



Joulukinkun ekotehokkuus

- Tavanomaisen ja luonnonmukaisen tuotannon ekologinen selkäreppu sekä energiakulutus Etelä-Suomessa ja Tanskassa

Esa Aro-Heinilä



MTT:n selvityksiä 25
82 s.

Joulukinkun ekotehokkuus

**- Tavanomaisen ja luonnonmukaisen tuotannon
ekologinen selkäreppu sekä energiakulutus
Etelä-Suomessa ja Tanskassa**

Esa Aro-Heinilä

ISBN 951-729-711-4 (Painettu)
ISBN 951-729-729-7 (Verkkajulkaisu)
ISSN 1458-509X (Painettu)
ISSN 1458-5103 (Verkkajulkaisu)
www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts25.pdf

Copyright

MTT

Esa Aro-Heinilä

Julkaisija ja kustantaja

MTT Taloustutkimus, Luutnantintie 13, 00410 Helsinki

www.mtt.fi/mttl

Jakelu ja myynti

MTT Taloustutkimus, Luutnantintie 13, 00410 Helsinki

Puhelin (09) 56 080, telekopio (09) 563 1164

sähköposti julkaisut@mtt.fi

Julkaisuvuosi

2002

Painopaikka

Data Com Finland Oy

Joulukinkun ekotehokkuus

- Tavanomaisen ja luonnonmukaisen tuotannon ekologinen selkäreppu sekä energiakulutus Etelä-Suomessa ja Tanskassa

Esa Aro-Heinilä

MTT Taloustutkimus, Luutnantintie 13, 00410 Helsinki, esa.aro-heinila@mtt.fi

Tiivistelmä

Tutkimuksessa tarkastellaan neljän tapausesimerkin avulla sianlihatuotannon ekotehokkuutta. Tapausesimerkit muodostavat tavanomainen ja luonnonmukainen tuotanto kahdella eri alueella, Etelä-Suomessa ja Tanskassa. Ekotehokkuuden mittaamiseen käytettävät menetelmät ovat ekologinen selkäreppu ja energia-analyysi. Tämän lisäksi arvioidaan ekologinen selkäreppu -menetelmän käyttökelpoisuutta ekotehokkuuden mittaamiseen.

Ekotehokkuusvertailun tulokset on ilmaistu sian ruhosta saatavalle kinkulle kohdennettuna. Ekologisella selkärepulla mitattuna ekotehokkain vaihtoehto on suomalainen luomukinkku, tehottomin vaihtoehto taas tanskalainen tavanomainen kinkku. Energia-analyysi tuo ekotehokkaimmaksi vaihtoehdoksi tanskalaisen luomukinkun. Tämän jälkeen järjestyksessä ovat tanskalainen tavanomainen, suomalainen luonnonmukainen ja suomalainen tavanomainen kinkuntuotanto.

Ekologinen selkäreppu kuvaa melko yhdenmukaisesti vertailtujen kinkkuvaihtoehtojen ekotehokkuutta energia-analyysin kanssa, vaikka lopputuloksissa ekotehokkuusjärjestys hieman muuttuikin. Tästä huolimatta ekologisen selkäreppun käyttö ekotehokkuusindikaattorina on kyseenalaista, koska menetelmä yhteismitallistaa tuotannon aiheuttamaa panoskäyttöä täysin ”sokeasti” materiaalikiloina tai -tonneina riippumatta siitä, minkälaisia vaikutuksia näiden käytöllä on.

Ekologinen selkäreppu on kehitetty kuvaamaan hyvin yksinkertaistetulla tasolla ympäristövaikutuspotentiaa, eli mahdollisuutta sille, että ympäristövaikutuksia tietyn panoskäytön seurauksena esiintyy. Panoskäytön lisääntyminen kasvattaa toki ympäristöhaittojen mahdollisuutta. Ongelmana on, että tietyn suuruinen selkäreppu kuvaa vain mahdollisuutta, mutta ei sitä, miten suuri tämä mahdollisuus on ja miten paljon mahdollisuus kasvaa, kun selkäreppu kasvaa yhdellä yksiköllä. Erilaiset ekologiset selkäreput eivät siis ole keskenään vertailtavissa, jolloin menetelmän käytön mielekkyys kärsii.

Asiasanat: Ekotehokkuus, ekologinen selkäreppu, energia-analyysi, sianlihatuotanto, luonnonmukainen tuotanto

Eco-efficiency of gammon

- Ecological rucksack and energy efficiency in conventional and organic production in Southern Finland and Denmark

Esa Aro-Heinilä

MTT Economic Research, Agrifood Research Finland, Luutnantintie 13, FIN-00410 Helsinki, Finland,
esa.aro-heinila@mtt.fi

Abstract

The eco-efficiency of pork production was investigated through four case studies. These were conventional and organic production in two different areas, Southern Finland and Denmark. The methods used for measuring eco-efficiency were ecological rucksack and energy analysis. Also validity of ecological rucksack as indicator of eco-efficiency was assessed

The results were allocated to traditional Finnish Christmas gammon according to the monetary value of gammon in pig carcass. Results from the ecological rucksack analysis indicates Finnish organic gammon to be the most eco-efficient alternative. Conventional Danish gammon was found the least efficient. Energy analysis gave the best eco-efficiency to Danish organic gammon followed by Danish conventional, Finnish organic and Finnish conventional gammon.

Ecological rucksack gives relatively parallel illustration with the energy analysis. Still ecological rucksack method cannot be recommended to be used as eco-efficiency indicator. The major problem is that the method gives commensurate value to all inputs used for production based on the weight of the inputs in terms of kilograms or tons, regardless of the environmental impacts of using such inputs.

Ecological rucksack has been developed to illustrate potential environmental impacts in very rough level. The implicit idea is that all the natural resources used cause potential risk for the environment. The problem with ecological rucksack is that the method can only tell that there exists environmental risk caused by using natural resources, but it can not tell, how big the risk is and how much the risk rises when the weight of ecological rucksack rises with one unit. Consequently, ecological rucksacks of different products are not comparable in terms of potential environmental impacts. Since the method only shows the weight of all the different materials used for producing a certain product it is of quite low value in measuring eco-efficiency.

Index words: Eco-efficiency, ecological rucksack, energy-analysis, pork production, organic production

Sisällysluettelo

1	Johdanto	7
1.1	Taustaa.....	7
1.2	Tutkimustehtävä ja rajaukset	9
1.3	Tutkimuksen vertailuasetelma	12
2	Tutkimuskohteen kuvaus	13
2.1	Sika kotieläimenä	13
2.2	Sika tuotantoeläimenä	13
3	Viitekehys	15
3.1	Termodynamiikka taloustieteessä	15
3.1.1	Ajattelutavan lähteillä	15
3.1.2	Teoreettinen perusta	17
3.1.3	Termodynamiikan merkitys	20
3.2	Ekotehokkuus	23
3.2.1	Luonnonvarojen optimoinnista ekotehokkuuteen	23
3.2.2	Ekotehokkuus maataloudessa	26
4	Menetelmät	29
4.1	Ekologinen selkäreppu	29
4.2	Energia-analyysi	32
5	Aineisto	33
5.1	Panostuotanto	33
5.1.1	Energiapanokset	33
5.1.2	Lannoitteet, kalkki ja torjunta-aineet	36
5.1.3	Rehujen valmistus	39
5.2	Maatilan tuotanto	41
5.2.1	Eläinmäärä	41
5.2.2	Rehunkulutus	41
5.2.3	Satotasot ja viljelypinta-ala	43
5.2.4	Lannoitteiden käyttö	45
5.2.5	Rehukasvien viljely	47
5.2.6	Sikala	51
5.3	Teurastamo	55
5.3.1	Yleistä	55
5.3.2	Teurastus	55
5.4	Kuljetukset	57

6	Tulokset	59
7	Tulosten tarkastelu	64
	7.1 Tulosten ja työn arviointi	64
	7.1.1 Ekologisen selkäreppun ja energia-analyysin vastaavuus	64
	7.1.2 Herkkyysanalyysi	65
	7.1.3 Muut vastaavat tutkimukset	68
	7.2 Ekologinen selkäreppu -menetelmän arviointi	69
	Kirjallisuus	76

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Uusiutumattomien energiavarojen ja materiaalien käytön vähentämisen katsotaan olevan eräs keskeisimpiä haasteita nykyisen kulutuskulttuurin ohjaamiseksi kestävämmälle polulle. Tämä tehostamistarve on aikakautemme keskustelussa saanut nimekseen ekotehokkuus. Ekotehokkuus -ajattelun keskeisenä piirteenä on siirtyä piipunpääatarkastelun tyyppisestä jälkien siivonnasta ympäristöongelmia ennaltaehkäisevään tuotantopanosten tarkasteluun. Ajustatapa on inspiroinut politiikan tekijöitä ympäri maailmaa. Erityisesti yritysmaailman organisaatiot ovat omaksuneet ekotehokkuuden vihertäväksi ohjenuorakseen (mm. OECD Policy Brief 1998; World Bank 2000; Commission of the European Communities 2001; World Business Council for Sustainable Development 2001). Ekotehokkuudessa yhdistyy nerokkaasti ympäristönsuojelu ja yritysmaailmalle keskeinen tuotannon rationalisointi- ja tehostamistarve.

Ekotehokkuus on ensimmäisenä omaksuttu teollisuuden parissa, joissa säästöjä syntyy kun prosessien läpi virtaa vähemmän materiaaleja. Ekotehokkuus on sittemmin saapunut myös osaksi maa- ja elintarviketalouden kestävyuden tarkastelua (mm. Risku-Norja 2000). Elintarviketuotannon osalta tiedontarvetta tuntuu olevan etenkin siitä, minkälaisilla mittareilla ja miten käytännössä ekotehokkuutta voidaan järkevästi mitata. Tällä tutkimuksella pyrin kantamaan korren kekoon osaksi elintarviketuotannon ekotehokkuuskeskustelua.

Tarkastelutapaukseksi olen valinnut sianlihatuotannon. Tarkasteltavana on kaksi erilaista tuotantojärjestelmää, tavanomainen ja luonnonmukainen sianlihatuotanto. Näistä kumpakin edustamaan olen valinnut edelleen kaksi tuotantoaluetta (Etelä-Suomi ja Tanska), joilta suomalaisen pääkaupunkiseudulla asuvan pöytään sianliha todennäköisimmin päätyy. Jotta tutkimus saisi helpommin hahmotettavan ulkoasun, olen ilmoittanut tulokset keskikokoisen (10 kg) joulukinkun panoskäyttövaikutusten mukaisina. Vaikutukset kohdentuvat joulukinkulle sen perusteella, miten suuren osan sianruhon taloudellisesta arvosta kinkku muodostaa.

Luonnonmukaisen ja tavanomaisen tuotannon vertailu on ajankohtaista. Luonnonmukainen tuotanto on viime vuosikymmenellä noussut yleiseen tietoisuuteen edustamaan tavanomaista tuotantoa ”pehmeämpää” arvomaailmaa. Luomua kuluttaville luomutuotteet merkitsevät lähinnä tavanomaista puhtaampia, myrkyittä viljeltyjä tuotteita. Tämän lisäksi luonnonmukaisessa tuotannossa keskeistä on huolehtia esimerkiksi maaperän pitkän aikavälin viljavuudesta ja eläinten mahdollisuudesta lajinmukaiseen käyttäytymiseen. Luonnonmukainen tuotanto on kuitenkin satomäärinä tai eläinyksikköä kohden mitattuna tavanomaista tehottomampaa. Usein sen katsotaankin olevan lähinnä elitististä puuhastelua, jolla ei maailman nälkäisiä ruokita. Tällaisen keskustelun varjossa on mielenkiintoista tarkastella, miten puntit jakautuvat kun tavanomaista tuotantoa ja luonnonmukaista tuotantoa vertaillaan hehtaarisatojen tai eläinyksikkötuotoksen sijaan ekotehokkuuden mittareilla. Vertailun tavoitteena ei

ole välttämättä niinkään kyseisten tuotantomuotojen vastakkainasettelu, vaan enemmänkin näiden ”vuotokohtien” selvittäminen, jotta kumpaakin tuotantomuotoa voitaisiin kehittää nykyistä ekotehokkaampaan suuntaan.

Tutkimuksessa tuotannon maantieteellinen sijoittuminen (Etelä-Suomi/Tanska) saa motivaationsa lähiruoka-ajattelusta. Lähiruoalla tarkoitetaan peruselintarvikkeita, jotka kulutetaan mahdollisimman lähellä niiden tuotantoalueita. Lähiruokaa puolustetaan sillä, että se vähentää kuljetusmatkoja sekä ylläpitää paikallista omavaraisuutta ja työllisyyttä. Keskeisin ajatus on ehkä kuitenkin, että lähiruoan katsotaan ehkäisevän kuluttajien sekä mentaalista että fyysistä vieraantumista elintarviketuotannosta ja elintarvikkeiden alkuperästä. Elintarviketuotannosta vieraantumisen katsotaan osaltaan aiheuttaneen sen, että elintarviketuotannon eettinen, sosiaalinen ja ekologinen kestävyys on saanut väistyä taloudellisen tehokkuuden tieltä. (Kluppenburg ym. 1996, s. 33-34).

Lähiruokaa ei voi kuitenkaan vielä tämän tutkimuksen perusteella puoltaa tai vastustaa edes sianlihatuotannon suhteen, koska tarkastelunäkökulma on siihen aivan liian suppea: tarkastelussa olevia eri alueille sijoittuvia maatiloja on liian vähän ja energian sekä materiaalien kulutus hahmottaa vain osaa lähiruoan mahdollisista positiivisista tai negatiivisista vaikutuksista. Myöskään maitten välistä vertailua ei tulisi suorittaa kovin suoraviivaisesti, vaikka tutkimusasetelma sen mahdollistaakin. Elintarviketuotannon poliittismaantieteellinen sijoittuminen on hyvin laaja kysymys, johon tuotannon materiaalien ja energian kulutus voi antaa vain viitteitä kertomalla eri tuotantoalueiden ympäristöolosuhteiden suomasta tehokkuudesta. Suoraviivaisia päätelmiä eri tuotantomuotojen kestävydestä, paremmuudesta tai toivotavuudesta ei siis tulisi tämän tutkimuksen perusteella tehdä.

Tarkasteltavien tuotantotapojen ekotehokkuuden mittaamiseen käytän ekotehokkuuden keskeisiä mittareita, materiaalien ja energian käyttöä. Materiaalitarkasteluun käytän Saksassa 1990-luvulla Wuppertal-instituutin kehittämää ekologinen selkäreppu -indikaattoria, joka huomio käytetyt sekä materiaali- että myös energiapanokset materiaalikiloina (kg) tai -tonneina (t) laskettuna. Ekologinen selkäreppu jakaa kuitenkin mielipiteitä voimakkaasti. Toisten mielestä se on kerrassaan oivallinen väline hyödykekohtaisen ympäristökuormitustiedon luomiseen, toisten mielestä se on taas laskentatavaltaan täysin perusteeton ja siksi harhaanjohtava. Tässä tutkimuksessa tarjoutuu sianlihatuotantoon keskittyvien tapausesimerkkien valossa oiva mahdollisuus arvioida myös itse kyseistä indikaattoria ja sen käytön mielekkyyttä elintarviketuotannon tarkasteluun.

Indikaattorin arviointia helpottaa, jos käytettävissä on mielekäs vertailuindikaattori. Tällaiseksi olen valinnut IFIAS:in¹ (1974) ehdottaman maatalouden energia-analyysitavan. Energia-analyysi soveltuu vertailuindikaattoriksi siksi, että juuri energiankulutuksella on merkittävä rooli elintarviketuotannon panoskäytössä. Energia-analyysi ei tuo myöskään tämän työn

¹ International Federation of Institutes for Advanced Studies (IFIAS)

suorittamiseen merkittävää lisävaivaa, koska ekologinen selkäreppulaskenta vaatii joka tapauksessa myös käytettyjen energiapanosten selvittämisen. Ekologinen selkäreppu -laskennassa tuotannon vaatimat energiapanokset muunnetaan käytetyn energiamuodon tuotannon aiheuttamien materiaalipanosten perusteella materiaalitonneiksi (t), kun taas IFIAS:in energia-analyysissä lasketaan kaikki energiankulutukseksi muunnettava panoskäyttö suoravii-
vaisesti jouleina (J).

1.2 Tutkimustehtävä ja rajaukset

Tutkimuksessa on vertailuparina kaksi erilaista sianlihatuotantojärjestelmää, (tavanomainen ja luonnonmukainen) kahdella eri alueella (Etelä-Suomessa ja Tanskassa). Tutkimustehtävä jakautuu kolmeen osaan: Tehtävänä on selvittää, mikä järjestelmästä on ekotehokkain kun ekotehokkuuden mittareina käytetään ekologista selkäreppua ja energian kulutusta. Toisena tehtävänä on selvittää, mitkä ovat tarkasteltavien sianlihatuotantoketjujen merkittävimpiä materiaali- ja energiakulutusta aiheuttavia osioita. Näiden lisäksi tehtävänä on arvioida ekologinen selkäreppu -menetelmän käyttökelpoisuutta ekotehokkuuden mittaamiseen sianlihatuotantoon keskittyvien tapausesimerkkien avulla.

Tässä tutkimuksessa tarkastelen ainoastaan tuotantojärjestelmien energia- ja materiaalipanoskäyttöä (input). Panoskäytön voidaan olettaa aina aiheuttavan ympäristövaikutuksia. Panoskäytön vaikutukset riippuvat puolestaan useista tekijöistä, kuten missä panoskäyttö tapahtuu (esim. napapiirillä/päiväntasaajalla), minkälaiseen ekosysteemiin panoskäytön vaikutukset kohdentuvat (esim. metsä/vesi/ilma) ja minkälaista tekniikkaa tuotannossa käytetään (esim. höyryveturi/sähköveturi). Panoskäytön aiheuttamia vaikutuksia tämä tutkimus ei kuitenkaan huomioi. Tällaisia ovat esimerkiksi

- ekologiset vaikutukset, kuten luonnon monimuotoisuus, luonnonvarojen kestävä käytön rajat, ravinteiden kierto ja luonnonympäristön saastuminen
- sosiaaliset vaikutukset maaseudulla ja kaupungeissa
- maaseutukulttuuriin ja maaseudun elinvoimaisuuteen liittyviä vaikutukset
- taloudelliset vaikutukset.

Lisäksi tarkastelun ulkopuolelle jäävät

- tuotannon skaalavaikutukset ja käytettävän teknologian tehokkuus tietyn suuruudessa yksikössä
- sianlihatuotannon ja -kulutuksen etiikkaan liittyvät kysymykset.

Elintarviketuotannon ekotehokkuustarkastelussa eroosiolla on suurehko vaikutus tuotannon aiheuttamaan materiaalikulutukseen. Näin on etenkin ulkomailla tehdyissä tarkasteluissa. Tässä tutkimuksessa en kuitenkaan huomioi eroosion vaikutusta. Tämä siksi, että kutakin tuotantojärjestelmää edustavan eroosiokertoimen arvioiminen on erittäin hankalaa ja virhemahdollisuudet ovat suuret. Eroosion suuruuteen vaikuttavat useat tekijät, kuten maaperän

laatu, kasvipeite, viljelty kasvilaji kasvukauden aikana, pellon topografia, etäisyys valuma-alueen jokiuomasta ja uoman ominaisuudet, sademäärä ja sen jakautuminen kasvukauden aikana sekä maan lämpötila. (Risku-Norja 2000, s. 10-12). Risku-Norjan (2000, s. 12) mukaan valuma-alueen eroosiossa on tutkimuksesta riippuen 400-6000 kg/ha vuodessa kerta-alueen vaihtelua. Suomessa eroosio on valtaosin vesierosiota, joka tarkoittaa sitä, että kiintoaines kulkeutuu joko pintavaluntana tai salaojia pitkin. Tällöin maankäyttötapa muodostuu merkittäväksi eroosiota edistäväksi tai ehkäiseväksi tekijäksi.

Tässä tutkimuksessa tarkasteltavissa tuotantojärjestelmissä maankäyttötavat eroavat huomattavasti toisistaan. Luonnonmukaisessa tuotannossa viljelykierto vähentää eroosiota kasvukauden aikaisen korkeamman kasvipeitteisyyden ja maaperään palautuvan orgaanisen ainesmäärän ansiosta. Tavanomaisessa tuotannossa vastaavaa viljelykiertoa ei ole. Sitä vastoin, yhtä suurien satomäärien tuottamiseksi tavanomaisessa tuotannossa tarvitaan peltopinta-alaa vähemmän kuin luonnonmukaisessa tuotannossa. Tämä tarkoittaa sitä, että tuotettua ruokatonnia kohden eroosiolle altista peltopinta-alaa on tavanomaisessa tuotannossa luonnonmukaista vähemmän. Kutakin tuotantojärjestelmää edustavan eroosioarvoimen määrittäminen on siis hankalaa ellei mahdotonta, etenkin kun käytettävissä olevien eroosioarvoimen vaihteluväli (400-6000 kg/ha vuodessa) on niin suuri.

Tuottamattoman biomassan, kuten naattien, olkien tai viherlannoituksen materiaalityöstä en myöskään ota laskelmissa huomioon. Tämä on perusteltua siksi, että vaikka tonnimäärinä laskettuna biomassaa siirtyy valtavia määriä, biomassaa palautuu yleensä takaisin peltoekosysteemiin josta se on peräisin. Vastaavasti peltomaan kynnöstä aiheutuvaa peltomaan siirtelyä en myöskään huomioi, muuten kuin sen aiheuttaman energiakulutuksen osalta.

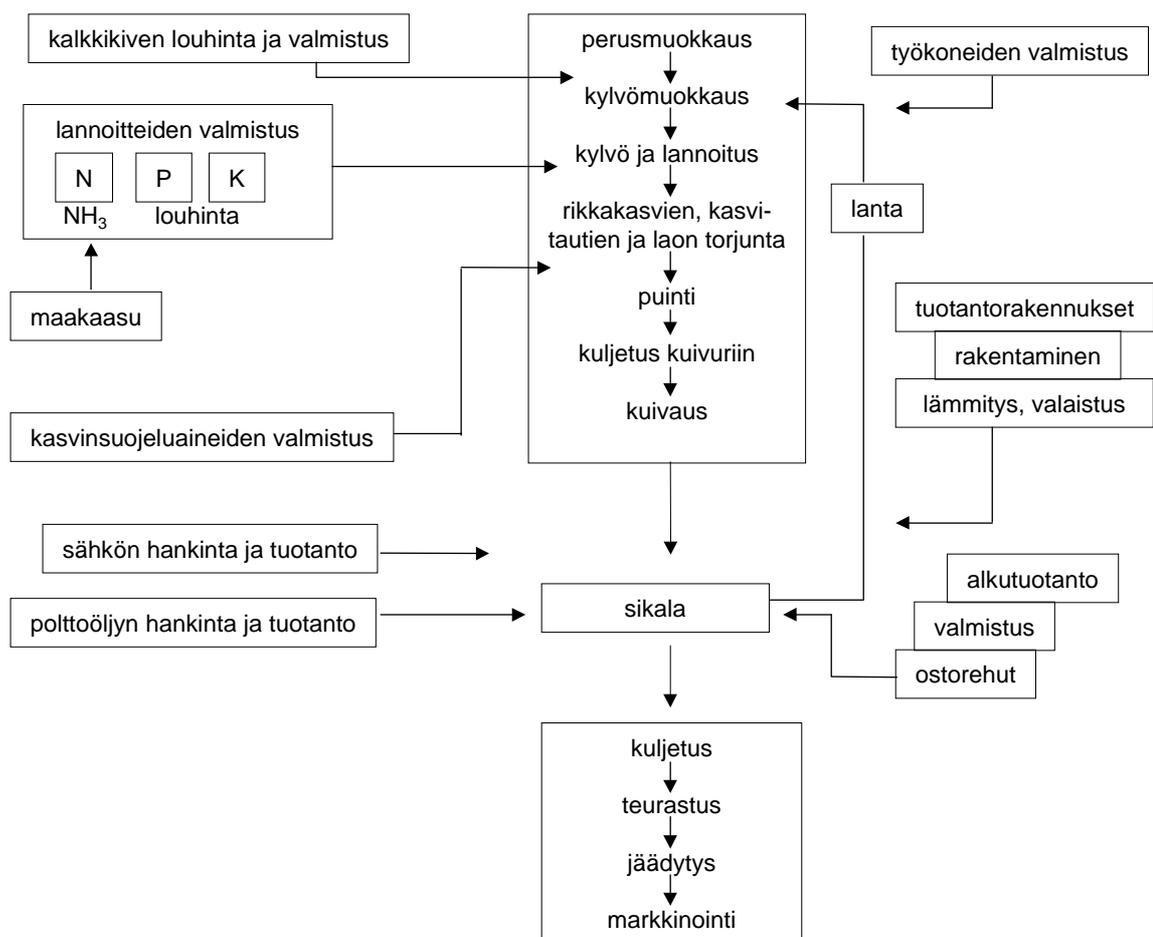
Luonnonmukaisen tuotannon viljelykiertoteknisiin seikkoihin en puutu, vaikka laskelmia tämän työn puitteissa ravinteiden riittävydestä eri viljelykierroilla on tullut viljalti tehtyä. Käytännössä viljelykierron sovittaminen yhdellä tilalla sian rehun suureen valkuaisarpeeseen on kasvinsuojeluteknisesti hankalaa, sillä viljelykiertoon tulee liikaa valkuaisrehuja, kuten hennettä ja rypsiä, jotta kiertoa voisi pitää kasvinvuorotuksen kannalta toimivana. Oletan siis, että valkuaisrehuntarve tyydytetään esimerkiksi tilayhteistyön avulla. Tämän tutkimuksen laskelmiin sisällytän kullakin mallitilalla kasvatettavien lihasikojen vaatiman rehumäärän tuottamiseksi vaadittavien rehukasvien ja viherkesantojen (25% kierrosta) viljelytoimenpiteet, riippumatta siitä suoritetaanko ne itse tarkasteltavalla mallitilalla vai lähialueen tiloilla.

Olen pyrkinyt sisällyttämään tarkasteluun sianlihatuotannon oleelliset toiminnot ohessa olevan kuvion mukaisesti (Kuva 1). Tarkasteluketju ulottuu alkutuotannon panostuotannosta markkinointiin. Tarkastelun keskiössä on maatilalla tapahtuva energian ja materiaalien käyttö, josta valtaosa tuotantoketjun panoskäytöstä koostuu. Markkinoinnin osalta huomioidaan ainoastaan tuotteiden jakelu myyntipaikalle. Osittain katkoviivan ulkopuolelle jäävät toiminnot tulevat vain soveltuvilta osin tarkasteluun mukaan. Luonnonmukaisessa tuotantojär-

jestelmässä kuvion esittämästä tarkastelusta jäävät pois kemiallisten lannoitteiden valmistus ja kasvinsuojeluaineet.

Ongelmallista tuotantojärjestelmien mallintamisessa on se, että materiaalien ja energian kulutusketjuja panostuotannon syntysijoille voi periaatteessa seurata loputtomiin. Missä laajuudessa järjestelmää tulee siis tarkastella ja mitä vaikutuksia ottaa huomioon? Mitä kauemmas itse maatalan tuotantoprosesseista mennään, sitä pienempi vaikutus sillä on tarkasteltavan lopputuotteen materiaalien ja energian kokonaiskulutukseen. Esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden osalta Nielsen ja Rasmuksen (1977) mukaan kaksi ensimmäistä tasoa kattaa vähintään 90 % kokonaisenergian kulutuksesta maataloustuotannossa. (Refsgaard ym. 1998, s. 602). Arvion voinee olettaa pitävän paikkansa myös materiaalikulutuksen osalta.

Tässä tutkimuksessa käytän systematiikkaa, jossa huomioidaan esimerkiksi polttoöljyn energiakulutuksen osalta polttoöljyn energiasisällön lisäksi polttoöljyn tuotannon aiheuttaman energiakulutus. Energiatuotteista saatuja arvoja käytetään muun panostuotannon, esimerkiksi lannoitteiden ja rehun valmistuksen lähtöarvoina. Rehutuotannossa käytettävien raaka-ai-



Kuva 1. Tarkasteltavien tuotantojärjestelmien osiot ja niiden rajaus.

neiden, kuten soijan osalta, tarkasteluun sisältyy siis alkutuotannosta lähtien soijapapujen viljelyn, kuljetusten, soijarouheen puristuksen ja rehun valmistuksen energia- ja tukienergia-panokset.

1.3 Tutkimuksen vertailuasetelma

Tarkastelussa käytettävän tilamallin perusyksikkönä on 1000 lihasikaa vuodessa tuottava yhdistelmäsikala. Yhdistelmäsikalassa on noin 50 emakkoa ja se siis tuottaa vuosittaiseen lihasiantuotantoon vaadittavat porsaatsit itse. Kutakin tuotantojärjestelmää (tavanomainen/luonnonmukainen, Etelä-Suomi/Tanska) tarkastellaan siis tämän perusyksikön avulla.

Kokoluokan 1000 lihasikaa vuodessa voi katsoa kuvaavan tavanomaista suomalaista sianlihantuotantoa melko hyvin. Tanskalaiseksi keskiwertotilaksi tämä kokoluokka on taas liian pieni, sillä lähes puolta tuotannosta vastaa yli 6000 yksilöä vuodessa tuottavat tilat. Luonnonmukaista tuotantoa tässä käyttämäni tutkimusasetelma edustaa kaikkein huonoiten. Luonnossa yksikkökoot ovatkin yleensä melko pieniä, eikä kovinkaan moni tila ole keskittynyt yksistään sianlihatuotantoon.

Tässä tutkimuksessa käyttämäni tilamallin kokoluokka ei siis vastaa kaikilta osin todellisuutta tai eri tuotantojärjestelmien keskiarvoa. Yksikkökoko ja tuotannossa käytettävä teknologia vaikuttavat luonnollisesti tuotannon tehokkuuteen. Tässä yhden mallikokoluokan käyttö on kuitenkin perusteltua tutkimuksen selkiyttämiseksi ja siksi, että laskelmat perustuvat yksikkökoosta riippumattomiin keskiarvoihin. Tuotantoyksikön eläinmäärällä ei siis tässä tapauksessa ole vaikutusta tutkimuksen lopputuloksiin.

Vaikka sianlihatuotos on yhtä suurta kullakin tilalla, peltopinta-ala vaihtelee erilaisista sato-tasoista ja erilaisesta ruokinnasta johtuen. Oletan laskelmissa, että kaikki sikojen ruokinnassa käytetty rehuvilja viljellään maatilalla tai sen lähiympäristössä. Poikkeuksen muodostaa tavanomaisen tuotannon ruokinnassa käytettävä tiivisterehu. Sen keskeisin raaka-aine on soijapapu, jonka tässä oletan tuotavan USA:sta.

