjunta-aineiden ja kalkin käyttö sekä polttoaineiden kulutus. Tietojen selvittämiseksi suoritettiin tiedonkeruu Nokian tuotantolaitokselle kauraa toimittavilta tiloilta. Tutkimuksessa lähetettiin kirje 40 tilalle,

joiden valinta suoritettiin Raisio Yhtymän Jukka Hollon toimesta. Kyselyssä oli mukana niin RavintoRaision omia sopimusviljelijöitä kuin kauppaliikkeiden, Hankkija Maatalouden ja Maatalouskeskon, kautta kauraa toimittaneita viljelijöitä. Kyselyyn vastasi yhteensä 19 tilaa ja lohkokohtaisia tietoja saatiin 63 lohkolta. Vastauksista osa todettiin vaillinaisiksi tai virheellisiksi ja laskelmien pohjana käytettiin lopulta 47 kauralohkolta saatuja tietoja.

Viljelijöiltä kysyttiin tuotekohtaisia tietoja lannoitteiden ja torjunta-aineiden käyttömääristä ja ajankohdista, viljelytoimenpiteistä kylvön ja korjuun ajankohdista, satotasoista sekä viljelymaan ominaisuuksista kuten viljavuusfosforipitoisuus ja maalaji.

Viljelyprosessissa lannoitteiden ja torjunta-aineiden lisäksi tarvittavia panoksia ovat työkonien polttoaineet, siemenet ja kalkki. Lisäksi tiloilla käytetään sähköä lähinnä viljan kuivaamiseen.

Viljelyä tarkasteltiin haastatteluutantaan perustuvalla tiedonkeruulla yhden vuoden ajalta. Viljelijöille suoritettun kyselyn mukaan esikasvina kauralla oli yleensä ohra, kaura, ruis tai rypsi. Näin ollen tutkimuksessa luotiin mm. ravinnehuuhtoumien laskemiseksi tilamalli, jossa oli viljeltynä 60 % ohraa, 20 % kauraa, 10 % rypsiä ja kesantona 10 %. Kesantoala oletettiin CAP-tuen ehtojen mukaiseksi, jonka mukaan yli 32 hehtaarin tiloilla tulee olla vähintään 10 % viljelyalasta kesantona. Kesannon osalta tapahtuvat huuhtoumat allokoitiin viljalajien alojen suhteessa niiden tuotannolle, jolloin kaurahehtaaria rasittavat noin 0,1 kesantohehtaarin huuhtoumat. Tältä osin viljelykierron vaikutukset tulivat huomioiduiksi.

Viljelytiedot kerättiin viljelykaudelta 2000. Tilojen kokoon ei kiinnitetty huomiota niitä valittaessa. Suhteellisen pieni otos kaikista kauraa toimittaneista tiloista ei välttämättä kuvaa täysin koko kauraa toimittavaa tilajoukkoa.

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

3.2.1 Koneketju tilalla

Koneketjujen ja eri työvaiheissa tarvittavien konetehtojen määrittämisessä käytettiin Työteho-seuran mallilaskelmia, joita täydennettiin MTT:n maatalousteknologian tutkimusyksikön tekemillä eri työvaiheiden tehontarvearvioilla. Työkonien oletettiin olevan viljatilaille tyypillisiä noin 4 - 5 vuoden ikäisiä ja teholtaan 100 hevosvoimaa. Koneiden työsaavutukset määritettiin työ

menekkien perusteella. Työmenekkejä eri viljelyvaiheessa on tutkinut Suomessa kattavasti Työtehoseura. Työmenekit eri työvaiheissa perustuvat Työtehoseuran 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 (<http://www.vtt.fi/rte/projects/tyko/malli.htm>.)

Viljelijöiden toimittaman suurimokauran keskimääräinen vastaanottokosteus on 12,5 %. Viljan keskikosteudeksi ennen kuivausta oletettiin 24 %. Viljan kuivaus oletettiin tapahtuvaksi lämminilmakuivurilla. Lämminilmakuivurissa käytetään polttoaineena kevyttä polttoöljyä. Sen lisäksi tarvitaan sähköä puhaltimen, kuljettimien ja valaistuksen voimanlähteeksi. Näitä vastaavat energiankulutustiedot määritettiin Työtehoseuran tietoihin pohjautuen. Tähän liittyviä oletuksia on käsitelty Katajajuuren ym. (2000) raportissa.

3.2.2 Panosten käyttö

Lannoitus

Lannoitteena käytettiin tiloilla moniravinteisia ostolannoitteita. Keskimääräiseksi hehtaarikohtaiseksi käyttömääräksi saatiin lohkoaineistosta 97 kg typpeä ja 14,5 kg fosforia. Viljavuusfosforipitoisuus lohkoilla oli keskimäärin 12,5 mg/l ja pH 6,2. Lohkojen välinen vaihtelu oli suurta taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. Kauralohkoilla käytetty lannoitus ja pH-taso.

Kaura	Viljavuusfosfori (mg/l)	Fosforilannoitus (kg/ha)	Typpilannoitus (kg/ha)
Pinta-alalla painotettu keskiarvo	11,8	14,5	96,8
Minimi	2,7	0	50,0
Maksimi	52,0	32	162,0

Kalkitus

Maaperän oikealla pH-tasolla on huomattava merkitys viljelymaan satoisuuteen. Viljelymaan ollessa Suomessa luonnostaan hapanta pH-tasoa korjataan viljelylle sopivammaksi kalkitsemalla. Peltolohkon tavoiteltu pH-taso määrittyy loholla viljeltävän vaativimman kasvin mukaan. Kauraa toimittavilla viljatililla tutkimuksessa tarkasteltavaa kauraa vaativampia pH-tason suhteen ovat ohra ja vehnä. Kaura menestyy hyvin näitä happamammassakin maaperässä. Tästä johtuen jouduttiin vaikeaan kohdentamiskysymykseen. Vaihtoehtoina oli jakaa viljatilán käyttämä kalkkimäärä, esimerkiksi 7000 kg/ha/5v kaikille lohkon kasveille tasaisesti tai kohdentaa koko kalkitus vaa

tivimmille kasveille. Ensimmäisen jakoperiaatteen mukaan yhdelle vuodelle kohdistuva kalkkimäärä olisi 1400 kg/ha kaikille kasveille ja jälkimmäisen perusteella kauralle ei kohdentuisi ollenkaan kalkin tuotannon ja käytön ympäristövaikutusta. Tässä tutkimuksessa päädyttiin kohdentamaan kauralle ylläpitokalkituksen ympäristövaikutukset. Maaperän pH-tason noston ympäristökuormitus kohdennettiin vaativammille viljelykasveille. Tutkimuksessa olleet peltolohkot olivat pH-tasoltaan viljavuusluokassa tyydyttävä pH:n ollessa keskimäärin 6,2. Nordkalkin asiantuntijan Timo Kanervan arvio keskimääräisestä pH-tasosta oli 5,8. Koska yleisin maalaji tutkituilla lohkoilla oli hiesu, päädyttiin kauralle kohdistuvan ylläpitokalkin määrään 200 kg/ha/v.

Torjunta-aineiden käyttö

Kauran, kuten muidenkin viljelykasvien kemiallinen kasvinsuojelu toteutetaan tiloilla tarpeen mukaan. Torjuntatarve ja kasvinsuojelutoimet vaihtelevat vuosittain sekä ajallisesti että laadullisesti kasvintuhoojien esiintymisen, sään ja tavoitellun satotason mukaan. Tässä tapaustutkimuksessa selvitettiin kauran viljelyssä tarvittava torjunta-aineiden käyttö lohkoakohtaisesti.

Torjunta-aineet sisältävät yhden tai useamman tehoaineen lisäksi myös muita aineita. Samaan tarkoitukseen on hyväksytty tavallisesti useita eri kauppa-valmisteita. Tutkimuksessa selvitettiin lohkoakohtaisesti torjunta-aineiden käyttömäärät sekä aineiden sisältämät tehoainemäärät.

Siementen käyttö

Suurimokauran siemenmäärän laskemisessa käytettiin viljelyohjeita, joiden mukaan tavoiteltaessa 5000 kg/ha satoa sopiva siemenmäärä on 190 kg/ha. Näistä oletettiin ostettavan 20 % peitattuna. Loput 80 % saadaan tällöin omasta tuotannosta.

3.2.3 Peltolohkoilta aiheutuvien ympäristökuormitusten arviointi

Ravinteiden kierto peltomaassa

Typeä ja fosforia lisätään peltomaahan lannoitteina. Lisäksi typeä tulee hyvin pieniä määriä sadeveden mukana. Typensitojakasvit kuten apila ottavat typeä ilmasta ja varastoivat sitä kasvustoihinsa. Suurin osa maahan lisäystä tyydestä ja fosforista poistuu kasvukauden aikana sitoutuen kasvustoon ja poistuu pellolta sadonkorjuussa. Osa ravinteista sitoutuu maahan, tyyppi orgaanisena typpenä ja fosfori epäorgaanisena maapartikkeleiden pinnalle sitoutuen. Pieni osa tyydestä haihtuu. Sekä typeä että fosforia kulkeutuu sadeveden ja lumen sulamisvesien mukana joko pintavaluntana tai salaojaputkien kautta pintavesiin sekä vajovesien mukana pohjavesiin. Suomessa suurin osa

ravinteiden huuhtoutumisesta tapahtuu syyssateiden ja lumensulamisen aikana.

Ilmapäästöt

Tärkeimmät peltolohkoilta syntyvät ilmapäästöt ovat typpioksiduuli (N_2O), ammoniakki (NH_3), hiilidioksidi (CO_2) ja metaani (CH_4). Tärkein ilmastomuutokseen vaikuttava päästö peltolohkoilta on typpioksiduuli.

N_2O -päästöt maaperästä mineraalimailla voidaan jakaa suoriin ja epäsuoriin päästöihin. Suorista päästöistä otettiin huomioon keinolannoituksesta syntyvät päästöt ja epäsuorista NH_3 -laskeumasta ja huuhtoumista syntyvät N_2O -päästöt. Pellolle joutuneen typen määrästä on ensin vähennetty ammoniakkinen haihtuvan typen osuus ja jäljelle jäävän typen määrästä 1,25 % oletettiin muuntuvan N_2O -N:ksi. Vesistöihin huuhtoutuneesta tyypestä oletettiin 2,5 % muuntuvan N_2O -N:ksi (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC 1997). Ammoniumtyyppä arvioitiin haihtuvan ilmaan tyypinä 0,6 % sijoituslevitetyn lannoitteen tyypestä (esim. Grönroos ym. 1998). N_2O -päästöjen vertailumateriaalina käytettiin Suomessa tehtyjä mittaustuloksia (Syväsalu ym. 2002).

Hiilidioksidia vapautuu pääasiassa turvemailta. Samoin kuin Katajajuuren ym. (2000) tutkimuksessa rehuohrasta, tässä tutkimuksessa pellon hiilidioksidikierron oletettiin olevan tasapainossa kasvillisuuteen sitoutuneen ja maaperästä sekä kasvillisuudesta vapautuvan hiilen määrän ollessa vuositasolla sama. Viljelyprosessiin tulee ulkopuolista hiiltä louhittaessa maaperästä kalkkia ja käytettäessä sitä maan pH:n neutraloimiseen. Tämä hiilidioksidimäärä raportoidaan maittain ilmastomuutoskaasujen osalta myös YK:n ilmastojärjestölle ja EU:lle. Hiilidioksidimäärä laskettiin IPCC:n (1997) periaatteiden mukaisesti. Tämän mukaan hiilidioksidia vapautuu noin 450 kg kalkkitonnia kohden. Tuloksia tarkasteltaessa on kuitenkin huomioitava, että hiilidioksidipäästöistä huolimatta kalkilla on myös myönteinen ympäristövaikutus sen parantaessa kasvien ravinteiden saantia ja siten satotasojen samoilla panoksilla. Maatalousmaat sitovat ilmakehästä pienen määrän metaania vuosittain (Hütsch 2001), mutta määrä on kokonaisuuden kannalta merkityksetön (Kristiina Regina, 2002, suullinen tiedonanto).

Ravinnehuuhtoumat

Pelloilta huuhtoutuu sekä tyyppä että fosforia. Suurin osa tyypestä huuhtoutuu liukoissa muodossa. Fosfori huuhtoutuu pääosin kiintoainekseen sitoutuneena (PP), mutta myös liuenneena ($\text{PO}_4\text{-P}$). Tässä tutkimuksessa rehevöittäväksi fosforiksi on laskettu ns. kasveille käyttökelpoinen, rehevöittävä fosfori, joka koostuu liuenneesta fosforista ja osasta kiintoainekseen sitoutuneesta fosforista. Rehevöittävän fosforin osuuden arvioitiin olevan 28 % kokonaisfosforikuormituksesta (Ekholm 1998).

Maan fosforitila on merkittävin fosforikuormitukseen vaikuttava tekijä. Se vaikuttaa sekä kiintoainekseen sitoutuneen fosforin että liuenneen fosforin määrään. Maan erodoituvuus vaikuttaa kiintoainekseen sitoutuneen fosforin määrään. Eroosioon vaikuttaa kaltevuus, maalaji sekä talviaikainen kasvi-
peitteisyys. Erilaisilla maalajeilla on erilainen kyky sitoa fosforia itseensä, joten maalaji vaikuttaa myös liuenneen fosforin määrään.