Suomessa sianlihan päätuotantoalueita ovat Varsinais-Suomi, Satakunta ja Etelä-Pohjanmaa. Tanskassa Pohjois-Jyllanti on sianlihantuotantoon keskittyneintä aluetta. Oletan tämän tutkimuksen mallitilojen sijaitsevan Tanskassa Pohjois-Jyllannissa ja Suomessa Forssan seudulla Varsinais-Suomessa. Näiden alueiden voi katsoa myös edustavan melko hyvin tämän tutkimuksen oletusten mukaisia maaperä- ja ilmasto-olosuhteita. Kaikkien tilojen tuotamat joulukinkut kuljetetaan Suomeen pääkaupunkiseudulle syötäväksi.

2 Tutkimuskohteen kuvaus

2.1 Sika kotieläimenä

Sikataloudella on pohjoismaissa vanhat perinteet, ”...sillä sikoja on meillä pidetty jo pakauuden aikana. Kalevalastakin tapaamme sianhoitoa koskevia ohjeita.” (Maanviljelijän tietokirja 1964, s. 441). Ennen maatalousyhteisöissä elettiin omavaraistaloudessa. Karjaa laidunnettiin hakamailla ja metsissä. Kaikkiruokaisena sika sai tyytyä talousjätteisiin. ”Ihanne-sika oli lyhyt ja lihava ja rasvapitoisuuden piti olla korkea”. (Media 1980, s. 205-206).

Maanviljelijän tietokirjassa (1964, s. 441) todetaan sikataloutemme olleen varsin ”alkuperäistä” 1800-luvun loppupuolelle saakka. Ruokinta oli heikkoa, suojat vaatimattomia eikä jalostuksesta nykyaikaisessa merkityksessä vielä voitu puhua. Sianliha silloisissakin oloissa muodosti kuitenkin kansan ravinnossa tärkeän rasvan ja valkuaisen lähteen. Sisältäähän sianliha, maidon tavoin, monipuolisen valikoiman ihmiselle välttämättömiä ravintoaineita. ”Liha on myös tärkeä kylläisydentunteen antaja sekä ruoan maun ja nautittavuuden lisääjä.” (Tuottava maa 1976, s. 27).

2.2 Sika tuotantoeläimenä

Nykyään, lihaviiden sikojen sijaan ”...arvostetaan enemmän laihoja ja vähärasvaisia sikoja. Sian tulee olla pitkä, kapea ja kinkkujen hyvin kehittyneet.” Pohjoismaat, etenkin Tanska, ovat olleet edelläkävijöitä sikatalouden kehittämisessä. Aikamme tehokkaat tuotantomenetelmät aiheuttavat joskus eläimiin vähemmän toivottuja ominaisuuksia ja vaikutuksia, esimerkiksi stressiä, joka aiheuttaa hännän purentaa ja huonontaa lihan laatua. Jalostustyö pyrkii tuottamaan niin psyykkisesti kuin fyysisesti edullisia sikarotuja, jotka sietävät stressiä ja kasvavat tehokkaasti. (Media 1980, s. 205). Sianjalostuksen tavoitteena on parantaa sikatalouden taloudellista kannattavuutta (Sianlihan tuotanto 1988, s. 7).

Jalostuksella sikojen rehunkäyttökykyä on saatu kasvatettua, niin että mahdollisimman suuri osa sian syömästä rehusta muuntuu sianlihaksi. Rehun käytön hyötysuhde² (ry/kg) riippuu eläinmateriaalista, rehun laadusta ja syöttömäärästä sekä sikalan olosuhteista. Hyötysuhde tavanomaisessa lihasian kasvatuksessa on noin 2,3 ry/kg kun taas luonnonmukaisessa tuotannossa hyötysuhde on rehujen heikomman sulavuuden ja pidemmän kasvatusajan takia lähempänä kolmea ry/kg. Lihasian kasvatus tavanomaisesti kestää 3,5 kuukautta 25 kilon porsaasta 100 kiloon, jolloin päästään teurasprosentista riippuen 73 kilon teuraspainoon. Luonnonmukaisessa tuotannossa vastaava kasvu kestää erilaisesta ruokinnasta johtuen hie-man yli neljä kuukautta. Tavanomaisessa yhdistelmäsiikalassa lihasian kasvatus emakon siemennyksestä teuraaksi kestää 9,5-10,5 kuukautta ja luonnonmukaisessa tuotannossa lähes kuukauden tätä pidempään. (Siitonen 1999, s. 24; Luomunaudan ja -sian... 2001).

² Rehujen energia-arvo perustuu muuntokelpoiseen energiaan (ME) ja ne ilmoitetaan rehuyksiköissä (RY). Muuntokelpoinen energia lasketaan englantilaisella menetelmällä (MAFF 1975, 1981, 1984). Yksi rehuyksikkö vastaa rehutaulukon parhaan ohrakilon ME-määrää, mikä on 11,7 MJ ME per kg ohraa (kuiva-aine 86 %).

Jalostuksen ja lihatuotannon keskittyessä kannattavuuden parantamiseen sikojen hyvinvointi on usein jäänyt toisarvoiseksi tavoitteeksi. Maaseutukeskusten liiton Tuotantoeläinten hyvinvointi -oppaassa (2000, s. 64) todetaankin: ”Nykyisten sikojen käyttäytyminen luonnossa ei poikkea kovin paljon niiden villien esi-isien käyttäytymisestä. Sika on älykäs ja utelias eläin, jolla on hyvä oppimiskyky ja monimutkaiset käyttäytymistarpeet. Tämän vuoksi sika pitkästy helposti. Siat ovat aktiivisia ja ahkerasti touhuavia laumaeläimiä. Sian vaistoihin ja luonnollisiin tarpeisiin kuuluu ennen kaikkea maan tonkiminen ruokaa etsien, lauman arvojärjestys ja pesän rakentaminen ennen porsimista. Sika on nisäkkäisiin kuuluvista tuotantoeläimistä ensimmäisenä ja voimakkaimmin alistettu tehotuotantoon. Useat sikojen hyvinvointiongelmien johtuvat siitä, että siat ovat pitkästyneitä ja niillä ei ole muuta tekemistä kuin makaaminen. Luonnollisen käyttäytymisen estyminen on yksi ongelmallisimmista osa-alueista sikatiloilla. Sikaloiden suunnittelussa ja sikojen hoidossa tulisi huomioida sikojen utelias ja tiedonhaluinen luonne.” Luonnonmukaisessa tuotannossa kannattavuuden ohella keskeistä on ollut myös pyrkiä luomaan tuotantoeläimille mahdollisuus luontaiseen käyttäytymiseen (Luomunaudan ja -sian... 2001, s. 12).

Suomessa sikatalous on elänyt voimakasta murrosta viime vuosina. Liittyminen Euroopan Unioniin on nopeuttanut alan rakennekehitystä ja lisännyt paineita edelleen tuotannon tehostamiseen. Maaseudulla on käynnissä pudotuspeli - ketkä jäävät ja ketkä lähtevät? Tilakokojen kasvattaminen ”EU-kelpoisiksi” on nähty usein ainoaksi mahdollisuudeksi pysyä avautuvien ruokamarkkinoiden kilpavarustelussa mukana. Tuotannon laajentamistavoite onkin tässä yhteydessä ymmärrettävää. Teollisen lihatuotannon voi kuitenkin nähdä olevan usein ristiriitainen eläinten hyvinvoinnin edistämistavoitteen kanssa. Tuotantoyksikkö koon kasvattaminen heikentää entisestään mahdollisuutta järjestää eläimille olosuhteet lajinmukaiselle käyttäytymiselle, esimerkiksi sioille luonnonmukaisessa tuotannossa vaadittavat ulkoilu ja tonkimismahdollisuudet.

Tanskaan verrattuna sianlihatuotanto tapahtuu Suomessa silti edelleen pienessä mittakaavassa. Tanskassa valtaosa (44 %) sianlihasta tuotetaan tiloilla, joiden tuotos on yli 6000 sikaa vuodessa. Tätä kokoluokkaa Suomessa edustaa ainoastaan 2,7 % kokonaistuotannosta. Suurin ryhmä (38,3 %) Suomessa on 600-1200 sikaa vuodessa tuottavat tilat. Vastaavaan kokoluokkaan kuuluu Tanskassa 12,8 % sikatiloista, joiden osuus kokonaistuotannosta on vain 4,6 %. (Danske Slagterier's Statistics 2000).

Sianliha onkin Tanskalle eräs tärkeimmistä vientituotteista. Vuonna 1998 sianlihan osuus Tanskan koko viennin arvosta oli 7 % ja maatalousviennin arvosta 43 %. Tanskan sikatalous on yli kymmenkertainen Suomeen verrattuna. Kun Suomessa tuotetaan noin 2,2 miljoonaa sikaa vuodessa, niin Tanska tuottaa vuosittain noin 23 miljoonaa sikaa. Tanskan väkimäärään (5,3 miljoonaa) suhteutettuna sikoja on maassa yli nelinkertaisesti. Ulkomaille kokonaistuotannosta päätyy kuitenkin valtaosa (84 %). (Sianlihan tarjontaketjun... 1999; Danske Slagterier's Statistics 2000).

Keskittyneellä sianlihatuotannolla on myös ympäristövaikutuksia. Merkittävimpiä näistä ovat metaanipäästöt ilmakehään, josta kertoo sikaloiden lähiympäristön hajuhaitat, ja ravinteiden huuhtoutuminen vesistöihin. Hankalin tilanne on intensiivisessä sianlihatuotannossa, joka perustuu pitkälle tilan ulkopuolelta ostettaviin rehuihin. Ostorehujen myötä järjestelmään kulkeutuu jatkuvasti lisää ravinteita, jotka levitetään sianlantana sikalan lähialueen pelloille. Samaan aikaan kun suursikatiilojen lähistöllä oleville pelloille päätyy liikaa ravinteita, maaperä köyhtyy alueilla, joissa ostorehujen raaka-aineet on viljelty. Sikatiilojen ympäristössä liikaravinteet huuhtoutuessaan pilaavat pohjavesiä ja rehevöittävät vesistöjä. Myös typpeä haihtuu ilmakehään metaanina, joka on ilmastomuutosta edistävä kasvihuonekaasu. Kuten useilla alueilla Keski-Euroopassa, myös Tanskassa suursikaloiden ympäristössä, lanta on enemmänkin ympäristöongelma kuin arvokas, maaperän kasvukuntoa ylläpitävä tuotannonlähde. Sianlihantuotannon ympäristöhaittoja pyritään ehkäisemään muun muassa ympäristölupien avulla ja maatalouden ympäristötukijärjestelmällä. (Jongbloed ym. 1999, s. 243-245). Itse ongelmien syihin, eli tuotannon intensiteettiin suhteessa paikallisympäristön kykyyn assimiloida tuotannon vaikutuksia, näillä järjestelyillä ei ole toistaiseksi puututtu kovinkaan merkittävästi.

3 Viitekehys

3.1 Termodynamiikka taloustieteessä

3.1.1 Ajattelutavan lähteillä

Tässä tutkimuksessa käyttämäni menetelmät perustuvat teoriapohjaltaan 1960-luvun lopulla ja 1970-luvun alussa taloustieteilijöiden parissa virinneeseen ajattelutapaan, niin kutsuttuun yhteiskunnalliseen termodynamiikkaan, jossa termodynamiikan³ lakien nähdään säätelevän keskeisesti myös taloudellista toimintaa. Lähtökohtana on, että ihmisen muodostaman talousjärjestelmä ei ole irrallinen osa ympäristöään, vaan taloutta osaltaan pitkällä aikavälillä säätelee samat lainalaisuudet kuin muutakin fyysikaalista todellisuutta maapallolla ja siksi ne tulisi ottaa tarkastelussa huomioon. Termodynamiikan lait muodostavat näin keskeisen osan luonnonvarataloustiedettä, jolla tarkastellaan taloudellisen toiminnan rajoja ja kestävyyttä biofyysisessä ympäristössään. Läpivirtaustalous, jollaiseksi termodynamiikkaa edustavat taloustieteilijät näkevät nykyisen järjestelmän, on seuraavaksi esiteltävien ajatusten keskeisenä kritiikin kohteena (Kuva 2).

Vuonna 1966 Kenneth Boulding vertasi maapalloa puoliavoimeen termodynaamiseen järjestelmään, avaruusaluukseen, jonka materiaaliset varannot ja auringosta saatava energiamäärä ovat rajalliset. Vertauksessa avaruusaluksen matkustajien tulee optimoida käytettävissä olevia varantojaan tasolle, joka ylläpitää resurssien kiertoa aluksella. Seurauksena varantojen

³ Termodynamiikka, eli lämpöoppi tarkastelee energian ja materian käyttäytymistä suljetuissa ja avoimissa järjestelmissä.



Kuva 2. Läpivirtatalous (Edwards-Jones 2000, 20).

liikakäytöstä on, että aluksen matkustajat joko hukkuvat omiin jätteisiinsä tai nääntyvät ravinnonpuutteeseen. (Hanley ym. 1997, s. 11). Nykyistä talousjärjestelmää Boulding kuvaa ”lännenmiehen taloutena”, jossa rajattomalta vaikuttavalla preerialla siirryttäessä leirinuotiolta toiselle ympäristön tarjoamia varantoja, kuten polttopuita, vaikuttaa olevan rajattomasti käytettävissä. Tilanne muuttuu kuitenkin nopeasti, kun lehmipoikapopulaatio kasvaa yli ympäristön kantokyvyn. Ongelmana nykyisessä talousjärjestelmässä on se, että sen toimijat käyttäytyvät kuin lehmipojat, vaikka avaruusaluksemme (maapallon) luonnonvarat ovat selkeästi rajallisia. (Edwards-Jones ym. 2000, s. 20-21; Boulding 1966).

Ehkä keskeisin hahmo termodynamiikan oppien taloustieteeseen lanseeraamisessa on ollut taloutta ja termodynamiikka koskevista töistään Nobel palkittu Nicolas Georgescu-Roegen. Vielä 1950-luvulla Georgescu-Roegen oli uusklassinen talousteoreetikko. Hän alkoi kuitenkin epäillä, että todellisen niukkuuden lähteenä ovat energia sekä matalan entropiatason⁴ materiaalit. Tämä huomio sai hänet soveltamaan termodynamiikkaa yhteiskunnallisten ilmiöiden tarkasteluun. (Hoffrén 1994, s. 51-52). Vuonna 1971 Georgescu-Roegen esitteli kirjassaan ”The Entropy Law and the Economic Process” näkemyksen taloudesta termodynamiikan lakien alaisuudessa toimivana järjestelmänä. (Georgescu-Roegen 1971, s. 191-194).

Yhteiskunnallisena sovelluksena termodynamiikan opit tarkoittavat, että koska materiaalien kierto maapallolla on käytännössä suljettua, luonnon ihmiselle arvokkaita luonnonvaroja tuottava toiminta perustuu viime kädessä auringon energian hyväksikäyttöön. Pitkällä aikavälillä aurinkoenergian tulobudjetin ja luonnon rajallisen kantokyvyn ylittävä talouden toiminta johtaa systeemiin varastoituneen resurssipääoman pienenemiseen ja talouden kylkiäisten, saasteiden ja jätteiden kertymiseen ympäristöön. (Hoffrén 1998, s. 19).

Yleiseen tietoisuuteen ympäristö- ja luonnonvaraongelmat nosti Rooman klubi raportillaan ”Kasvun rajat”(Meadows ym. 1972). Rooman klubi oli vuonna 1968 epämuodollisesti eri alojen asiantuntijoista koottu joukko, joka pyrki luomaan orastavan tietokonemallinnuksen avulla maailman kokonaistaloutta kuvaavaa mallia. Kasvun rajat -raportin perusskenaariosa ennustettiin luonnonvarojen ehtymisen johtavan muutaman seuraavan vuosikymmenen aikana investointien vähenemiseen ja lopulta teollistuneiden yhteiskuntien tuotantoperustan hajoamiseen. Ainoaksi tavaksi välttää luonnonvarojen loppumisesta aiheutuva katastrofi

⁴ Entropia tarkoittaa epäjärjestyksen lisääntymistä, joka tapahtuu jokaisen fysikaalisen tai kemiallisen tapahtuman seurauksena. Matalan entropian materiaalit ovat fysikaaliskemiallisesti pitkälle järjestäytyneitä materiaaleja.

nähtiin vallitsevan talouskasvun pysäyttäminen. Lisälöylyä Rooman klubin ennusteelle heitti samaan aikaan maailman taloudelliseen lamaan ajanut öljykriisi. (Edwards-Jones ym. 2000, s. 22-25).

Maailmanpankin ekonomisti Herman Daly osallistui aikakautensa inspiroimaan keskusteluun teoksella ”Towards a Steady State Economy” (vakaan tilan talous) (Daly 1973). Vakaan tilan taloudessa ihmisen luoma vauraus, luonnonvarojen kulutus ja väestömäärä pysyy sopivaksi katsotulla tasolla tasaisena. Ajatuksen vakaan tilan taloudesta esitti jo aikanaan John Stuart Mill, mutta Daly nosti käsitteen uudelleen keskusteluun. Dalyn, samalla tavoin kuin Bouldingin (1966), mukaan keskeinen ongelma on, että talousteoriat tarkastelevat taloutta ”läpivirtaustaloutena”, täysin irrallisena ympäristöstään, vaikka kaikella taloudellisella toiminnalla on kuitenkin vaikutuksensa ympäristöön ja ympäristömuutoksilla vaikutuksensa talouteen. Tuotannon näkökulmasta talous voi olla hyvin tehokasta, vaikka se olisi täysin luonnonympäristön kantokyvyn ulkopuolella. Dalyn (1968, s. 392-405) mukaan taloudellisen tarkastelun tulisi talouden sisällä tapahtuvien toimintojen tehokkaan allokoinnin sijaan keskittyä koko talouden tarkasteluun suhteessa biofyysisen ympäristön kapasiteettiin pitää sitä yllä. Esimerkiksi kansantalouden tilinpitoa tulisi laajentaa kattamaan bruttokansantuotteen lisäksi myös ympäristö- ja luonnonvaravaikutukset.

3.1.2 Teorettinen perusta

Termodynamiikka, eli lämpöoppi tarkastelee energian ja materian käyttäytymistä suljetuissa ja avoimissa järjestelmissä. Maapallo on puoliavoin järjestelmä: se on auringosta jatkuvasti virtaavan energian ansioista energian suhteen avoin, mutta materiaalikierroltaan, meteoriitteja ja avaruuspölyä lukuun ottamatta, suljettu järjestelmä (Hanley ym. 1997, s. 11).

Termodynamiikka perustuu kahteen fysiikan pääsääntöön:

1. Energian ja materian määrä maailmankaikkeudessa säilyy vakiona (Energian ja materian säilymlaki).
2. Lämpö ei itsestään virtaa kylmemmästä kuumempaan (Entropialaki).

Nämä kaksi lakia ovat voimassa missä tahansa fyysistä muutosta koskevassa tilassa riippumatta ihmisen luomasta talousjärjestelmästä. Ensimmäisestä pääsäännöstä eli energian ja materian säilymisen laista seuraa, ettei materia talouden ja luonnon prosesseista koskaan häviä, joskin se voi muuttaa muotoaan. Tämä niin sanottu massatasapainoperiaate (mass balance principle) tarkoittaa, että missä tahansa prosessissa panosten ja tuotosten määrät vastaavat toisiaan. (Ayres 1998, s. 190). Saastumis- ja jäteongelmat aiheutuvat periaatteessa siis jo siinä vaiheessa, kun luonnonvaroja otetaan luonnosta talouden tuotantoprosesseihin. (Hoffrén 1994, s. 44).

Termodynamiikan toisen pääsäännön soveltaminen luonnonvarataloustieteeseen ei ole aivan yhtä suoraviivaista. Entropian lain esitteli Rudolf Clausius 1800-luvulla, selittääkseen läm-

pötilan, paineen ja kemiallisten gradienttien taipumusta latistua ja asteittain hävitä ajan kuluessa (Ayres 1998, s. 190). Entropia tarkoittaa suljetussa järjestelmässä jokaisen fysikaalisen tai kemiallisen tapahtuman seurauksena aiheutuvaa epäjärjestyksen lisääntymistä kohti termodynaamista tasapainotilaa. (Laitinen & Toivonen 1991, s. 51). Suljetussa järjestelmässä, kuten maailmankaikkeudessa, entropia kasvaa jatkuvasti. Puoliavoimessa järjestelmässä, kuten maapallo, entropia ei väistämättä kasva, koska auringosta virtaavalla energialla kyky pitää järjestelmän matalaa entropiaa yllä. (Ayres 1998, s. 190).

Entropiaan perustuen Nicholas Georgescu-Roegen (mm. 1971, 1972, 1976) pyrki luomaan uuden lähestymistavan, ellei jopa uutta maailmankatsomusta taloustieteeseen. Hän etsi entropiasta myös arvoteoreettisia perusteita: Jos talousprosessia tarkastellaan pelkästään fyysiseltä kannalta, se muuttaa arvokkaita luonnonvaroja (alhaista entropiaa) jätteiksi (korkeaksi entropiaksi). Ottamalla huomioon prosessin myötä tapahtuva entropian muutos voidaan nähdä myös laadullinen ero prosessin raaka-aineiden, lopputuotteiden ja jätteiden välillä. Entropian huomioon ottaminen johtaa siihen, että talousprosessin tuotos ei olekaan jätevirta, eikä mikään muukaan aineellinen virta tai varanto, vaan näiden aineellisten virtojen ja varantojen avulla saatavat aineettomat palvelut. (Georgescu-Roegen 1976, s. 56). Todellinen tekijä, joka taloudellisen prosessin lopputuloksena saavutetaan, on elämän nautittavuus (Georgescu-Roegen 1972, s. 9).

Entropialain pohjalta Georgescu-Roegen kehitti termodynamiikan ”neljännen” lain, jonka mukaan materiaalien entropia kasvaa maapallolla auringosta virtaavasta energiasta huolimatta. Etenkin ihmisen toiminta aiheuttaa tällaista materiaalien sekoittumista. Ihminen ottaa raaka-aineita luonnosta käyttöönsä ja tuottaa niistä hyödykkeitä ja saasteita. Lopulta kuitenkin hyödykkeetkin hylätään, jolloin kaikki käyttöön otettu materiaali on palautunut muuntu-neessa muodossa, jätteinä takaisin luonnonympäristöön. (Georgescu-Roegen 1979, s. 129-132).

Termodynaaminen järjestelmä pyrkii aina kohti tasapainotilaa, jota kutsutaan lämpökuolemaksi. Siinä kaikki fysikaaliset ja kemialliset tapahtumat, jotka voivat tapahtua ovat jo tapahtuneet, eikä mitään enää voi tapahtua. Georgescu-Roegenin (1979, s. 129-132) neljännen lain mukaan kaikkien materiaalien välisten erojen katoaminen ja sekoittuminen johtaa lämpökuolemaa vastaavaan ”materiaalikuolemaan”. Tällöin materiaalin entropia saavuttaa maksimiarvonsa, jolloin kaikki materiaali on niin epäjärjestynyttä, että se on täysin käytettäväksi kelpaamatonta. (Faber ym. 1996, s. 106).

Myös Daly (1991) näkee, että talouden rakenteita ylläpidetään luomalla epäjärjestyksestä ekosysteemiin. Matalaa entropiaa saadaan kahdesta eri lähteestä, joista toinen on maapallolle eri muodoissa varastoitunutta (fossiiliset polttoaineet ja mineraalit). Sen kokonaismäärä (varanto) on rajallinen. Toinen matalan entropian lähde on auringon energia, jonka määrä (virtaus) on myös rajallinen. Koska saatavilla oleva matalan entropian määrä on rajallinen, talous ei voi (fyysisessä mielessä) kasvaa loputtomiin. Materiaalien ja energian kulutuksen

kasvuun perustuva talouskasvu muuttaa matalaentropisia luonnonvaroja korkeaentropisiksi jätteiksi luonnonvarojen luonnollista korvautuvuusnopeutta nopeammin. (Daly 1991, s. 41-42).

Hoffrén (1998) noudattelee samaa ajattelutapaa. Kaikki toiminnot maapallolla perustuvat auringon energiaan. Yhteyttävät kasvit muuttavat sitä maapallon elämälle käyttökelpoiseen muotoon. Tämä muodostaa luonnollisen rajoitteen paitsi luonnolle myös ihmisen talouden käyttöön ottamien luonnonresurssien määrälle, joiden on pitkällä aikavälillä elettävä auringon sille tarjoamien varojen puitteissa. Lyhyellä aikavälillä tämä auringon muodostama tulobudjetti on mahdollista ylittää, mikä on mahdollistanut muun muassa nykyisenkaltaisten teollisuusyhdyskuntien kehittymisen. (Hoffrén 1998, s. 19). Pitkällä aikavälillä tämä ei ole kuitenkaan mahdollista. Kun auringon antama matalan entropian tulobudjetti on ylitetty, entropia väistämättä lisääntyy järjestelmässä ihmisen toiminnan seurauksena enemmän kuin se aurinkoenergian toimesta vähenee. Jossain vaiheessa ekosysteemiin tuotu epäjärjestys alkaa haitata sen kykyä tuottaa ekosysteemipalveluita. (Daly 1991, s. 34).

Kierrättämällä materiaaleja ja valmistamalla pitkäikäisiä käyttöhyödykkeitä voidaan talouskoneiston luonnonvarojen käytön hyötysuhdetta parantaa. Hyötysuhde ei kuitenkaan koskaan yllä sataan prosenttiin, joka tarkoittaa, että kaikki käyttöön otetut luonnonvarat päätyvät muodossa tai toisessa toisiinsa sekoittuneena korkeaentropisessa muodossa takaisin ympäristöön. (Ayres 1998, s. 189-192).

Tämä ei kuitenkaan Ayresin (1998) mukaan tarkoita sitä, että auringon tulobudjetti asettaisi mitään rajoja talouskasvulle, koska nykyinen aurinkoenergian hyödyntäminen on todella kaukana absoluuttisista rajoista. Pelkästään maapallon maa-alueille säteilee vuodessa noin kolme tuhatta kertaa enemmän energiaa kuin ihmiskunta käyttää vastaavana aikana. Rajoitteena tosin voi pitää sitä, että talouden toiminta nykyteknologian puitteissa nojaa pitkälle yhteyttävien kasvien vuosituhansien aikana sitoman energian hyväksikäyttöön. Kasvien kyky sitoa aurinkoenergiaa on keskimäärin ainoastaan kolme prosenttia kokonaissäteilystä. Tämä rajoite on kuitenkin vain tekninen rajoite, joka voidaan ratkaista siirtymällä uusiutuviin energialähteisiin, kuten aurinkoenergian suoraan hyödyntämiseen. (Ayres 1998, s. 196-197).

Ayres kuitenkin myöntää, että helposti käytettävissä olevat mineraalivarannot saattavat loppua ennen pitkää. Absoluuttisia rajoja tämäkään ei vielä aseta, sillä "...riittävällä energiamäärällä mikä tahansa elementti voidaan palauttaa alkuperäiseen muotoonsa riippumatta kuinka sekoittunutta se on". Siksi Georgescu-Roengin näkemyksen mukaista "materiaali-kuolemaa" ei voi pitää millään tavalla perusteltuna. Maapallohan vastaanottaa jatkuvasti valtavan määrän matalaentropista energiaa auringosta, jolla on kyky järjestellä biofyysisten tapahtumien myötä materiaaleja jälleen matalaentropiseen muotoon. (mt., s. 197). Muun muassa Bianciardi, Tiezzi ja Ulgiati (1993, s. 2-3) sekä Ayres (1978 ja 1998, s. 198) pitävätkin Georgescu-Roengin esittämää "neljättä luonnonlakia" lähinnä termodynamiikkaa edusta-

vien taloustieteilijöiden väärinymmärryksenä. Myöskään Bouldingin (1966, s. 256) avaruus-
alusmetaforassaan ei yhdy lisääntyvän materiaalisen entropian lakiin, koska auringosta jat-
kuvasti virtaavaa energiaa käyttämällä on mahdollista kierrättää materiaaleja avaruusaluk-
sella uudelleen käytettäväksi.

Ayres painottaa, että pitkällä aikavälillä ihmisen toiminnan itselleen aiheuttamat vaarat tus-
kin johtuvat materiaalisten luonnonvarojen loppuun kulumisesta, vaan enemmänkin toimin-
nallisten luonnonvarojen, kuten ekosysteemipalveluiden vaarantumisesta tai muuttumisesta.
Näin etenkin kun ”...markkinamekanismiin ei ole rakennettu mitään mekanismia, joka yllä-
pitäisi tasapainoa ekosysteemipalveluiden kysynnän ja tarjonnan välillä”. (Ayres 1998,
s. 199).

Ayresin mielestä on lisäksi olennaista tarkentaa entropiakäsitettä, eksergian avulla. ”Entro-
piahan ei itsessään aiheuta minkäänlaista haittaa”. Olennaista on puhua järjestelmässä tapah-
tuvasta entropian muutoksesta, eli eksergiasta. Eksergia perustuu materian sisältämään ke-
mialliseen energiaan tai sijainnista riippuvaan potentiaalienergiaan. Se tarkoittaa laatu-
eroa tai käyttökelpoisen työn määrää, jonka systeemi pystyy käyttämään, siirryttäessä alkuti-
lasta lopputilaan. Ayresin mielestä eksergian avulla voidaan yhteismitallistaa tuotannon vaa-
timat energia- ja raaka-ainepanokset. Eksergiaa voidaan käyttää yleisluontoisena ihmisen
toiminnan aiheuttaman ympäristökuormituksen mittarina. (Ayres 1998, s. 199-200).

3.1.3 Termodynamiikan merkitys

Edellä esitetyistä materian entropiaan ja materiaalikuolemaan liittyvistä eriävistä näkemyk-
sistä huolimatta termodynamiikan opit ovat antaneet ympäristötaloustieteeseen merkittävän
näkökulman, joka sisällyttää fyysiskemiallista ympäristöä sääteleviä lainalaisuuksia talous-
tieteeseen. Uusklassisessa ympäristötaloustieteessä termodynamiikan oppeja on sovellettu
kuvaamaan muun muassa ekosysteemin jätteiden assimilaatiokykyä, energia- ja materiaali-
virtoja sekä järjestelmien tehokkuutta osana muuta taloudellista mallinnusta (mm. Dasgupta
& Heal 1979, s. 208-213; Hanley ym. 1997, s. 2-13).

Selkeämmin termodynamiikkaan on pohjaututtu kuitenkin ekologisen taloustieteen⁵ paris-
sa. Esimerkiksi Faber ym. (1996, s. 95-96) näkevät entropian olevan tarkoituksenmukainen

⁵ Ekologisen taloustieteen juuret juontavat aina 1800-luvun lopulle valtavirtataloustieteen luonnontieteistä
eriytymisen aikaansaamaan kritiikkiin. Sen taustalla vaikuttaa evolutionaarinen näkemys tuotannon riippu-
vuudesta yhteiskunnan tekniseen kehitystasoon, ja huomio siitä, että kaikki tuotanto keskeisesti perustuu
energian ja raaka-aineiden käyttöön. (Hoffrén 1994, s. 42; Raumolin 1995, s. 64). Nykyisessä merkityksessä
ekologisen taloustieteen voi katsoa varsinaisesti muodostuneen vasta muutaman viime vuosikymmenen ai-
kana. International Society for Ecological Economics (ISEE) perustettiin 1990. Sen myötä ekologinen talous-
tiede -käsite on vakiintunut tarkoittamaan monitieteistä lähestymistapaa, jossa tarkastellaan biofyysisen ympä-
ristön ja yhteiskunnan välisiä kytkeitä, muutosprosesseja sekä voimavarojen tehokasta käyttöä ekologi-
aa ja taloustiedettä, mutta myös muita tieteitä yhdistävällä tutkimusotteella. Ekologisen taloustieteen tavoit-
teena on ratkaista käytännön maailman ongelmia tieteenfilosofisista ja metodologisista raja-aidoista riippu-
matta. (Söderbaum 2000, s. 18-19).

perusmuuttuja ekologisessa taloustieteessä. Erityisen tärkeä se on tarkasteltaessa resurssien hyödyntämistä ja virtauksia taloudessa sekä näiden vaikutuksia ympäristöönsä, joissa kyse on aina energian tai aineen muuntumisprosesseista. Faberin mukaan energian, ajan ja peruuttamattomuuden käsitteet eivät ole talusteorioissa saaneet ansaitsemaansa huomiota. Entropia on käsite, joka ottaa nämä kaikki huomioon ja on siksi sopiva väline yhdistämään luonnonvarojen taloudellisen analyysin sekä ympäristöongelmat. (mt. s. 193). Viime vuosikymmenellä etenkin Robert Ayres ja Herman Daly ovat nostaneet termodynamiikkaa esille, muun muassa ISEE:n⁶ julkaisemassa Ecological Economics -aikakausijulkaisussa.

Termodynamiikan pohjalta onkin viimeisen kolmen vuosikymmenen aikana kehitetty erilaisia luonnonvaratilinpitojärjestelmiä, kuten bruttokansantuotteen rinnalle satelliittikirjanpitoa sekä materiaalitase- ja energiatarkasteluita. Etenkin massatasapainoperiaate on ollut luonnonvaramallinnuksen kannalta merkityksellinen. Taloutta tarkasteltaessa massatasapainoperiaatteesta seuraa, että tuotanto- ja kulutusprosessien panosten ja tuotosten tulee olla yhtä suuret. Tämä voidaan Pulliaisen (1979, s. 163-164) mukaan ilmaista seuravasti (Yhtälö 1 ja 2):

$$(1) \quad R + W_I = P + W_P$$

$$(2) \quad P = W_U$$

Näistä voidaan johtaa koko talouden materiaalitase (Yhtälö 3):

$$(3) \quad R = W_2$$

Yhtälöissä:

R = luonnosta otetut raaka-aineet

P = valmiit hyödykkeet

W_P = tuotannossa syntyvät jätteet

W_U = käytössä syntyvät jätteet (sisältää myös itse tuotteet, sen jälkeen kun niitä on lakattu käyttämästä)

$W_1 = W_{P1} + W_{U1}$ = uudelleen käytetyt jätteet

$W_2 = W_{P2} + W_{U2}$ = takaisin luontoon päätyneet jätteet

Tase (3) kuvaa sitä, että kaikki luonnosta käyttöönotetut ainekset joutuvat lopulta takaisin luontoon. Jos oletetaan, että tuotannosta luodaan hetkellinen poikkileikkaus, jossa kaikki tuotteet ja jätteet poistuvat välittömästi tuotantoprosessista eikä mitään varastointia tapahdu, yhtälö (1) pitää aina paikkaansa. Sen sijaan yhtälö (2) ja (3) pitävät paikkaansa ainoastaan pitkällä aikavälillä. Tarkasteltaessa taloutta esimerkiksi vuositasolla aineelliselta vauraudeltaan kasvavassa taloudessa yhtälöiden (2) ja (3) vasemmat puolet ovat minä tahansa lyhyenä aikaperiodina yhtälöiden oikeita puolia suuremmat, koska luonnonympäristöstä otetut raaka-

⁶ International Society for Ecological Economics (ISEE)

aineet ovat varastoituneet talousjärjestelmään. Ennen pitkää kuitenkin kaikki raaka-aineet palautuvat muodossa tai toisessa takaisin luontoon. Massatasapainoperiaate luo näin pohjan yhteiskunnan luonnonvarakäytön kestävyuden tarkastelulle. (mt., s. 163-164).

Jos oletetaan, että yhteiskunnan hyvinvointi riippuu sen materiaalisesta vauraudesta, materiaalitasenäkökulman voi ilmaista myös yhteiskunnan hyvinvointifunktiona. Sen komponentteja Pulliaisen (1979, s. 163-167) mukaan ovat:

$S(t)$ = yhteiskunnan vaurausvaranto, joka sisältää kaikki aineelliset hyödykkeet, joita käytetään nyt tai tullaan käyttämään myöhemmin

$R(t)$ = tuotteiden valmistamisen vaatima raaka-ainepanos

$W_2(t)$ = luonnonympäristöön päätyneet jätteet

Nämä tekijät voidaan koota yhteiskunnan hyvinvoinnin materiaalistaustaksi ja esittää hyvinvointifunktiona (Yhtälö 4):

$$(4) \quad U(t) = U [S(t), R(t), W_2(t)]$$

missä symbolilla $U(t)$ merkitään yhteiskunnan hyvinvointia periodina t .

Tietyn tasoisen vaurausvarannon $S(t)$ avulla voidaan luoda enemmän hyvinvointia, mikäli talouden ”palvelutehokkuus” lisääntyy. Palvelutehokkuuden käsitteen otti aikanaan Daly (1977, s. 36-38) käyttöön kuvaamaan vaurausvarannosta saatavien hyvinvointipalveluiden ja vaurausvarannon suuruuden suhdetta. Palvelutehokkuuden voi myös nähdä melko yhdenmukaisena käsitteenä seuraavassa luvussa 3.2.1 esiteltävän ekotehokkuuden kanssa.

Palvelutehokkuuden lisäksi luonnonvarojen käytöllä, resurssien ehtymisellä ja jätteiden muodostumisella on suoria vaikutuksia hyvinvointiin. Oletuksena on, että vaurausvarannon lisääntyminen (*ceteris paribus*) lisää hyvinvointia, mutta raaka-aineiden käytön ja jätteiden muodostumisen lisäys (*ceteris paribus*) vähentää yhteiskunnan hyvinvointia. Hyvinvoinnin teoretisoinnin ongelmana on kuitenkin edelleen, minkälaiset painotukset funktion (4) argumenteille tulisi antaa, jotta sen soveltaminen olisi mielekästä yhteiskunnan todellisen hyvinvoinnin tarkasteluun. (Pulliainen 1979, s. 167-168).

Yhteiskunnan materiaalisesta hyvinvointiperustan mallintamisen lisäksi termodynamiikan oppeja voidaan käyttää perustana yhteismitallisten ympäristöindikaattorien kehittämisessä (mm. Georgescu-Roegen 1972, s. 4-9; Daly 1996, s. 194; Ayres 1998, s. 199-206; Schmidt-Bleek 2000, s. 24-26). Tällöin perusajatukseksi on, että ihmisen toimesta tapahtuvan entropian lisääntymisen katsotaan ilmentävän ympäristöongelmia, jolloin entropian muutosta voidaan käyttää yleisluontoisena indikaattorina ihmisen toiminnan aiheuttamille ympäristövaikutuksille. Massatasapainoperiaate taas helpottaa ympäristömuutoksen suurten linjausten mittaamista, koska suuntaa antavasti riittää, että mitataan panoskäyttöä ympäristövaikutusten sijaan. Samalla tarkastelunäkökulma siirtyy jälkien siivoamisesta ympäristövaikutusten ehkäisyyn. (Schmidt-Bleek 2000, s. 24-26).

Tässä tutkimuksessa käyttämäni menetelmät juontavat teoriaperustaltaan etenkin massatasapainoperiaatteen soveltamiseen. Keskeinen uusi näkökulma on kuitenkin ekotehokkuus, jota näiden menetelmien katsotaan kuvaavan. Ekologista selkäreppua ja siihen rinnastettavaa MIPS:iä⁷ on ehdotettu yhteismitalliseksi mittapuuksi, jolla eri tuotteiden ekotehokkuutta, metallin tuotannosta jogurtin valmistukseen, voidaan vertailla keskenään (Schmidt-Bleek 1992; 1994; 2000). Toinen tapa lähestyä asiaa on tarkastella energian ja etenkin fossiilisten polttoaineiden käyttöä. Energiaa on ehdotettu (mm. IFIAS 1975; Dalgaard ym. 2001) ekologisista ja taloudellisista järjestelmiä yhdistäväksi mittariksi. Energiatehokkuuden katsotaan myös osaltaan kuvaavan ekotehokkuutta. Energiatarkastelun eduksi voi katsoa, että siinä tarkastellaan edellistä indikaattoria helpommin yhteismitallistettavia asioita. Tässä tutkimuksessa käytetty maatalouden energia-analyyysitapa pohjaa IFIAS:in⁸ (1974) ja Dalgaardin ym. (2001) esittämään lähestymistapaan.

3.2 Ekotehokkuus

3.2.1 Luonnonvarojen optimoinnista ekotehokkuuteen

Ympäristökeskustelu ilmentää aikakautensa trendejä. 1960-luvun lopulla ja 1970-luvun alussa herättiin huomaamaan luonnonvarojen rajallisuus. Yhteiskuntien ja teollisuuden hallittomuus rakenteellisiin uudistuksiin kuitenkin säilyi öljykriisistä, synkistä ennusteista ja talouden lamasta huolimatta. 1980-luvulle siirryttäessä uudet luonnonvaralöydöt saivat aikaan huomion siirtymisen luonnonvarojen niukkuudesta tuotantoprosessien haitallisten sivuvaikutusten puhdistamiseen ja vähentämiseen. (Hoffrén 1998, s. 19).

1980-luvulla ympäristö institutionalisoitui osaksi länsimaiden julkishallintoa ja kansainvälisiä julkisyhteisöjä. Huomattiin kuitenkin etteivät piipunpääsuodattimet ja jätevesien puhdistaminen vielä riitä. Paikallisten ympäristöongelmien ratkaisusta jouduttiin heräämään koko maailmaa koettelevien ympäristöongelmien, otsonikadon ja ilmastonmuutoksen aikakauteen. Enää huolenaiheena ei ollut 1970-luvun tapaan luonnonvarojen riittävyys, vaan ihmisen toimesta tapahtuva maapallon ekosysteemin toimintojen vaarantuminen. 1960- ja 1970-luvuilla käyty luonnonvarakeskustelu sekä ”avaruusalusmaa” ja ”vakaan tilan talous” käsitteellisinä työkaluina loivat kuitenkin olennaisen pohjan siirryttäessä seuraavaan muotikeskusteluun, kestävän kehitykseen. (Yhteinen tulevaisuutemme 1987; Edwards-Jones ym. 2000, s. 26).

Kestävä kehitys -käsitteen lanseerasi Yhdistyneiden kansakuntien (YK) ympäristö ja kehitysjärjestön UNCED:in⁹ asettama komissio Yhteinen tulevaisuutemme -raportissaan vuonna 1987. Komissio määritteli kestävän kehityksen kehitykseksi, joka tyydyttää nykyiset tarpeet vaarantamatta tulevien sukupolvien kykyä omien tarpeidensa tyydyttämiseen (Yhteinen tule-

⁷ Material Input per Service Unit (MIPS)

⁸ International Federation of Institutes for Advanced Studies (IFIAS)

⁹ United Nations Commission on the Environment and Development (UNCED)

vaisuutemme 1987, s. 26). Tämän lisäksi kestävyyttä innostuttiin määrittelemään kymmenillä eri tavoilla. 1990-luvulla kestävä kehitys löysi tiensä poikkileikkausperiaatteella lähes jokaiseen toimintaohjelmaan, mietintöön, julkilausumaan, yritysstrategiaan ja politiikkaan. Termin ylenpalttisesta viljelystä ja määrittelyongelmista johtuen se koettiin sisällöltään nopeasti melko sisällöttömäksi käsitteeksi.

Käytännön toiminnan tarve nosti esiin uuden lähestymistavan, ekotehokkuuden (eco-efficiency). Laajaan keskusteluun ekotehokkuus -käsitteen nosti elinkeinoelämän ympäristöjärjestö WBCSD¹⁰ Rion ympäristö- ja kehityskonferenssin yhteydessä vuonna 1992. Sittemmin useat eri tahot ovat ottaneet ekotehokkuuden esille työskentelyssään. Muun muassa teollisuusmaiden yhteistyöjärjestö OECD¹¹ on määritellyt ekotehokkuuden seuraavasti: ”Ekotehokkuus on kvantitatiivisiin panos/tuotos-mittauksiin perustuva toimintastrategia, jolla pyritään maksimoimaan energian ja materiaalien tuottavuus. Tavoitteena on vähentää resurssien kulutusta ja päästöjä tuotantoyksikköä kohti ja samalla tuottaa kustannussäästöjä ja kilpailuetua”. (Lettenmeier 2000, s. 12).

Kustannussäästöjä ja kilpailuetua yritysmaailmalle syntyy tuotantoteknisten uudistusten ja ekoinnovaatioiden ansioista sekä tuotantopanosten käytön vähenemisestä tuotettua yksikköä kohti aiheutuvien säästöjen myötä (Rennings 2000, s. 319-320). Ekotehokkuuteen liittyy olennaisesti myös ”jatkuvan parantamisen” tavoite (Reith 2001, s. 78). Sama tavoite, joka on yritysmaailmalle tuttu muun muassa EMAS ja ISO 14 001¹² ympäristösertifikaateista.

Yleisesti ekotehokkuus tarkoittaa sitä, että ”vähemmästä” pyritään tuottamaan ”enemmän”, jolloin syntyy ns. laadullista kasvua (Hoffrén 1998, s. 8). Hoffrén (1998, s. 6) lisää ekotehokkuuden käsitteeseen, hieman yritysmaailman näkemyksiä haastaen, vaatimuksen oikeudenmukaisesta hyvinvoinnin jakautumisesta: ”Yhä pienemmästä määrästä materiaaleja tulee tuottaa suhteellisesti enemmän taloudellista hyvinvointia entistä oikeudenmukaisemmin jakautuneena“. Ekotehokkuuteen liitetään usein myös kohtuullisuuden periaate. Etenkin ekotehokkuutta ajavien ympäristöjärjestöjen mielestä on harkittava, kuinka korkeaa elintasoa tavoitellaan maailmassa, jossa kaikki eivät voi tällä hetkellä täyttää edes perustarpeitaan. (Rissa 2001, s. 14).

Käytännön ekotehostamisen tarvetta on konkretisoitu dematerialisaatiotavoitteiden ”factor 4” ja ”factor 10” avulla. Niillä tarkoitetaan materiaali-intensiivisten (teollisuusmaiden) luonnonvarojen käytön alentamista keskipitkällä aikavälillä (20-30 vuotta) neljänteen osaan ja pitkällä aikavälillä (30-50 vuotta) kymmenenteen osaan nykyisestä. Kehitysmaille katsotaan riittävän factor 4 -mukainen dematerialisaatiotavoite. (Hoffrén 1998, s. 6; Schmidt-Bleek 2000, s. 82-87). Merkittävää tehostamiskertoimissa ei ole kuitenkaan täsmällinen luku vaan suuruusluokka. Etenkin materiaali-intensiivisten maiden on radikaalisti vähennettävä luon-

¹⁰ World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)

¹¹ Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)

¹² EMAS ja ISO 14 001 ovat organisaatioiden ympäristöasioiden hallintaa tukevia sertifiointijärjestelmiä.

nonvarojen käyttöä, jotta ekosysteemin toiminnot voisivat pysyä häiriintymättöminä. (Schmidt-Bleek 2000, 182-184.) Ekotehokkuuden moninkertaistaminen edellyttää sosiaalisten ja teknologisten innovaatioiden lisäksi myös hyvinvoinnin ja kulutuksen muuttamista määrällisestä laadulliseen suuntaan (Rissa 2001, s. 36-37).

Factor 4 ja 10 –tavoitteet ilmentävät sitä, miten 1970-luvulla harjoitetusta luonnonvarojen käytön yhteiskunnallisesta optimoinnista on siirrytty huomattavasti suoraviivaisempaan yleiseen luonnonvarojen käytön tehostamispyrkimykseen. Ekotehokkuus ei tarjoakaan mitään välineitä määrittellä, millainen tuotanto- ja kulutustaso on kestävä. Olennaista on tuottaa vähemmästä enemmän. Onkin helposti nähtävissä, että vaikka talouden kehitys olisi ekotehokasta, saattaa kulutuksen absoluuttinen kasvu mitätöidä saavutettavat hyödyt. (Sustainable...1997, s. 24).

Ekotehokkuuskäsitteen heikkoutena on, että kaikki luonnonvarojen käyttöä vähentävä toiminta on ekotehokasta. Ekotehokkuus keskittyy panosten tarkasteluun (input), ei siihen mitä vaikutuksia (output) aikaansaattaa palvelua tai tuotetta lukuun ottamatta luonnonvarojen käytöllä mahdollisesti on. Tällöin ekotehokkuuden nimissä saatetaan korvata tietyn raaka-aineen käyttöä toisella raaka-aineella, jonka materiaalien ja energiakulutus on pienempi, mutta jonka vaikutukset ovat luonnonympäristössä tai sosiaalisessa ympäristössä huomattavasti suuremmat. Uhkana on myös niin sanottu ”rebound efekti” eli ekotehokkuudella saatu hyöty syödään muualla tuotannossa. Näin on käynyt esimerkiksi metsäteollisuuden energiänsäästöohjelmassa: energiakulutus tuotettua tonnia kohti on noussut, koska ohjelman myötä syntynyt tieto on käytetty paperin laadun nostamiseen. Ekotehokkuus on näin merkinnyt pelkkää taloudellista tehokkuutta. (Rissa 2001, s. 13).

Vaatumuksia onkin esitetty, että ekotehokkuuden edistämisen ohella tulee määrittellä täsmälliset ympäristön laadun ohjeavot, jotka asettavat ekologiset rajat tuotannolle ja kulutukselle. Samalla ekotehokkuuden tavoite tulee sitoa osaksi muita kulutuksen laatua ja määrää sääteleviä toimintoja sekä tavoitteita, kuten hyvinvointi- ja elämäntapanäkökohtia. (Sustainable...1997, s. 24). Toisaalta, ekotehokkuuteen liittyvän ”jatkuvan parantamisen” -tavoitteen voi nähdä kumoavan tarpeen määrittellä absoluuttisia rajoja. Etenkin yritysmaailma elää ympäristöasioissa hyvin kilpailurajoittuneessa toimintaympäristössä, jossa täytyy edetä pienin askelin (Sonntag 2000, s. 101-102). Kestävässä kehityksessähän kyse on kehityksestä kohti nykyistä kestävämpää tilaa, ei absoluuttisesta kestävydestä.

EU:n (1997) tekemässä ekotehokkuusaloitteessa todetaan, että ekotehokkuudesta on tehtävä ”operatiivinen, konkreettinen ja toimintasuuntautunut” (Lettenmeier 2000, s. 12-13). Tavoitteena ekotehokkuudessa on niin kutsuttu ”irtikytkentä” (decoupling). Tämä tarkoittaa kehitystä, jossa talous kasvaa, mutta luonnonvarojen kulutus ja päästöt samaan aikaan vähenevät. (Rissa 2001, s. 34). Markkinahenkinen retoriikka henkii yritysmaailman voimakasta läsnäoloa. Erityisesti yritysmaailman organisaatiot ovat omaksuneet ekotehokkuuden vihertäväksi ohjenuorakseen (mm. OECD Policy Brief 1998; World Bank 2000; Comission of the European Communities 2001; World Business Council for Sustainable Development 2001).

Ekotehokkuuden omaksumisen helppous on siinä, että se käy hyvin yksiin yritysmaailman keskeisen dogmin, tuotannon rationalisoinnin kanssa. Vähemmistä raaka-aineista kannattaa tuottaa enemmän. Tosin voisi kuvitella, että taloudellista tuottoaan optimoivilla yrityksillä ekotehokkuusinvestointien rajahyödyn ja raaka-aineiden hinnan välinen ero tulee varsin nopeasti kurottua umpeen. Sen jälkeen tuotannon ekotehostaminen ei ole enää taloudellisesti mielekäästä, ellei sitten raaka-aineiden hintojen odoteta kohoavan tulevaisuudessa tai yritykselle pyritä luomaan ”vihreää kilpailukykyä”. (Sonntag 2000, s. 101-102).

Vaikka ekotehokkuuden voi nähdä hyvin markkinahenkisenä strategiana, se on nähty myös viitekehystenä, jonka avulla voidaan vaikuttaa mahdollisesti myös julkisen sektorin ja kotitalouksien toimintaan ja toiminnan tavoitteisiin (Sustainable...1997, s. 23). Nämä ovatkin olennaisessa roolissa, sillä siinä vaiheessa kun taloudellisesti kannattavat ekotehokkuusinvestoinnit on tehty, täytyy kuluttajasegmentistä löytyä riittävä joukko, joka kilpailevista tuotteista valitsee hinnaltaan ehkä kalliimman mutta ekotehokkaamman vaihtoehdon. Myös julkisella sektorilla on olennainen merkitys, sekä julkisinstitutionaalisen ympäristön muokkajana (esimerkiksi lainsäädännön) että suurena palveluiden ja tuotteiden hankkijana. (Georg 1999, s. 461-493).

Keskeinen tapa, jolla yhteiskunnan dematerialisaatiota katsotaan voivan tapahtua, on siirtyä materiaalisia tuotteita painottavasta taloudesta palveluiden tuotantoon. Ekotehokkaassa taloudesta kulutuksen keskiössä eivät ole enää tuotteet itsessään, vaan ne palvelut, joita tuotteet ylläpitää. Mitä pitempään ja mitä vähemmällä materiaalipanoksilla tuote kykenee tarjoamaan palveluita, sitä ekotehokkaampi se on. Tällä tavoin ekotehokkuusajattelu auttaa siirtymistä läpivirtausyhteiskunnasta ylläpito-yhteiskuntaan. (Rissa 2001, s. 25).

3.2.2 Ekotehokkuus maataloudessa

Maatalouden ruoantuotos peltohehtaaria tai eläinyksikköä kohti on noussut ”vihreän vallankumouksen” myötä huomattavasti. Tuottavuuden kehitys on kuitenkin tapahtunut tuomalla jatkuvasti lisää uusiutumattomia luonnonvarapanoksia järjestelmään. Tätä kehityslinjaa, teknologista modernisaatiota, on Suomessakin valtio tukenut voimakkaasti (Jokinen 1995, s. 66). Modernisaation välineinä on käytetty työvoimaa säästävän (motorisoidut tuotantovälineet) ja tuotantoa lisäävän (lannoitteet ja torjunta-aineet) teknologian edistämistä sekä eläin- ja kasvilajikkeiden jalostamista (Luoma 1993, s. 57-64). ”Halvan ruoan” maatalouspolitiikan tavoitteena on ollut tuottaa kuluttajille hyvälaatuista ja kohtuuhintaista ruokaa, huolehtia viljelijöiden tulotasosta ja ennen kaikkea taata ruoan tuotannon kansallinen omavaraisuus (Jokinen 1995, s. 65). Pula-aikoja nähneelle kansalle omavaraisuus ja ruoan riittävyys ovat olleetkin ymmärrettäviä tavoitteita.

Maatalouspolitiikan omavaraisuusongelma kääntyi kuitenkin jo 1960-luvulla Suomessa yli-tuotannon ongelmaksi (Jokinen 1995, s. 66). 1970-luvulla, öljykriisin herättämänä eräät tietentekijöistä jo havaitsivat, että maataloustuotannon tehostaminen on itse asiassa johtanut aiempaa tehottomampaan tuotantoon. Agroekologian pioneerityössä Odum (1971) nosti

huolenaiheeksi fossiilisten polttoaineiden käytön. Pimentel ym. (1973) huomasivat, että aikaisemmin nettotuottajana toiminut maatalous olikin nykyisellään hyötysuhteeltaan huomattavan heikko: kasvaneet viljasadot vaativat jatkuvasti kasvavien luonnonvarapanosten käyttöä. (Dalgaard ym. 2001, s. 52). Ylituotannosta ja panoskäytön heikokkosta hyötysuhteesta huolimatta tuotannon tehostaminen panoskäyttöä lisäämällä on jatkunut aivan viime vuosiin saakka.

Modernia maataloutta kutsutaan myös ”teho”maataloudeksi. Ekotehokkuuden näkökulmasta tehomaatalouden ongelmana on, että tuotannon kehittämisen optimointikriteerinä on pitkään ollut, ylituotannosta huolimatta, tuotannon kasvattaminen hinnaltaan edullisia uusiutumattomia luonnonvarapanoksia käyttämällä. Jotta tehomaatalous olisi myös ekotehokasta, se vaatisi tuotannon optimoimista luonnonvarojen käytön suhteen. Markkinoiden hintamekanismi ei tähän ainakaan vielä ohjaa, mutta esimerkiksi tukipolitiikalla siihen voidaan vaikuttaa.

Suomen maatalouden panoskäyttö esimerkiksi kasvoi 1980-luvun loppuun saakka. Saavuttaessa 1990-luvulle voi katsoa tapahtuneen jo lievää ekotehostumista. Tällöin lannoitteiden ja torjunta-aineiden myyntimäärät laskivat sekä absoluuttisesti että hehtaaria kohti laskettaessa, kun taas satotasoissa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia. (Risku-Norja 2000, s. 25-26).

Vaikka edellä mainittu Risku-Norjan tutkimuksen aikasarja ei riitä kuin vuoteen 1997 asti, voinee ekotehostumista olettaa tapahtuneen etenkin 1990-luvun loppupuolella ja 2000-luvun alussa. Tämä johtuu Euroopan Unioniin liittymisen yhteydessä tapahtuneesta merkittävästä maatalouden tukipolitiikan muutoksesta, jossa siirryttiin tuotekohtaisesta hintatuesta EU:n yhteisen maatalouspolitiikan mukaiseen hehtaariperusteiseen tukeen. Hehtaariperusteisessa tukijärjestelmässä viljelijän ei kannata maksimoida satoja, vaan optimoida panoskäyttöä suhteessa saatuihin satoihin. Kun nykyään sadosta saatava tulo muodostaa entistä pienemmän osan ja hehtaariperusteiset tuet taas entistä suuremman osan maatalouden tulosta, viimeisen käytetyn panosyksikön tuoma rajahyöty tulee vastaan entistä nopeammin.

Hehtaariperusteisella tukipolitiikalla on luonnollisesti omat ongelmansa, muun muassa viljelijöiden työmotivaation väheneminen, joka johtaa esimerkiksi näennäisviljelyyn. Ekotehokkuuden näkökulmasta parempi vaihtoehto olisikin pysyä edelleen tuotekohtaisessa hintatuesta, mutta kohottaa tuotantopanosten hintoja esimerkiksi verotuksella. Tämä loisi yllykkeen tuottaa korkeita satoja vähällä panoskäytöllä.

Tukipolitiikan ohella maatalouden ekotehokkuutta voidaan lisätä kehittämällä tuotantojärjestelmiä ja -tekniikoita. Tutkimuksen ja kehitystyön piirissä onkin viime vuosina saavutaneet suosiota ympäristöystävällisyyteen pyrkivät ”vihreät” ja ”low-input” tuotantotekniikat. Erilaisia tapoja vähentää sekä maatalouden luonnonvarakäyttöä että haitallisia ympäristövaikutuksia on useita. OECD-maissa muun muassa IP-tekniikka¹³ on vähentänyt huomattavasti

¹³ Integrated Pest Management (IP)

maatalouden torjunta-aineiden käyttöä. Muita tekniikoita ovat viljelykierrot, kehittyneet lannan varastointi- ja levitysmenetelmät sekä täsmälannoitus. (OECD 1994). Fransman ym. (1995) näkee, että tulevaisuudessa myös bioteknologia voi merkittävästi vähentää torjunta-aineiden ja kemiallisten lannoitteiden käyttötarvetta. (Shortle & Abler 1999, s. 165). Nämä tekniikat, biotekniikkaa lukuun ottamatta, ovat kuitenkin jo osa tavallista hyvää viljelykäytäntöä. Radikaalimpaa suuntaa edustavat Bleken ja Bakken (1997), jotka ehdottavat eläinten käytön vähentämistä maataloudessa, Pimentel ja Pimentel (1996) taas laajamittaista siirtymistä luonnonmukaiseen viljelyyn (Dalgaard ym. 2001, s. 52).

On kuitenkin huomattava, että ekotehokkuus ei tarkoita vielä sitä, että tuotanto olisi kestävä. Ekotehokkuushan vaatii vain, että mitattavana oleva panoskäyttö hyödykeyksikköä kohti vähenee nykyisestä. Kestävä panoskäytön taso tai panoskäytön vaikutuksia ei yleensä ekotehokkuustarkastelussa pyritä määrittelemään. Ekotehokkuus on osa maatalouden kestävyttä, mutta sen lisäksi maatalouden kestävyys sisältää huomattavan monitahoisen kokonaisuuden ekologisia, taloudellisia ja sosiaalisia tekijöitä (Yli-Viikari 2000, s. 16-18). Ekologisen kestävyden määrittää ennen kaikkea ekosysteemin oma toiminta, joka perustuu luonnonlakeihin. Taloudellinen ja sosiaalinen kestävyys ovat taas enemmänkin sopimuskysymyksiä, jotka riippuvat kulloisestakin yhteiskunnallisesta tavoitteenasettelusta. Yhteiskunta voi päättää, minkälainen maatalouden harjoittaminen on sen mielestä taloudellisesti kestävä. Erilaisin politiikan keinoin voidaan määritellä sellainen maataloustulon taso, joka pitää tuotannossa halutun määrän halutun tyyppisiä tuottajia. (Aakkula 1999, s. 5).

Kaikesta huolimatta maatalouden energia- ja materiaalipanoskäytöllä on merkittäviä vaikutuksia kestävyden kolmeen osa-alueeseen. Ekologiseen kestävyteen vaikuttaa lähinnä uusiutumattomien luonnonvarojen käytöstä aiheutuvat haitalliset päästöt sekä tuotantoekosysteemin liian tehokas hyödyntäminen suurten energiapanosten avulla. Sosiaaliseen kestävyteen muun muassa se, että työmahdollisuudet maaseudulla ovat vähentyneet kun koneet ja energian käyttö ovat korvanneet työvoiman tarvetta. Autioituminen vaikuttaa maaseutualueiden peruspalveluiden tarjontaa ja vähentää mahdollisuuksia sosiaaliseen kanssakäymiseen. Taloudellista kestävyttä taas heikentää, että maatalous on nykyisin hyvin riippuvainen maatilalan ulkopuolelta tuoduista tuotantopanoksista ja niiden hinnasta.