Fosforihuuhtoumat mallinnettiin lohkokyselyyn perustuen ICECREAM-mallilla. Mallinnukset tehtiin kymmenen vuoden sääaineistolla ja simulointien tuloksista laskettiin keskimääräinen huuhtouma. Tällä tavalla pyrittiin poistamaan mahdolliset sääolojen vaikutukset. Huuhtoumat mallinnettiin lohkoittain ja mallinnustulosten perusteella laskettiin fosforihuuhtoumien pinta-alalla painotettu keskiarvo. Keskimääräiseksi rehevöittävän fosforin osuudeksi saatiin 0,6 kg/ha.

Typpihuuhtoumat laskettiin taseiden kautta lohkoittain. Taseessa otettiin huomioon pelloille tuleva lannoitus. Siitä vähennettiin sadon mukana lähteneen typen sekä haihtuvan typen määrä. Mikäli typpitase jäi positiiviseksi, ylijäämästä oletettiin 30 % huuhtoutuvan. Usealla loholla typpitase oli negatiivinen. Tällöin typpihuuhtouma ajateltiin nolllaksi. Lisäksi oletettiin, että oljet jäävät maahan, jolloin niihin sitoutunut typi vapautuu kasviaineksen hajotessa. Potentiaaliseksi keskimääräiseksi typpihuuhtoumaksi saatiin noin neljä kiloa hehtaarille.

Taulukko 2. Fosforihuuhtoumien mallinnuksen tuloksien keskiarvo sekä minimi- että maksimiarvot.

Kaura	PO ₄ -P (kg/ha)	PP (kg/ha)
Pinta-alalla painotettu keskiarvo	0,3	2,0
Minimi	0,1	0,9
Maksimi	0,8	3,1

3.2.4 Kauran kuljetus tuotantolaitokselle

Kauran keräily tiloilta Nokian tuotantolaitokselle selvitettiin yhdessä Raisio Yhtymän hankintapuolen edustajien kanssa. Kuljetukset perustuivat vuosien 2000 ja 2001 kaurakuljetuksiin Nokian tuotantolaitokselle. Näihin sisältyivät niin RavintoRaision sopimustilojen kuin keskusliikkeiden kautta tulevat toimitukset. Kalustona käytettiin tyypillisintä yhdistelmää eli täysperävaunua. Kuormausasteeksi valittiin kaikista toimituksista laskettu keskiarvo. Saatu arvio on hieman alakanttiin täysperävaunujen lastiksi, koska sitä pudottaa traktorikuljetusten osuus. Reitit mallinnettiin kolmelta eri keskietäisyydeltä tulevalle kauralle. Kuormat sisältävät kauraa pääsääntöisesti yhdeltä tilalta. Kaikissa osakuljetusmatkoissa polttoaineen kulutus ja päästöt laskettiin kul

loisenkin vaiheen kuormausasteen mukaan. Pisimmällä reitillä autojen oletettiin tuovan säkkitavarakuormaa myös paluumatkalla 75 % tapauksista. Kaikki autot mallinnettiin EURO2-luokan (vuosimallit 96 - 98) mukaan. Määritettyjen kuljetusprofiilien avulla laskettiin VTT:n LIISA-mallin yksikköpäästöjen (<http://www.vtt.fi/rte/projects/lipasto/index.htm>) avulla kauran hankinnan polttoaineenkulutus ja sitä vastaavat päästöt.

3.3 Kauran jalostus

Prosessikuvaus

Kaurahiutaleita valmistetaan Nokialla RavintoRaision tuotantolaitoksella. *Elovena-kaurahiutaleiden* lisäksi samalla tuotantolaitoksella tuotetaan noin 90 muuta hiutaletuotetta sekä erilaisia jauhoja. Tuotantolaitoksella on neljä hiutalointilinjaa, kolme jauhelinjaa, kaksi ruismyllyä ja yksi vehnämylly. Kaurahiutaleita valmistetaan hiutalointilinjalla viidessä eri vaiheessa: raaka-kauran puhdistus, kauran kuorinta, lämpökäsittely, jyvien leikkaus ja hiutalointi. Kauran käsittelyn tarkoituksena on poistaa jyvistä kuoret ja muovata ytimet hiutaleiksi ja oikeaan kosteuspitoisuuteen. Vaihtoehtoisesti kaurasta valmistetaan tuotantolaitoksella jauhoa ja leseitä.

Tiloilta saapuva kaura sijoitetaan varastosiiloon, joka on raakakauran pitkäaikainen varasto. Varastosiilossa tasaantuu kauran kosteuspitoisuus ja sille suoritetaan karkea puhdistus erilaisin esipuhdistimin, joissa poistuu epäpuhtauksia. Kaura siirretään käyttösiiloon, johon mahtuu kahden päivän aikana prosessoitava kaura. Tuotantoon vastaanotettava kaura punnitaan ja puhdistetaan. Puhdistetusta kaurasta erotetaan pikkukauraksi kutsuttu osuus, joka on liian pientä hiutaleiden valmistukseen. Kauran kuorinnassa jyvän ydin ja kuori erotetaan toisistaan. Ytimet jatkavat matkaa kuorinnasta lämpökäsittelyyn. Lämpökäsittely tapahtuu höyryn ja kuivauksen avulla. Ytimen kosteuspitoisuus alenee hiukan. Seuraavaksi kauraytimet leikataan pienemmiksi kappaleiksi. Leikatut ytimet hiutaloidaan, mihin sisältyy höyrytys, litistys ja kuivaus alle 13 % kosteuteen. Valmiit kaurahiutaleet pakataan kuluttajapakkauksiin ja erilaisiin myynti- ja kuljetuspakkauksiin, ja kuljetetaan puoliperävaunulla Sarankulman varastoon Tampereelle.

Sivuvirrat ja hävikki

Suurimmat prosessista tulevat sivuvirrat ovat kauran kuoret ja pikkukaura. Kaurasta on kuorta noin 25 % ja kokovaatimuksia ei täyty 6 % prosessiin tulleesta kaurasta. Kuoret jauhetaan Nokian tuotantolaitoksella ja hyödynnetään rehuteollisuudessa. Pikkukaura päättyy myös rehuteollisuuteen. Näiden kahden suuremman jakeen lisäksi pieniä hävikkejä tulee prosessista epäpuhtauksien, jauhon ja pölyn muodossa. Jauhohävikit tulevat seulasta, joka erottaa leikkautunutta ja leikkautumatonta kauraa toisistaan. Hiutalointi aiheuttaa

pölyn muodostumista. Myös pöly ja jauhohävikit käytetään rehuteollisuudessa. Kauran kosteuspitoisuus vaihtelee valmistuksen aikana, mutta valmiiden kaurahiutaleiden kosteuspitoisuus ei eroa oleellisesti sisään tulevan raakauran kosteuspitoisuudesta. Kauran joukkoon ei lisätä prosessissa mitään muita aineksia.

Hyötysuhde kauralle määritettiin ensimmäisen tuotantolaitoksella tapahtuvan punnituksen ja valmiiden kaurahiutaleiden määrän perusteella. Ennen ensimmäistä punnitusta on jo tapahtunut pientä hävikkiä karkeassa puhdistuksessa, mutta hävikki on enimmäkseen epäpuhtauksia ja sen prosenttiosuus tulevasta kaurasta on hyvin pieni. Kauran hyötysuhde perustuu kaurahiutaleiden valmistukseen. Se on siten keskimääräinen hyötysuhde kaikille tehtaassa valmistettaville kaurahiutaletuotteille, eikä tuotekohtainen hyötysuhde. Hyötysuhteesta käytettiin tutkimuksessa vuoden 2001 tietoa.

Tuotantohyödykkeet

Kaurahiutaleiden valmistus kuluttaa energiaa sähkön ja höyryn muodossa. Lisäksi tuotantotilojen lämmitykseen kuluu kaukolämpöä. Kaikista näistä tehtiin allokoinnit kyseisen tuotteen ja muiden tehtaassa valmistettavien tuotteiden välillä massaperustaisesti. Suurimokaurasta valmistetaan tuotantolaitoksessa muitakin hiutaleita kuin tutkimukseen valittua kaurahiutaletta. Energiankulutuksesta tehtiin tutkimuksessa oletus, että sen kulutus on sama kaikkia kaurahiutaletuotteita kohti. Käytetyt tiedot olivat vuodelta 2001.

Kaurahiutaleiden valmistus kuluttaa höyryä prosessin kahdessa eri vaiheessa: lämpökäsittelyssä ja hiutaloinnissa. Höyrynkulutuksesta oli tiedossa kaikkien hiutalemyllyssä valmistettavien tuotteiden höyrynkulutus yhteensä. Allokointi suoritettiin näiden välillä tuotantomäärien perusteella huomioiden kuitenkin sen, että suurin osa tuotteista kuluttaa höyryä vain kerran prosessin aikana, mutta kaura kuluttaa sitä kahdesti. Vuositason mittaustieto kaukolämmön kulutuksesta koski koko tuotantolaitosta ja sen vuoksi se jaettiin kaiken tuotannon kesken. Sähkönkulutuksen arvioinnissa kaurahiutaleiden valmistus jaettiin kahteen osaan. Ensimmäinen näistä sisältää puhdistuksen ja kuorinnan ja toinen lämpökäsittelyn, leikkauksen ja hiutaloinnin. Puhdistuksen ja kuorinnan sähkönkulutus oli mahdollista saada suoraan mittarista kauralle, eikä siltä osin jouduttu tekemään allokointeja. Lämpökäsittelyn, leikkauksen ja hiutaloinnin sähkönkulutus allokoitiin hiutalemyllyn tuotteille.

Prosessissa ei käytetä vettä vaan puhdistus tapahtuu mekaanisena puhdistuksena tai imuroimalla. Kauran kosteuden vaihtelut prosessin edetessä ovat peräisin käytetystä höyrystä.

Paikallinen energian tuotanto

Tehtaalle tuottaa prosessihöyryä Fortumin voimalaitos, joka kävi tutkimuksen tiedonkeruun aikaan läpi muutoksia tuotannossa käytettävän polttoaineen osalta. Voimalaitoksella käytettiin aikaisemmin polttoaineena ainoastaan öljyä ja tuotettiin prosessihöyryä tuotantolaitoksen tarpeisiin. Välivaiheessa ennen siirtymistä kokonaan kaasumaisiin polttoaineisiin poltettiin öljyn lisäksi kaatopaikalta kerättyä biokaasua. Höyryn ohella alettiin tuottaa kaukolämpöä kaupungin verkkoon. Välivaihe päättyi syksyllä 2002 ja siitä alkaen polttoaineina on käytetty biokaasua ja tukipolttoaineena maakaasua. Tuotantomäärät arvioitiin samoiksi kuin välivaiheen aikana. Vaikka tutkimuksen muut tiedot olivat vuodelta 2001, höyryn tuotannosta käytettiin arvioita tulevasta tilanteesta vuonna 2003, jotta tulokset kuvaisivat mahdollisimman ajankohdasta tuotantolaitoksen tilannetta. Biokaasun koostumuksesta käytettiin keskimääräistä arvoa, joka perustuu kirjallisuuteen (Tuhkanen 2001). Kattilan päästöt arvioitiin maakaasun polton mukaan ostetulle maakaasulle ja biokaasun metaanille. CO₂-päästöt niin biokaasun hiilidioksidisuudesta kuin biokaasun sisältämän metaanin polton päästöstä oletettiin sitoutuvan takaisin viljan kasvuun. Lisäksi selvitettiin paikallinen biokaasun kaatopaikalta keräämisen energian kokonaiskulutus.

3.4 Kuluttaja- ja ryhmäpakkauksien valmistus

Kaurahiutalekotelon valmistuksen päästötiedot saatiin valmistajalta M-Real Oyj:ltä (kirjallinen tiedonanto, 2002). Kotelon raaka-aineiden valmistusketjut perustuvat KCL:n (Oy Keskuslaboratorio Ab) M-Realille laatimaan luottamukselliseen elinkaaritutkimukseen keskimääräiselle kartonkituotteelle. Tämä keskimääräinen kartonkituote vastaa RavintoRaision käyttämän kotelon kartongin koostumusta. KCL:n tekemän tutkimuksen tietoja ja niiden taustatietoja ja tehtyjä oletuksia, valintoja ja allokoituja ei voitu arvioida eikä verifioida, koska tiedot olivat pitkälti aggregoituja, eivätkä sisältäneet energiankäyttö- ja syötetietoja. Tiedot perustuvat ilmeisesti todellisten sellua ja mekaanista massaa valmistavien tuotantolaitosten toimintaan vuonna 1998 ja näiden kuljetuksiin kartonkitehtaalle sekä kartonkitehtaan toimintaan vuonna 1998. Tietoihin sisältyvät myös kartongin muiden raaka-aineiden ja kemikaalien valmistus ja kuljetus, puun kasvu ja metsän korjuu ja kuljetus, sekä energiantuotanto ja jätteiden käsittely eri vaiheissaan. Koteloaihion valmistustiedot perustuvat M-Realin Takon kotelotehtaan vuoden 2001 keskimääräisiin raaka-ainehävikkitietoihin ja energiahyödykkeiden käyttötietoihin.

Kaurahiutalekotelon sisäpussin valmistuksen tiedot saatiin valmistajalta UPM-Kymmene Wisapaperilta (kirjallinen tiedonanto, 2002). Tehtaalla tuotetaan sekä käytetty valkaistu sellu että paperi. Tiedot perustuvat tehtaalla valmistetuille keskimääräisille valkaistuille sellu- ja paperituotteille. Tietoja täydennettiin liittämällä tehtaan tietoihin pääkemikaalien, lähinnä val

kaisukemikaalien valmistusketjut sekä niiden ja puun kuljetukset tehtaalle. Puun kasvussa sitoutunutta hiilidioksidia ei tuotteelle määritetty, koska se vapautuu ennemmin tai myöhemmin takaisin ilmakehään pakkausten käytön jälkeen joko hiilidioksidina (esim. energiakäytöstä) tai osittain metaanina kaatopaikalla. Kemikaaleista suurin osuus tuloksiin oli natriumhydroksidin (NaOH) valmistusketjulla. Sen elektrolyyttisen valmistuksen tiedot perustuvat Virtasen ym. (2002a) tutkimukseen. NaOH-ketjun kannalta merkittävien allokoointi oli prosessissa käytettävän lämmön allokoointi kokonaan NaOH:lle, koska valtaosa lämmöstä kuluu NaOH:n väkevöittämiseen.

Kaurahiutaletuotetta pakataan kuljetusta ja myyntiä varten kahdella eri tavalla. Molemmat pakkausratkaisut (FIN- ja myymälälava) sisällytettiin mukaan ja laskelmissa käytettiin näiden myyntimäärillä painotettuja osuuksia. FIN-lavat oletettiin 100 % kiertäviksi. Kertakäyttöisiksi oletettujen myymälälavojen valmistusketju selvitettiin valmistajan (Jalander Oy, kirjallinen tiedonanto, 2002) kanssa täydentäen tietoja puun hankinnasta ja käsittelystä Mälkin ja Virtasen (2001) tutkimuksen mukaan. Puun ja puuraaka-aineiden kuljetusmatkojen ympäristökuormitukset laskettiin todellisiin kuljetusetäisyyksiin perustuen. Sahalla tapahtuvan puun kuivaus oletettiin tapahtuvan kamarikuivaamossa. Tähän tarvittava lämpöenergia saatiin lavoihin menevien tukkien kuorta polttamalla. Polton päästöt perustuvat päästömittauksiin tuoreen ja kuivan metsätähteen energiapoltoista (Mälkki ja Virtanen 2001). Tukeista ylimäärin jäävä puuaineksen, sahanpuru ja saharake, ketjun kuormitukset allokoitiin massaperustaisesti niille, ei valmistettaville myymälälavoille.

Lavojen kiristekalvojen valmistustiedot perustuvat valmistajien ilmoitukseen. Polyeteeniraaka-aineen osalta käytettiin APME:n tietoja (APME CD ROM 1999, www.apme.org).

Hiutaleiden ryhmäpakkauksina käytettävien aaltopahvilaatikoiden valmistustietoja selvitettiin FOODCHAIN-hankekokonaisuuden tapaustutkimusten toimittajien (kirjalliset tiedonannot: Petersonwalki, SCA Packaging ja Stora-Enso, 2002) ja Euroopan aaltopahvihdistyksen (FEFCO) kanssa. Tiedoissa oli valtavasti eroja niin järjestelmärajausten kuin tiedon laajuuden suhteen. Osa saaduista tiedoista todettiin verifiointissa virheellisiksi. Lopulta aaltopahville käytetyiksi tiedoiksi valittiin kaikille FOODCHAIN-hankkeen tapaustutkimuksille samat tiedot. Nämä olivat keskiarvot luotettavimmiksi oletetuista tiedoista. Kaikki tähän käytetyt kattavat tietoaineistot perustuvat FEFCO:n malliin (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 Suomessa ei pidä paikkaansa. Suomessa aaltopahvi kierrätetään lähinnä hylsykartongin

valmistukseen. Käytetyt aaltopahvitiedot eivät ole siis tuottaja- ja tuotekoh-
taisia, eikä tietoja pystytty aggregoinnin vuoksi verifioimaan.

3.5 Jakelu, kauppa ja kuluttaja

Jakelun mallintamisessa pyrittiin kuvaamaan tuotteenvaltakunnallista jakelua. Jakelun profiilin määrittäminen tehtiin yhteistyössä Ruokakeskon ja Kespe-
din (kirjalliset tiedonannot, 2002) edustajien kesken. Kuljetuskaluston ikäja-
kaumana käytettiin Suomessa vuonna 2000 käytettyä keskimääräistä kalus-
toa. Kaurahiutaleet kuljetetaan Sarankulman varastosta Tampereelta Van-
taalle, Hakkilan keskusvarastoon. Hakkilasta yli puolet tuotteista menee suo-
rajakeluna lähialueille ja isoimpiin ketjun kauppoihin. Loput tuotteista siir-
retään runkokuljetuksina aluejakelukeskuksiin. Näistä kullakin alueella valit-
tiin tyypilliset keskimääräiset jakelureitit, jotka koostuvat siirto- ja jakelu-
ajosta. Kaikissa osakuljetusmatkoissa käytettiin yksityiskohtaisia kuor-
mausasteita. Määritettyjen kuljetus- ja jakeluajoprofiilien avulla laskettiin
VTT:n LIISA-mallin yksikköpäästöjä
(<http://www.vtt.fi/rte/projects/lipasto/index.htm>) hyödyntäen koko jakelulo-
gistiikan polttoaineenkulutus ja päästöt.

Kaupasta ja jakeluketjusta selvitettiin tuotteiden keskimääräinen hävikki
(Ruokakesko, kirjallinen tiedonanto, 2002). Myymälälavojen oletettiin pää-
tyvän 100 % jätteeksi kaupasta. Lavojen kiristekalvoista osa palautuu ener-
giahyötykäyttöön ja osa päättyy suoraan kaatopaikalle. Näiden seuraaminen
lopetettiin kyseisten jättejakeiden syntyhetkeen.

Kuluttajan toiminnoista tutkimukseen sisällytettiin tuotteen käytön jälkeinen
pakkausmateriaalijätteen käsittely, jonka oletettiin päättyvän 50 %:sti kaato-
paikalle. Kartongista 50 % oletettiin hyödynnettävän jossain muodossaan.
Oletuksien pohjana olivat mm. Marketing Radarin vuonna 1999 laatimat
kuluttajien kartonkipakkausten käyttöä ja hävittämistä koskevat selvitykset.
Kuluttajan ja kaupan jätteiden hyödyntämisvaihtoehtojen, kuten energiana tai
materiaalina hyödyntämisen, ympäristövaikutusten arviointia ei tehty. Aino-
astaan kaatopaikalla syntyvät kaatopaikkakaasun metaanipäästöt kuitupohjai-
sista jätteistä määritettiin. Kaatopaikkakaasu on orgaanisesta jätteestä hapet-
tomassa tilassa tapahtuvan hajoamisen tuloksena syntyvää kaasua, joka si-
sältää lähinnä metaania ja hiilidioksidia. Metaanipäästöt laskettiin massa-
taseeseen perustuvalla menetelmällä, mihin tarvittavien parametrien arvot
oletettiin Suomen kaatopaikkojen keskimääräisten olosuhteiden ja kunnon
mukaisiksi kertoimiksi (Tuhkanen 2001). Sitä vastoin kuitupakkauksista
kaatopaikalla syntyvän hiilidioksidin ajateltiin sitoutuneen ilmakehästä pak-
kausten valmistuksessa käytettyyn metsään, joten niitä ei kaatopaikan yhtey-
dessä tarkasteltu. Kiinteät jätteet on luokiteltu tuloksissa käyttökohteensa
mukaan.

Lisäksi arvioitiin kuluttajan energiankulutusta puuron valmistuksessa kahdella vaihtoehtoisella tavalla kaurahiutaleista. Sähkölisedellä valmistettavan kaurapuuron energiankulutustiedot perustuvat Korhosen ym. (2002) tutkimukseen. Lähtökohdaksi otettiin tarkastellun tuotteen kuluttajapakkauksessa ilmoitettu valmistustapa neljälle henkilölle. Korhosen ym. (2002) tutkimuksessa sähköliseden käytön keskimääräinen aika oli 30 minuuttia, jonka aiheuttama keskimääräinen sähkönkulutus oli 0,74 kWh/kerta. Tutkittavaa kaurahiutaleita ei tarvitse kiehua kuin kymmenisen minuuttia levyn lämmityksen jälkeen, mutta koska sähkönkulutuksesta valtaosa tapahtuu levyn kuumentamisen yhteydessä, oletettiin sähköä kuluvan puuroannoksen valmistukseen edellä mainitun verran. Kauraa tarvitaan yhden hengen normaaliannokseen noin 1 dl, joka vastaa noin 40 grammaa kaurahiutaleita. Kilosta kaurahiutaleita saadaan valmistettua näin ollen noin 25 annosta.

Muut puuron valmistuksessa käytettävät ainekset ovat vesi tai maito ja mahdollisesti suola. Myös suolan osuutta puuron tuotantoketjun ympäristökuormitukseen arvioitiin karkeasti FOODCHAIN-hankkeen perunan tapaustutkimuksessa suolasta kerättyjen valmistusketjutietojen avulla (Voutilainen ym. 2003). Vaihtoehtoisesti kaurapuuro voidaan valmistaa mikroaaltouunissa yhdelle tai useammalle henkilölle kuluttajapakkauksissa ilmoitetun valmistustavan mukaisesti. Mikroaaltouunin tehoksi oletettiin 800 W. Energiankulutus laskettiin kolmen minuutin täydellä teholla lämmityksen mukaan, jolloin sähkön kulutus olisi 0,04 kWh/kerta. Tämä on lähellä Korhosen ym. (2002) arvioimaa mikroaaltouunien keskimääräistä energiankulutusta, kun otetaan huomioon, että keskimääräisenä lämmitysaikana siinä käytettiin viittä minuuttia. Lisäksi siihen on sisällytetty mikroaaltouunin stand-by-toiminnosta allokoitua sähkönkulutusta, jota tässä ei puuron valmistukselle huomioitu.

3.6 Järjestelmän 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. Työkoneissa käytettävän kevyen polttoöljyn hankinnan osalta tietolähteenä käytettiin Bakkanen ym. tutkimusta (1994) ja Fortumilta saatuja tietoja (Fortum Oil & Gas Ekotasietiedote 2002a). Vastaavasti kuljetuskaluston eurodieselöljylle käytettiin Bakkanen ym. (1994) ja Fortumilta saatuja tietoja (Fortum Oil & Gas Ekotasietiedote 2002b). Maakaasun hankintaketjusta käytettiin SEEP-hankkeessa kerättyjä tietoja (Virtanen at al. 1996).

Kaikki oleelliset järjestelmärajoiden sisällä tapahtuvat kuljetukset sisällytettiin mukaan lukuun ottamatta kuluttajan tekemää ostosmatkaa. Myös kaikki kuljetuksiin liittyvät paluukuljetukset, kuten kiertolavojen palautustoimitukset huomioitiin kuljetuslaskelmissa. Kohdassa 3.4 mainittujen pakkausten lisäksi valmistusketjut selvitettiin pääsääntöisesti myös muista pakkauksista, kuten tilojen käyttämien panosten pakkausten osalta.

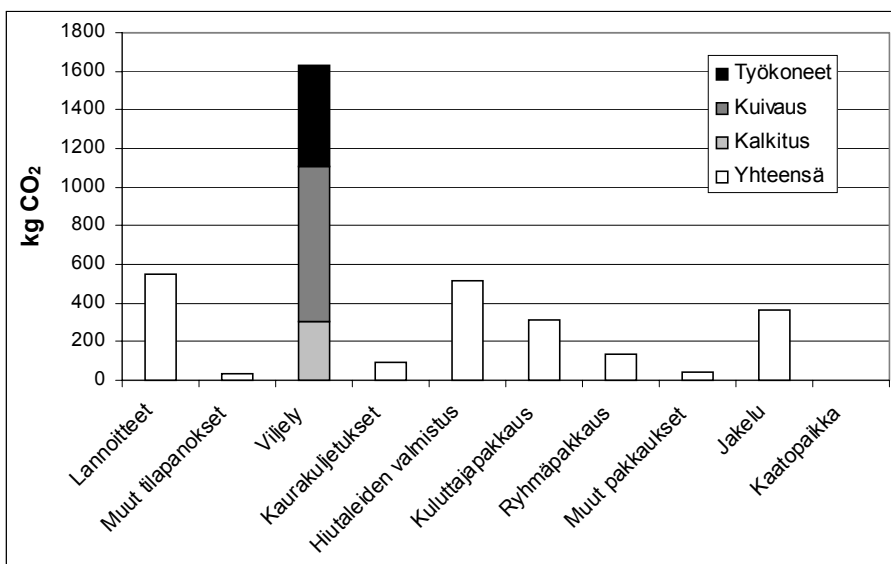
4 Tulokset

Tulokset on laskettu ja esitetty toiminnallista yksikköä, 10 000 kappaletta kuluttajan käyttämää kilon kaurahiutalepakettia kohden. Tämän tuottamiseen tarvittiin yhteensä noin 3,7 hehtaarin peltopinta-ala kesantovaatimus huomioiden. Seuraavissa kuvissa on esitetty vaiheittain lannoitteiden tuotantoketjun, muiden tuotantopanosten, viljelyn, kauran toimittamisen jalostukseen, jalostuksen, kuluttajapakkausten (kartonkikotelo ja sen sisällä oleva paperipussi), ryhmäpakkausten ja muiden pakkausten tuotantoketjujen sekä jakelun osuudet kokonaispäästöistä ja ympäristövaikutuspotentiaaleista, kaikki toiminnallista yksikköä kohden laskettuna. Tämän avulla on tarkoitus tunnistaa tuotantoketjun suhteellisesti kuormittavimmat kohdat. Kohdissa 4.1, 4.5 ja 4.2.1 tietyt tuotantoketjun päästöt on suhteutettu mm. henkilöautolla ajon päästöihin hahmottamaan lähinnä tuotannon hiilidioksidipäästöjen ja ilmaston lämpenemispotentiaalin suuruusluokkaa. Autoilun päästöjen käyttämiseen vertailukohtana tulee suhtautua varauksin, koska polttoaineen kulutus ja päästöt riippuvat hyvin paljon esimerkiksi ajotavasta. Siinä ei myöskään tule otettua huomioon vesistöpäästöjä. Bensiinikäyttöisellä henkilöautolla käytön aikainen hiilidioksidipäästö on noin 2,4 kg/l, ja hankinnasta ja jalostuksesta aiheutuu noin 300 g CO₂/l, eli yhteensä noin 2,7 kg/l (Fortum Oil and Gas 2002c ja 2002d).