4 Menetelmät

4.1 Ekologinen selkäreppu

Saksalainen Wuppertal-instituutti on tehnyt kansantaloutta kokonaisuutena tarkastelevaa materiaalivirtatutkimusta vuodesta 1992 saakka. Mallintamis- ja laskentatyö perustuu termodynamiikan lakeihin sekä erityisesti Kenneth Bouldingin ja Herman Dalyn teoreettisiin töihin. (Hoffrén 1998, s. 23). Lähtökohtana on luonnosta saatavien primaarimateriaalien muuttuminen teknosfäärin prosesseissa ihmisen kannalta käyttökeltvottomaan muotoon, loppusijoitettaviksi jätteiksi. Tällainen materiaalien läpivirtaus on leimallista teollistuneiden maiden nykyiselle tuotantorakenteelle (mm. Daly 1991, Ayres & Simonis 1994). ”Läpivirtaustalous” -ajattelu on ollut myös Wuppertal Instituutin materiaalivirta-ajattelun lähtökohtana. (Hoffrén 1998, s. 23-24; Hinterberg ym. 1997, s. 10).

Materiaalivirtalaskennan keskeisen kehittäjän Friedrich Schmidt-Bleekin (1993, 1998, 2000) mukaan perinteisessä ympäristönsuojelussa painopisteenä ovat olleet haitalliset myrkyt, päästöt ja jätteet, joilla saattaa olla vaikutuksia lähinnä ihmisen terveyteen. On jätetty lähes huomiotta, että ihminen käyttää ja siirtää materiaallisen hyvinvoinnin tuottamiseksi valtavia määriä sinänsä myrkyttömiä aineita, ja että näiden aineiden käyttö muuttaa ekosysteemejä jatkuvasti suuressa mittakaavassa ympäri maailmaa. Uusiksi uhkakuviksi ovat nousseet koko maailmaa koskettavat ympäristömuutokset. Eipä kovin moni osannut 20 vuotta sitten odottaa hiilidioksidin, täysin luonnollisen aineen, ja muiden kasvihuonekaasujen muodostuvan 2000-luvun alun ympäristönsuojelun merkittävimmäksi huolenaiheeksi. On siirrytty aikakauteen, jossa maailmanlaajuiset ympäristömuutokset uhkaavat koko ekosfäärin nykyisenkaltaista elämää. Potentiaalisia ympäristömuutosten aiheuttajia ovat kaikki materiaalivirrat, joita ihmisen talouskoneisto liikuttaa. (Schmidt-Bleek 2000, s. 24-26).

Materiaalivirta-ajattelun perusoivalluksena on, että pelkästään ympäristömyrkyihin keskittymällä ei saada kuvaa ihmisen toiminnan todellisista vaikutuksista biosfääriin. Pitkällä tähtäimellä merkittävämpiä ovat suuret ainevirrat. Ympäristöhaitat ovat yleisesti ottaen sitä suurempia mitä enemmän prosessien alkupäässä otetaan materiaaleja talouden käyttöön ja tuhlataan tehottomien tuotantomenetelmien takia. (Hoffrén 1998, s. 6). Kiinnittämällä huomio materiaalivirtoihin ja niiden pienentämiseen voidaan ennaltaehkäistä sellaisiakin ympäristöongelmia, joita ei vielä lainkaan tunneta. Tällöin keskitytään kaikkien ympäristöongelmien yhteiseen perussyhyyn näkyvissä olevien ongelmien sijaan. (Schmidt-Bleek 2000, s. 24-26).

Tässä tutkimuksessa käytän Wuppertal-instituutissa kehitetystä tuotekohtaisesta materiaalikulutusmittarista MIPS (Material Input Per Service unit) sovellettua ekologista selkäreppua. MIPS -laskenta perustuu Schmidt-Bleekin (1993, 1998, 2000) esittämään laskentatapaan. Esittelen ensin MIPS:in perusteet, koska ekologinen selkäreppu perustuu siihen.

Keskeistä MIPS -ajattelussa on, että tuotekohtaisesta tarkastelusta siirrytään tuotteen aikaansaaman palvelun, palvelusuoritteen tarkasteluun. Tuotteita tuotetaan, jotta ne tarjoisivat pal-

veluita, esimerkiksi tietokoneet tarjoavat tekstinkäsittelypalveluita ja tuolit istumapalveluita. Tästä seuraa aiempaa luovempi lähestymistapa tuotteiden ympäristövaikutusten vähentämiseen. Tuotteiden sijasta pyritään kehittämään palvelutuotantoa siten, että tuote korvataan palvelulla kokonaan (esimerkiksi puhelinvastaajan voi vaihtaa vastaajapalveluun) tai kehitetään kertakäyttötuotteiden sijaan pitkäikäisiä tuotteita. Ajattelutapa edistää yhteiskunnan dematerialisaatiota. (Schmidt-Bleek 2000, s. 123-127).

Materiaalivirtoja mitataan tarkastavan palvelusuoritteiden aikaansaamiseksi käytettyjen materiaalien massa perustuen. Mittayksikkönä on kilogramma (kg) tai tonni (t). Myös energiankulutus sisällytetään laskelmaan materiaalikiloina tai tonneina. Se tapahtuu käytettyjen energiamuotojen tuotannon vaatimat materiaalipanosten perusteella. (Rissa 2001, s. 58-59).

MIPS-mittarissa M (material) kuvaa kaikkea materiaalivirtaa, jota ihminen ottaa luonnosta ja joka aikanaan päätyy sinne jossain muodossa takaisin. Luontoon takaisin päätyviä aineita, saasteita ja jätteitä, mittari ei kuitenkaan huomio, vaan se keskittyy ainoastaan panoksiin I (input). Näiden yhdistelmä MI (material input) on tuotteen elinkaaren aikaisten kaikkien, sekä suorien että epäsuorien, materiaalipanosten summa. Suorat materiaalipanokset ovat sellaisia, jotka sisältyvät itse lopputuotteeseen. Epäsuoria, niin sanottuja piilovirtoja, ovat taas panokset, joita käytetään lopputuotteen valmistuksessa, mutta ne eivät näy itse tuotteessa. Jos (n) tarkoittaa eri tuotantovaiheissa tapahtuvia suoria materiaalipanoksia ja (k) piilovirtoja, tuotteen elinkaaren aikainen materiaalien kulutus MI_{kok} voidaan kirjoittaa seuraavaan muotoon (Yhtälö 5):

$$(5) \quad MI_{kok} = \sum_{n=1}^N MI_n + \sum_{k=1}^K MI_k$$

Saksalaisessa Wuppertal-instituutissa materiaalikäyttökertomia (MI) on määritetty monille teollisuustuotteiden raaka-aineille. Laskentatyötä on tehty yhteistyössä yritysmaailman kanssa käyttäen pohjana myös eri toimialojen kansallisia tai OECD-maiden materiaalikulutustilastoja. Luvut ovat nykytietämykseen perustuvia keskiarvoja, jotka tarkentuvat jatkuvasti.

MIPS-mittarissa S (service unit) on tuotteen palvelusuorite. Palvelusuorite kertoo esimerkiksi ajetun kilometrimäärän, puhdistettujen pyykkikilojen tai tuotteen käyttökertojen määrän. MIPS saadaan jakamalla kokonaiskulutus MI käyttökertojen määrällä S. Mitä useammin tai pidempään tuotetta voidaan käyttää, sitä pienempi on sen MIPS-arvo. MIPS voidaan laskea seuraavan kaavan avulla (Yhtälö 6):

$$(6) \quad MIPS = \frac{MI_{kok}}{S} = \frac{\text{materiaalipanokset}}{\text{palvelusuorite}}$$

Tässä tutkimuksessa palvelusuoritteen S osuutta ei kuitenkaan tarvita koska tutkimuksen kohde, sianliha on kertakäyttötuote, jolloin sen S-arvo on tasan yksi. MI_{kok} -arvo pitää sisälleen tuotteen kaiken elinkaaren aikaisen materiaalipanoksen sisältäen myös itse lopputuotteen painon. Lopputuotteen painoakaan ei tässä yhteydessä ole mielekäästä sisällyttää laskelmaan, koska jokainen tietää ostaessaan kilon sianlihaa ostavansa kilon sianlihaa. Siksi käytänkin MIPS:istä sovellettua ekologinen selkäreppu -indikaattoria ES. Se sisältää ne aine määrät, jotka on otettu luonnosta tuotteen valmistukseen MI_{kok} , mutta jotka eivät sisälly itse tuotteeseen. Jos lopputuotteen massaa merkitään arvolla P ekologinen selkäreppu saadaan laskelmalla (Yhtälö 7 ja 8):

$$(7) \quad ES = \sum_{n=1}^N MI_n + \sum_{k=1}^K MI_k - P$$

eli

$$(8) \quad ES = MI_{kok} - P$$

Wuppertal-instituutti on viime vuosina alkanut erotella ekologisia selkäreppuja viiteen eri ryhmään. Näitä ovat: 1) vesi, 2) ilma, 3) maaperän siirtyminen maa- ja metsätaloudessa (lähinnä eroosio), 4) uusiutuva biomassa ja 5) uusiutumattomat (abioottiset) materiaalit. Tämä siksi, että eri luokkien aineiden katsotaan eroavan sekä vaikutuksiltaan että käyttömääriltään huomattavasti. On havaittu, että etenkin vesi peittävää helposti alleen kaiken muun informaation, jolloin on mielekäästä huomioida veden käyttö erillisenä selkäreppuna. (Schmidt-Bleek 2000, s. 132-134).

Veden merkittävyys osana tuotantoprosessin mahdollista ympäristökuormitusta riippuu luonnollisesti aina tilanteesta. Suomessa vettä riittää yllin kyllin, joten veden käyttö ei ole kovinkaan merkityksellistä, kun taas suuressa osassa maailmaa vedestä on puutetta, jolloin sen käyttö saattaa olla hyvinkin merkityksellistä. Usein selkärepuista puhuttaessa tarkoitetaan pelkästään uusiutumattomien materiaalien selkäreppua. Useat MI-kertoimet onkin määritellyt ainoastaan uusiutumattomat materiaalit huomioiden. Siksi noudatan samaa laskentatapaa myös tässä tutkimuksessa.

MIPS ja ekologinen selkäreppu kertovat ainoastaan hyödykkeen tuottamiseen vaadittujen materiaalipanosten ja niiden piilovirtojen määrän. Mittarit keskittyvät siis ainoastaan panoskäyttöön, ei panoskäytön vaikutuksiin ympäristössä. Schmidt-Bleek (2000) painottaa, että lähestymistapa ei ota huomioon eroja eri ainevirtojen välillä, kuten myrkyllisyyttä ympäristölle tai ihmisille, sillä se keskittyy ihmisen toiminnan kokonaisvaikutuksiin. Lähestymistavalla ei ole tarkoituskaan korvata aineiden myrkyllisyysarviointia, vaan täydentää ekotoksisista arviointia korostamalla taloussuoritteiden materiaali- ja energiakäytön tehokkuutta.

Huomiotta jäävät myös monet muut olennaiset tekijät, kuten luonnon monimuotoisuus, luonnonvarojen oikeudenmukainen jakautuminen tai talouden toimintojen pinta-alan kulu-
tus. (Schmidt-Bleek 2000, s. 127-129; Rissa 2001, s. 60).

4.2 Energia-analyysi

Energia-analyyseissa selvitetään tuotteen tuottamiseen suoraan ja epäsuorasti tarvitsema energiamäärä (IFIAS 1974). Esimerkiksi lannoitteen valmistuksessa otetaan huomioon lannoiteteollisuuden käyttämän energian lisäksi myös lannoitepanosten valmistamiseen käytetty, niin kutsuttu tukienenergia. Jos energia-analyysiin otetaan mukaan uusiutuvat energialähteet, ne pidetään laskelmissa erillään uusiutumattomista. (Brown & Herendeen 1996, s. 220). Tässä tutkimuksessa käytän FAO:n¹⁴ maatalouden energiakulutuksen määritelmää, joka nojaa IFIAS:in¹⁵ (1974) ehdottamaan energia-analyysitapaan. Siinä kaikki tarkasteltava energia energiamuodosta riippumatta määritellään jouleina (J). Esimerkiksi fossiilisten polttoainesten käytön aiheuttama energiakulutus määritellään niiden palamisen yhteydessä vapautuvan lämmön, eli lämpöarvon perusteella. Tähän lisätään vielä polttoaineen tuotannon aiheuttama energiakulutus. (Daalgard ym. 2001, s. 53).

Hyödykkeen energiakulutus EK kohdennetaan kullekin tuotantoportaalle siihen saakka, kunnes tuotettu hyödyke käytetään panoksena seuraavassa jalostusportaan vaiheessa, esimerkiksi vilja käytetään eläinrehuna (Daalgard ym. 2001, s. 53). Energiakulutus jaetaan suoraan energiakulutukseen EK_{suora} ja epäsuoraan, niin sanottuun tukienenergiakulutukseen EK_{tuki} (Uhlén 1998, s. 445). Suora energiakulutus on tarkasteltavassa tuotantojärjestelmässä tapahtuvaa, esimerkiksi polttoöljyn ja sähkön käyttöä, jonka energiakulutus voidaan määritellä suoraan käyttömäärän perusteella. Tukienenergiakulutusta on taas tuotantopanosten, esimerkiksi sähkön tuotantoon käytetty energiamäärä. Kullekin tuotantopanokselle voidaan laskea sen käytöstä ja panoksen tuotannosta aiheutuva energiakulutus EK_{panos} seuraavan yhtälön mukaisesti (Yhtälö 9):

$$(9) \quad EK_{panos} = EK_{suora} + EK_{tuki}$$

Kun panoskäytön energiakulutus tunnetaan edellä esitetyn mukaisesti, jokaiselle tuotantoprosessin vaiheelle määritellään normikerroin EK_n , joka kuvaa energiakulutusta kussakin tuotantovaiheessa. Tuotantovaiheen energiakulutus riippuu lineaarisesti tuotannon laajuudesta tai määrästä (n). Esimerkiksi kyntötyön energiakulutus määritellään hehtaaria kohden, sadon korjuu taas satotonna kohden ja kuljetukset tonnakilometriä kohden. Eri tuotantovaiheiden aiheuttama kokonaisenergiakulutus voidaan määrittää seuraavasti (Yhtälö 10):

$$(10) \quad \begin{aligned} EK_{panos} * N &= (EK_{suora} + EK_{tuki}) * N \\ &= EK_n * N \end{aligned}$$

¹⁴ The United Nations Food and Agriculture Organization (FAO)

¹⁵ International Federation of Institutes for Advanced Studies (IFIAS)

Kun normikertoimet kunkin tuotantovaiheen panoskäytölle on selvitetty, määritellään tuotantoketjun eri vaiheiden suuruus tai laajuus (n) ja lasketaan koko tuotantoketjun aiheuttama energiakulutus yhteen. Normikertoimet löytyvät taulukoista kutakin lukua käsittelevän luvun kohdalta.

5 Aineisto

Aineistossa esittelen ensimmäiseksi tarkasteltavien tuotantojärjestelmien energiakulutusarvot ja tämän jälkeen tuotantojärjestelmien aiheuttamat materiaalikulutusarvot. Tuotantojärjestelmien aiheuttama panoskäyttö on laskettu käyttäen perusyksikkönä yhtä sianlihatuotantoyksikköä (1000 lihasikaa vuodessa + emakot ja porsaasat). Jossain kohdin laskennallisista syistä perusyksikkönä on käytetty myös yhtä emakkoa ja sen vuosittaista porsastuotosta.

5.1 Panostuotanto

5.1.1 Energiapanokset

Energiakulutus energian tuotannossa

Kaikki energiatuotanto kuluttaa raaka-aineita ja energiaa, esimerkiksi energiatuotannon infrastruktuurin rakentamisessa ja ylläpidossa, jalostuksessa sekä kuljetuksissa. Merkittävimmät sianlihatuotannon arvoketjussa käytettävät energiatuotteet ovat sähkö, kevyt ja raskas polttoöljy sekä maakaasu. Energiatuotannon vaatima energia- ja materiaalikulutus huomioidaan niiden tuotannon vaatimiin panoksiin saakka.

Kaikkien tarkasteltavien energiatuotteiden tukien energiakulutus on suoraan verrannollinen itse energiatuotteen tuotantoon nähden. Kun (n) tarkoittaa kulutettua energiamäärää ja EK_{kok} kulutuksen (n) aiheuttamaa energiatuotannon kokonaisenergiakulutusta (EK_{kok} sisältää sekä tuotetun energiamäärään EK_{suora} että sen tuotannon vaatiman tukien energiamäärän EK_{tuki}), voidaan energiatuotannon kokonaisenergiakulutus tuntien määrittää kullekin energiatuotteelle normikerroin EK_n seuraavasti (Yhtälö 11):

$$(11) \quad \begin{aligned} EK_{kok} * N &= (EK_{suora} + EK_{tuki}) * N \\ &= EK_n * N \end{aligned}$$

Tässä tutkimuksessa käytän selkeyden vuoksi sekä kevyen että raskaan polttoöljyn osalta samoja, kevyen polttoöljyn arvoja. Tämä siksi, että kyseiset tuotteet eivät tämän tutkimuksen tarkastelutarkkuuden rajoissa eroa merkittävästi toisistaan. Yhdestä kilosta kevyttä polttoöljyä täydellisessä palamisessa vapautuu 42,5 MJ. Tämän lisäksi noin 5,9 MJ tukien energiaa kuluu vastaavan polttoöljymäärän valmistamiseen öljytislaamoissa ja öljyn kuljetuksiin (de Boo 1993, Daalgardin ym. 2001, s. 53 mukaan). Tällöin kevyen polttoöljyn normikerroin EK_n muodostuu 48,4 MJ yhtä kiloa polttoöljyä kohti.

Taulukko 1. Energiatuotteiden normikertoimet.

Tuote	Yksikkö	Lämpöarvo	Tukienergia	Normikerroin	Lähde ^a
Polttoöljy	MJ/kg	42,5	5,9	48,4	1, 4
Sähkö	MJ/MJ	1,0	1,16	2,2	2
Maakaasu	MJ/m ³	36,0	1,6	37,6	3
Voiteluöljy	MJ/kg			4,2	4

^a 1) de Boo 1993; 2) Juutinen 2000; 3) Grönroos ja Voutilainen 2001; 4) Daalgard ym. 2001.

Sähkön nettotuotanto on Suomessa 176,4 PJ vuodessa. Sen tuottamiseen tarvitaan polttoaineita 380,3 PJ edestä (Juutinen 2000, s. 8). Tämä tarkoittaa, että jokaista tuotettua MJ sähköä tarvitaan 2,16 MJ edestä polttoaineita. Sähkön normikerroin EK_n on siis 2,16 MJ kulutettua sähkömegajoulea kohti.

Grönroosin ja Voutilaisen (2001, s. 28) Neste Oy:ltä saaman tiedonannon mukaan yhden maakaasukuution tuotantoon kuluu 0,007 kg kivihiiltä ja 0,034 kg raakaöljyä. Itse maakaasua raaka-aineina maasta tarvitaan 0,765 kg. Maakaasun energiasisältö on 36 MJ/m³. Kun siihen lisätään maakaasun tuotannon vaatima kivihiilen 25,2 MJ/kg ja raakaöljyn 42,5 MJ/kg kulutuksen energiasisältö, saadaan maakaasukuution normikertoimeksi (EK_n) 37,6 MJ.

Voiteluöljy ei ole sinällään varsinainen energiatuote, mutta sen kulutus on lineaarisesti sidottu polttoöljyn käyttöön: mitä enemmän polttomoottoria käytetään, sitä enemmän kuluu voiteluöljyä. Voiteluöljyn normikerroin EK_n on Daalgardin ym. (2001, s. 55) mukaan 4,2 MJ käytettyä polttoöljykiloa kohti. Taulukossa 1 on esitetty kunkin energiatuotteen normikertoimet.

Materiaalien kulutus energian tuotannossa

Energiatuotteiden materiaalikäyttöarviot vaihtelevat jonkin verran lähteestä riippuen. Merkittävä ero syntyy siitä, mitä materiaalikäyttöön on laskettu mukaan. Materiaalivirtalaskennassa on huomattu, että veden osuus on niin suuri, että se peittää alleen muun materiaalikäytön. Wuppertal-instituutti on alkanut erotella materiaalikäyttöä viiteen eri luokkaan, joista energiatuotteissa käytetään kolmea. Tällä tavoin laskettuna esimerkiksi polttoöljyn materiaalikulutus on uusiutumattomien materiaalien osalta 1,69 kg/kg, veden 13,91 kg/kg ja ilman 0,048 kg/kg (Schmidt-Bleek 2001, s. 65). Toinen tapa lähestyä asiaa on jättää veden osuus kokonaan pois. Tällä tavoin laskettuna polttoöljyn materiaalikäyttö on 2,5 kg/kg (Manstein 1999, Lista MI-kertoimista 2001 mukaan).

Ero Wuppertal-instituutin ja Mansteinin arvioiden välillä on melko suuri. Siksi yhtenevyyden vuoksi on syytä käyttää ainoastaan samasta lähteestä peräisin olevia arvioita. Energiatuotteiden, kuten polttoöljyn ja maakaasun osalta nojaan pelkästään Mansteinin (1999) antamiin arvioihin. Tällöin polttoöljyn tuotannon materiaalikulutus on 2,5 kg/kg ja maakaasun 1,3 kg/kg. Voiteluöljylle ei ole ilmoitettua suoraa MI-kerrointa, joten käytän tässä kevyttä

polttoöljyä vastaavaa arvoa 2,5 kg/kg (Lista MI -kertoimista 2001). Tässä tutkimuksessa polttoöljyn kulutus on ilmaistu jouleina (J), jolloin polttoöljyn materiaalikulutukseksi muodostuu 0,05 kg/MJ.

Myös sähkön tuotannon osalta piilovirtakertoimet perustuvat Mansteinin (1996, s. 27, s. 31) laskelmiin. Sähkön tuotannon materiaalikäyttö Suomessa on arvioitu Ekotehokas Suomi -projektin osaraportissa Energiamateriaalien virrat, jossa ensivaiheessa laskettiin Suomen 1995 nettotuotannon välitön polttoainekäyttö tonneina tuotettua sähköyksikköä kohden (t/MWh), jonka jälkeen välitön polttoaineen käyttö muutettiin piilovirtakertoimilla materiaalien kokonaiskäytöksi (Juutinen 2000, s. 7-8). Piilovirtakertoimet sisältävät itse polttoaineen ja sen piilovirtojen lisäksi myös voimalaitosten rakentamisen ja ylläpidon materiaalivirrat. Kaikkien voimatuotannon muotojen, joita sähkön tuottamiseen käytetään, keskimääräinen piilovirta on saatu laskemalla yhteen polttoaineiden kulutuksen suhteellisella osuudella kohdennetut materiaalikäytöt.

Suomessa tuotetun sähkön piilovirtakerroin 0,11 kg/MJ on alhainen verrattuna Saksan 1,30 kg/MJ tai OECD-maiden keskimääräiseen 0,43 kg/MJ kertoimeen (Manstein 1996 ja Wuppertal-insititut 1998, Juutisen 2000, s. 8 mukaan). Suomen alhainen kerroin selittyy energiatuotannon tehokkuudella ja materiaalikäytöltään vähäisen vesivoiman suhteellisen suurella tuotanto-osuudella (Juutinen 2000, s. 8). Tanskan osalta käytän OECD-maiden keskiarvoa 0,43 t/MJ, koska tarkkaa materiaalikulutuservoa ei ole Tanskassa laskettu¹⁶. Tämän kertoimen käyttöä Tanskan osalta voi perustella sillä, että Tanskan sähköstä yli 80 % tuotetaan materiaalikäytöltään hyvin raskaalla hiilivoimalla. Energiatuotannon materiaalikäyttö on eritelty seuraavassa taulukossa 2.

Taulukko 2. Energiatuotannon materiaalikäyttö.

Tuote	Yksikkö	MI-kerroin Suomi	MI-kerroin Tanska	lähde ^a
Polttoöljy	kg/MJ	0,05	0,05	1
Sähkö	kg/MJ	0,11	0,43	2
Maakaasu	kg/kg	1,3	1,3	1
Voiteluöljy	kg/kg	^b 2,5	^b 2,5	1

^a 1) Manstein 1999, Lista MI-kertoimista 2001 mukaan; 2) Manstein 1996 ja Wuppertal-institut 1998, Juutisen 2000, 3 mukaan.

^b Polttoöljyä vastaava arvo.

¹⁶ Tiedonanto: 27.11.2002, Erik Hansen, COWI A/S, Tanska.

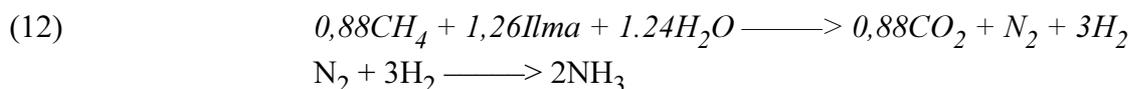
5.1.2 Lannoitteet, kalkki ja torjunta-aineet

Energiakulutus

Tavanomaisessa viljelyssä kemiallisten lannoitteiden valmistus vastaa maatalouden energia- kulutuksesta merkittävää osaa. Esimerkiksi rehuohralle tehdyn elinkaariarvioinnin mukaan kemiallisten lannoitteiden valmistusketjujen osuus rehuohran viljelyjärjestelmän primääri- energiakulutuksesta on noin 43 prosenttia (Katajajuuri ym. 2000, 84).

Luonnonmukaisessa viljelyssä kemiallisia lannoitteita ei käytetä, vaan ravinteiden riittävyys pyritään turvaamaan monipuolisella viljelykierrolla ja karjanlannan huolellisella käytöllä. Viljelykierrossa palkokasvit huolehtivat typensidonnasta. Muiden ravinteiden, lähinnä fosforin (P), kaliumin (K) ja hivenaineiden riittävyys voidaan ajoittain joutua käyttämään erilaisia täydennyslannoitteita, kuten apatiittia, tuomaskuonaa tai luujauhoa. Niiden käyttötarve riippuu maaperästä, viljelykierrosta ja karjatiloilla tilan ulkopuolelta ostettavien rehujen määrästä. (Rajala 2001, s. 44). Käytännössä täydennyslannoitteiden käyttöä rajoittaa niiden saatavuus lähialueelta ja käytön heikohko hyöty suhteessa kustannuksiin¹⁷. Tässä tutkimuksessa rajaan kyseiset täydennyslannoitteet tarkastelun ulkopuolelle.

Pääosa EU:ssa valmistetuista kemiallisista lannoitteista on niin sanottuja yhdistelmälannoitteita, joissa on tietyssä suhteessa pääravinteita, typpeä (N), fosforia (P) ja kaliumia (K). Keskeinen energiakulutus NPK -lannoitteiden valmistuksessa muodostuu typen välitason tuotteen, ammoniakkin (NH_3) valmistukseen tarvittavasta fossiilisesta polttoaineesta. (EFMA 1995). Ammoniakkia saadaan yhdistämällä ilmasta typpeä (N) fossiilisten hiilivetyjen, kuten maakaasun, polttoöljyn tai kivihiilen kanssa. Tämän jälkeen ammoniakista valmistetaan typpilannoitteita, kuten ureaa, ammoniumnitraattia tai kalsiumammoniakkia. (EFMA 1997). Ammoniakkikaasun valmistusprosessi on raaka-aineesta riippumatta periaatteessa samanlainen. Prosessissa hiilivetyä yhdistetään ilman ja vesihöyryn kanssa, jolloin muodostuu hiilidioksidia ja synteettistä ammoniakkikaasua seuraavan kaavan mukaisesti (Yhtälö 12):



Vaikka ammoniakkin valmistusprosessi on periaatteessa raaka-aineesta riippumatta samanlainen, käytettävä raaka-aine vaikuttaa ammoniakkin valmistuksen energiakulutukseen. Kevyistä hiilivedyistä valmistettuna energiaa kuluu 32-35 GJ, kun taas raskaammista 39-42 GJ valmistettua ammoniakkitonnia kohden. (EFMA 1995). EU:ssa arviolta 85 % ja maailmalla 77 % typpilannoitteita valmistavasta teollisuudesta käyttää maakaasua raaka-aineena (EFMA 1997).

¹⁷Tiedonanto: 14.4.2002, Rajala Jukka, Helsingin yliopiston maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, Mikkelä.

Suomessa, Tanskassa ja USA:ssa oletan käytettävän hyvin yhteneviä tekniikoita yhdistelmä-lannoitteiden valmistukseen. Niiden energiakulutus riippuu lähinnä tarkasteltavan lannoitteen NPK -suhteista. Kullekin yhdistelmä-lannoitteen komponentille (N, P tai K) voidaan määrittellä energiakulutuksen normikertoimet, jolloin energiakulutus riippuu suoraan kyseisten lannoitteiden käyttömäärästä. NPK -lannoitteiden osalta käytän Dalgaardin ym. (2001, s. 55) määrittelemiä normikertoimia, jotka perustuvat Pimentelin (1980), Leachin (1976), Hjortsøj ja Rasmussen (1977), Mudahar ja Trignettin (1987) tutkimuksiin.

Vastaava normikerroin voidaan määrittellä myös sekä tavanomaisessa että luonnonmukaisessa viljelyssä käytettävälle kalkille. Kalkin osalta normikerroin perustuu Maatalouden tuotantotavat ja ympäristö -tutkimushankkeessa Partek Nordkalk Oy:ltä saatuun tiedonantoon (Grönroos & Voutilainen 2001, s. 20). Kalkin käyttötarve riippuu ennen kaikkea maaperästä, mutta myös kemiallisten lannoitteiden käytöstä ja lannan käsittelystä. Jos karjanlanta kompostoidaan, se vähentää kalkin käyttötarvetta huomattavasti. Oletan, että viljely kaikilla vertailutiloilla tapahtuu savimailla, joiden peruskalkitus on suoritettu. Kyse kalkituksessa on siis vain ylläpitokalkituksesta. Tavanomaisilla tiloilla kalkkia levitetään 5 tonnia hehtaaria kohden kymmenen vuoden välein (Kalkin käyttö 2002). Luonnonmukaisilla tiloilla kalkitus-tarve on vain puolet tästä, johtuen siitä, että sianlanta kompostoidaan ja kemiallisia lannoitteita ei käytetä¹⁸.