4.1 Inventaarioanalyysi

4.1.1 Ilmapäästöt

Tuotantoketjun fossiilisista hiilidioksidipäästöistä 44 prosenttia aiheutui maatiiloilla tapahtuvasta viljelystä ja viljan kuivauksesta. Viljan kuivaus oli suhteellisesti suurin yksittäinen hiilidioksidin tuottaja, noin 22 prosenttia koko tuotantoketjun CO₂-päästöistä. Kalkin käytöstä vapautuvan hiilidioksidin osuus oli noin kahdeksan prosenttia koko tuotantoketjun CO₂-päästöistä. Sen suhteellinen osuus viljelystä oli melko pieni verrattuna aiemmin tutkitun rehuohran (Katajajuuri ym. 2000) elinkaareen. Tämä ero aiheutui lähinnä siitä, että tässä kauraketjun tarkastelussa tuotteelle kohdennettiin vain ylläpitokalkituksen ympäristövaikutukset kohdan 3.2.3 mukaisesti.



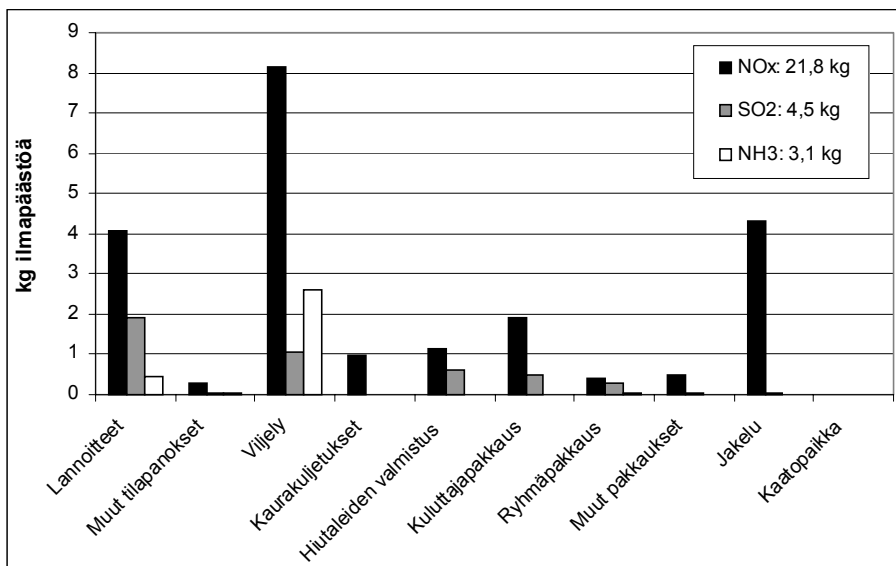
Kuva 2. Kaurahiutaleiden hiilidioksidipäästöt (yhteensä 3678 kg CO₂) tuotantoketjun eri vaiheissa 10 000 kulutettua kilon pakkausta kohti.

Lannoitteiden tuotannosta aiheutui noin 15 prosenttia ja kauran jalostuksesta hiutaleiksi noin 14 prosenttia koko tuotantoketjun CO₂-päästöistä. Kuluttaja-, ryhmä- ja kuljetuspakkausten yhteenlasketut päästöt olivat lähes yhtä suuret kuin mitä lannoitteiden valmistusketjuista tai kauran jalostuksesta aiheutui, vaikka esimerkiksi kaikkien jalostuksessa syntyvien sivuvirtojen CO₂-päästöt allokoitiin viljoille, kuten myös siis kauralle. Kauran jalostuksesta syntyvät CO₂-päästöt ovat nykytilanteessa pääosin peräisin tuotannossa käytettävän verkkosähkön tuotannosta. Tuotannon CO₂-päästöt olivat pudonneet lähes 93 prosenttia, kun tuotantolaitoksella käytettävän höyryn tuotannossa siirryttiin raskaan polttoöljyn käytöstä bio- ja maakaasun käyttöön luvussa 3.3 kuvatun mukaisesti. Tällöin kauran tuotantoketjun CO₂-päästöt aiheutuivat pääosin kauran jalostamisesta. Nykytilanteessa vaihtoehtona CO₂-päästöjen pienentämiseksi voisi lähinnä olla kuivauksen välttäminen tilalla silloin kun se olisi mahdollista.

Jakelulogistiikan osuus CO₂-päästöistä oli noin kymmenen prosenttia. Kuluttajapakkauksen osuus oli yhdeksän ja ryhmäpakkausten osuus neljä prosenttia CO₂-päästöistä. Myymälälavoille pakattujen pakkausten aaltopahvin käyttö kuluttajapakkausta kohden oli 40 prosenttia pienempi kuin FIN-lavoille pakattujen kuluttajapakkausien, mikä huomioitiin kuljetuspakkausten mallinnuksessa.

CO₂-päästöjen havainnollistamiseksi suhteutettiin tulokset henkilöautolla ajoon. Yhden kaurahiutalekilon tuotannosta syntyvät hiilidioksidipäästöt vastaisivat noin kahden kilometrin autolla ajomatkan CO₂-päästöjä, kun auton oletettiin kuluttavan bensiiniä kahdeksan litraa sadalla kilometrillä. Tar kastellut 10 000 kaurahiutalekiloa vastaavat valmistusohjeen mukaisina yhden hengen annoksina laskettuna noin 253 000 kaurapuuroannosta. Siten kuvassa 2 esitettyjen kaurahiutaleiden tuotannon CO₂-päästöt vastaisivat noin 17 000 kilometrin henkilö autolla ajomatkan CO₂-päästöjä. Vastaavasti esimerkiksi kahden hengen aamupuuron raaka-aineiden tuottaminen vastaisi periaatteessa henkilöautolla tehtävää 140 metrin ajomatkaa, mikäli auton käynnistäminen ei aiheuttaisi jo suhteessa suurempia päästöjä. Henkilöauton polttoaineenkulutus ei ole riittävä mittari maataloustuotteiden ympäristövaikutuksille, mutta tätä voidaan käyttää esitetyllä tavalla hiilidioksidipäästöjen suuruusluokan havainnollistamiseksi.

Noin 37 prosenttia kauran tuotantoketjun typenoksidipäästöistä (NO_x) aiheutui viljelystä, pääosin työkoneiden käytöstä. Lannoitteiden valmistusketjuista ja tuotteiden jakelusta aiheutui NO_x-päästöjä yhteensä suurin piirtein saman verran kuin viljelystä. Pakkausten valmistuksesta aiheutui lähes 2,5 puoli kertaa enemmän NO_x-päästöjä kuin kauran jalostuksesta. Ammoniakista n. 84 prosenttia haihtui pellolla käytetystä lannoitetyypistä. Kuvassa 3 näkyvät muut ammoniakkipäästöt ovat lannoitteiden valmistusketjuista aiheutuvia ammoniumionipäästöjä (NH₄⁺), jotka muunnettiin ammoniakiksi.



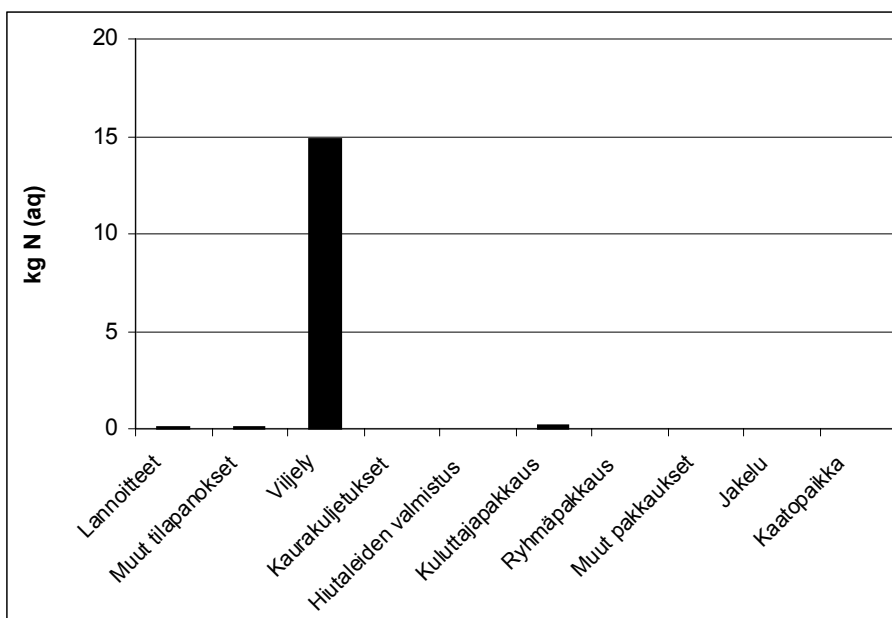
Kuva 3. Kaurahiutaleiden typenoksidi-, rikkidioksidi- ja ammoniakkipäästöt tuotantoketjun eri vaiheissa 10 000 kulutettua kilon pakkausta kohti. Kunkin ilmapäästön yhteenlasketut päästömäärät on esitetty kuvan selitteessä.

Suurin osuus, 42 prosenttia rikkidioksidipäästöistä (SO_2) aiheutui lannoitteiden tuotantoketjuista. Viljelyn työkonoiden käytöstä ja kuivaamisesta aiheutui noin 23 prosenttia ketjun SO_2 -päästöistä. Näistä suurin osa aiheutui työkonoiden käytöstä vaikka sen polttoaineenkulutus oli pienempi kuin kuivauksen polttoaineen kulutus. Näihin molempiin käytetään tiloilla pääosin nykyisin kevyttä polttoöljyä (POK 4, POK 5), jonka rikkipitoisuus on noussut viime vuosina noin 0,05 m-%:sta 0,2 m-%:iin, eli nelinkertaiseksi. Noin 15 prosenttia viljelyvaiheen SO_2 -päästöistä aiheutui polttoöljyn hankintaketjusta. Siirtymällä tiloilla käyttämään vähempirikkistä polttoainelaatua ($S < 0,005$ m-%) SO_2 -päästöt vähenisivät tilalla lähes 98 prosenttia. Järjestelmän loput SO_2 -päästöt tulevat lähinnä hiutaleiden valmistuksessa käytetyn sähkön tuotannosta ja pakkausmateriaaliketjuista. Aiemmin tuotantolaitoksessa käytetty lämpö tuotettiin raskaalla polttoöljyllä. Nykyisin käytettäessä höyryntuotantoon bio- ja maakaasun seosta, ovat jalostuksen SO_2 -päästöt pienentyneet yhteensä noin 86 prosenttia.

Muista kuin kuvassa 3 esitetyistä ilmapäästöistä metaanipäästöt (CH_4) aiheutuivat noin 90 prosenttisesti kaatopaikalla hajoavista kuluttajapakkauksista. Järjestelmän typpioksiduulipäästöt (N_2O) aiheutuivat pääosin peltolohkoilla tapahtuvasta maahan sijoitetun lannoitetyypin denitrifioitumisesta (IPCC 1997). Myös lannoitteiden tuotannosta aiheutui suhteellisen paljon N_2O -päästöjä. Viljelyn N_2O -päästöjä on tarkasteltu kohdassa 3.2.2. MTT:n uusimpien mittaustulosten (Syväsalu ym. 2002) mukaan on mahdollista, että todelliset N_2O -päästöt olisivat Suomen olosuhteissa pinta-alaa kohden suuremmat kuin mitä IPCC:n (1997) mukaan lasketut keskimääräiset päästöt. Toisaalta Suomessa tehdyt mittaukset osoittavat, että päästöt suhteessa lisätyn typen määrään vaihtelevat samalla välillä kuin kirjallisuudessa raportoidut, joten ilmasto-olosuhteet eivät ratkaisevasti vaikuta tasoon. Typpioksiduuliin liittyvät kysymykset tarkentuvat lähivuosina, kun Suomen olosuhteissa tehtyjä mittaustuloksia on käytettävissä riittävästi.