Torjunta-aineiden valmistuksen energiakulutuksesta on tällä hetkellä vain suuntaa antavia arvioita olemassa. Kemira Agro Oy:n mukaan torjunta-aineiden valmistus tapahtuu ulkomaalaisissa yrityksissä, jotka eivät erittele tuotteittensa valmistuksen energiakulutusta¹⁹. Maatalouden elinkaaritutkimusta kehittäneessä MTT:n ja VTT:n yhteishankkeessa torjunta-aineiden valmistuksesta pyrittiin hankkimaan tietoa, mutta hankeraportin mukaan tilanne on edelleen kansainvälisestäikin se, että tuotekohtaista tietoa ei ole käytännössä saatavilla (Katajajuuri ym. 2000, s. 78). Dalgaard ym. (2001, s. 55) ovat käyttäneet kolmea tutkimusta (Stout ym. 1982; Green 1987; Fluck 1992), joissa tehoainekilon valmistuksen energiakulutus vaihteli 60-580 MJ välillä. Näihin perustuen Dalgaard ym. (2001, s. 55) ovat hieman hämmäntävästi päätyneet arvioimaan tehoainekilon energiakulutuskertoimeksi vain 40 MJ. Grönroos ja Voutilainen (2001, s. 20) ovat Maatalouden tuotantotavat ja ympäristö -hankkeessa arvioineet torjunta-aineiden valmistuksen energiakulutukseksi 360 MJ tehoainekiloa kohti. Tämä luku edustaa melko hyvin keskimääräistä arviota eri tutkimuksista, joten käytän myös tässä tutkimuksessa kyseistä normiarvoa, 360 MJ tehoainekiloa kohti.

Audsleyn ym. (1997) mukaan torjunta-aineiden tuotannon energiakulutuksella ei kuitenkaan ole paljoa merkitystä maatalouden kokonaisenergiakulutuksessa (Katajajuuri ym. 2000, s. 78). Tämä pitäneekin paikkansa, sillä torjunta-aineita käytetään tehoainekiloina hyvin pie-

¹⁸ Tiedonanto: 14.4.2002, Seuri Pentti, MTT ekologinen tuotanto, Partala.

¹⁹ Tiedonanto: 12.12.2001, Ilomäki Anna, Kemira Agro Oy.

niä määriä. Eurooppalaisen julkisen tilaston (Eurostat 1998) vuodelta 1996 mukaan Suomessa käytettiin torjunta-aineita tehoainekiloina laskettuna vain 0,5 kg/ha, Tanskassa noin 3 kg/ha ja Alankomaissa peräti 10,4 kg/ha. USA:n soijan viljelyn osalta ei ole tietoa, joten arvioin sen olevan hyvää alankomaista tasoa. Luonnonmukaisessa tuotannossa torjunta-aineita ei käytetä.

Viljelyjärjestelmässä käytettävien yhdistelmälannoitteiden, kalkin ja torjunta-aineiden tukien energiaan lasketaan typen (E_1), fosforin (E_2), kaliumin (E_3), kalkin (E_4) ja torjunta-aineiden (E_5) valmistuksen aiheuttama energiakulutus. Tukienergiapanos (E_i) riippuu typen ($i=1$), fosforin ($i=2$), kaliumin ($i=3$), kalkin ($i=4$) ja torjunta-aineiden ($i=5$) käyttömäärästä (AE_i) kiloina. Tällöin käytettyjen lannoite- ja kalkkipanosten tukien energiakulutus voidaan ilmaista seuraavasti (Yhtälö 13):

$$(13) \quad EK_{tuki} = \sum_{i=1}^5 AE_i * E_i$$

Seuraavassa taulukossa 3 on eriteltyä yhdistelmälannoitteiden, kalkin ja torjunta-aineiden valmistuksen aiheuttama energiakulutus, eli normikertoimet kullekin tuotteelle.

Taulukko 3. Yhdistelmälannoitteiden, kalkin ja torjunta-aineiden normikertoimet.

Tuote	Yksikkö	Normikerroin	Lähde ^a
Typpi	MJ/kg N	50	1
Fosfori	MJ/kg P	12	1
Kalium	MJ/kg K	7	1
Kalkki	MJ/kg	220	2
Torjunta-aineet	MJ/kg tehoaine	360	2

^a 1) Dalgaard ym. 2001; 2) Grönroos ja Voutilainen 2001.

Materiaalien kulutus

Yhdistelmälannoitteiden ja kalkin materiaalikäytön osalta täytyy tukeutua käytettävissä olevan aineiston takia pelkästään Grönroosin ja Voutilaisen (2001, s. 20-25) julkaisemiin tietoihin. Oletan siis, että nämä arvot edustavat kohtuullisesti myös sekä Tanskaa että USA:ta. Tavanomaisilla sikatiloilla ja USA:ssa tapahtuvassa soijan viljelyssä käytetään rehuohran viljelyyn materiaalikäytöltään Kemira Agron valmistamaa Pellon Y4 -lannoitetta vastaavaa lannoitetta. Kun yhdistelmälannoitteiden ja kalkin eri tuotantovaiheiden materiaalikäyttö lasketaan yhteen, yhdistelmälannoitteiden materiaali-intensiteetikertoimeksi (MI) muodostuu 7,9 t ja kalkille 3,2 t käytettyä tonnia kohti. Yhdistelmälannoitteiden käyttömäärät vastaavat kunkin maan lannoitussuosituksia (ks. luku 5.2.4).

Torjunta-aineiden valmistuksen materiaalikäytön osalta tilanne on ongelmallinen, koska tietoa valmistusprosesseista²⁰ ei ole saatavilla ja erilaisia tuotteita on markkinoilla valtavasti. Esimerkiksi pelkästään Suomessa oli vuonna 1997 myynnissä 71 rikkakasvintorjunta-ainetta ja kahdeksan eri kasvunsäätelijää (Hynninen & Blomqvist 1998, s. 514-515). Siksi tyydyn tarkastelemaan torjunta-aineiden materiaalikäyttöä ainoastaan niiden valmistamiseen käytetyn energian osalta. Oletan, että kulutettu energia on sähköä, jolloin torjunta-aineiden tehoainekilon materiaali-intensiteetikertoimeksi muodostuu 39,6 kg käytettyä kiloa kohti.

5.1.3 Rehujen valmistus

Tavanomaisessa sikojen ruokinnassa käytetään sikojen iästä ja toivotusta kasvurytmistä riippuen erilaisia tiivisterehuja. Rehut eivät kuitenkaan eroa siinä määrin toisistaan, että kutakin rehutyyppiä olisi mielekästä tässä yhteydessä erotella, vaan oletan kaiken tiivisterehukulutuksen olevan sianlihatuotannossa käytettävää valkuaistiivistettä. Lännen rehun valmistama valkuaistiiviste sisältää soijarouhetta (65 %), rypsirouhetta (5 %), kasviöljyä (2,6 %) ja vehnäleseä (5 %) sekä kivennäisraaka-aineita, kuten ruokintakalkkia (8,7 %), monokalsiumfosfaattia (5,5 %) ja natriumkloridia (1,9 %). Lisäksi tiiviste sisältää lysiniä (1,3 %) vitamiini-, hivenaine ja aminohapposeosta (2 %) ja sideaineena melassia (2 %).²¹

Rehutehtaalla tuhannen kilon rehumäärän valmistukseen käytetään keskimäärin noin 170 MJ sähköä ja 216 MJ edestä höyryä, joka tuotetaan raskaalla polttoöljyllä tai kivihieillä. Rehutehtaalla rehuissa käytettävät ainesosat jauhetaan, sekoitetaan keskenään ja rakeistetaan. Prosessissa ei käytetä muita merkittäviä syötteitä kuin rehuraaka-aineita ja energiaa.²²

Yksinkertaisuuden vuoksi niputan rehuvalmistuksen energiakulutuksen $E_{K_{rehu}}$ kolmeen eri luokkaan, joista E_1 sisältää soijarouhe-, rypsiuriste- ja kasviöljytuotannon, E_2 vehnälese- ja melassituotannon sekä E_3 kivennäisraaka-aineiden valmistuksen energiakulutuksen. Kasvi-

²⁰ Tiedonanto: 12.12.2001, Ilomäki Anna, Kemira Agro Oy.

²¹ Tiedonanto: 24.1.2002, Daka Johanna, Lännen Rehu.

²² Tiedonanto: 24.1.2002, Hurttila Kimmo, Lännen Rehu.

tuotteiden osalta rehuraaka-aineiden valmistuksen energiakulutukseen lasketaan niiden viljelyn ja kuivauksen energiakulutus (ks. luku 5.2.3 ja 5.2.5), kivennäistuotteiden osalta taas niiden louhinnan ja jalostuksen energiakulutus (ks. luku 5.1.2). Kuljetukset tulee huomioida erikseen luvussa 5.4. Rehutehtaan sähkön- ja polttoöljyn kulutus ET_i on lineaarinen tuotettuun rehumäärään nähden. Tukienergiapanos E_i riippuu käytetystä soijarouheen, rypsipuristeen ja kasviöljyn ($i=1$), vehnäeseen ($i=2$), kivennäisraaka-aineiden ($i=3$) käyttömäärästä rehuvalmistuksessa AE_i kiloina. Tällöin rehuvalmistuksen energiakulutus voidaan ilmaista seuraavasti (Yhtälö 14):

$$(14) \quad EK_{rehu} = \sum_{i=1}^3 AE_i * ET_i$$

Luonnonmukaisessa tuotannossa sikojen ruokinta perustuu pääasiassa tilalla viljeltäviin rehuviljoihin. Tämän lisäksi emakoiden, porsaiden ja lihasikojen ruokinnassa käytetään kivennäis- ja vitamiiniseosta, kalajauhoa, rehumaitojauhoa, ruokintakalkkia ja kalanmaksaöljyä (ks. luku 5.2.2). Luonnonmukaisessa yhdistelmäsiikalassa tilan omat rehuviljat muodostavat yhteensä noin 95 % ja ostorehut 5 % ruokintaan käytettävistä rehuista kuiva-ainekiloina mitattuina. Ostorehujen osuus on siinä määrin vähäinen, että rehuainesosien energian käyttöä ei ole mielekäästä arvioida kunkin tuotteen kohdalta erikseen, vaan arvioin näiden energiankulutuksen olevan tavanomaisessa tuotannossa käytettävän tiivisterehun luokkaa.

Sekä rypsipuristetta että soijarouhetta syntyy kasviöljytuotannon sivutuotteena. Tällöin kaikkea energia- ja materiaalikulutusta ei voi kohdentaa pelkästään rehu tuotteelle. Käytetyt energia- ja materiaalipanokset kohdennetaan rehuvalmistuksessa käytettävän rouheen ja kasviöljyn välillä niiden taloudellisen arvon perusteella. Rypsin osalta 25 % tuotannon vaikutuksista kohdentuu rehu tuotteelle ja 75 % ruokaöljylle²³. Soijapavuilla soijaöljy muodostaa 35 % ja soijarouheen 65 % tuotannon arvosta²⁴. Ongelmana hintaperusteisessa kohdentamisessa on, että öljytuotteiden hinnat sidottu maailman pörssien (mm. Chicago ja Rotterdam) noterauksiin ja hintatiedot muuttuvat päivittäin. Edellä mainitut arvot ovat suuntaa antavia.

Rehutuotteiden materiaalikulutuksesta pääosa tapahtuu jo rehuraaka-aineiden valmistuksessa. Nämä tulee kuitenkin huomioida tutkimuksen muissa osioissa, esimerkiksi soijan viljely (luku 5.2.3) ja kuljetukset (luku 5.4). Tässä osiossa lasken rehuvalmistuksen materiaalikäyttöön ainoastaan rehutehtaan energiakulutuksesta aiheutuvan materiaalikulutuksen.

²³ Tiedontanto: 24.2.2002, Ilola Maarit, Lännen rehu.

²⁴ Tiedonanto: 20.11.2002, Hellsten Erkka, Raisio Yhtymä Oyj.

5.2 Maatilan tuotanto

5.2.1 Eläinmäärä

Tuotannon perusyksikkönä käytettävä, tuhannen lihasian tuottaminen vaatii 50 emakkoa, kun porsastuotos on 20 vieroitettua porsasta vuodessa emakkoa kohden. Kahdenkymmenen porsaan vuosituotos emakkoa kohden edustaa sekä Suomen että Tanskan osalta normaalia hyvää keskitasoa (Porsastuotannon...1998; Danish Agricultural Production 2000). Luonnonmukaisessa tuotannossa 20 porsaan vuosituotos edustaa kuitenkin enemmänkin hyvää tavoitetasoa kuin keskitasoa (Luomunaudan ja -sian... 2001, s. 72).

Porsastuotos on luomutuotannossa tavanomaista alempi, jos emakolle annetaan edellisen porsueen vieroituksesta seuraavaan hedelmöitykseen enemmän toipumisaikaa, tai jos emakon ruokinnassa on puutteita. Ruokinnassa esimerkiksi rehun valkuaispitoisuus saattaa olla liian alhainen, jolloin maidon tuotanto vähenee tai valkuaislähteenä käytettävien palkokasvi-rehujen haitta-ainepitoisuudet saattavat olla liian korkeita, jolloin emakoiden hedelmällisyys saattaa heiketä. (Kotieläintilan luomuopas 1998, s. 133). Oikealla ruokinnalla ja hoidolla ei kuitenkaan ole periaatteessa mitään syytä, ettei luonnonmukainen porsastuotos olisi yhtä korkea kuin tavanomaisessa tuotannossa. Käytännössä tilanne on toisin, osaltaan siksi, että luonnonmukainen porsastuotanto on vasta nuori kehittyvä ala ja myös siksi, että luomussa painotetaan tuotantoeläinten hyvinvointia, joka tapahtuu helposti tehokkuuden kustannuksella. Luomutilojen keskimääräisenä porsastuotoksena voi pitää 18 vieroitettua porsasta emakkoa kohti vuodessa.²⁵ Tuhannen porsaan vuosituotokseen tarvitaan tavanomaisilla tiloilla 50 ja luomutiloilla 56 emakkoa.

5.2.2 Rehunkulutus

Sikojen rehunkulutus vaihtelee paljon riippuen esimerkiksi eläinaineksesta ja sikalaolosuhteista. Oletan kuitenkin, että suomalaisten ja tanskalaisten sikaloiden välillä ei ole tässä suhteessa merkittävää eroa. Tavanomaisen ja luonnonmukaisen tuotannon rehunkulutuksessa on sen sijaan merkittäviä eroja: luonnonmukaisessa tuotannossa sialle välttämättömien aminohappojen, joita sika ei kykene itse tuottamaan, on hankalampaa. Tavanomaisessa tuotannossa käytetään teollisesti valmistettuja aminohappoja, kuten lysiiniä, metioniinia ja treoniinia. Näiden avulla lisätään rehujen käyttökelpoisuutta sian ruoansulatuksessa. (Sikojen ruokinta 1999, s. 35-36.) Teollisesti valmistettujen aminohappojen käyttö on luonnonmukaisessa tuotannossa kiellettyä. Tämä siksi, että lysiiniä valmistetaan usein geneettisesti manipuloitujen mikrobikantoja käyttämällä ja metioniini sekä treoniini ovat täysin synteettisiä tuotteita²⁶ (Neuvoston asetus... 1999, artikla 7; Kotieläintilan luomuopas 1998, s. 116). Jotta välttämättömien aminohappojen saanti turvataisiin, täytyy valkuaisrehuja käyttää luonnonmukaisessa ruokinnassa tavanomaista enemmän.

²⁵ Tiedonanto: 17.12.2001, Hietikko Paula, Etelä-Pohjanmaan maaseutukeskus.

²⁶ Tiedonanto: 14.12.2001, Partanen Kirsi, MTT sikatalous.

Oletan tavanomaisen emakon rehuntarpeeksi noin 1240 rehuyksikköä vuodessa, porsaiden rehuntarpeeksi 34 rehuyksikköä (25 kg saakka) ja lihasikojen rehuntarpeeksi 230 rehuyksikköä (Sikojen ruokinta 1999, s. 110; Ala-Mantila 1998, s. 40). Sikojen ruokinta perustuu tiloilla viljeltävään ohraan ja kauraan, sekä tilojen ulkopuolelta ostettavaan tiivisterehuun (ks. luku 5.1.3).

Luonnonmukaisessa tuotannossa sikojen ruokinta on jonkin verran tavanomaista tuotantoa mutkikkaampaa. Rehuntarve pyritään tyydyttämään mahdollisimman pitkälle tilalla tai sen lähiympäristössä luonnonmukaisesti tuotetuilla rehuilla. Keskeisessä osassa luomusikojen ruokintaa on tilan viljelykierto, joka tulee sovittaa sikojen ruokintatarpeeseen ja joka samalla ylläpitää peltojen hyvää kasvukuntoa. Suomessa tavanomaisesti tuotettuja rehuja saa käyttää 24.5.2005 saakka korkeintaan 20 % sikojen vuotuisesta tai 25 % päivittäisestä rehuntarpeesta. Tämän jälkeen tavoite on 100 % luomuruokinta. (Luomunaudan ja -sian... 2001, s. 72). Tässä työssä oletan luonnonmukaisten sikaloiden olevan sen verran aikaansa edellä, että kaikki ruokinta tapahtuu luomurehuilla.

Luonnonmukaisessa tuotannossa yhden emakon rehuntarve on 1300 rehuyksikköä, porsaan 42 rehuyksikköä ja lihasian 270 rehuyksikköä vuodessa²⁷ (Luomunaudan ja -sian... 2001, s. 81-84). Taulukossa 4 on eritelty eri rehuraaka-ainekomponenttien osalta luonnonmukaisesti tuotetun emakon, porsaan ja lihasian rehuntarve.

Taulukko 4. Luonnonmukaisesti tuotetun emakon, porsaan ja lihasian rehuntarve.

	ry/kg	Emakko		Porsas			Lihasika			
		Rehu %	ry	kg	Rehu %	ry	kg	Rehu %	ry	kg
Ohra, 62 kg/hl	0,98	37,2	500	530	29,6	12,7	13,0	32,4	90,0	93,0
Kaura, 54 kg/hl	0,89	29,5	379	425	14,5	6,2	7,0	19,1	53,0	59,0
Kaura (kuorittu)	1,19				22,1	9,5	8,0			
Herne	1,00	14,5	195	195	10,5	4,5	4,5	29,5	82,0	82,0
Rypsipuriste	0,92	13,5	181	197	10,7	4,6	5,0	16,2	45,0	48,2
Kalanmaksaöljy	3,40	0,2	27	8						
Kala- ja maitojauhe	1,09				10,1	4,4	4,0			
Kivennäisrehut ym.		3,3		45	2,6		1,1	2,9		8,0
Yhteensä			1 300	1 400		42	42		270	290

²⁷ Tiedonanto 17.1.2001, Hietikko Paula, Etelä-Pohjanmaan maaseutukeskus.

5.2.3 Satotasot ja viljelypinta-ala

FAO:n²⁸ tilastoista löytyy maittain kunkin kasvilajin osalta eriteltyt vuosittaiset satotasot (FAO Statistical Databases 2001). Näiden käyttö tavanomaisen tuotannon vertailulähtökohdaksi ei ole kuitenkaan mielekäästä. Lähinnä siksi, että vertailupari Suomi ja Tanska ovat maantieteellisesti hyvin erikokoisia. Suomi on pitkä maa ja ulottuu usealle eri kasvillisuusvyöhykkeelle. Rehukasveja viljellään Suomessa vielä hyvin pohjoisessakin. Tämä laskee koko maata käsittäviä FAO:n tilastoihin päätyviä satotasoja huomattavasti. Suomen osalta tarkastelen tässä eteläsuomalaista, A ja B tukialueen sianlihatuotantoa. Siksi käytän näiden tukialueiden kirjanpitolojen keskisatotasoihin perustuvia MTT:n tilamallien normisatotasoja (Ala-Mantila 1998). Tanskan osalta käytän Halberg ja Kristensenin (1997, s. 29) seitsemätoista luonnonmukaista ja yhdeksätoista tavanomaista tilaa koskettavaa satotasotutkimusta vuosilta 1989-92. USA:ssa tapahtuvan soijan viljely osalta käytän FAO:n keskisatotasoja, koska alueellisesti kohdennettua satotasoa ei ole saatavissa.

Luonnonmukaisen tuotannon satotasojen määrittäminen on jossain määrin hankalaa, koska esimerkiksi tutkimuksia satotason alenemisesta siirryttäessä tavanomaisesta luonnonmukaiseen tuotantoon ei ole tehty vielä useitakaan. Jo tehtyjen tutkimustulosten yleistämisen ongelmana on, että luonnonmukaisen viljelyn satotasot riippuvat useista tekijöistä, kuten paikallisista maaperä- ja ilmasto-olosuhteista, käytetystä viljelykierrosta, tarkasteltavasta tuotantomuodosta, lannan käsittelystä sekä viljelijän taidoista. (Halberg & Kristensen 1997, s. 25-26).

Yleisesti Suomessa vaikuttaa kuitenkin vakiintuneen käytäntö arvioida luonnonmukaisen satotaso noin 30 % tavanomaista pienemmäksi (mm. Luomuviljan tuotanto 2000, s. 7). Kaikkien kasvien osalta tätä arviota ei voi kuitenkaan käyttää, koska jotkut kasvit menestyvät luonnonmukaisessa tuotannossa paremmin kuin toiset. Esimerkiksi kaura vaatimattomana kasvina menestyy ohraa paremmin luonnonmukaisessa tuotannossa. Tavanomaisessa tuotannossa taas ohran keskisatotasot ovat kauraa korkeammat.

Suomen osalta perustan luomuviljojen satotasot MTT:n tilamallien normisatoihin A ja B tukialueilla (Koikkalainen & Haataja 2000). Tanskan osalta satotasojen arvioimiseen käytän Halberg ja Kristensenin (1997) vuosilta 1989-92 tavanomaisilla ja luonnonmukaisilla tiloilla tehtyä tutkimusta, jossa kevätiljojen luomusatotasot ovat keskimäärin noin 25 % tavanomaista pienempiä. Vaikkei kevätiljoja ole kyseisessä tutkimuksessa eritelty toisistaan, oletan kauran sadon vähenemisen olevan, vastaavasti kuin Suomessa, noin 7 % pienempää kuin ohralla.

Luonnonmukaisen herneen satotasoihin ei löydy viljoja vastaavaa tutkimustietoa. Herne on typpiomavarainen kasvi, joka tarkoittaa sitä, että herne kykenee sitomaan tarvitsemansa typen ilmakehästä. Luomuherneen sato ei välttämättä laske tavanomaiseen verrattuna lainkaan.²⁹

²⁸ Food and Agriculture Organization of the United Nations

²⁹ Tiedonanto: 18.12.2001, Hovinen Simo, Boreal.

Taulukko 5. Rehukasvien satotasot maittain.

		Lähde ^a	Ohra	Kaura	Rypsi	Herne	Soija
Suomi	Tavanomainen	1	3 600	3 500	1 800		
	Luomu	2	2 500	2 700	1 000	2 000	
Tanska	Tavanomainen	3	5 800	5 200	^b 3 200		
	Luomu	3	4 100	4 100	^b 2 400	2 500	
USA	Tavanomainen	4					2 500

^a 1) Ala-Mantila 1998; 2) Koikkalainen ja Haataja 2000; 3) Halberg ja Kristensen 1997; 4) FAO Statistical Databases 2001.

^b Tanskassa viljellään tässä tutkimuksessa rypsin sijaan syysrapasia.

Taulukko 6. Tuotantojärjestelmien rehuntarpeen vaatima viljelypinta-ala.

	TAVANOMAINEN			LUONNONMUKAINEN		
	Rehun tarve kg	Satotaso kg/ha	Pinta-ala ha	Rehun tarve kg	Satotaso kg/ha	Pinta-ala ha
Suomi						
Ohra	243 300	3 600	67,6	140 504	2 500	56,2
Kaura	14 150	3 500	4,0	106 355	2 700	39,4
Herne				100 016	2 000	50,0
Rypsipuriste ^a				27 511	1 000	27,5
Apilanurmi ^c			8,0			57,7
Yhteensä			79,6			230,8
Tanska						
Ohra	243 300	5 800	41,9	136 450	4 100	34,3
Kaura	14 150	5 200	2,7	103 150	4 100	25,9
Herne				98 050	2 500	40
Rypsipuriste ^a				107 315	2 400	11,5
Apilanurmi ^c			5,0			37,2
Yhteensä			49,6			148,9
USA						
Soijarouhe ^b	63 665	2 550	20,3			

^a Yhden kilon rypsipuristetta valmistukseen tarvitaan 1,69 -kertainen määrä rypsiä (Grönroos ja Voutilainen 2001, s. 30). Rypsin viljelyssä käytetyt energia- ja materiaalipanokset kohdennetaan rypsiöllyn ja rypsipuristeen taloudellisen arvon perusteella, jolloin noin 25% vaikutuksista kohdentuu rypsipuristeelle (taulukossa) ja 75% rypsiöljylle.³⁰

^b Yhden kilon soijarouhetta valmistukseen tarvitaan 1,25 -kertainen määrä soijapapua. Soijapavun viljelyssä käytetyt energia- ja materiaalipanokset kohdennetaan soijarouheelle 65% (taulukossa) ja soijaöljylle 35% niiden taloudellisen arvon perusteella.³¹

^c Luonnonmukaisilla tiloilla viljelykiertoon täytyy sisältyä vähintään 25% viljelypinta-alasta typpeä sitovaa apila-, virna- tai mailasnurmea. Tavanomaisilla yli 92 tonnin laskennallisen satotason tiloilla on 10% kesannointivelvoite.

³⁰ Tiedontanto: 24.2.2002, Ilola Maarit, Lännen rehu.

³¹ Tiedonanto: 20.11.2002, Hellsten Erkka, Raisio Yhtymä Oyj.

Oletan kuitenkin sadonlaskun olevan sekä Tanskassa että Suomessa noin 15 % tavanomaisesta. Hernettä tarkastellaan tässä tutkimuksessa ainoastaan luonnonmukaisesti viljeltynä, soijaa taas ainoastaan tavanomaisena. Taulukossa 5 on esitelty satotasot maittain ja kullekin rehukasville eriteltyinä.

Taulukossa 6 on esitelty kunkin tuotantojärjestelmän rehutarpeen tyydyttämiseen vaadittavan peltopinta-ala taulukossa 5 ilmoitetuilla satotasoilla.

5.2.4 Lannoitteiden käyttö

Kasvien ravinteiden tarve riippuu maaperästä, ilmasto-olosuhteista, tavoiteltavista satotasoista ja peltojen kasvukunnosta. Kasvukunto riippuu peltomaan biologisesta aktiivisuudesta, humuspitoisuudesta ja rakenteesta. Oletan, että viljely tapahtuu kaikilla tarkasteltavilla tiloilla savimailla, joissa fosforin ja kaliumin taso on tyydyttävä. Luonnonmukaisilla tiloilla peltojen kasvukunto on hyvä.

Luonnonmukaisen tuotannon ravinnetasapaino nojaa kokonaan maaperästä liukenevien ravinteiden, biologisen typensidonnan ja sikaloista saatavan lannan varaan. Tavanomaisessa tuotannossa kemiallisten lannoitteiden käyttötarve riippuu sikaloiden tuottamasta lantamäärästä ja sen ravinnepitoisuudesta. Lannan määrä ja koostumus taas riippuu ensisijaisesti ruokinnasta ja sen voimakkuudesta. Tämän lisäksi lannan ravinnepitoisuuteen vaikuttaa merkittävästi lannan talteenotto- ja varastointimenetelmät.

Keskimäärin voidaan olettaa, että yksi emakko tuottaa lietelantaa keskimäärin 4,5 tonnia ja lihasikapaikka 1,8 tonnia vuodessa (Lannan varastointi- ja käyttö 1983, s. 8). Lihasikapaikalla kasvaa tavanomaisessa tuotannossa 3 sikaa ja luonnonmukaisessa 2,5 sikaa vuodessa. Maatalouden ympäristötuen sitoumusehtojen (Ympäristötukiopas 2000, s. 10) mukaan tonni sian lietelantaa sisältää liukoista typpeä 2,9 kg N (kokonaistyyppi 4,2 kg), fosforia 1,0 kg P ja kaliumia 1,9 kg K. Edellä mainituista taulukkoarvoista kasveille käyttökelpoiseksi lasketaan liukoinen typpi. Fosforin liukoisuudeksi lietelannasta katsotaan 75 % annetusta arvosta. Taulukossa 7 on esitetty tarkasteltavien tuotantojärjestelmien tuottaman lantamäärän kasveille käyttökelpoiset ravinnemäärät.

Taulukko 7. Viidenkymmenen emakon yhdistelmäsikalan tuottama lanta- ja ravinnemäärä.

	Lantamäärä tonnia	Typpi (N) kg	Fosfori (P) kg	Kalium (K) kg
Tavanomainen				
Emakko (50 kpl)	225	650	170	430
Sikapaikka (330 kpl)	594	1 720	450	1 130
Yhteensä	819	2 370	620	1 560
Luonnonmukainen				
Emakko (50 kpl)	225	650	170	430
Sikapaikka (400 kpl)	720	2 088	540	1 368
Yhteensä	945	2 738	710	1 798

Oletan tavanomaisessa tuotannossa käytettävien kemiallisten lannoitteiden käytön olevan lannoitetehtaiden antamia kasvilaji-, maaperä- ja satotasotavoitekohtaisten lannoitussuosituksien mukaisia. Suomessa lannoitussuosituksien satotasotavoite on ohran ja kauran osalta 4000 kg/ha ja rypsin 2000 kg/ha (Kemiran lannoitussuosituks... 2002). Tanskassa kevätilviljojen satotasotavoite on 5900 kg/ha ja syysrypsin 3200 kg/ha (Planteportalen 2002). Soijan osalta lannoitteiden käyttömäärät perustuvat IFA:n³² lannoitteiden ostotilastoista maittain kerättyihin arvoihin. Taulukkoon 8 on koottu rehuksien satotasot ja lannoitus-suositusten mukaiset NPK -lannoitemäärät (tavanomainen) sekä satotasoihin mukautettu kasvien ravinnetarve (luonnonmukainen).

Taulukkoon 9 on esitetty tavanomaisen tuotantojärjestelmässä käytetyn rehumäärän viljelyyn vaadittavat ravinnepanokset. Luonnonmukaisen tuotannon ravinteet perustuvat tehokkaaseen lannan käyttöön ja palkokasvien biologiseen typensidontaan.

Taulukko 8. Rehuviljojen satotasot ja lannoitus-suositusten mukaiset NPK -lannoitemäärät (tavanomainen) sekä satotasoihin mukautettu kasvien ravinnetarve (luomu).

		Lähde ^a	Ohra	Kaura	Rypsi	Herne	Soija
Suomi	Tavanomainen	1	3 600	3 500	1 800		
		2	90-18-50	100-15-50	120-15-50		
	Luomu	1	2 500	2 700	1 000	2 000	
		7	69-12-32	75-7-34	60-7-25	70-7-25	
Tanska	Tavanomainen	5	5 800	5 200	3 200 ^b		
		6	120-30-90	120-30-90	170-40-115		
	Luomu	5	4 100	4 100	2 400	2 500	
		7	81-21-62	81-21-62	130-28-86	88-9-32	
USA	Tavanomainen	3					2 550
		4					27-55-95

^a 1) Ala-Mantila 1998; 2) Kemiran lannoitussuosituks 2002; 3) FAO Statistical Databases 2001; 4) IFA-Fertilizer use by crop 1999; 5) Halberg ja Kristensen 1997; 6) Planteportalen 2002; 7) Rajala 2001.