4.1.2 Vesistökuormitus

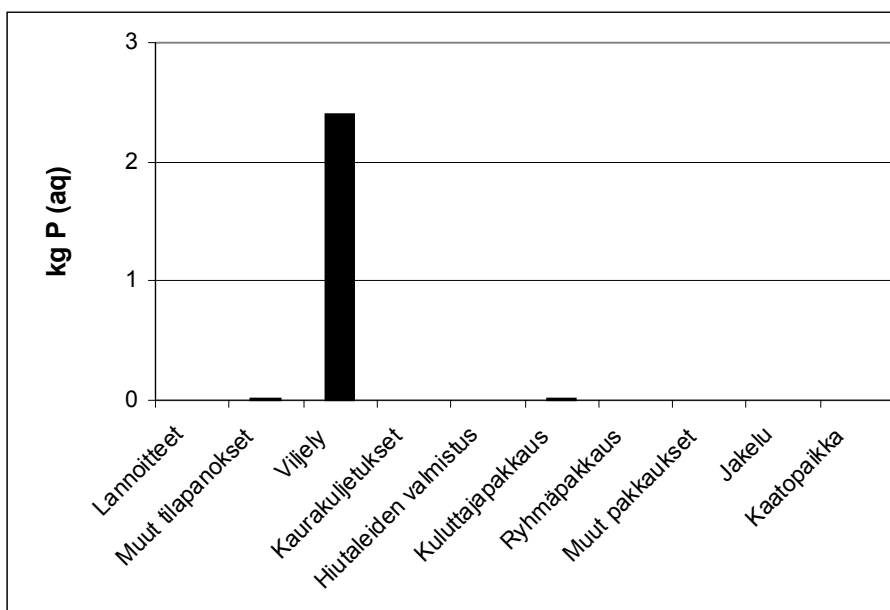
Kauraketjusta vesistöön päätyvä typpikuormitus aiheutui lähes yksinomaan viljelystä kuvan 4 mukaisesti. Noin 88 prosenttia typpikuormituksesta aiheutui kauralohkoilta, noin 10 prosenttia kauralle kohdistetun kesantoalan huuhtoumista ja hieman alle prosentin ostosiementen viljelyn huuhtoumista. Loppuosa ketjun typpikuormituksesta aiheutui kuitupohjaisten pakkausmateriaalien valmistuksesta ja lannoitteiden tuotannosta. Pellolta huuhtoutuva typi arvioitiin kauralohkoilta tyypitaseen perusteella olettaen, että positiivisista taseista 30 prosenttia ylijäämästä olisi huuhtoutuvaa typpeä. Samaa periaatetta käytettiin kesantoalan ja ostosiementen typpihuuhtoumien laskentaan.



Kuva 4. Kaurahiutaleiden typpikuormitus (yhteensä 15,1 kg) veteen tuotantoketjun eri vaiheissa 10 000 kulutettua kilon pakkausta kohti.

Rehevöittävän fosforikuormituksen osuudet tuotantoketjun eri osista ovat samankaltaiset kuin typen osalta kuvan 5 mukaisesti, eli peltoviljely dominoi ketjusta aiheutuvaa fosforikuormitusta. Fosforihuuhtoumat mallinnettiin kyselyaineistosta lohkoittain käyttämällä kymmenen vuoden sääaineistoa keskimääräisen huuhtouman saamiseksi.

Tuotantoketjun muista vesistöjä koskevista 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, lähinnä kuitupohjaisten pakkausten valmistuksesta, sekä pelloilta. Peltoviljelyn osalta BOD-indikaattoria ei ole perinteisesti määritetty, ei niitä saatu tämänkään tutkimukseen käyttöön. Näin ollen vajavaisia tuloksia ketjun muidenkaan osien BOD-indikaattoreista ei tässä esitetä. Projektissa kuitupohjaisista pakkauksista saatujen tietojen mukaan kuluttajapakkauksen valmistuksesta aiheutuisi noin 80 prosenttia pakkausten BOD-arvoista. Näistä selvästi suurin yksittäinen kuormittaja on kuluttajapakkauksen sisällä olevan paperipussin valmistukseen tarvittavan valkaistun sellun tuottaminen. Kauran jalostusprosessissa ei käytetä vettä, ja näin ollen sieltä ei aiheudu suoria vesipäästöjä ollenkaan.



Kuva 5. Kaurahiutaleiden rehevöittävä fosforikuormitus (yhteensä 2,4 kg) veteen tuotantoketjun eri vaiheissa 10 000 kulutettua kilon pakkausta kohti.

4.1.3 Järjestelmän tuottamat sivuvirrat ja kiinteät jätteet

Kaurahiutaleiden tuottamisen ohella tarkasteltu järjestelmä tuotti lähes 4 tonnia rehun raaka-aineksi käytettävää kaurajaetta. Lisäksi jalostuksesta syntyi muuta laskennallista hävikkiä, joka on pääosin vettä. Lisäksi noin 250 kiloa paperia ja kartonkia päätyy 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. Kertakäyttöisiä puulavoja vapautuu uudelleenkäyttöön, materiaalikierrätykseen tai jätteeksi järjestelmästä yhteensä reilut 300 kiloa. Näiden erilaisten hyötykäyttövaihtoehtojen mahdollisia vaikutuksia kaurahiutaletuotteelle hyvitettäväksi ympäristökuormituksiksi ei tutkimuksessa suoritettu. Vastaavasti esimerkiksi lannoitteiden ja kalkin tuotantoketjussa syntyy useita sivuvirtoja, kuten sivukiveä, joiden tarkkoja määriä ei järjestelmästä arvioitu. Lähtöajatuksena kaikkien edellä mainittujen sivuvirtojen osalta oli, että ne ovat "ilmaisia" ympäristökuormituksiltaan niitä hyödyntäville muille tuotejärjestelmille. Näin ollen kaikki niiden tuottamisesta syntyvät ympäristökuormitukset kohdennettiin tutkittavalla tuotejärjestelmälle eli kaurahiutaleille.

Kaatopaikalle päätyi pääjärjestelmän osalta materiaalia noin 362 kiloa, joka oli pääosin kuluttajilta päätyviä pakkauksia, kartonkikoteloita. Ne hajoavat

kaatopaikalla ajan myötä aiheuttaen mm. metaanipäästöjä, joita ilmapäästöjen tulosten yhteydessä jo tarkasteltiin. Noin sata kiloa kaatopaikkajätteistä on tuotteiden jakelulogistiikan eri vaiheissa syntyvää hävikkiä eli tuote- ja pakkausjätettä. Tältä osin kaatopaikalle joutuvien kaurahiutaleiden mahdollista hajoamista metaaniksi ei arvioitu.

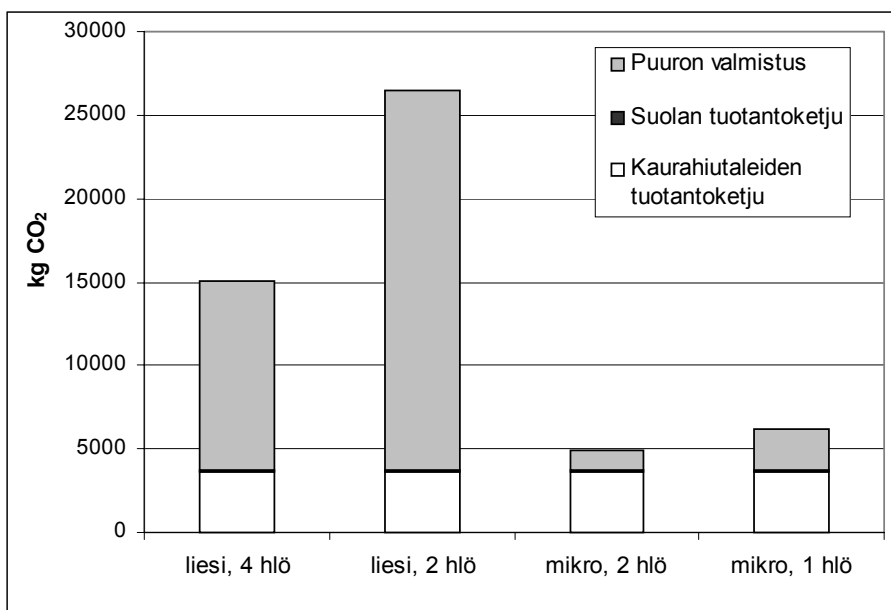
4.1.4 Torjunta-aineiden käyttö

Torjunta-aineiden käyttötiedot selvitettiin valituilta tiloilta lohko kohtaisesti. Tutkituilla lohkoilla yleisimmät torjunta-aineet olivat MCPA (27 lohkoa, 115 ha), Ratio (23 lohkoa, 98 ha) ja Express (15 lohkoa, 86 ha). Hehtaari kohtaiset käyttöohjemäärät olivat kunkin aineen käyttöohjeiden mukaisia. Torjunta-aineiden käytön tai valmistuksen ympäristökuormitusta ei tutkimuksessa tämän tarkemmin arvioitu.

Ennen kuin kasvinsuojeluaineet saavat myyntiluvan Suomessa, ne on rekisteröitävä. Kasvinsuojeluaineita rekisteröitäessä tulee niiden tehokkuudesta sekä terveys- ja ympäristövaikutuksista olla riittävästi tietoa, sillä silloin hyväksytään myös myyntipäällyksen teksti käyttöohjeineen ja mahdollisine käytön rajoituksineen. Torjunta-aineeksi ei saa hyväksyä valmistetta, jonka käytöstä tarkoitukseensa voisi aiheutua ilmeistä vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle. Mikäli käyttömäärät olisivat poikenneet ohjearvoista, olisi asian tarkempi tarkastelu ollut tarpeen.

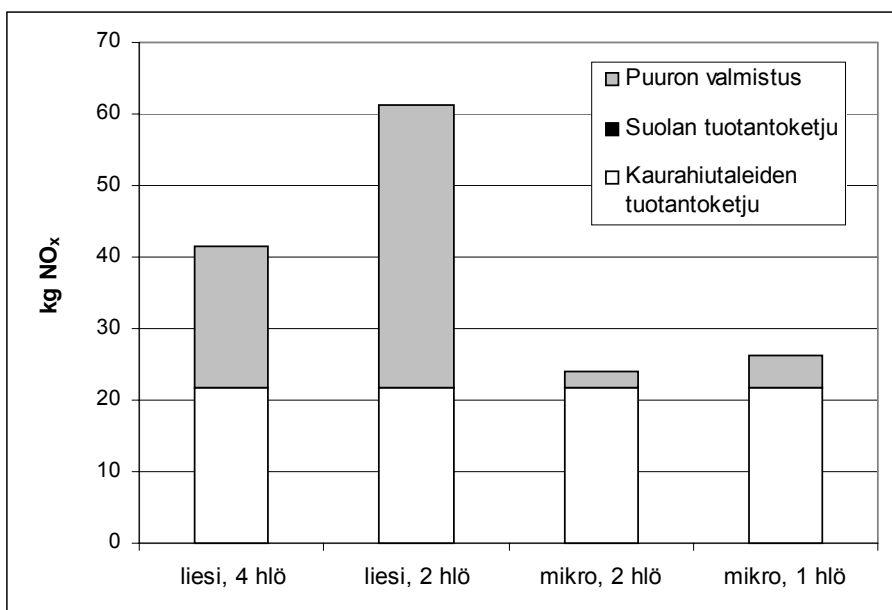
4.1.5 Puuron valmistus

Kuvassa 6 on esitetty puuron valmistuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt suhteutettuna luvussa 4.1.1 käsiteltyyn kaurahiutaleiden tuotantoketjun hiilidioksidipäästöihin, jotka olivat noin 3700 kg. Puuron valmistustavalla oli erittäin suuri merkitys CO₂-päästöihin. Valmistettaessa puuro sähköliedellä neljälle henkilölle puuron valmistuksen CO₂-päästöt olivat yli kolminkertaiset suhteessa kaurahiutaleiden tuotantoketjuun. Valmistettaessa puuro liedellä vain kahdelle henkilölle puuron valmistuksen päästöt kaksinkertaistuivat tuoteyksikköä kohden. Puuron valmistuksen CO₂-päästöjen suuruusluokan havainnollistamiseksi todettakoon, että neljän hengen puuroannoksen kaurahiutaleiden tuottaminen ja puuron valmistus yhdellä valmistuskerralla liedellä vastaisivat hiilidioksidipäästöiltään noin 1,1 kilometrin henkilöautolla ajon CO₂-päästöjä.



Kuva 6. Kaurahiutaleiden ja suolan tuotantoketjun sekä puuron valmistuksen CO₂-päästöt 10 000 kulutettua kilon pakkausta kohti. Puuron valmistus eri annoskokojen ja valmistustapojen mukaan jaoteltuna.

Mikroaaltouunin sähkönkulutus puuron valmistuksessa oli huomattavasti pienempi kuin sähköliedellä valmistettaessa. Sähköliedellä valmistus kulutti yli 18 kertaa enemmän sähköä kuin mikroaaltouunissa valmistettaessa puuro samalle annosmäärälle. Valmistettaessa puuro mikroaaltouunissa, annoskoolla ei ollut niin suurta merkitystä kuin liedellä valmistettaessa. Valmistettaessa puuro mikroaaltouunissa vain yhdelle henkilölle kerrallaan, valmistuksen CO₂-päästöt lisäävät tuotantoketjun CO₂-päästöjä 70 prosentilla. Valmistettaessa puuro mikroaaltouunissa kahdelle tai useammalle henkilölle, puuron valmistuksen CO₂-päästöt jäävät pienemmäksi kuin kauran tuotannon CO₂-päästöt. Suolan käyttö puuron valmistuksessa on niin vähäistä, ettei sillä ole vaikutusta yhteenlaskettuihin CO₂-päästöihin. Laitteiden valmistusta ei tässä otettu huomioon, vaan tarkasteltiin käytön aikaista sähkön kulutusta ja siitä aiheutuvia päästöjä.



Kuva 7. Kaurahiutaleiden ja suolan tuotantoketjun sekä puuron valmistuksen NO_x -päästöt 10 000 kulutettua kilon pakkausta kohti. Puuron valmistus eri annoskokojen ja valmistustapojen mukaan jaoteltuna.

Puuron valmistuksen osuus typenoksidipäästöistä (kuva 7) liedellä valmistettaessa neljälle henkilölle oli suurin piirtein saman verran kuin mitä kauran tuotantoketjusta aiheutui NO_x-päästöjä (noin 22 kg). Puuron valmistus mikroaaltouunissa ei lisännyt NO_x-päästöjä suhteessa kauran tuotantoon läheskään niin paljon kuin liedellä valmistettaessa. Maidon lisäämisen vaikutusta puuron valmistukseen ei tässä yhteydessä arvioitu.

Keskimääräisen sähkön tuotannon ympäristöprofiilissa vesistöpäästöjen osuus ei ole suhteellisesti läheskään niin merkittävä kuin ilmapäästöjen. Puuron valmistustapa ei vaikuta rehevöittäviin typpi- ja fosforikuormituksiin.

4.2 Vaikutusarviointi

Vaikutusarvioinnin perusteita ja lähtökohtia muuntokertoimiseen on kuvattu aiemmin mm. Seppälän (1999a, 1999b) ja Katajajuuren ym. (2000) tutkimuksissa. Varsinainen vaikutusarviointilaskenta alkaa muuttamalla kuormitustekijöiden arvot yhteismitallisiksi kussakin vaikutusluokassa. Tässä ns. karakterisoinnissa eli luonnehdinnassa lasketaan karakterisointikertoimien avulla tuotteen aiheuttaman haitan suuruus kussakin vaikutusluokassa. Esimerkiksi ilmastomuutoksen yhteydessä eri kasvihuonekaasujen päästöt pystytään ilmaisemaan ilmaston lämpenemistä kuvaavan vaikutuspotentiaalikerroimen (GWP, Global Warming Potential) avulla CO₂-ekvivalentteina. Karakte

risointikertoimet perustuvat elinkaariarvioinneissa sovellettaviin ns. ekvivalenttikertoimiin, joita määrittäessä on otettu huomioon nykytietämys eri tekijöiden merkityksestä kulloiseenkin vaikutusluokkaan. Kertoimet eivät kuitenkaan ota huomioon aineiden eri yhdisteiden ja kuormitustekijöiden vaikutusalueiden ympäristöolosuhteiden eroja, joilla voi olla suurikin merkitys kuormitustekijöiden aiheuttamien vaikutusten suuruuteen. Tutkimuksessa käytetyt kertoimet on esitetty liitteessä 1.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin kvantitatiivisesti määritettävissä oleviin vaikutusluokkiin. Tutkimus käsitti neljä vaikutusluokkaa, jotka olivat ilmastomuutos, happamoituminen, vesistöjen rehevöityminen ja alailmakehän otsonin muodostuminen. Näitä vaikutusluokkia käytetään tyypillisesti elinkaariarvioinneissa ja niiden arviointiperusteet ovat parhaiten tieteellisesti perusteltavissa, varsinkin kolmen ensiksi mainitun luokan osalta.

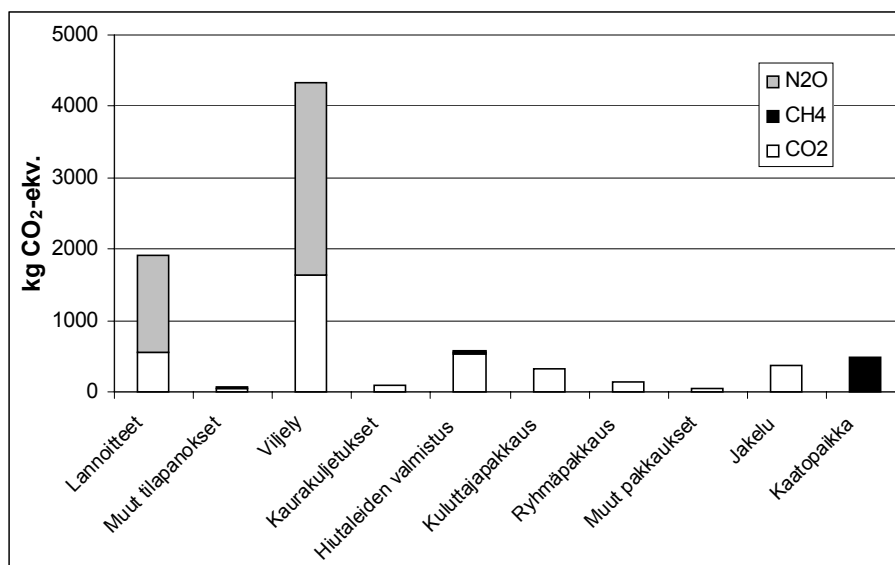
Tutkittujen maatalous- ja elintarviketuotantoprosessien ei tiedetä välillisestikään aiheuttavan merkittäviä määriä otsonikerrosta tuhoavia aineita, klooria ja bromia sisältäviä freoneja, minkä takia yläilmakehän otsonin vähenemisvaikutusluokkaa ei tarkasteltu. Päästöjen suorat ja välilliset vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen ovat huomattavasti vähäisemmät kuin maankäyttöön liittyvien tekijöiden. Koska maankäyttöön liittyvät tekijät ja siitä aiheutuvat muutokset käytännössä rajattiin tarkastelusta pois, luonnon monimuotoisuuden vähenemistä ei myöskään tarkasteltu. Päästöistä aiheutuvat monimuotoisuusmuutokset ovat mukana edellä esitetyissä muissa vaikutusluokissa. Monimuotoisuuden vähenemisen poisjättäminen johtuu yksinkertaisesti luonnon monimuotoisuuden arviointimenetelmien kehittymättömyydestä sekä tarvittavan lähtötiedon puuttumisesta. Menetelmien kehittymättömyys koskee myös ekotoksisuutta, minkä takia tätäkään vaikutusluokkaa ei esitetä tuloksissa. Edellisen luvun inventaariotuloksissa on kuitenkin ilmoitettu mm. maankäyttöala. Myös torjunta-aineiden lohkokohtaiset käyttömäärät selvitetiin tutkimuksessa.

4.2.1 Ilmaston lämpeneminen

Ilmastomuutos tarkoittaa kasvihuonekaasupäästöjen aiheuttamaa ilmakehän lämpenemistä. Vaikutusarvioinnissa otetaan yleensä huomioon vain ns. suorat kasvihuonekaasupäästöt eli hiilidioksidi (CO_2), typpioksiduuli (N_2O), metaani (CH_4) ja halogeeniyhdisteet. Kauran tuotantoketjusta ei käytännössä aiheudu halogeeniyhdisteitä. Ilmastomuutosta arvioitiin IPCC:n (2001) uusimpien ilmaston lämpenemispotentiaalin avulla. Sen avulla voidaan arvioida kasvihuonekaasujen keskinäistä merkitystä.

Viljelyn osuus kauraketjun kasvihuonekaasujen aiheuttamasta ilmaston lämpenemispotentiaalista oli reilut 50 prosenttia. Tästä suurin osa aiheutui kuvan

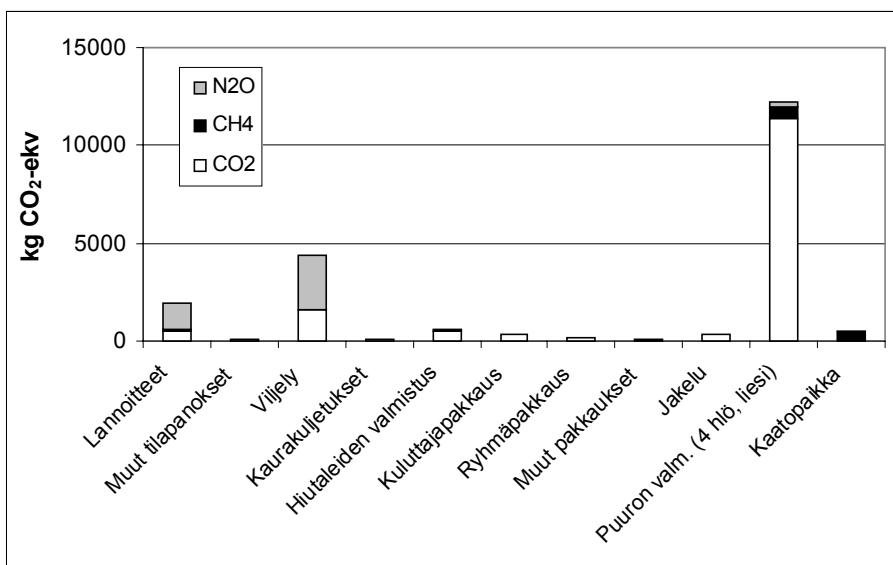
8 mukaisesti viljelymaan lannoitetypistä aiheutuvista suorista ja epäsuorista



Kuva 8. Kaurahiutaleiden ilmaston lämpenemispotentiaali 100 vuoden aikajänteellä tuotantoketjun eri vaiheissa 10 000 kulutettua kilon pakkausta kohti, yhteensä 8340 CO₂ –ekvivalenttikiloa.

typpioksiduulipäästöistä, joihin on vaikea vaikuttaa. Viljelyn kohdalta erottui selvästi myös kuvassa 2 esitettyjen viljelyn hiilidioksidipäästöt, joiden vähennysmahdollisuuksia on jo tarkasteltu aiemmin.

Lannoitteiden tuotantoketjun osuus ilmaston lämpenemisestä oli 23 prosenttia. Kaatopaikalle päätyvien kartonkisten kuluttajapakkauksien hajoamistuotteena syntyvän metaanin osuus ketjun lämpenemispotentiaalista oli noin seitsemän prosenttia. Kauran käsittelyssä ja jalostuksessa tarvittavan höyryn polttoaineiden vaihdon myötä teollisen prosessoinnin osuus ketjun aiheuttamasta ilmaston lämpenemisestä oli pudonnut seitsemään prosenttiin. Kasvihuonekaasujen realistisia vähennysmahdollisuuksia olisi näin ollen mahdollisesti lähinnä lannoitteiden valmistuksen ja käytön kehittämisessä, kauran kuivaustarpeen pienentämisessä tiloilla sekä pakkausmateriaalien valinnoilla ja hyötykäytöllä.



Kuva 9. Kaurahiutaleiden ja puuron valmistuksen ilmaston lämpenemispotentiaali 100 vuoden aikajänteellä ketjun eri vaiheissa 10 000 kulutettua kilon pakkausta kohti, yhteensä 20 570 CO₂–ekvivalenttikiloa.

Kuvassa 9 on ilmaston lämpenemispotentiaali esitetty 10 000 kulutettua kilon kaurahiutalepakkausta kohden siten, että siihen on lisätty puuron valmistus neljän hengen annoksina sähköliedellä. Puuron valmistus oli ketjun suhteellisesti suurin ilmaston lämpenemistä aiheuttava tekijä, vastaavasti kuten jo luvussa 4.1.5 esitettiin hiilidioksidipäästöjen osalta. Kasvihuonekaasupäästöjen suuruusluokan havainnollistamiseksi ne suhteutettiin henkilöautolla ajoon. Tässä esimerkinomaisessa vertailussa neljän hengen puuroannoksen kaurahiutaleiden tuottaminen (noin 160 grammaa kaurahiutaleita) ja puuron valmistus yhdellä valmistuskerralla sähköliedellä vastaisivat kasvihuonekaasupäästöiltään noin 1,5 kilometrin henkilöautolla ajon CO₂-päästöjä.

4.2.2 Happamoituminen

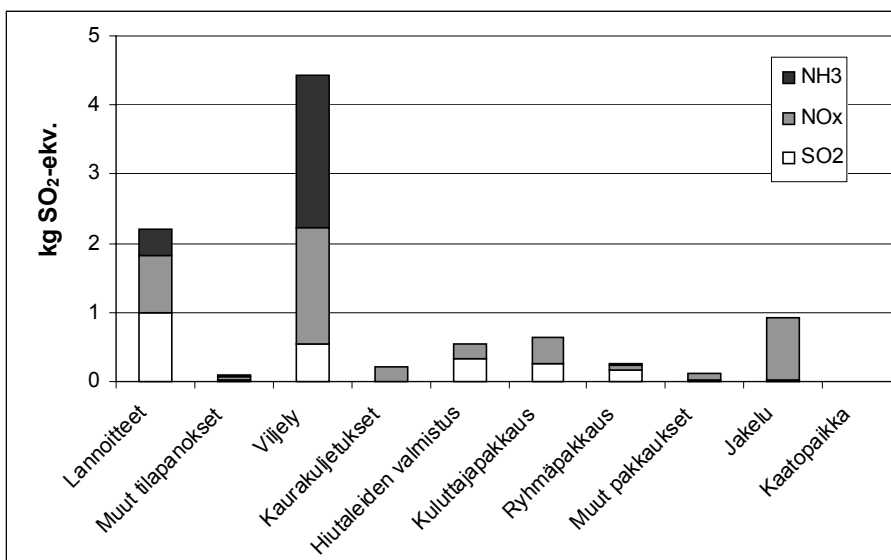
Happamoitumisella tarkoitetaan luonnon vastustuskyvyn heikkenemistä happamoittavaa laskeumaa vastaan. Kullakin alueella on sille ominainen kyky vastustaa happamoittavaa laskeumaa. Suomi ja muut Pohjoismaat ovat erityisen herkkiä happamalle laskeumalle. Kymmenesosa Suomen vesistöistä on happamoituneita tai vaarassa happamoitua. Happamoittavat päästöt ja laskeuma vähenivät 1990-luvulla, eikä luonnon sietokyky enää yltänyt yhtä laajasti kuin ennen. Keskeisimmät, tutkimuksessa määritetyt happamoitumista aiheuttavat päästöt olivat rikkidioksidi (SO₂), ammoniakki (NH₃) ja typen oksidit (NO_x).