^b Tanskassa viljellään tässä tutkimuksessa rypsin sijaan syysrypsia.

³² International Fertilizer Industry Association (IFA)

Taulukko 9. Tavanomaisessa tuotantojärjestelmässä rehunkasvien viljelyyn vaadittavat ravinnepanokset.

TAVANOMAINEN TUOTANTO											
	Rehun tarve kg	Pinta-ala ha	Lannoitustarve, kg			Sianlanta, kg			Apulanta, kg		
			N	P	K	N	P	K	N	P	K
Suomi											
Ohra	243 110	68	6 120	1 224	3 400						
Kaura	14 080	4	400	60	200						
Yhteensä		72	6 520	1 284	3 600	2 370	620	1 560	4 150	664	2 040
Tanska											
Ohra	243 110	42	5 040	1 260	3 780						
Kaura	14 080	3	360	90	270						
Yhteensä		45	5 400	1 350	4 050	2 370	620	1 560	3 030	730	2 490
USA											
Soija ^a	63 655	20	550	1 120	1 930				550	1 120	1 930

^a Yhdistelmätiiviste, jota käytetään tavanomaisilla tiloilla sisältää 70% soijarouhetta. Yhden soijarouhekilon valmistukseen tarvitaan 1,25 -kertainen määrä soijapapua. Soijapavun viljelyssä käytetyt energia- ja materiaalipanokset kohdennetaan soijarouheelle 65% (taulukossa) ja soijaöljylle 35% niiden taloudellisen arvon perusteella.³³

5.2.5 Rehukasvien viljely

Energiakulutus

Rehukasvien viljelyn energiakulutus riippuu viljelykäytännöistä, käytettävien koneitten koosta ja peltojen sijainnista maatalaan nähden. Tanskassa ja USA:ssa käytettävät koneet ovat jonkin verran suurempia kuin Suomessa. Eroja maiden välillä syntyy kuitenkin lähinnä käsittelykertojen määrissä. Esimerkiksi Tanskassa pellot kultivoidaan kahdesti ennen kyntöä. Suomalaisessa luomutuotannossa kestorikkakasvien välttämiseksi pellot kultivoidaan yleensä kertaalleen ennen kyntöä. Tavanomaisessa tuotannossa kultivointi ennen kyntöä on harvinaista.

Rehukasvien viljelyn energiakulutuslaskenta perustuu normikertoimiin. Tanskalaiselle maataloudelle näitä ovat määritelleet Dalgaard ym. (2001, s. 54-55) useisiin tutkimuksiin perustuen. Normikertoimet kullekin työvaiheelle on esitelty talukossa 10. Vastaavia normikertoimia Suomen osalta on määritellyt mm. Peltonen ja Vanhala (1992) sekä Palonen (1993). Dalgaardin ym., Vanhalan ja Palosen sekä Peltosen kertoimet ovat melko lailla toisiaan vastaavia. Paremman vertailtavuuden vuoksi käytän kuitenkin sekä Suomen että Tanskan osalta pelkästään Dalgaardin ym. ilmoittamia normikertoimia. Oletan siis, että kaikilla tiloilla käytetään samanlaisia koneita riippumatta siitä, viljelläänkö Tanskassa vai Suomessa. Oletan myös USA:n soijan viljelyn olevan viljelykäytännöltään ja energiakulutukseltaan tanskalaisista viljan viljelyä vastaavaa.

³³ Tiedonanto: 20.11.2002, Hellsten Erkka, Raisio Yhtymä Oyj.

Rehukasvien viljelyssä peltotyön polttoöljyn P_{suora} kulutus lasketaan seuraavasti, kun (n) kuvaa eri peltotyön vaiheiden kokonaismäärää (Yhtälö 15):

$$(15) \quad P_{suora} = \sum_{n=1}^N P_n$$

Polttoöljyn kulutus muunnetaan energiakulutukseksi muuntokertoimella 42,5 MJ polttoöljykiloa kohti. Tämän lisäksi noin 5,9 MJ tukienergiaa kuluu vastaavan polttoöljymäärän valmistamiseen öljytislaamoissa ja öljyn kuljetuksiin (de Boo 1993, Daalgardin ym. 2001, s. 53 mukaan). Tällöin kevyen polttoöljykilon normikertoimeksi EK_n muodostuu 48,4 MJ yhtä polttoöljykiloa kohti. Sitä käytetään P_n normin muuntamiseksi peltotyön energiakulutusnormiksi EP_n . Normikertoimet kullekin työvaiheelle on esitelty taulukossa 10.

Polttoöljyn lisäksi rehukasvien viljelyyn tarvitaan voiteluöljyä \ddot{O} ja energiaa viljan kuivaukseen V . Voiteluöljyä \ddot{O} kuluu lineaarisessa suhteessa polttoöljyn aiheuttaman energiankulutuksen EP kanssa. Viljan kuivauksen energiakulutus on lineaarinen kuivattuun viljamäärään VM ja yhden prosenttiyksikön kuivauksessa kuluvaan energiaan VP ja alku- ja loppukuivausprosenttiin nähden. VP ilmaisee kuivauksessa veden haihtumisesta johtuvan viljan painon alenemisen, jossa yhden prosentin painon väheneminen aiheuttaa normin mukaisen energi-

Taulukko 10. Peltotyön polttoaineen ja energiakulutuksen normikertoimet.

Työvaihe	Yksikkö	P_n normi	Yksikkö	EP_n normi
Kyntö (21 cm) syksy	kg/ha	23,5	MJ/ha	1137,0
Äestys (matala)	kg/ha	4,7	MJ/ha	227,0
Äestys (syvä)	kg/ha	7,1	MJ/ha	344,0
Kultivointi	kg/ha	8,2	MJ/ha	397,0
Kylvö/ kylvölannoitus	kg/ha	3,5	MJ/ha	169,0
Jyräys	kg/ha	2,4	MJ/ha	48,0
Lietelannan levitys	kg/t	0,4	MJ/t	19,0
Apulannan päältä levitys	kg/ha	2,4	MJ/t	116,0
Kalkin levitys	kg/t	1,8	MJ/t	87,0
Torjunta-aineiden levitys	kg/ha	1,8	MJ/ha	87,0
Rikkaäestys	kg/ha	2,4	MJ/ha	116,0
Viljan puinti	kg/t	2,8	MJ/t	136,0
Viljan käsittely	kg/t	0,6	MJ/t	29,0
Nurmen niitto	kg/t	0,6	MJ/t	29,0
Paalaus (+käsittely)	kg/t	1,2	MJ/t	58,0
Kuljetukset perävaunulla	kg/t.km	0,2	MJ/t.km	10,0
Siirtymät koneilla	kg/km	0,05	MJ/km	2,4

ankulutuksen. Tällöin rehukasvien viljelyn suora energiakulutus voidaan laskea seuraavan kaavan avulla (Yhtälö 16):

$$(16) \quad EK_{suora} = \sum_{n=1}^N EP_n + \sum_{n=1}^N EP_n * \ddot{O} + (VM * VP * V)$$

Tämän lisäksi rehukasvien tuotantoon kuluu tukien energiapanoksia: koneita, lannoitteita, kalkkia ja torjunta-aineita. Lannoitteiden, kalkin ja torjunta-aineiden valmistuksen energiakulutusta ja niiden normikertoimia on tarkasteltu luvussa 5.1.2. Koneiden valmistuksen energiakulutus perustuu Refsgaardin ym. (1998, s. 608) Tanskassa tavanomaista ja luonnonmukaista maidon- ja viljantuotantojärjestelmää vertailevaan tutkimukseen. Kyseisessä tutkimuksessa on tarkasteltu erilaisten koneiden painoa, käyttömäärää ja käyttöikää käytännön maataloilla. Työkonekilon valmistuksen energiakustannus on laskettu suhteuttamalla koneen painoon sen oletettu elinikä (15 vuotta) ja käyttömäärä. Näistä on muodostettu tietty normiarvo K, joka on lineaarisessa suhteessa koneessa käytettyyn polttoöljymäärään nähden. Tämä perustuu siihen, että jokaisella koneella on tietty käyttöikä, joka riippuu käyttömäärästä. Käyttömäärää voi mitata polttoöljyn kulutuksella kyseisessä koneessa.

Tukien energiakulutus sisältää koneistuksen K ja lannoitteena käytettävän typen E_1 , fosforin E_2 , kaliumin E_3 , kalkin E_4 sekä torjunta-aineiden E_5 aiheuttaman energiankulutuksen. Koneistus on lineaarinen käytetyn polttoaineen energiankulutukseen nähden, kun taas lannoitteiden, kalkin ja torjunta-aineiden tukien energiapanos E_i riippuu käytetystä typen ($i=1$), fosforin ($i=2$), kaliumin ($i=3$), kalkin ($i=4$) ja torjunta-aineiden ($i=5$) käyttömäärästä AE_i kiloina. Tällöin tukien energiakulutus voidaan ilmaista seuraavasti (Yhtälö 17):

$$(17) \quad EK_{tuki} = \sum_{n=1}^N EP_n * K + \sum_{i=1}^5 AE_i * E_i$$

Taulukossa 11 on esitetty rehukasvien viljelyn tukien energiapanosten normikertoimet kullekin panokselle eriteltyinä.

Taulukko 11. Normikertoimet rehukasvien viljelyn tukien energiapanoksille.

Syöte	Yksikkö	Normikerroin
Voiteluöljy (\ddot{O})	MJ/MJ polttoöljyä	0,1
Viljan kuivaus (V)	MJ/t/kuivaus %yksikköä	50,0
Koneistus (K)	MJ/MJ polttoöljyä	0,3
Typpi (E_1)	MJ/kg N	50,0
Fosfori (E_2)	MJ/kg P	12,0
Kalium (E_3)	MJ/kg K	7,0
Kalkki (E_4)	MJ/t	220,0
Torjunta-aineet (E_5)	MJ/tehoaine kg	360,0

Materiaalien kulutus

Rehukasvien viljelyssä kuluu polttoöljyä, voiteluöljyä, NPK -lannoitteita, kalkkia, torjunta-aineita ja koneita. Poltto- ja voiteluöljyn materiaalien kulutusta on tarkasteltu luvussa 5.1.1 Lannoitteiden, kalkin ja torjunta-aineiden materiaalien kulutusta on tarkasteltu luvussa 5.1.2 Rehukasvien materiaalipanoksenkäytön MI-kertoimet on koottu taulukkoon (Taulukko 12).

Maatalouskäytössä olevien koneiden materiaalien kulutus syntyy niiden valmistuksessa sekä energiana, käytettyinä materiaaleina että varaosien valmistuksessa. Kokonaisuuden kannalta, kun tarkastellaan esimerkiksi tuotettua viljakiloa, koneiden osuus materiaalien kulutuksesta on hyvin vähäinen. Yleinen käytäntö esimerkiksi maatalouden elinkaarianalyysissä tehtäessä onkin rajata toiminnan keskeinen infrastruktuuri, kuten koneet, laitteet ja rakennukset tarkastelusta pois (Grönroos & Voutilainen 2001, s. 8). Tässä tutkimuksessa haluan kuitenkin pyrkiä hahmottamaan edes jollain tasolla eri tekijöiden merkittävyyttä suhteessa toisiinsa. Siksi tarkastelen myös koneiden osuutta materiaalien kulutuksesta. Oletettavasti koneiden osuus materiaalikulutuksesta on kuitenkin hyvin pieni ja siksi tyydynkin tarkastelemaan niiden valmistuksen materiaalien kulutusta melko summittaisella tasolla.

Oletan, että 80 hehtaarin viljelyyn käytetään kahta traktoria (4500 kg) ja yhtä leikkuupuimuria (9500 kg) ja muita koneita, kuten aura, äes, jyrä, niittokone, paalain yms. (5000 kg). Traktorissa ja puimurissa kumiset renkaat painavat 150 kg. Traktorin renkaita kuluu traktorin käyttöiän aikana (15 vuotta) neljä paria. Puimurissa riittää lyhyen käyttösesongin takia samat renkaat koko käyttöiän ajan. Lasi traktoreissa ja puimurissa on kussakin noin 30 kg ja muoviosia 40 kg. Kaiken muun koneiden sisältämän materiaalin oletan olevan terästä vastaavaa metallia. Koneiden materiaalikäyttö kohdennetaan viidentoista vuoden oletetulle käyttöiälle taulukon 12 mukaisesti. Koneistuksen määrä painotetaan tuotantojärjestelmässä käytettävän peltohehtaarin määrän mukaan.

Koneiden valmistukseen käytetyn energian oletan vastaavan kevyttä polttoöljyä materiaalikäyttöltään. Koneiden valmistuksen kuluttama energiamäärä on sidottu tuotantojärjestelmän

Taulukko 12. Koneistuksen materiaalikulutus 80 peltohehtaarin viljelyssä.

	MI - kerroin ^a kg/kg	Traktori x 2 kg	Leikkuupuimuri kg	Muut koneet kg	MI yhteensä kg
Teräs	7,0	8 580	9 280	4 950	159 670
Kumi	5,0	1 200	150	50	7 000
Muovi	5,4	80	40		648
Lasi	3,0	60	30		270
Yhteensä		9 900	9 500	5 000	167 588
				Materiaalikulutus käyttövuotta kohti	11 170

^a Schmidt-Bleekin (2001, s. 64-67) mukaan.

Taulukko 13. Rehukasvien viljelyn tukimateriaalipanosten MI-kertoimet.

Materiaali	Lähde ^a	Yksikkö	MI-kerroin
Polttoöljy	1	kg/kg	2,5
Voiteluöljy	1	kg/polttoöljy kg	2,5 ^b
NPK -lannoitteet	2, 3, 4	kg/NPK -lannoite kg	7,9
Kalkki	2, 3, 4	kg/kg	3,2
Torjunta-aineet	4	kg/tehoaine kg	39,6
Koneet (raaka-aine)	4	t/vuosi (80ha viljeltynä)	11,2

^a 1) Manstein 1999, Lista MI-kertoimista 2000 mukaan; 2) Materiaalikäyttö Grönroos ja Voutilaisen (2001, s. 20-25) mukaan; 3) Juutinen 2000, s. 8; 4) Schmidt-Bleek 2000, s. 54-67.

^b Kevyttä polttoöljyä vastaava arvo.

polttoöljyn kulutukseen. Taulukkoon 13 on koottu materiaali-intensiteettikertoimet kullekin tukimateriaalipanokselle.

5.2.6 Sikala

Energiakulutus

Merkittävin ero suomalaisten ja tanskalaisten sikaloiden välillä tulee lämmityksen energian kulutuksesta. Tanskassa Dalgaardin ym. (2001, s. 56) mukaan 80 % tavanomaisessa tuotannossa olevista sikaloista on lämmitettyjä, luonnonmukaisessa tuotannossa taas sikalat ovat lähes järjestään lämmittämättömiä. Suomessa kylmän talven takia sekä tavanomaisia että luonnonmukaisia sikaloita täytyy lämmittää³⁴.

Lisälämmityksen tarve kytkeytyy suoraan kosteuden poistoon vaadittavaan tuuletusilman määrään. Eläinten ja lämpöä kehittävien laitteiden lämpötehon tulisi olla yhtä suuri kuin rakennuksen seinien, katon ja lattian läpi virtaavan ja ilmanvaihdon mukana menevän lämpötehon summan. Lisäksi sikalan eristys vaikuttaa merkittävästi lisälämmön tarpeeseen. Yhdistelmäsikalan ohjeellinen lisälämmöntarve Suomessa on noin 40 W/m². (Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto 1998, s. 5). Sikalagoon kasvaessa lämmityksen tarve vähenee. Viidenkymmenen emakon yhdistelmäsikalan lisälämmöntarve on noin 30-35 W/m² Etelä-Suomessa.³⁵ Kun kyseinen tehoarvo muunnetaan talvikuukausina kuluvaksi energiamääräksi, muodostuu sikalan lisälämmöntarpeeksi noin 550 MJ/ m² vuodessa.

Tavanomaisten lihasikaloiden pinta-alavaatimuksena on 0,8 m² lihasikapaikkaa kohden. Emakkosikaloissa pinta-alavaatimus on noin 7,5 m² emakkoa kohden. Emakkopaikka sisältää jokaista alkavaa 30 emakkoa kohti vaadittavan karjupaikan ja sairassikapaikat. Viidenkymmenen emakon sikala vaatii pinta-alaa 375 m² ja niiden tuottama lihasikakatras (20 por-

³⁴ Tiedonanto: 7.3.2002, Mustonen Reijo, Etelä-Karjalan maaseutukeskus.

³⁵ Tiedonanto: 7.3.2002, Mustonen Reijo, Etelä-Karjalan maaseutukeskus.

sasta vuodessa/emakko, lihasikapaikka = 3 lihasikaa) 270 m². Lisäksi sikalan pinta-alaan tulee lisätä 25 m² päätykäyväihin ym. ja 20 m² valvonta ja sosiaalituloihin. (Maatalouden tuotanto- ja varastorakennukset... 1999). Yhdistelmäsikalan kokonaispinta-alaksi muodostuu noin 700 m² ja sen lämmitykseen kuluu 385 GJ vuodessa. Näin tavanomaiselle suomalaiselle yhdistelmäsikalalle lämmityksen normikertoimeksi (L) voidaan laskea 7,7 GJ yhtä emakkoa ja 20 lihasikaa kohden (Taulukko 14).

Luonnonmukaisessa sikalassa sikojen tilavaatimus on koko tuotantoketjua tarkasteltaessa noin 30 % suurempi kuin tavanomaisessa tuotannossa³⁶. Yhteensä tämä tekee noin 900 m². Tällöin suomalaisen luonnonmukaisen yhdistelmäsikalan lämmitykseen kuluu 495 GJ vuodessa, jolloin lämmityksen normikertoimeksi (L) voidaan laskea 9,9 GJ yhtä emakkoa ja 20 lihasikaa kohden (Taulukko 14).

Lisäksi luonnonmukaisille sioille on taattava kesäkuukausiksi ulkoilumahdollisuus (Luonnonmukaisen tuotannon... 2000, s. 28-31 ja s. 44). Ulkoilutilavaatimus on 15% pienempi kuin sisätilavaatimus. Ulkoilutiloihin tulee rakentaa betoni tai asfalttipohja, jotta virtsa ja lanta voidaan kerätä talteen.³⁷

Tanskassa sikaloiden lämmitykseen kuluu huomattavasti vähemmän energiaa. Dalgaardin ym. (2001, s. 56) mukaan 80 % tavanomaisessa tuotannossa olevista sikaloista on lämmitettyjä, luonnonmukaisessa tuotannossa taas sikalat ovat lähes järjestään lämmittämättömiä. Tavanomaisessa tuotannossa yhden lihasian lämmitykseen kuluu 0,02 GJ ja emakon 1,6 GJ vuodessa. Yhdistelmäsikalassa koko katraan (emakko ja 20 lihasikaa) lämmityksen normikertoimeksi (L) muodostuu näin 2,0 GJ vuodessa. (Dalgaard ym. 2001, s. 56).

Refsgaard ym. (1998, s. 609) ja Dalgaard ym. (2001, s. 56) ovat määritelleet tanskalaiselle sikarakennusten rakentamisen ja kunnostuksen energiakulutukselle normikertoimen (R). Tavanomaisessa tuotannossa tämä on yhtä eläinyksikköä (30 lihasikaa tai 0,5 emakkoa) kohden 2,5 GJ, eli yhtä emakkoa ja kahtakymmentä lihasikaa kohden tämä tekee 2,9 GJ. Tarkkoja laskelmia suomalaisen sikalarakentamisen energiakulutuksesta ei ole saatavissa, joten oletan sen olevan yhtä suurta tanskalaisen sikalarakentamisen kanssa. Luonnonmukaisen tuotannon kohdalla arvioin rakentamisen energiakulutuksen olevan vaadittavaa lisäpinta-alaa vastaavasti noin 10% tavanomaista suurempaa.

Rakentamisen lisäksi valaistukseen, ilmastointiin ja rehun käsittelyyn kuluu energiaa. Niiden normikerroin (T) perustuu Dalgaardin ym. (2001, s. 56) laskelmiin tanskalaisissa sikaloissa. Oletan näiden toimintojen energiakulutuksen olevan Suomessa yhtä suurta kuin Tanskassa (Taulukko 14).

³⁶ Tiedonanto: 21.11.2002, Kivinen Tapani, MTT Maatalousteknologian tutkimus.

³⁷ Tiedonanto: 21.11.2002, Kivinen Tapani, MTT Maatalousteknologian tutkimus.

Taulukko 14. Sikaloiden energiakulutusnormi vuodessa.

Toiminto	Yksikkö	Suomi (normik.)		Tanska (normik.)	
		Tavanom.	Luomu	Tavanom.	Luomu
Lämmitys (<i>L</i>)	GJ/emakko ^a	7,7	9,9	2,0	0
Rakentaminen (<i>R</i>)	GJ/emakko ^a	2,9	3,2	2,9	3,2
Muut toiminnot (<i>T</i>)	GJ/emakko ^a	3,6	3,6	3,6	1,9

^a Sisältää emakon ja sen tuottamat porsaas sekä lihasiat.

Taulukko 15. Sikaloiden energiakulutus vuodessa.

	Toiminto	Yksikkö	Tavanomainen	Luonnonmukainen
Suomi	Lämmitys (<i>L</i>)	GJ/vuosi	385,0	554,4
	Rakentaminen (<i>R</i>)	GJ/vuosi	145,0	179,2
	Muut toiminnot (<i>T</i>)	GJ/vuosi	180,0	201,6
	Yhteensä	GJ/vuosi	710,0	935,2
Tanska	Lämmitys (<i>L</i>)	GJ/vuosi	100,0	0,0
	Rakentaminen (<i>R</i>)	GJ/vuosi	145,0	179,2
	Muut toiminnot (<i>T</i>)	GJ/vuosi	180,0	106,0
	Yhteensä	GJ/vuosi	425,0	285,6

Tietyn kokoisen sikalan energiakulutus EK_{sikala} saadaan kertomalla emakoiden määrä N rakennusten valaistus-, ilmastointi- ja rehunkäsittelytoimintojen T , lämmityksen L sekä rakentamisen R normikertoimien summalla seuraavasti (Yhtälö 18):

$$(18) \quad EK_{sikala} = (T + L + R) * N$$

Taulukkoon 15 on koottu vuosittainen energiakulutus kullekin tarkasteltavalle sikalalle.

Materiaalien kulutus

Sikaloiden rakentamiseen ja niissä toimivaan koneistukseen kuluu sikalatyyppistä riippuen vaihtelevia määriä erilaisia rakennusaineita, kuten betonia, terästä, puuta ja lämpöeristeitä. Sikalarakentamisen materiaalikulutusta ei ole Suomessa tutkittu. Karkean arvioin siitä voi antaa perustuen Suomen luonnonsuojeluliiton julkaisun Ekotehokkuus rakennusalalla (2002) -perusteella. Siinä betoni-sandwich -tyyppisen ulkoseinän rakentamisen materiaalikulutus on arvioitu olevan 1104 kg/ m² ja seinän ylläpidon 400 kg/m² sadan vuoden käyttöiällä.

Sadan vuoden käyttöikä sikalalle on hyvin epätodennäköinen, vaikka teknisesti rakennus tämän kestäisikin. Esimerkiksi 20 vuotta sitten rakennettiin sikaloita, jotka ovat vain kolmasosa kooltaan siitä kokoluokasta, mitä nykyään yleensä rakennetaan. Toisaalta käytöstä pois-

tutetut sikalat saattavat palvella vielä vuosikymmeniä jossain muussa käytössä. Sikalan tekniseksi käyttöiäksi voi karkeasti arvioida noin 25-40 vuotta.³⁸ Laskemalla 40 vuoden käyttöiällä betoniseinien ja niiden ylläpidon materiaalkuormitukseksi muodostuu noin 32 kg/m² vuodessa. Pääosa rakennusten materiaalkuormituksesta johtuu maarakennustöistä. Perustustöihin kuluu noin 0,5 m³ soraa ja alapohjaan noin 0,1 m³ betonia lattianeliötä kohti. Yläpohjaan, eli kattorakenteisiin kuluu noin kymmenesosa alapohjan vaatimasta materiaalkuormituksesta.³⁹ Kiviaineksen ominaispaino on 2670 kg/m³ ja betonin noin 2300 kg/m³ lujuusluokasta riippuen (Lampinen & Honkavuori 1991.) Tällöin perustustöihin kuluu 1335 kg/m² soraa ja alapohjaan 230 kg/m².

Sikaloiden lämmityksen oletan tapahtuvan polttoöljyllä. Valaistus, rehujen käsittely, lannanpoisto ynnä muut sellaiset toiminnot tapahtuvat sähköllä. Myös rakentamisen osalta käytän sähköä vastaavaa materiaalikerrointa. Rakentamisen energiakulutus ei luonnollisesti sisällä yksistään sähkön käyttöä, vaan se sisältää useita muita energiamuotoja. Sähkökertoimen käyttö tässä on kuitenkin perusteltua, osittain yksinkertaisuuden vuoksi, mutta myös siksi, että sähkön voi kuitenkin katsoa edustavan keskimääräistä energialähdettä. Sähkön tuotannossa, josta sähkön materiaalikäyttökerroin muodostuu, on käytetty useita energialähteitä. Sikaloiden materiaalikäyttö vuodessa on koottu taulukkoon 16.

Taulukko 16. Sikaloiden materiaalikäyttö vuodessa neljänkymmenen vuoden käyttöajalla.

	Toiminto	MI-kerroin	Tavanomainen		Luonnonmukainen	
		t/GJ	GJ	MI t/t ^d	GJ	MI t/t ^d
Suomi	Läm. (L)	0,05 ^a	385,0	19,6	554,0	28,3
	Rak. (R)	0,43 ^c	145,0	62,4	179,0	77,1
	Muut (T)	0,11 ^b	180,0	19,8	201,6	22,2
		t/m ²	m ²		m ²	
	Seinä	0,032	2 100	67,0	2 700	86,4
	Perustukset	0,039	700	27,6	900	35,4
	Alapohja	0,008	700	5,4	1 665	12,7
	Yläpohja	0,0008	700	0,5	900	0,7
	Yhteensä			202,4		262,8
			t/GJ	GJ ^d		GJ ^d
Tanska	Läm. (L)	0,05 ^a	100,0	5,1	0,0	0,0
	Rak. (R)	0,43 ^c	145,0	62,4	179,2	77,1
	Muut (T)	0,43 ^c	180,0	77,4	95,0	35,4
		t/m ²	m ²		m ²	
	Seinä	0,032	2 100	67,2	2 700	86,4
	Perustukset	0,039	700	27,6	900	35,4
	Alapohja	0,008	700	5,4	1 665	12,1
	Yläpohja	0,0008	700	0,5	900	0,7
	Yhteensä			245,5		253,2

^a Mainsteinin (1999) ilmoittama polttoöljyn kerroin on 2,5 kg/kg polttoöljyä. Kilo polttoöljyä sisältää 42,5 MJ energiaa, jolloin kertoimeksi muodostuu 0,06 tonnia GJ kohti.

^b Sähkön materiaalikäyttö Suomessa (Juutinen 2000).

^c Sähkön keskimääräinen materiaalikäyttö OECD-maissa (Juutinen 2000).

^d Sikaloiden materiaalikulutus materiaalitonneina vuodessa.

³⁸ Tiedonanto: 21.11.2002, Kivinen Tapani, MTT Maatalousteknologian tutkimus.

³⁹ Tiedonanto: 21.11.2002, Saari Arto, Teknillinen korkeakoulu, Arkkitehtiosasto.

5.3 Teurastamo

5.3.1 Yleistä

Teurastamoiden materiaali- ja energiakulutus perustuu Suomen kansallisen BAT -toimialaryhmän teurastamoteollisuudelle teettämään BAT -selvitykseen⁴⁰ (Salminen 2002). Tanskan osalta käytetään samoja tunnuslukuja, vaikka yksikkökoot ovat Tanskassa jonkin verran suurempia. Suomessa teurastetaan päivittäin noin 5 750 sikaa (2,1 miljoonaa vuodessa). Tanskassa vastaavasti yli 60 000 yksilöä (22 miljoonaa vuodessa). Toresenin ym. (2001) mukaan energiakulutus Tanskalaisissa ja Norjalaisissa teurastamoissa vähenee jonkin verran yksikkököön kasvaessa. Sen merkitys on kuitenkin niin vähäinen, että sitä ei tässä tutkimuksessa ole tarvetta huomioida. (Salminen 2002, s. 26).

Sitä vastoin tavanomaisen ja luonnonmukaisen tuotannon välillä on huomattavia eroja. Tämä johtuu siitä että volyymit ovat luonnonmukaisessa tuotannossa edelleen pieniä. Luonnonmukaisia sikoja teurastettaessa koko teurastuslinja pitää siivota, jotta luonnonmukainen tuote pysyisi tavanomaisesta varmasti erillään. Tämä aiheuttaa lisää materiaali- ja energiakulutusta. Tavanomaisen ja luonnonmukaisen sian teurastuksen eroista ei kuitenkaan ole tutkimustietoa tarjolla, joten tässä tutkimuksessa käytetään kaikissa tuotantojärjestelmissä samoja arvoja.

5.3.2 Teurastus

Teurastusprosessissa siat tuodaan teurasautolla vastaanottoaulaan. Vastaanotossa syntyy eritteitä, jotka kompostoidaan. Teurasautoa pestäessä syntyy jätevesiä. Vastaanottoaulasta siat ajetaan ryhmittäin tainnutukseen, joka tapahtuu hiilidioksidilla tai pienemmissä teurastamoissa sähköllä. Tainnutettu sika ripustetaan takajaloista kuljettimeen, joka vie ruhon läpi teurastusketjun. (Salminen 2002, s. 15).