Happamoitumisen suuruus määritellään terrestrisessä ympäristössä vapautuvien protonien määrän perusteella. Happamoittavien päästöjen teoreettiset ekvivalenttikertoimet kuvaavat happamoittavan päästön kykyä vapauttaa protoneja maaperästä. Todellisuudessa vapautuvien protonien määrä maaperässä riippuu happamoittavasta yhdisteestä sekä vallitsevista olosuhteista ja maaperän ominaisuuksista.

Tässä tutkimuksessa edellä kuvattuja teoreettiset kertoimet on kerrottu kulkeutumis- ja vaikutuskertoimilla, jotka ottavat huomioon karkeasti Suomen päästöjen leviämisen maa-alueelle ja laskeuma-alueen maaperän herkkyyden typpilaskeumalle. Laskelmissa on käytetty EMEP-mallin laskeumatuloksia, joissa noin puolet rikkidioksidin (48 %) ja typen oksidien (51 %) päästö määrästä päätyy meriympäristöön (Barrett ym. 1995). Tällä määrällä ei siis ajatella olevan happamoittavaa vaikutusta. Lisäksi kertoimissa on otettu huomioon Pohjois-Euroopan keskimääräiset maaperäolo-suhteet. Tämän seurauksena typpiyhdisteiden happamoittava potentiaali ei todennäköisesti toteudu samalla tavalla kuin rikkidioksidin happamoittava potentiaali (Grennfelt ym. 1994). Tämän takia kertoimissa on vähennetty typen oksidien teoreettista happamoittavaa potentiaalia 40 prosentilla. (Seppälä 1997, 1999a ja 1999b).

Happamoitumispotentiaalista (kuva 10) 47 prosenttia aiheutui viljelyn eri vaiheista, pääosin lannoitteista haihtuvasta ammoniakista ja työkoneiden käytön NO_x -päästöistä. Viljelystä aiheutuvia päästöjä ei ole kovin helppoa pienentää. Selvin mahdollisuus voisi olla siirtyminen vähempirikkisiin polttoöljyalaatuihin, mutta tämänkään vaikutus ei olisi kovin suuri. Lannoitteiden valmistuksen osuus happamoittavasta potentiaalista oli 23 prosenttia, joka aiheutui ilmaan vapautuvista SO_2 -, NO_x - ja NH_4^+ -päästöistä. Jakelun NO_x -päästöjen osuus ketjun happamoittavista päästöistä oli kymmenen prosenttia.

Kaurahiutaleiden tuotantolaitoksen höyryntuotannon polttoaineen vaihtamisen seurauksena kauran jalostuksen osuus koko ketjun happamoitumispotentiaalista pieneni noin kuuteen prosenttiin. Happamoittavaa laskeumaa aiheutti enemmän esimerkiksi kuluttajakakkauksen valmistus. Siitä suurin osuus aiheutui kartongin tuotannosta.



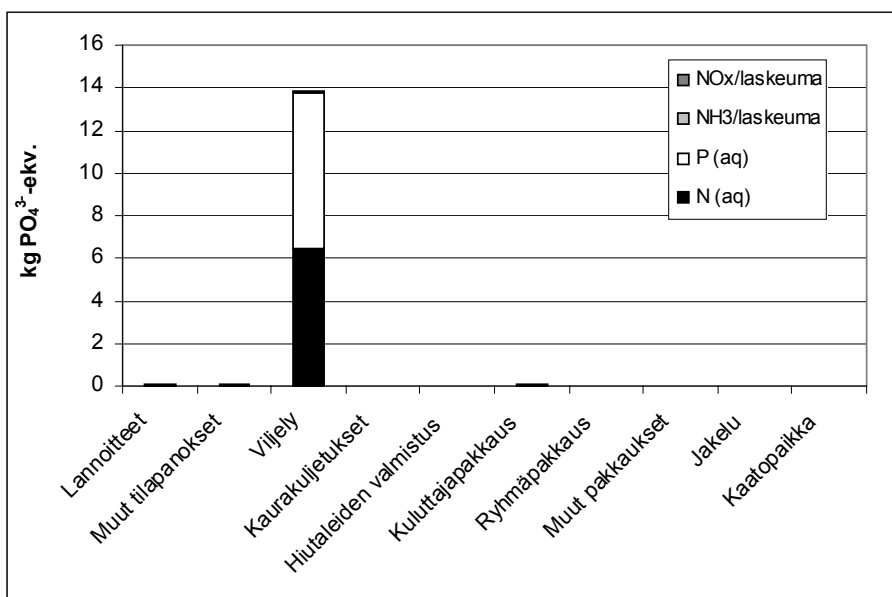
Kuva 10. Kaurahiutaleiden happamoitumispotentialiaali tuotantoketjun eri vaiheissa 10 000 kulutettua kilon pakkausta kohti, yhteensä 9,5 SO₂-ekvivalenttikiloa.

4.2.3 Rehevöityminen

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

Rehevöitymistä tarkasteltiin tutkimuksessa vain vesiekosysteemin kannalta. Terrestisessä ympäristössä tapahtuvaa rehevöitymistä ei otettu huomioon, koska sen oletetaan olevan Pohjois-Euroopassa ongelmana vähäinen. Rehevöitymistä aiheuttavat veteen ja ilmaan joutuvat fosfori- ja typpipäästöt. (Seppälä 1997 ja 1999b). Typpi ja fosfori ovat rehevöittäviä yhdisteitä liukoisessa muodossaan. Myös osa kiintoainekseen sitoutuneesta fosforista on leville käyttökelpoista. Rehevöittävää vaikutusta arvioitiin Seppälän (1997, 1999b) tutkimuksien mukaisesti liitteen 1 mukaisilla fosfaattifosfori(PO₄)-ekvivalenttikertoimilla. Ravinteiden lisääntynyt määrä johtaa vesiekosysteemeissä kasvimassan lisääntymiseen.

Typpi- ja fosforikuormitus määritettiin siten, että ne sisälsivät vain kasveille käyttökelpoisessa muodossa olevat ravinteet. Pellolta huuhtoutuva typpi arvioitiin typpitaseen perusteella olettaen, että positiivisten taseiden typpiylijäämästä 30 prosenttia oletettiin huuhtoutuvan.



Kuva 11. Kaurahiutaleiden rehevöitymispotentiaali tuotantoketjun eri vaiheissa 10 000 kulutettua kilon pakkausta kohti, yhteensä 14,2 fosfaattiekvivalenttikiloa.

Viljelymaalta huuhtoutuvat ravinnepäästöt dominoivat kuvan 11 kaurahiutaleiden tuotantoketjun rehevöittävää vaikutusta riippumatta siitä, onko vesistö typpi- tai fosforirajoitteinen. Ketjun muut rehevöittävät päästöt olivat suhteellisen pieniä. Vain pieni osa tuotantoketjusta ilmaan vapautuneista liukoista typpipäästöistä päättyi rehevöittävänä laskeumana vesistöihin. On kuitenkin huomattava, että esimerkiksi pellon fosforihuuhtoumiin vaikuttavat hyvin monet tekijät, kuten maan heterogeenisyys, kaltevuus, vuotuiset säätökijät, maalaji, maan viljavuusfosforipitoisuus, talviaikainen kasvipeitteisyys, muokkaus ja kasvuston peittävyys kesällä. Fosforihuuhtoumien suuruus on suuntaa antava. Ne olivat samaa suuruusluokkaa kuin huuhtoumakentiltä saadut tulokset.

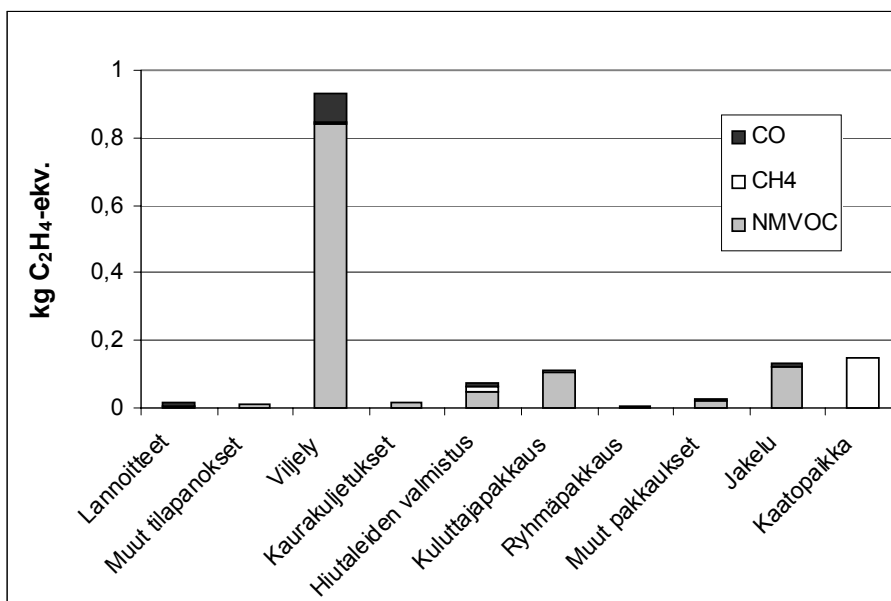
Järvien rehevöityminen ei ole ainoastaan paikallinen ongelma, vaan se lisää myös ilmaston lämpenemiseen vaikuttavien metaanin ja typpioksiduulin vapautumista järvistä ilmakehään (Liikanen 2002).

4.2.4 Alailmakehän otsonin muodostuminen

Foto-oksidanteista käsitellään perinteisesti elinkaariarvioinneissa vain alailmakehän otsonia, koska muiden oksidanttien osalta tiedot ovat liian puutteellisia. Suomessa havaittavat otsonipitoisuudet ovat keskimäärin korkeita (30 –

50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) Keski-Eurooppaan verrattuna. Otsoni heikentää metsän kasvua ja aiheuttaa viljelyksillä satotappioita. Otsonin muodostumista voidaan tarkastella alueellisena ongelmana.

Alailmakehän otsonin muodostumisen arviointi, jossa huomioitiin häkäpäästöt (CO), metaanipäästöt (CH_4) ja orgaaniset haihtuvat yhdisteet (NMVOC), suoritettiin Virtasen ym. (2002b) tutkimuksessa esitetyn mukaisesti. Vaikutusten kvantifiointi ja ylipäättänsä foto-oksidantteihin liittyvä tutkimuskenttä on vielä voimakkaassa kehitysvaiheessa. Häkä- ja hiilivetypäästöt eivät ole myöskään inventaariotuloksissa yhtä luotettavia kuin esimerkiksi CO_2 - ja SO_2 -päästöt.



Kuva 12. Kaurahiutaleiden alailmakehän otsonin muodostumispotentiaali tuotantoketjun eri vaiheissa 10 000 kulutettua kilon pakkausta kohti, yhteensä 1,5 C_2H_4 -ekvivalenttikiloa.

Tässä vaikutusluokassa saadaan esille haihtuvien hiilivetyjen aiheuttamat ympäristövaikutukset, jotka muuten jäisivät vähemmälle huomiolle. Mikäli inventaarioanalyysissä pystyttäisiin keräämään luotettavat tiedot hiilivedyistä komponenteittain voitaisiin vaikutusarvioinnissa hyödyntää esim. Lindforsin ym. (1995) tutkimuksessa esiteltyjä hiilivetykohtaisia eteeniekvivalenttiker-toimia. Näiden otsonin muodostumisen vaikutukset poikkeavat toisistaan huomattavasti.

Kuvan 12 mukaan viljelystä aiheutui suhteellisesti selvästi eniten alailmakehän otsonin muodostumiseen vaikuttavia päästöjä. Nämä olivat pääosin polttoaineiden käytöstä aiheutuvia hiilivetypäästöjä. Myös häkäpäästöjen syntyminen traktoreiden käytöstä vaikutti alailmakehän otsonin muodostumiseen. Yli 90 prosenttia viljelyn hiilivetypäästöistä aiheutui työkoneiden käytöstä, loput kuivauksesta. Hiilivetypäästöt riippuvat traktorilla ajotavasta. Tässä hiilivetypäästöt oli arvioitu keskimääräisinä kohdan 3.2.1 mukaisesti. Alailmakehän otsonia muodostamiseen vaikuttivat myös kaatopaikalla kuluttajapakkauksista vapautuvat metaanipäästöt.

5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Elintarvikkeiden ympäristövaikutusten tuntemus ja hallinta ovat keskeisiä kestävän kehityksen haasteita. Elinkaariarviointi on menetelmä, jota käyttäen näihin haasteisiin vastaaminen helpottuu. Se kattaa koko arvoketjun ja mahdollistaa ympäristölaadun parantamiseen käytettävissä olevien resurssien kohdentamisen arvoketjun potentiaalisimpiin kohteisiin. Se antaa tehokkaasti organisoituna ja opittuna myös valmiudet tuottaa yhteistyönä kuluttajille luotettavaa ympäristövaikutustietoa, jonka perusteella nämä voivat tuotevalinnoillaan vaikuttaa kestävämmän elintarvikekulutuksen syntymiseen. Luotettava ympäristötieto palvelee myös julkista keskustelua maatalouden ympäristöpoliittisesta roolista.