Teurastusketjussa ensimmäiseksi sika pistetään ja siitä valutetaan verta noin 4 kg. Veri päätyy suurimmaksi osaksi turkiseläinten rehuksi, osaltaan myös ihmisravinnoksi. Veren laskun jälkeen, jotta karvat irtoaisivat helpommin, sikaa uitetaan kuumavesitankissa tai sitä höyrytetään. Varsinainen karvan poisto tapahtuu joko nyhtämällä pyörivillä kumisilla "sormilla" tai painevesisuihkulla. Irronnut karva (noin 1,0 kg/eläin) käytetään lämpökäsittelyn jälkeen rehuteollisuuden raaka-aineena. Sian nahkaan kiinni jääneet loput karvat poltetaan propaanikaasulla, jota kuluu 250-290 g sikaa kohden. Häntä ja korvat irrotetaan lemmikkieläinten ravinnoksi. Seuraavaksi irrotetaan sisäelimet. Sydän, maksa ja munuaiset pestään ja myydään ihmisravinnoksi. Loput sisäelimestä, kuten keuhkot, suolisto ja vatsalaukku puhdistaan sulamattomasta ravinnosta ja toimitetaan luiden ja muiden tähteiden ohella (yhteensä 14-16

⁴⁰ Best Available Techniques, eli paras käytettävissä oleva tekniikka tai paras käyttökelpoinen tekniikka. BAT-toimialaryhmällä tarkoitetaan kansallista toimialaryhmää, joka koostuu tietyn toimialan asiantuntijoista. BAT -selvityksiä on teetetty noin 30 eri teollisuuden alalta.

kg/sika) lämpökäsittelyn jälkeen turkis- ja lemmikkiruokateollisuuden käyttöön. Suoliston ja vatsalaukun sisältö kompostoidaan. Sisäelinten poistamisen jälkeen sian ruho paloitellaan ja jäähdytetään alle 7 °C. (mt., s. 15-16, s. 29).

Veden kulutus suomalaisissa teurastamoissa vaihtelee 166-703 litran välillä teurastettavaa sikaa kohden. Veden kulutus riippuu paljolti siitä, miten pitkälle lihan leikkuuta, luiden poistoa ynnä muuta jalostustoimintaa teurastamossa harjoitetaan. Prosessin myötä syntyvät jätevedet sisältävät muun muassa ruhontähteitä, rasvoja ja verta. Ne viedään kompostoitaviksi yhdessä sisäelinten puhdistuksessa syntyneiden jätteiden ja vastaanottoaulan eritteiden kanssa. Yhteensä kompostoitavaa jätettä syntyy 8-10 kg/sika. Erilaisia desinfiointi- ja pesuaineita kuluu noin 2,6 kg teurastettua sikaa kohden. Niistä emäksisiä pesuaineita on 93 %, happamia pesuaineita 3 % ja desinfiointiaineita 4%. (mt., s. 16, s. 31, s. 34).

Teurastamotuotteiden jäähdytyksessä ja tuotteiden kylmänä pidossa kuluu merkittävin osa teurastamoiden sähköenergiasta. Sähköä käytetään muun muassa paineilman tuotantoon, ilmastointiin, valaistukseen ja erilaisten koneiden käyttöön. Teurastamon sähköenergiakulutus vaihtelee 64,8-100,8 MJ välillä teurastettua eläintä kohden riippuen siitä, miten pitkälle tuotteita jatkojalostetaan. Teurastusprosessissa kuluu 111,6-183,6 MJ lämpöenergiaa. Tämän lisäksi rehuteollisuuden käyttöön menevien ruhojätteiden lämpökäsittelyyn kuluu energiaa noin 1,2 MJ. (mt., s. 26-27). Rehuteollisuuden käyttöön kohdentuva osuus ei kuitenkaan kuulu enää tämän tutkimuksen piiriin. Taulukkoon 17 on koottu teurastamoiden keskimääräinen energia- ja materiaalikulutus teurastettua sikaa kohden.

Taulukko 17. Teurastamoiden keskimääräinen energian ja materiaalien kulutus teurastettua sikaa kohden.

	Määrä kg	Energia MJ	Suomi kg/MJ	kg/kg	Tanska kg/MJ	kg/kg
Sähkö ^a		83	0,11	9,1	0,43	35,7
Tukienergia (116 %) ^b		96	0,06	5,8	0,06	5,8
Lämpö (polttoöljy) ^c	3,5	148	0,06	8,9	0,06	8,9
Tukienergia (14 %) ^d		21	0,11	2,3	0,43	9,0
Propani ^e	0,3	13	0,06	0,8	0,06	0,8
Pesuaineet ^f	2,6		6,1	15,9	6,1	15,9
Yhteensä				43 kg		76 kg

^a Sähkön materiaalikäyttö on Suomessa 0,11 kg/MJ. Tanskan kerroin 0,43 kg/MJ perustuu OECD-maiden keskiarvoon. (Juutinen 2000).

^b Sähkön tuotannon tukienenergiakäyttö (Juutinen 2000).

^c Mainsteinin (1999) ilmoittama polttoöljyn kerroin on 2,5 kg/kg polttoöljyä. Kilo polttoöljyä sisältää 42,5 MJ energiaa, jolloin kertoimeksi muodostuu 0,06 tonnia GJ kohti.

^d Polttoöljyn tukienenergia (de Boo 1993, Dalgaardin ym. 2001, s. 53 mukaan).

^e Propanin lämpöarvo on 46,3 MJ ja materiaalikulutus kertoimella 2,6 kg/kg (Manstein 1999), jolloin sen materiaalikulutukseksi muodostuu 0,06 kg/MJ.

^f Pesuaineiden materiaalinkulutus (Wuppertal Institut 1998). Materiaalikulutus kerroin ilmaistu kg/kg.

5.4 Kuljetukset

Kuljetusten energiakulutus määritellään kuljetusten normikertoimen, tonnikilometrin avulla. Tonnikilometri tarkoittaa tuhannen kilon lastin kuluttamaa energiamäärää yhtä kilometriä kohden. Jos KM kuvaa kuljettua kilometrimäärää, T kuljetettavan tavaran määrää, KE tonnikilometrin normiarvoa ja Ö polttomoottorikoneissa tapahtuvaa öljyn kulutuksen normikerointa (Ö on suoraan verrannollinen polttoöljyn käytöstä aiheutuvaan energiankulutukseen), kuljetusten energiakulutus EK_{kuljetus} voidaan laskea seuraavasti (Yhtälö19):

$$(19) \quad EK_{\text{kuljetus}} = KM * T * KE * Ö$$

Maatalouden massatavaroiden, kuten viljan ja siemenien, rehujen, lannoitteiden ja maanparannusaineiden, kuljetuksista on maantiekuljetusten osuus yli 90 % (Maatalouskuljetusten opas 1989, s. 3). Muiden kuljetusmuotojen osuus on siis hyvin vähäinen. Siksi esimerkiksi rautatiekuljetukset jätetään tässä työssä huomiotta.

Refsgaard ym. (1998, s. 608) on arvioinut maantiekuljetusten tonnikilometrin energiakulutukseksi 1,9 MJ. Grönroos ja Voutilainen (2001, s. 44) ovat päätyneet yli puolet pienempään arvioon. Heidän mukaansa tonnikilometrillä kuluu polttoöljyä 0,0186 kg, eli polttoöljyn lämpöarvoon perustuen 0,8 MJ. Vielä pienempään energian kulutukseen on päätynyt Sinkkonen (2001, s. 32), jonka mukaan rukiin tuotantojärjestelmässä energiaa kuluu noin 0,6 MJ tonnikilometrillä.

Erilaiset arviot johtuvat paljolti siitä, miten suurilla autoilla oletetaan ajettavaksi, miten täysiä lasteja autot kuljettavat ja miten paljon tyhjääjtoa kuljetuksiin liittyy.

Taulukossa 18 on lueteltu eri kuljetusmuodoilla Tieliikenteen tavaraliikenne (2000) mukaisia energiakulutusarvoja. Käytän taulukossa mainittuja arvoja kunkin tuotantojärjestelmän yleistä käytäntöä vastaavan kuljetusvälineen kohdalla.

Laivakuljetuksen energiakulutus jakautuu merimatkan kuluttamaan energiaan sekä laivan laiturissa käyttämään energiaan. Laiturissa ainakin viljalaivan käyttämä energiamäärä on Sinkkosen (2001, s. 33) mukaan niin vähäinen, että sen huomioiminen ei ole tarpeellista. Merellä kuluva energia on viljan kuljetukseen käytettävillä irtolastialuksilla 0,23 MJ/tkm ja konttialuksilla 0,28 MJ/tkm (Vesiliikenteen... 1999). Oletan tiivisterehun raaka-aineena käytettävän soijarouheen kuljetuksen tapahtuvan konttialuksella.

Kuljetusten materiaalikulutuksen osalta huomion ainoastaan kuljetusten polttoainekulutuksen aiheuttama materiaalikulutus. Kuljetuskaluston, tiestön ja muun infrastruktuurin valmistamisen ja rakentamisen vaikutusta en ota niiden vähäisen vaikutuksen takia tässä huomioon. Taulukkoon 19 on eritelty tuotantojärjestelmien kuljetusketjut, kuljetusten aiheuttama energiakulutus ja siitä aiheutuva materiaalikulutus.

Taulukko 18. Maantiekuljetusten energiakulutus tonnikipometriä kohti.

	Täyttöaste	Maantieajo MJ/tkm	Jakelu/katuajo MJ/tkm
Suuri jakelukuorma-auto	50 %	1,58	1,76
kantavuus 9 t	100 %	0,86	1,04
Puoliperäkuorma-auto	70 %	0,76	1,26
kantavuus 25 t	100 %	0,58	0,97
Täysperäkuorma-auto	70 %	0,57	1,01
kantavuus 40 t	100 %	0,43	0,83

Taulukko 19. Tuotantojärjestelmien kuljetusketjut, kuljetusten aiheuttama energiakulutus ja siitä aiheutuva materiaalikulutus.

TAVANOMAINEN TUOTANTO							
Mistä – mihin	Normi MJ/tkm	Suomi km ^a	t	MJ	Tanska km ^a	t	MJ
Lannoitetehtas – maatila	1,6	150	21	5 011	70	19	2 122
Kalkkikaivos – maatila	0,6	110	80	4 99	110	50	3 112
Rehutehtas – maatila	1,6	85	91	12 215	70	91	10 059
Sikala – teurastamo	1,8	20	110	3 872	20	110	1 872
Teurastamo – kauppa	1,6	110	60	10 428	2 100	60	199 080
Soija (USA) – Satama (USA)	0,6	1 500	64	54 434	1 500	64	54 434
USA – Suomi/Tanska	0,3	9 000	64	160 436	8 600	64	153 305
Satama – rehutehtas	0,6	140	64	5 981	120	64	4 354
Energia yhteensä				256 465			430 340
Materiaalien kulutus	kg/MJ			kg			kg
Yhteensä	0,05			12 823			21 517
LUONNONMUKAINEN TUOTANTO							
Mistä – mihin	Normi MJ/tkm	Suomi km ^a	t	MJ	Tanska km ^a	t	MJ
Kalkkikaivos – maatila	0,6	110	224	14 098	70	145	5 790
Maatila – rypsipuristamo	1,6	100	27	4 239	60	27	2 543
Rypsipuristamo – maatila	1,6	100	27	4 239	60	27	2 543
Rehutehtas – maatila	1,6	85	17	2 297	60	17	1 621
Sikala – teurastamo	1,8	20	110	3 872	20	110	3 872
Teurastamo – kauppa	1,6	110	60	10 428	2100	60	199 080
Energia yhteensä				39 173			215 450
Materiaalien kulutus	kg/MJ			kg			kg
Yhteensä	0,05			1 958			10 773

^a Välimatkat: Paikkakuntien välimatkoja Suomessa 2000, World Port Distances 2001, Driving Distances between Selected USA Cities 2000, Road distances in Denmark 2001.

6 Tulokset

Tuotantojärjestelmien aiheuttamat vaikutukset on aineistossa esitelty käyttäen perusyksikkönä yhdistelmäskalaysikköä (1000 lihasikaa vuodessa). Tutkimustulosten ymmärrettävyyden kannalta on kuitenkin tarpeen esittää tulokset myös pienempää ja helpommin mielletävää yksikköä käyttäen. Tällaisen muodostaa sianruhosta saatava kinkku. Yhteenvedossa laskelmien tulokset on siis ilmoitettu keskikokoisen kinkun (10 kg) koko tuotantoketjun aikana aiheuttamana materiaali- ja energiakulutuksena.

Kinkun tuotantoketjun aiheuttaman panoskäytön kohdentaminen tapahtuu lopputuotteen taloudellisen arvon perusteella suhteessa muuhun sianruhosta saatavaan arvoon. Aivan ongelmattomasti tämä ei ole, koska sianruhon eri osien arvo riippuu esimerkiksi siitä, minkälaisiin käyttötarkoituksiin ruhon eri osat käytetään. Sianruho voidaan myydä kokonaisuutena, paloitteluun, luuttomana tai luiden kanssa. Myös markkinatilanne ja jopa vuodenaika vaikuttavat. Yksi kinkku muodostaa noin 20-25 % sianruhon taloudellisesta arvosta.⁴¹ Oletan siis, että yhden lihasian tuottamisen aiheuttamasta panoskäytöstä koko tuotantoketjun aikana 22,5 % kohdentuu kinkulle.

Taulukossa 20 on esitelty materiaalikulutus ekologisina selkäreppuina ja energiakulutus kymmenen kilon kinkulle kohdennettuna. Taulukosta voidaan havaita, että ekologisina selkäreppuina mitattuna tavanomaisen ja luonnonmukaisen tuotannon välillä on suhteellisen suuri ero, luomutuotannon eduksi. Suomalainen tuotanto on kummassakin vertaistuoantomuodossa ekotehokkaampaa. Energiakulutusta tarkasteltaessa luonnonmukainen tuotanto on edelleen sekä Suomessa että Tanskassa ekotehokkaampaa kuin tavanomainen tuotanto, mutta maitten välinen ekotehokkuusjärjestys muuttuu tanskalaisten tuotantojärjestelmien eduksi.

Niinkään olennaista ei kuitenkaan ole, mikä tarkasteltavista tuotantojärjestelmistä on ekotehokkain vaan, missä tuotannon vaiheissa energiaa ja materiaaleja kuluu ja minkä panoskäytövaiheen osalta järjestelmät poikkeavat toisistaan. Tällaista tarkastelua varten on syytä esittää eri tuotantovaiheiden panoskäyttö graafisesti (Kuvat 3 ja 4).

Kuvasta 3 voi havaita, että NPK -lannoitteet, sikalojen rakentaminen ja kalkitus vaativat suurimman osan tuotantojärjestelmien materiaalikäytöstä. Erot tavanomaisen ja luonnonmukaisen tuotantomuotojen välille syntyvät tavanomaisessa tuotannossa käytettävistä NPK -lannoitteista ja pidemmistä kuljetusmatkoista. Pidemmät kuljetusmatkat tavanomaisessa tuotannossa johtuvat tiivisterehun pääraaka-aineena käytettävästä soijapavusta, joka tuodaan USA:sta. Lisäksi tanskalaisten kinkkujen reppuja kuormittavat niiden kuljetukset Suomeen.

Tanskalaisten osalta sikalarakentamisen, sikalan ylläpitotoimien ja teurastamoiden Suomea suurempi materiaalikäyttöosuus johtuu Tanskassa käytettävän sähkön huomattavasti korke-

⁴¹ Tiedonanto: 17.7.2002, Virtanen Kari, HK-ruokatalo.

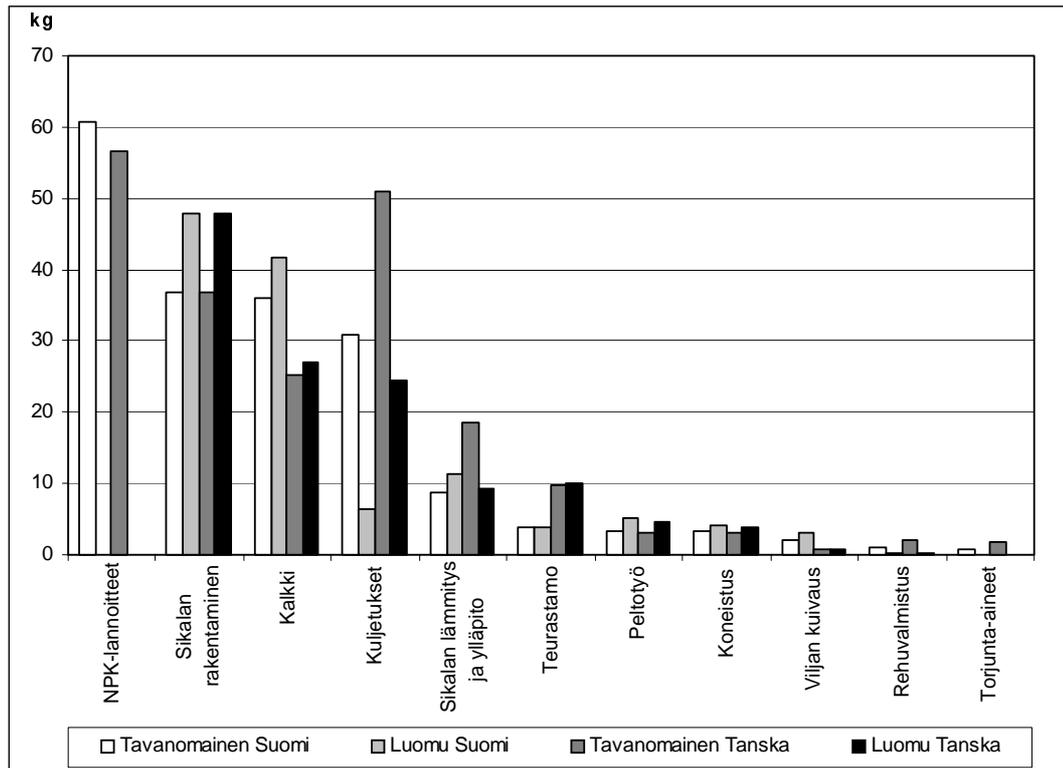
Taulukko 20. Ekologinen selkäreppu ja energiakulutus yhdelle kinkulle (10 kg) kohdennettuna.

Ekologinen selkäreppu (kg) tuotettua kinkkua (10 kg) kohti				
	Suomi		Tanska	
	Tavanomainen	Luomu	Tavanomainen	Luomu
Peltotyö	3,3	5,1	3,1	4,7
Viljan kuivaus	2,2	3,0	0,7	0,9
Koneistus	3,3	4,2	3,1	3,9
NPK-lannoitteet	60,8	0,0	56,7	0,0
Kalkki	36,1	41,7	25,3	26,9
Torjunta-aineet	0,9	0,0	1,7	0,0
Rehuvalmistus	1,0	0,2	2,1	0,3
Sikalan lämmitys ja ylläpito	8,9	11,4	18,6	9,2
Sikalan rakentaminen	36,7	47,8	36,7	47,8
Teurastamo	3,9	4,0	9,9	10,0
Kuljetukset	30,9	6,5	50,9	24,4
Yhteensä (kg)	187,9	123,8	208,8	128,0

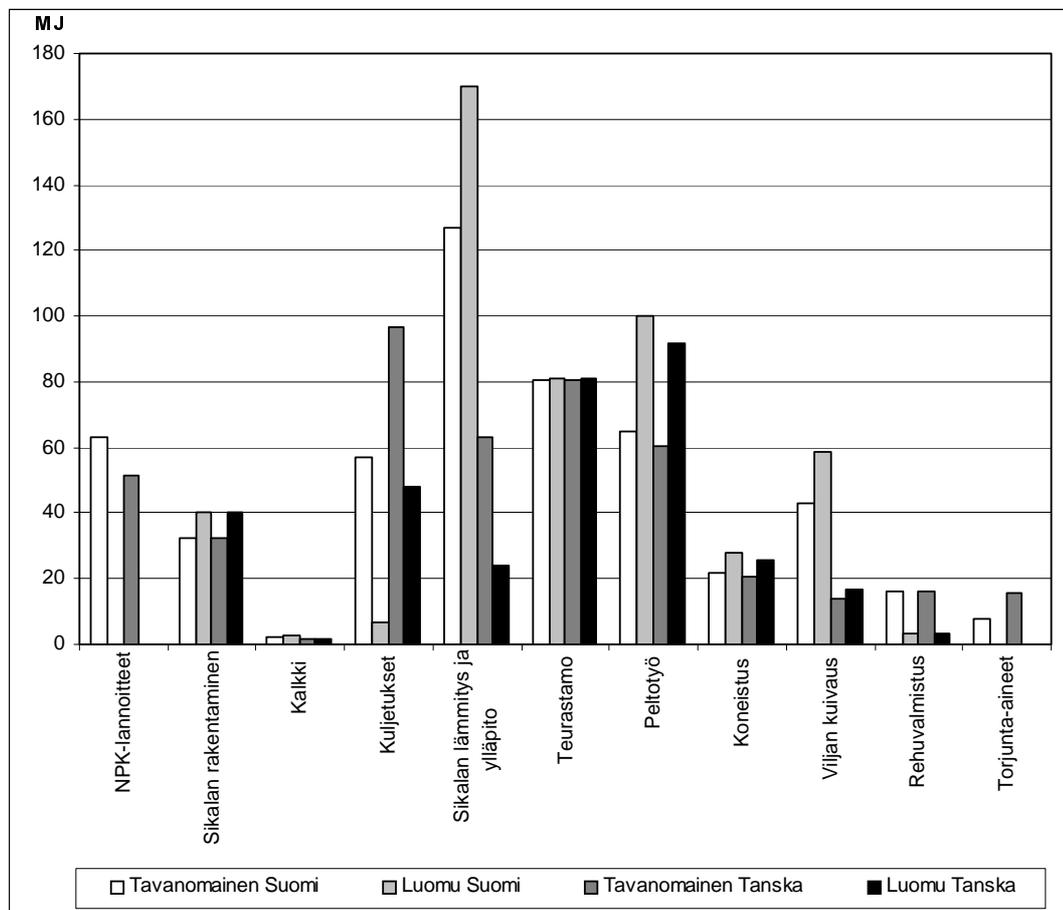
Energiakulutus (MJ) tuotettua kinkkua (10 kg) kohti				
	Suomi		Tanska	
	Tavanomainen	Luomu	Tavanomainen	Luomu
Peltotyö	64,8	100,2	60,5	91,6
Viljan kuivaus	42,9	59,0	13,9	16,8
Koneistus	22,0	28,0	20,8	25,7
NPK -lannoitteet	63,2	0,0	51,4	0,0
Kalkki	2,5	2,9	1,7	1,8
Torjunta-aineet	7,8	0,0	15,8	0,0
Rehuvalmistus	16,4	3,3	16,4	3,3
Sikalan lämmitys ja ylläpito	127,1	170,1	63,0	23,9
Sikalan rakentaminen	32,6	40,3	32,6	40,3
Teurastamo	80,2	80,9	80,2	80,9
Kuljetukset	57,1	6,5	96,5	47,9
Yhteensä (MJ)	516,8	491,1	452,9	332,3

ammasta materiaali-intensiteettikertoimesta (ks. luku 5.1.1). Muuttamalla tätä kerrointa Suomea vastaavaksi tulokset kääntyvät tanskalaista tuotantoa suosivaan suuntaan.

Yllättävää ekologisissa selkärepuissa on kalkituksen merkittävyys, etenkin jos tätä vertaa kalkituksen aiheuttamaan energiakulutukseen (Kuva 4). Etenkin luonnonmukaisessa tuotannossa kalkituksen vaikutus on merkittävä siitäkin huolimatta, että kalkkia käytetään vain puolet tavanomaisesta käyttömäärästä (ks. luku 5.1.2).



Kuva 3. Kymmenen kilon kinkun ekologisten selkäreppun eri osatekijät eriteltyinä.



Kuva 4. Kymmenen kilon kinkun energiakulutuksen osatekijät eriteltyinä.

Kalkituksen aiheuttama materiaalikulutus luonnonmukaisessa tuotannossa johtuu siitä, että luonnonmukaisessa tuotannossa satotasot ovat noin 30 % heikompia kuin tavanomaisessa tuotannossa, jolloin myös kalkittavaa peltopinta-alaa tarvitaan vastaavasti enemmän. Lisäksi luonnonmukaisessa viljelykierrossa täytyy viljavuuden ylläpitämiseksi olla nurmipalkokasveja noin 25 % kierrosta. Tämä osaltaan lisää rehuviljojen viljelyyn vaadittavaa pinta-alaa, etenkin sianlihatuotannossa, koska sika ei kykene merkittävässä määrin käyttämään nurmipalkokasveja hyväkseen. Eroa tavanomaisen ja luonnonmukaisen välillä kasvattaa edelleen, että luonnonmukaisessa tuotannossa rehun sulavuutta parantavien ns. synteettisten aminohappojen käyttö on kiellettyä, jolloin rehuksi viljeltävää kalkittavaa peltopinta-alaa tarvitaan edelleen tavanomaista enemmän (ks. luku. 5.2.2). Luonnonmukaisessa tuotannossa sian valkuaistarpeen tyydyttämiseen käytettyjen rypsin ja herneen viljely vaatii myös enemmän pinta-alaa kuin tavanomaisessa tuotannossa tiivisterehun pääraaka-aineena käytettävän soijapavun viljely.

Energiakulutuksen osalta (Kuva 4) maitten välinen ero syntyy sikalan lämmitykseen kuluva energiasta, joka on Suomessa huomattavasti suurempi. Erot tavanomaisen ja luonnonmukaisen tuotannon välille taas johtuvat tavanomaisen tuotannon NPK -lannoitteiden käytöstä, rehuvalmistuksesta ja pidemmistä kuljetusmatkoista. Luonnonmukaisessa tuotannossa taas energiaa kuluu huomattavasti enemmän sikaloiden lämmitykseen, joka johtuu sikaloiden suuremmasta pinta-alavaatimuksesta (noin 30 %).

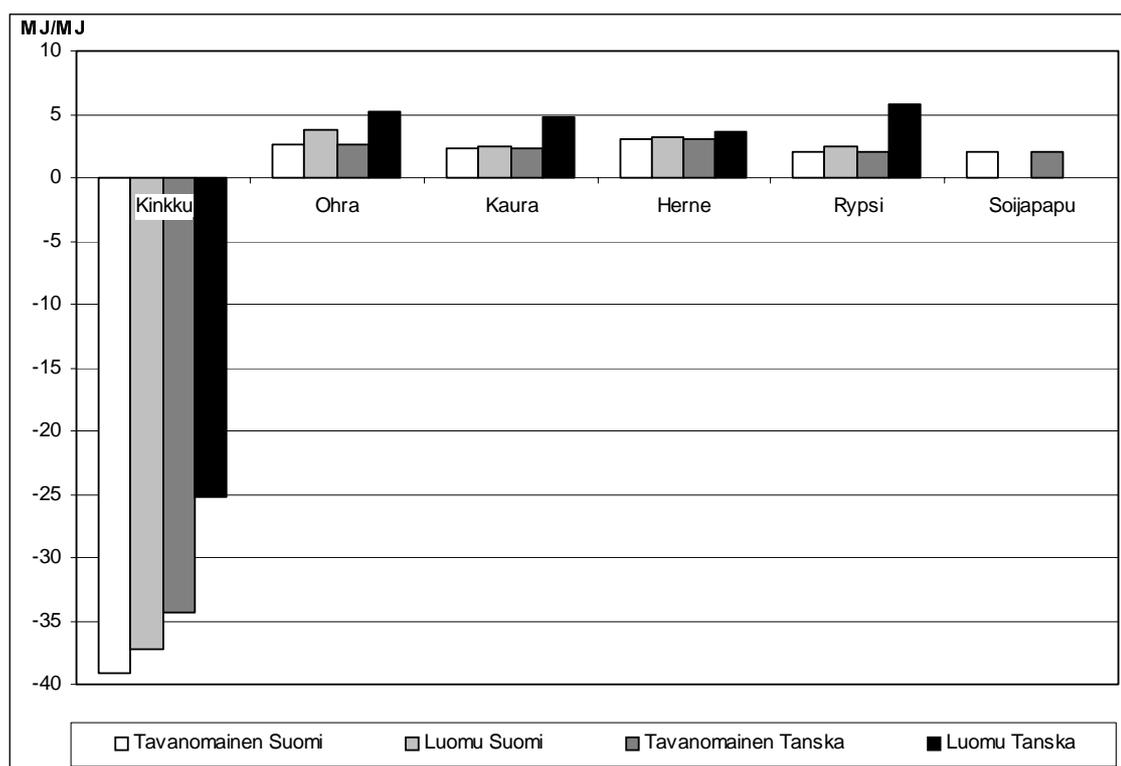
Satotasot sekä tavanomaisessa että luonnonmukaisessa tuotannossa ovat Suomessa lähes puolet pienempiä kuin Tanskassa. Silti se ei näy merkittävänä peltotyön energiakulutuksen lisääntymisenä. Tämä johtuu siitä, että Tanskassa käytetään hehtaaria kohden laskettuna peltotyöhön enemmän energiaa. Esimerkiksi peltoja kultivoidaan viljan puinnin jälkeen ahkerammin ja torjunta-aineita levitetään useampia kertoja kuin Suomessa. Luonnonmukaisessa tuotannossa peltotöihin kuluu enemmän energiaa matalampien satotasojen takia.

Tuotantojärjestelmien rinnakkainen tarkastelu osoittaa, että energian ja materiaalien säästö toisaalla aiheuttaa helposti lisäpanostarpeen joissain muussa tuotantovaiheessa. Esimerkiksi NPK -lannoitteiden ja torjunta-aineiden käyttö tavanomaisessa tuotannossa säästää peltotyön tarvetta. Ostorehujen käyttö vähentää edelleen peltotyön ja myös viljan kuivauksen tarvetta, mutta lisää kuljetusten ja rehuvalmistuksen panoskäyttöä.

Luonnonmukaisen tuotannon NPK -lannoitteiden ja torjunta-aineiden käyttökielto sekä rehuomavaraisuustavoite vähentävät panoskäyttöä kuljetuksissa, mutta samalla ne lisäävät panoskäyttötarvetta peltotyössä, viljan kuivauksessa ja koneistuksessa. Tavoite eläinten lajin mukaiseen käyttäytymismahdollisuuteen näkyy luonnonmukaisen tuotannon huomattavasti suurempana sikaloiden lämmitykseen ja rakentamiseen kuluvana panoskäyttönä. Rehun sulavuutta parantavien ns. synteettisten aminohappojen käyttökielto aiheuttaa suuremman rehun tarpeen, joka taas näkyy peltotyön, kalkituksen, viljan kuivauksen ja koneistuksen suurempana osuutena.

Sianlihatuotantoketjun eri vaiheiden tarkastelun lisäksi tuotantoketju voidaan purkaa osiin esimerkiksi sian ruokinnassa käytettävien rehujen osalta ja tarkastella rehujen ja sianlihan energiamuuntosuhdetta. Keskeistä ekotehokkuusajattelussa on siirtyä tuotekohtaisesta tarkastelusta tuotteen aikaansaamaan palvelusuoritteeseen tarkasteluun. Tuotteitahan tuotetaan, jotta ne tarjoisivat palveluita. Energianäkökulmasta sianlihatuotannon palvelusuoritteena on muuntaa tuotantoketjuna aikana käytettyjä energiapanoksia ihmiselle käyttökelpoiseksi muotoon. Kuvaan 5 on koottu sianlihatuotannon energiakulutus ja sian ruokinnassa käytettyjen viljelykasvien hyötysuhde niiden tuotannossa vaadittavan energian ja tuotteiden muuntokelpoisen⁴² energiasisällön suhteen.