Erilaisten ympäristövaikutusten, kuten ilmastonmuutos ja vesistöjen rehevöityminen, haitallisuutta suhteessa toisiinsa on tieteellisesti mahdotonta arvioida. Ne ovat yhteismitattomia. Näin ollen johtopäätökset kaurahiutaleiden tuotannon ympäristövaikutuksista perustuivat luotettaviin inventaariotietoihin sekä neljään tutkittuun vaikutusluokkaan, ilmaston lämpenemiseen, happamoitumiseen, rehevöitymiseen ja alailmakehän otsonin muodostumiseen. Lisäksi tuloksissa esitettiin mm. torjunta-aineiden ja viljelypinta-alan käyttöä.

Kaurahiutaleiden tuotannon ympäristökuormitukset ja -vaikutukset aiheutuivat tutkituissa vaikutusluokissa pääosin maataloustuotannosta. Rehevöitymistä dominoivat pellolta huuhtoutuvat typpi ja fosfori. Työkoneiden käytöstä aiheutuvat typenoksidit ja haihtuvat hiilivedyt olivat omissa päästöluokissaan selvästi ketjun suurimmat kuormittajat. Haihtuvat hiilivedyt vaikuttavat alailmakehän otsonin muodostumiseen ja typen oksidit happamoittavaan laskeumaan. Käytetyistä lannoitteista haihtuva ammoniakki yhdessä viljelyn työkoneiden käytöstä aiheutuvien päästöjen kanssa muodostivat lähes 50 prosenttia koko ketjun happamoitumispotentiaalista. Työkoneiden käyttö ja kuivaus dominoivat hiilidioksidipäästöjä. Pelloilta denitrifioituvan typpioksiduulin kanssa viljelyn hiilidioksidipäästöjen osuus tuotantoketjun ilmaston lämpenemispotentiaalista oli yli 50 prosenttia. Lannoitteiden valmistuksen osuus ilmaston lämpenemis- ja happamoitumispotentiaalista oli

tuotantoketjun toiseksi suuri viljelyvaiheen jälkeen. Lannoitteiden valmistusketjua ei tutkimuksessa selvitetty yhtä yksityiskohtaisesti kuin esimerkiksi maatalousprosesseja, mutta Kemira Growhow on kerännyt jo pitkään omien lannoitteidensa valmistusketjujen ympäristökuormitustietoja, joten tulokset olivat varmasti oikeansuuntaisia. Ympäristökuormitusten vähentämiseksi ketjussa olisi ensisijaista keskittyä maatilatoiminnan kehittämiseen. Panosten optimaalinen käyttö ja kuivauksen välttäminen silloin kun mahdollista ovat mahdollisuuksia vähentää tilatason kuormitusta ja siten vähentää kaurahiutaleiden tuotannon ympäristökuormitusta.

Typenoksideja aiheutui ketjussa suhteellisen paljon kuljetuksista ja erityisesti tuotejakelussa kun kaurahiutaleet oletettiin jaeltavan valtakunnallisesti. Jakelun typenoksidien vähentämiseksi tulisi pystyä olennaisesti tehostamaan tuotteiden jakelulogistiikkaa, erityisesti paluukuljetusten osalta, mutta todennäköisempi vaihtoehto päästöjen oleelliseksi vähentämiseksi lieenee kuljetuskaluston moottoritekniikan kehittäminen.

RavintoRaision tuotantolaitos Nokialla käyttää nykyisin bio- ja maakaasulla tuotettavaa höyryä kauran jalostusprosessissaan. Höyryn käyttö oli tutkimuksen mukaan kilowattitunneissa mitattuna suurin energiankulutuskohde tuotannossa. Kauran jalostuksen päästöt, erityisesti rikkidioksidi- ja hiilidioksidipäästöt putosivat hyvin paljon siirryttäessä käyttämään uutta polttoainetta höyryn tuotannossa. Osittain tämän johdosta kaurahiutaleiden valmistuksen osuus tuotantoketjun ilmapäästöistä oli pieni. Suoria vesistöpäästöjä sieltä ei tule ollenkaan, koska prosessissa ei käytetä vettä, ei edes pesuissa.

Tuotteiden jakeluun tarvittavien pakkausten valmistuksen osuus oli useille päästökomponenteille samaa suuruusluokkaa kuin mitä hiutaleiden jalostuksesta aiheutui. Pakkauksista suurin osuus tutkittuihin ympäristökuormituksiin ja -vaikutuksiin oli kuluttajapakkauksella, joka koostui kartonkikotelosta ja sen sisäpuolisesta paperipussista.

Henkilöautoilun hiilidioksidipäästöjä käytettiin vertailukohtana havainnollistamaan kaurahiutaleiden tuotannon ja puuron valmistuksen hiilidioksidipäästöjen ja muiden kasvihuonekaasupäästöjen suuruusluokkaa. Vertailuun tulee suhtautua varauksin, koska polttoaineen kulutus ja päästöt riippuvat hyvin paljon esimerkiksi ajotavasta. Tällaisessa vertailussa eivät myöskään muut ympäristövaikutusluokat tule huomioiduksi. Yhden kaurahiutalekilon tuotannosta syntyvät hiilidioksidipäästöt vastasivat noin kahden kilometrin autolla ajomatkan CO₂-päästöjä. Neljän hengen puuroannoksen kaurahiutaleiden tuottaminen ja puuron valmistus yhdellä valmistuskerralla sähköliedellä vastaisivat kasvihuonekaasupäästöiltään noin 1,5 kilometrin henkilöautolla ajon CO₂-päästöjä.

Puuron valmistus sähköliedellä aiheutti moninkertaiset hiilidioksidipäästöt suhteessa kaurahiutaleiden tuotantoon. Puuron valmistus sähköliedellä oli

myös suurin tuotejärjestelmän ilmaston lämpenemistä aiheuttava tekijä. Puuron valmistustavalla ja annoskoolla voidaan vaikuttaa tuotejärjestelmän useimpiin ympäristövaikutuksiin. Valmistamalla puuro mikroaaltouunissa, useat ilmapäästöt ja niistä aiheutuvat ympäristövaikutukset olivat huomattavasti pienemmät kuin sähköliedellä valmistettaessa.

6 Kirjallisuus

APME (Association of Plastics Manufacturers in Europe) CD ROM 1999. Luottamuksellinen.

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

Barret, K., Seland, Ø., Foss, A., Mylona, S., Sandnes, H., Styve, H. & Tarasón, L. 1995. European transboundary acidifying air pollution: Ten years calculated fields and budgets to the end of first Sulphur Protocol. Falch Hurtigtrykk, Oslo. The Norwegian Meteorological Institute, Research Report no. 17, EMEP/MSC-W Report 1/95. 71 s.

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

FEFCO 2000. European database for corrugated board Life cycle studies. www.fefco.org

Fortum Oil & Gas 2002a. Ekotasetiedote (1.3.2002) kevyt polttoöljy.

Fortum Oil & Gas 2002b. Ekotasetiedote (1.3.2002) euro- ja citydieselöljy.

Fortum Oil & Gas 2002c. Ekotasetiedote (1.3.2002), reformuloitu bensiini.

Fortum Oil & Gas 2002d. Ekotasetiedote (1.3.2002), eurobensiini.

Grennfelt, P., Øysten, H. & Derwent, D. 1994. Second generation abatement strategies for NO_x, NH₃, SO₂ and VOCs. *Ambio*, Vol. 23, No. 7, s. 425-433.

Grönroos, J., Nikander, A., Syri, S., Rekolainen, S. & Ekqvist, M. 1998. Maatalouden ammoniakkipäästöt. Osa 1: Päästöt ja niiden kehittyminen, Osa 2: Päästöjen vähentäminen ja vähentämiskustannukset. Suomen ympäristö 206. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 62 s.

- Hütsch, B. W. 2001. Methane oxidation in non-flooded soils as affected by crop production - invited paper. *European Journal of Agronomy* 14: 237-260.
- 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. http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1
- Katajajuuri, J.-M., Loikkanen, T. Pahkala, K., Uusi-Kämppe, 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 Kemiantechniikka, 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., Tuhkanen, H.-R. & Kurppa, S. 2003. Elintarvikkeiden ympäristövaikutukset FOODCHAIN. MMM:n julkaisu 6/2003. Maa- ja metsätalousministeriö. 63 s.
- Korhonen, A., Pihala, H., Ranne, A., Ahponen, V. & Sillanpää, L. 2002. Kotitalouksien ja toimistotilojen laitesähkön käytön tehostaminen. Työtehoseuran julkaisu 384. 141 s. ISBN 951-788-347-1. ISSN 0355-0710.
- Liikanen, A. 2002. Greenhouse Gas and Nutrient Dynamics in Lake Sediment and Water Column in Changing Environment. Doctoral Dissertation. Kuopion yliopiston julkaisu C. Luonnontieteet ja ympäristötieteet 147. 50 s. + artikkelit. ISBN 951-781-245-0.
- Lindfors, L.-G., Christiansen, K., Hoffman, L., Virtanen, Y., Junttila, V., Hansen, O.-J., Rønning, A., Ekvall, T. & Finnveden, G. 1995. Nordic Guidelines on Life-Cycle Assessment, Nordic Council of Ministers, Nord 1995:20, Århus. 222 s. ISSN 0903-7004. ISBN 92-9120-692-X.
- Mälkki, H. & Virtanen, Y. 2001. Hakkuu- ja sahatähteiden energiakäytön elinkaariarviointi, Elinkaari-inventaario ja -ympäristövaikutusarvio. Loppuraportti. TEKES Puuenergian teknologiaohjelma. 46 s.
- Peltonen, M. & Vanhala, A. 1992. Maatalouden työnormit kasvintuotannon yleiset työt. Työtehoseuran tiedote 14/1992. Nro. 421. Työtehoseura. Helsinki. 8 s.
- Seppälä, J. & Jouttijärvi, T. (toim.) 1997. Metsäteollisuus ja ympäristö. Suomen ympäristökeskus 89. 125 s.

- Seppälä, J. 1999a. Decision Analysis as a Tool for Life Cycle Impact Assessment. LCA Documents, Volume 4. Eco-Informa Press, ecomed publishers 1999. 174 s.
- Seppälä, J. 1999b. Vaikutusten laskenta elinkaariarvioinnissa - vertailtavana DAIA- ja Ekoindikaattori 95 -menetelmät. Helsinki 1999, Suomen ympäristökeskuksen moniste 172. 30 s.
- 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.
- Tuhkanen, S. 2001. Jätehuollon merkitys Suomen kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Kaatopaikkojen metaanipäästöt ja niiden talteenotto. Tutkimusselostus ENE6/25/2001. VTT Energia, Espoo. 39 s.
- Virtanen, Y., Askola, R. & Junttila, V. 1996. Kenttäsuuntautunut elinkaaritietojen hankintamenetelmä. Suomen energiantuotannon elinkaaritietokanta - SEEP. Osa I. VTT Tiedotteita 1782. 62 s.
- Virtanen, Y., Ojaniemi, U., Poikkimäki, S. & Katajajuuri, J.-M. 2002a. Life cycle assessment of potential environmental impacts of Finnish beverage packaging systems, 0.30l - 0.50l glass bottles, aluminium cans and PET bottles for beer, cider and carbonated soft drink, Summary Report. 101 s.
- Virtanen, Y., Ojaniemi, U., Poikkimäki, S. & Katajajuuri, J.-M. 2002b. Life cycle assessment of potential environmental impacts of Finnish beverage packaging systems, 0.30l - 0.50l glass bottles, aluminium cans and PET bottles for beer, cider and carbonated soft drink, Summary Report, Appendices. 285 s.
- Voutilainen, P., Katajajuuri, J.-M., Tuhkanen, H.-R. & Honkasalo, N. 2003. Kesäpöytä Juustokermaperunoiden ja Pirkka perunajauhon ympäristövaikutukset. Maa- ja elintarviketalous 34. Jokioinen: MTT.

7 Liite

Käytetyt karakterisointikertoimet

	Rehevöityminen ¹	GWP 100 v ²	Happamoituminen ¹	Alailmakehän otsonin muodostuminen ³
Ilmapäästöt:	kg PO ₄ ³⁻ -ekv/kg	kg CO ₂ -ekv/kg	kg SO ₂ -ekv/kg	kg C ₂ H ₄ -ekv/kg
CH ₄		23		0,007
CO				0,03
CO ₂		1		
NH ₃	0,024		0,85	
NH ₄ ⁺	0,023		0,80	
N ₂ O		296		
NO _x	0,008		0,20	
SO ₂			0,52	
NMVOC				0,60
Vesipäästöt:				
N	0,434			
NO ₃ ⁻	0,096			
NH ₃	0,35			
NH ₄ ⁺	0,33			
P	3,04			
PO ₄ ³⁻	1			

¹Seppälä 1999a

²IPCC 2001

³Virtanen ym. 2002

Maa- ja elintarviketalous -sarjassa ilmestyneitä julkaisuja

Ympäristö

- 33 Elovena-kaurahiutaleiden ympäristövaikutukset. *Katajajuuri ym.* 47 s. Hinta 15 euroa.
- 28 Biojäte- ja lietekompostien käyttömahdollisuudet kasvintuotannossa. *Lehtonen ym.* 120 s. Hinta 25 euroa.
- 25 Lypsykarjataloudesta tulevan ympäristökuormituksen vähentäminen. *Uusi-Kämpä ym.* 131 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.
- 23 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.