Sianlihatuotanto ns. käänteisenä proteiinitehtaana on luonnollisesti huomattavan energiaa kuluttavaa: tässä tutkimuksessa kinkkukilon tuotantoon kuluu 25-38 -kertaa enemmän energiaa kuin mitä kinkkukilo sisältää. Viljelykasveilla tilanne on päinvastainen. Tietyllä energiamäärällä saadaan noin 2-6 -kertaisesti muuntokelpoista energiaa. Kun sianlihatuotantoa tarkastellaan ihmisen valkuaistarpeen tyydyttämiseen tähtäävänä palveluna, ekotehokkainta



Kuva 5. Sian ruokinnassa käytettävien viljelykasvien (output/input) sianlihatuotannon (input/output) hyötysuhde.

⁴²Rehujen energia-arvo perustuu muuntokelpoiseen energiaan (ME) ja ne ilmoitetaan rehuyksiköissä (RY). Muuntokelpoinen energia lasketaan englantilaisella menetelmällä (MAFF 1975, 1981, 1984). Yksi rehuyksikkö vastaa rehutaulukon parhaan ohrakilon ME-määrää, mikä on 11,7 MJ ME per kg ohraa (kuiva-aine 86 %).

olisi jättää sianliha tuotantoketjusta kokonaan pois ja tyydyttää ihmisen proteiinin tarve suoraan ohra-, kaura-, herne-, soijapapu- ja rypsiravinnolla. Ravitsemusteknisesti asia ei tietysti ole aivan näin yksinkertainen. Liha sisältää melko sopivassa suhteessa kaikki ihmiselle välttämättömät valkuaisaineet, kun taas kasviravinnolla vastaavien valkuaisaineiden saanti on turvattava useammalla kasviproteiinin lähteellä. Lisäksi kasvikset eivät mm. sisällä ihmiselle välttämätöntä B12 -vitamiinia. Lisäksi asiaan liittyy joukko kulttuurisia ja sosiaalisia tekijöitä. Onhan siellä suomalaisen ravitsemuksessa ja suomalaisessa maataloudessa merkittävä rooli. Ekotehokkuusnäkökulma yksinkertaistaa asioita huomattavasti. Samalla se kuitenkin nostaa esiin tekijöitä, jotka muuten saattaisivat jäädä huomiotta.

7 Tulosten tarkastelu

7.1 Tulosten ja työn arviointi

7.1.1 Ekologisen selkäreppun ja energia-analyysin vastaavuus

Molemmat mittarit, ekologien selkäreppu ja energia-analyysi ovat panoskäyttöön keskittyviä indikaattoreita. Niiden mittaustapa on täysin erilainen ja on luonnollista, että ne nostavat eri asioista sianlihatuotantoketjussa merkittäviksi. Kumpikin mittareista lienee omalla kattavuusalueellaan oikeassa. Se, mikä panoskäytön vaihe loppujen lopuksi on merkittävää, vaatii tulkintaa

Ekologinen selkäreppu poikkeaa energia-analyysistä kaikkein eniten kalkituksen osalta. Kalkin suuri osuus ekologisessa selkäreppussa johtuu siitä, että kalkkia käytetään suuria tonnimääriä verrattuna muihin tuotantopanoksiin. Kalkin käytön negatiiviset vaikutukset rajoittuvat kuitenkin lähinnä vain louhinnan aiheuttamaan maan- ja energiakäyttöön sekä kalkin kuljetusten aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin. Maatalousmaahan levitettynä kalkin vaikutukset ovat lähes puhtaasti positiivisia. Kalkki vähentää maaperän happamuutta, mikä taas lisää maaperäeliöstön aktiivisuutta ja parantaa ravinteiden liukoisuutta. Toisaalta maaperässä tapahtuvien kemiallisten reaktioiden ja maaperäeliöstön aktiivisuuden kasvun myötä maaperässä olevan orgaanisen aineksen hajonta kasvaa ja lisää näin hiilen paluuta takaisin ilmakehään. Hiilidioksidi kasvihuonekaasuna taas osaltaan edistää ilmaston lämpenemistä. Tämä vaikutus on kuitenkin vain väliaikainen, koska kalkin ansiosta lisääntynyt kasvien kasvu sitoo taas hiiltä ilmakehästä. Kaiken kaikkiaan kalkin käytön moninaisista vaikutuksista riippumatta kalkin osalta ekologinen selkäreppu -laskenta vaikuttaa selkeästi harhaanjohtavalta, etenkin kun kalkin käytön merkittävyyttä vertaa kalkituksen energiakäyttöön, jossa sen osuus energiakakusta on alle prosentin sekä luonnonmukaisessa että tavanomaisessa tuotantojärjestelmässä.

Toinen mielenkiintoinen tarkasteltava tekijä on torjunta-aineet, joiden käytön kieltäminen on eräs keskeisin tekijä, jolla luonnonmukainen ja tavanomainen tuotanto eroavat toisistaan.

Torjunta-aineiden osuus ekologisella selkärepulla mitattuna on täysin olematon, ainoastaan prosentin luokkaa (Kuva 3). Myös energiatarjunnassa torjunta-aineet jäävät marginaaliseen asemaan (Kuva 4). Kumpikaan menetelmistä ei huomioi tuotannon mahdollisia vaikutuksia, vaan ne keskittyvät ainoastaan panoskäyttöön kertoen vain välillisesti ympäristövaikutuksista. Tällöinkin ainoastaan, jos kyseisen panoksen ympäristövaikutukset tunnetaan. Ekologisen selkärepuun kehittäjä Friedrich Smidt-Bleek painottaakin, että myrkyllisiä aineksia tarkasteltaessa on toksisuusanalyysi aina tehtävä erikseen (Schmidt-Bleek 2000, s. 127-129).

Ekologisessa selkärepuussa NPK -lannoitteet vastaavat suurimmasta osaa tavanomaisen tuotannon materiaalikäytöstä. Energiatarjunnassa lannoitteiden osuus näyttää vaatimattomalta (11-13 %). Esimerkiksi Katajajuuren ym. (2000, s. 84) mukaan rehuohralla tehdyssä elinkaarivertailussa NPK -lannoitteiden osuus rehuohran viljelyn primäärienergiakulutuksesta on noin 43 %. Olennaista on kuitenkin huomata, että sianlihatuotantoketjussa rehuviljojen viljely muodostaa vain osan koko tuotantoketjun energiakulutuksesta, jolloin eri tekijät painottuvat eri tavoin.

Tämä ei kuitenkaan poista sitä seikkaa, että esimerkiksi peltotöiden ja etenkin viljan kylväyksen osuus Suomessa vaikuttaa energiakulutuksen osalta huomattavan korkealta. Se on lähes NPK -lannoitteiden energiakultusta vastaavaa tasoa. On syytä huomioida, että tämä laskelma perustuu lähinnä Dalgaardin ym. (2001) ilmoittamiin normiarvoihin, joissa saattaa hyvinkin olla korjaamisen varaa.

Rakentamisen merkitys on sekä ekologinen selkäreppu- että energiatarjunnassa suurehko. Näihin arvoihin tulee suhtautua kuitenkin jossain määrin varauksella, koska laskennassa käytetyt lähtöarvot ovat, etenkin ekologisen selkärepuun osalta melko arvionvaraisia (ks. luku 5.2.6).

7.1.2 Herkkyysanalyysi

Tuotantojärjestelmän mallintamiseen liittyy useita epävarmuustekijöitä. Tavoitteenani on ollut saada käsiin kaikista tarkasteltavista tuotantojärjestelmän vaiheista niitä hyvin edustavia keskiarvoja. Kaikista tuotantoketjun vaiheista ei kuitenkaan ole yhtä tarkkaa ja luotettavaa aineistoa saatavilla. Osa aineistosta on yleistyksiä ja jonkun esittämiä arvioita. Suurin osa aineistosta on toki tarkkaan laskettuja arvoja, mutta niistäkin samaisesta aiheesta löytyy useita erilaisia versioita. Tutkimusprosessin aikana täytyy jatkuvasti tehdä valintoja, esimerkiksi mitä useista vaihtoehtoisista tietolähteistä käyttää ja millä perusteella. Valintoja olen systematisoinut käyttämällä mahdollisimman pitkälle samoja lähdeaineistoja. Olennaista tämän työn luotettavuuden arvioinnissa on havaita, että tässä esitetyt laskelmat eivät suoraan kuvaa todellisuutta, vaan ne ovat hypoteettisia sianlihatuotannon tilamalleja.

Mahdollisia muuttujia, jotka vaikuttavat tämän tutkimuksen laskelmien lopputulokseen, on pitkälle toista sataa. Useat niistä ovat myös sellaisia, että niille olisi voinut antaa jonkun

Taulukko 21. Laskentajärjestelmän herkkyys (+/- 30%) merkittävimpien muuttujien suhteen.

	+/- 30 %		Suomi tavanomainen % muutos	Suomi luonnonmuk. % muutos	Tanska tavanomainen % muutos	Tanska luonnonmuk. % muutos
Rehun- kulutus	+	MJ	14	11	14	11
	-	MJ	20	14	20	14
	+	kg	22	14	18	9
	-	kg	39	20	28	11
Satotaso	+	MJ	7	5	8	7
	-	MJ	11	9	12	11
	+	kg	20	13	15	8
	-	kg	24	17	19	11
Porsas- tuotos	+	MJ	12	14	9	7
	-	MJ	15	16	11	9
	+	kg	8	10	8	6
	-	kg	10	13	10	8
NPK - lannoitteet	+	MJ	5	0	5	0
	-	MJ	6	0	6	0
	+	kg	13	0	11	0
	-	kg	18	0	14	0
Kalkitus	+	MJ	0	0	0	0
	-	MJ	0	0	0	0
	+	kg	6	11	4	7
	-	kg	7	15	4	8
Sikalan lämmitys, ylläpito	+	MJ	8	9	4	4
	-	MJ	9	11	5	2
	+	kg	2	3	3	0
	-	kg	2	3	3	0
Kuljetukset	+	MJ	3	0	6	4
	-	MJ	3	0	7	5
	+	kg	5	2	8	7
	-	kg	6	2	9	8

muunkin arvon kuin tässä käytetyn. Laskelmat ovat kuitenkin herkkiä vain muutaman muuttujan suhteen. Taulukossa 21 on tarkasteltu näiden muuttujien lopputulokseen aiheuttamaa prosentuaalista muutosta vaihteluvälillä +/- 30 %.

Taulukon 21 ensimmäisessä sarakkeessa on tarkasteltavat muuttujat. Kunkin muuttujan kohdalla on riveittäin ilmaistu tarkasteltavien tuotantojärjestelmien kohdalla ensin energiakulutuksen (MJ) muutos, kun muuttujan arvo nousee (+) 30 %. Tämän alla on energiakulutuksen muutos, kun muuttujan arvo laskee (-) 30 %. Näiden alla edelleen saman muuttujan suhteen on ilmaistu (+/-30 %) myös ekologisissa selkärepuissa (kg) tapahtunut muutos. Vaihteluväli +/-30 % on melko suuri, mutta täysin mahdollinen, kaikkien muiden muuttujien paitsi porsastuotoksen osalta. Porsastuotokselle todennäköisempi vaihteluväli olisi +/-10 %.

Taulukosta käy ilmi, että rehunkulutus on kaikkein merkittävin lopputuloksiin vaikuttava tekijä. Ekologisissa selkärepuissa rehunkulutuksen muutos (+/-30 %) saa jopa yli 30 % muutoksen aikaiseksi. Rehunkulutuksella on siis suuri merkitys sille, miten tehokas tuotantojärjestelmä on. Rehun kulutus on siksi myös mielenkiintoinen, että luonnonmukaisessa tuotannossa lihasian rehun kulutus on noin 20 % suurempaa kuin tavanomaisessa tuotannossa. Sal-

limalla esimerkiksi luonnonmukaisessa tuotannossa rehun sulavuutta parantavien teollisten aminohappojen käyttö luonnonmukaisen tuotannon energiatehokkuus kasvaisi noin 14 % ja materiaalikäyttötehokkuus 11-20 % tuotantomaasta riippuen.

Toinen merkittävä tekijä on satotasot. Mielenkiintoiseksi satotasot tekee se, että niiden vuosittainen vaihtelu saattaa hyvinkin olla +/-30 %. Laskelmieni lopputulokset muuttuisivat esimerkiksi molempien suomalaisten tuotantomuotojen osalta energiataseissa 5-7 % ja ekologisina selkäreppuina 13-20 % tehokkaammiksi, jos satotasot kasvaisivat 30 %. Luonnonmukaisen tuotannon osalta satotasot ovat mielenkiintoisia, koska keskiarvoa edustavista satotasoista käydään jatkuvasti keskustelua. +/- 30 % muutokset tulevaisuudessa vakiintuville keskisatotasoinne on täysin mahdollisia.

Porsastuotoksen osalta vaihteluväli +/-30 on liian suuri, joka tarkoittaa sitä, ettei se todellisuudessa ole aivan yhtä merkittävä lopputuloksiin herkkyyttä aiheuttava tekijä. NPK -lannoitteiden ja kalkituksen merkitys ekologisissa selkäreppuissa mitattuna nousee myös melko havaittavaksi. Muiden merkittäviksi havaitsemieni muuttujien suhteen vaihteluvälillä +/-30 % lopputulosten vaihtelu pysyy kohtuullisissa rajoissa.

Toinen tapa, jolla laskelmien herkkyyttä tulee tarkastella, on materiaali-intensiteettikertoimien (MI) suhteen. MI-kertoimien perusteella panoskäyttö muunnetaan ekologisiksi selkäreppuiksi. Kertoimet ovat kullekin materiaalille määriteltyjä keskimääräisiä arvioita, joiden suuruus riippuu melko lailla siitä, mitä niihin on laskettu mukaan ja mistä lähteestä ne ovat peräisin Erot lähteestä riippuen esimerkiksi energiatuotteiden pelkät uusiutumattomat luonnonvarat (abioottinen) sisältävien selkäreppujen välillä ovat yli +/- 30 %. Ero kasvaa entisestään, jos selkäreppuihin lasketaan veden käytön aiheuttamat vaikutukset. (ks. esim. luku 5.1.1). Tyydyn kuitenkin tarkastelemaan MI-kertoimien herkkyyysvaikutusta edelleen vaihteluvälillä +/- 30 %, koska sen avulla pystyy vielä haarukoimaan merkittävät muutokset selkeästi esiin.

Alla olevassa taulukossa 22 on esitelty keskeisimmät kerrointen +/-30 % vaihteluvälillä ekologisiin selkäreppuihin aiheuttamat prosentuaaliset muutokset

Taulukko 22. Keskeisimpien MI-kerrointen herkkyytstarkastelu (+/-30 %).

	+/- 30 %	MI	Suomi tavanomainen % muutos	Suomi luonnonmuk. % muutos	Tanska tavanomainen % muutos	Tanska luonnonmuk. % muutos
Polttoöljy	+	kg	8	5	9	8
	-	kg	10	5	11	10
Sähkö	+	kg	4	6	6	9
	-	kg	4	7	7	11
Kalkki	+	kg	6	11	4	7
	-	kg	7	14	4	8
NPK - lannoitteet	+	kg	8	0	7	0
	-	kg	10	0	8	0

Kaikkien tässä tutkimuksessa käyttämäni MI kertoimien haarukointi osoitti, että ainoastaan taulukossa 22 mainittujen tekijöiden MI-kertoimet muodostuivat jollain tavalla merkittäviksi. Kaikkien muiden kertoimien vaikutus lopputuloksiin jäi alle yhden %. Mitään kovin mul-listavaa taulukko 22 ei kerro. Energiatuotteet, polttoöljy ja sähkö ovat merkittäviä ekologisten selkäreppujen muodostumisessa. Näiden vaikutus kohdistuu kuitenkin kaikkiin tuotantojärjestelmiin melko tasaisesti, joka tarkoittaa sitä, ettei kertoimien muutos vaikuta vertailtavien tuotantojärjestelmien keskinäiseen järjestykseen. Sähkön MI-kerroin on mielenkiintoinen siksi, että Tanskan kohdalla käyttämäni sähkön MI-kerroin (0,43 kg/MJ) on lähes neljä kertaa suurempi kuin Suomen vastaava (0,11 kg/MJ) (ks. luku 5.1.1). Kertoimen vaikutus näkyy selkeästi vertailtaessa suomalaisia ja tanskalaisia tuotantojärjestelmiä. Kaikki muut MI-kertoimet ovat maasta riippumatta samoja, joten Tanskan Suomea suurempi materiaalikulutus kinkuntuotannossa johtuu juuri sähkön MI-kertoimen vaikutuksesta.

Kalkin merkitys korostuu luonnonmukaisessa tuotannossa, NPK -lannoitteiden vaikutus taas luonnollisesti ainoastaan tavanomaisessa tuotannossa. Näiden kertoimien muutokset (+/-30 %) aiheuttavat myös vertailtavien tuotantojärjestelmien keskinäisen järjestyksen muutoksen.

7.1.3 Muut vastaavat tutkimukset

Tutkimuksia elintarviketuotannon ekotehokkuudesta luonnonvarojen käytön suhteen ei ole tehty vielä useitakaan, etenkin siten, että tarkastelussa olisi tavanomainen ja luonnonmukainen tuotanto rinnakkain. Tanskassa Refsgaardin ym. (1998) ja Dalgaardin ym. (2001) fossiilisia polttoaineita ja niiden aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä tarkastelevissa tutkimuksissa luonnonmukaisten viljasatojen sekä sika- ja nautatalouden energiatehokkuus on suurempaa ja kasvihuonekaasupäästöt ovat pienempiä kuin tavanomaisessa tuotannossa. Samansuuntaisen tuloksen on saanut myös Sinkkonen (2001) suomalaisen rukiin tuotannon energiavertailun osalta. Carlsson-Kanyama (1998) on tarkastellut erilaisten dieettivaihtoehtojen aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä. Missään näistä ei kuitenkaan tarkastella elintarviketuotannon materiaalikäyttöä, joten vertailua tässä tutkimuksessa saamieni tulosten kanssa ei voi tehdä.

Energiakulutuksen osalta vertailun voi kuitenkin suorittaa. Sinkkonen (2001, s. 28) on laskenut kotimaisen rukiin energiakulutukseksi 5,29 MJ/kg tavanomaisesti viljeltynä ja 2,87 MJ/kg luonnonmukaisesti viljeltynä. Saksassa tuotetun tavanomaisen rukiin energiakulutus on tutkimuksessa saatu 3,27 MJ/kg Suomeen tuotuna. Ruotsalaisen tutkimuksen (Bruce ym. 1997, s. 47) mukaan tavanomaisten viljojen tuotantoon kuluu keskimäärin 2,6 MJ/kg, öljykasvien tuotantoon 8,9 MJ/kg ja sianlihatuotantoon 29,9 MJ/kg energiaa. Pimentel ja Pimentel (1996, s. 118, s. 126, s. 79) ovat taas ilmoittaneet kauran tuotantoon kuluvan 3,1 MJ/kg Minnesotassa, soijapavun tuotantoon 4,1 MJ/kg ja sianlihatuotantoon 89,7 MJ/kg USA:ssa keskimäärin.

Taulukko 23. Eri tuotelajien energiakulutus MJ/kg.

	Suomi Tavanomainen	Suomi Luomu	Tanska Tavanomainen	Tanska Luomu
Sianliha	51,7	49,1	45,2	33,2
Ohra	4,5	3,1	2,4	2,2
Kaura	4,7	4,3	2,5	2,2
Herne	4	3,7	4,2	4,2
Rypsi	8,6	7,1	4,2	3,1
Soijapapu ^a	7,2		7,2	

^a Soijapapu on kuljetettu kohdemaahan USA:sta. Sitä käytetään tavanomaisten tiivisterehujen raaka-aineena.

Vertailun vuoksi taulukkoon 23 olen koonnut tässä tutkimuksessa saadut tulokset tuotelajeittain eriteltynä (MJ/kg). Sianlihatuotannon osalta energiakulutushaarukka on kahden yllä mainitun lähteen välillä todella suuri, 29,9-89,7 MJ/kg. Omassa tutkimuksessani sianlihatuotannon energiakulutus on tuotantotavasta riippuen 33,2-51,7 MJ/kg, joka sijoittuu edellä mainitun haarukan keskivaiheen alapuolelle. Vilja- ja öljytuotteiden osalta eri laskelmien tulokset ovat melko yhdenmukaisia. Soijapavun kohdalla Pimentel ja Pimentelin (1996, s. 126) ja oman tutkimukseni välillä on myös melkoinen ero 4,1-7,2 MJ/kg, mutta tutkimukseni korkeammat tulokset johtuvat lähinnä soijapavun pitkistä kuljetusmatkoista tiivisterehun raaka-aineeksi Suomeen ja Tanskaan.

7.2 Ekologinen selkäreppu -menetelmän arviointi

Eräs keskeinen tavoite tälle työlle on tarkastella ekologinen selkäreppun soveltuvuutta elintarviketuotannon ekotehokkuustarkasteluun sianlihatuotantoon keskittyvien tapausesimerkkien ja teoreettisen pohdinnan avulla. Keskeiseksi kysymykseksi nousee, miten ekologinen selkäreppu mittaa ekotehokkuutta? Ekotehokkuuden määritelmään liitetään melko väljästi erilaisia asioita (ks. luku 3.2.1). Yleisesti voisi sanoa, että ekotehokkuudella pyritään maksimoimaan energia- ja materiaalityttöavuus ja tuottamaan ”vähemmästä enemmän”, eli niin kutsuttua laadullista kasvua (Lettenmeier 2000, s. 12; Hoffrén 1998, s. 8). Toimiiko ekologinen selkäreppu siis indikaattorina, jolla energia- ja materiaalityttöavuutta ja laadullista kasvua elintarviketuotannossa voidaan mitata?

Laadullinen kasvu

Ekologisen selkäreppun taustalla on ajattelutapa, jossa jälkien siivouksen sijaan pyritään ennaltaehkäisemään mahdollisia ongelmia. Tämä ajattelutapa varmasti edistää laadullista kasvua. Ongelmana varsinaisen mittaamenetelmän, ekologisen selkäreppun suhteen on kuitenkin se, että menetelmä keskittyy ainoastaan fyysisiin materiaalityttöömääriin. Tällainen mittaustapa saattaa edesauttaa energia- ja materiaalityttöavuutta, mutta laadullisen kasvun suh-

teen asia on ongelmallinen. Esimerkiksi sianlihatuotannossa kaikkein ekotehokkainta on tuotanto, jossa yksikkökoot ovat logistiikan optimoinnin kannalta riittävän suuria, lihatuotanto sijaitsee alueella, jossa ilmasto-olosuhteet rehutuotannolle sekä sian kasvatukselle ovat optimaaliset, ja siat kasvavat mahdollisimman nopeasti riippumatta keinoista, joilla kasvua edistetään, kunhan kasvua edistävät keinot eivät aiheuta korkeampaa materiaali- tai energia-kultusta suhteessa kasvaneeseen lihatuotokseen.

Ekologisella selkärepulla mitattuna ekotehokkaimpia ovat siis vaihtoehdot, joissa materiaali- ja energiakäyttö on fyysisinä määrinä optimoitu riippumatta siitä, minkälaisia laadullisia vaikutuksia optimoinnilla on. Usein mitä isommasta yksiköstä on kyse, sitä tehokkaammin materiaaleja ja energiaa voidaan käyttää hyödyksi. Hävikkejäkin tosin syntyy, mutta suuret volyymit kompensoivat ne verrattuna pienten yksiköiden tuotannon rationalisoinnin puutteesta aiheutuvaan jatkuvaan tehottomuuteen. Viimeaikaiset eurooppalaiset ruokakriisit muistetaan kehitys ekotehokkuuden nimissä kohti elintarviketuotannon keskittymistä ja jättimäisiä tuotantoyksiköitä on tuskin toivottavaa laadullista kasvua.

Entropian lisääntyminen

Entropia on keskeinen rakennuspalikka ekologisen selkärepun taustalla. Ihminenhan ottaa luonnosta matalaentropisia materiaaleja ja tuottaa niistä korkeaentropisia hyödykkeitä ja jätteitä. Ihmisen toimesta tapahtuvan entropian lisääntymisen katsotaan kuvaavan negatiivisia muutoksia ekosysteemeissä. (Georgescu-Roegen 1972, s. 4, s. 9). Ekologisen selkärepun kehittäjä Friedrich Schmidt-Bleekin (2000, s. 105-113) mukaan tätä entropian muutosta voidaan suuntaa antavasti kuvata energia- ja materiaalivirtojen avulla.

Ayres (1998, s. 199-202) esimerkiksi kritisoi tätä näkemystä voimakkaasti. Materiaalitarkastelut kuvaavat ainoastaan käytettyjen materiaalien määrää, energiataarkastelut taas energiatuotteiden lämpöarvoa pommikalorimetrissa poltettuna. Näitä olennaisempaa olisi kuvata laadullisia muutoksia, joka luonnonvarojen käytön seurauksena järjestelmässä tapahtuu. Tähän tarkoitukseen Ayres ehdottaa eksergiaa. Eksergia kuvaa laatueroa tai käyttökelpoisen työn määrää, jonka järjestelmä pystyy käyttämään siirryttäessä alkutilasta lopputilaan. Ayresin näkemyksen mukaan eksergian avulla voidaan yhteismitallistaa tuotannon vaatimissa energia- ja raaka-ainepanoksissa tapahtuvat laadulliset muutokset. Kritiikkiä Ayresin eksergianäkemystä kohtaan taas esittävät muun muassa Cleveland ja Ruth (1999, s. 38), joiden mukaan eksergiakin on kovin yksipuolien indikaattori. Kappaleen sisältämä vapaa energia ei kerro mitään sen taloudellisesta käyttökelpoisuudesta, yleisistä käyttöominaisuuksista tai käytön aiheuttamista ympäristöhaitoista. Eksergian mittaaminen ei ole myöskään aivan yksinkertaista. Entropian operationalisointi palvelemaan ympäristön tilan mallinnusta jää siis edelleen vain teoreettiselle tasolle.

Läpivirtaustalous

Yleisesti materiaalitasetarkastelut perustuvat oletukselle, jossa materiaalien ja energian läpivirtaus määrittelee pitkällä tähtäimellä yhteiskuntien luonnonvarakäytön kestävyys (Hinterberger ym. 1997, s. 9). Jotta tätä voitaisiin mitata, täytyy tarkasteluun liittyä jokin perustaso, johon saatuja tuloksia verrataan. Tällaisen muodostaa esimerkiksi kansantalouksien tasolla tehdyissä luonnonvaratilinpidoissa (TMR, Total Material Requirement) tietty ajanjakso, jonka aikana tapahtuneita muutoksia tarkastellaan.

Ekologinen selkäreppu eroaa edellä mainituista läpivirtaustarkasteluista siinä suhteessa, että selkäreppu luo vain otoksen tietyn hyödykkeen tuottamisen vaatimasta materiaaliavirasta. TMR -tarkastelussa tuloksia voidaan verrata edellisten vuosikymmenten vastaaviin tuloksiin, mutta ekologisen selkäreppun kohdalla vastaavaa vertailukohtaa ei ole. Ekologinen selkäreppu ei siis voi katsoa mittaavan läpivirtauksessa tapahtuvia muutoksia, vaan kunkin tarkasteltavan hyödykkeen ainutlaatuisista materiaaliavirasta.

Ekologisen selkäreppun lisäksi materiaalikäyttöön keskittyviä tarkastelutapoja on useita. Huomattavasti mielekkäämmältä vaihtoehdolta tuntuu pitää tuotannossa käytetyt materiaalit erillään ja tarkastella ekotehokkuuden kehitystä, materiaalikulutuksen muutosta suhteessa saatuun hyötyyn, tietyllä ajanjaksolla. Tällaista onkin tehty, myös elintarviketuotannon osalta, muun muassa Ekotehokas Suomi - projektissa (Risku-Norja 2000).

Yhteismitallisuus

Hyödykekohtaista materiaalitarkastelua voi pitää jossain määrin mielekkäänä, jos tarkastellaan samanlaista tuotetta eri aikakausina tai erilaisella tuotantotekniikalla tuotettuna. Tällöinkin ongelmana on, tuotteen valmistuksessa käytettävät materiaalit saattavat korvata toisiaan. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa vertailtujen kinkkujen ekologisia selkäreppuja voidaan vertailla ainoastaan silloin, jos tunnetaan minkälaisia materiaaleja ne sisältävät. Materiaalimäärät tuntien voidaan arvioida niiden merkittävyyttä ja mahdollisia ympäristövaikutuksia. Tätä kuitenkin vaikeuttaa se, että ekologinen selkäreppu sisältää arvotusmekanismin: kaikkien materiaalien ja niiden piilovirtojen massa lasketaan ronskisti yhteen. Materiaaliavirankäytön muuntaminen piilovirtakertoimilla (MI) hävittää ja sekoittaa oleellista informaatiota. Piilovirtakertoimilla varustettu materiaalikäyttö muuttaa avirankäytön materiaalisuhteita niin, ettei enää tiedä lopputuloksiksi pakattujen materiaaliavirien todellisia käyttömääriä. Tällöin eri avirankäyttöjen merkittävyyttä on myös vaikea arvioida.

Tuotannossa käytettävät materiaalit tulisi siis pitää tarkastelussa visusti erillään, eikä niputtaa niitä yhteismitallisesti tietyn luvun alle. Vaan kukapa enää tarvitsee indikaattoria, joka esittää tuloksen kymmeninä, satoina tai parhaimmillaan tuhansina lukuina. Jonkun asteista yhteismitallistamista siis tarvitaan. Ongelmana on kuitenkin aina erilaisten avirankäytön tai tuotosten laadullisten ja määrällisten suhteiden yhteismitallistaminen (Reijnders 1998, s. 16; Cleveland & Ruth 1999, s. 35 ja s. 42-43).

Yhteismitallistamiseen liittyvät arvovalinnat voidaan tehdä joko eksplisiittisesti, jolloin arvotukset, esimerkiksi painokertoimet määritellään arviointiprosessin aikana, tai implisiittisesti, jolloin arviointimenetelmä pitää sisällään analyysissä käytettävät arvotukset. Ekologisessa selkärepun etuna on, että arvottaminen tapahtuu äärimmäisen yksinkertaisessa muodossa, jolloin se on läpinäkyvämpää kuin monessa muussa hienovaraisen implisiittisesti arvottavassa menetelmässä. (Hertwich ym. 1997, s. 15.) Hinterberger ym. (1997, s. 9) näkevät etuna tässä sen, ettei erilaisia vaikutuksia tarvitse arvottaa. Erilaiset intressiryhmät, nykyiset ja tulevat sukupolvet sekä vielä tuntemattomat ympäristöriskit huomioiden yhteismitallinen arvottaminen on joka tapauksessa mahdoton tehtävä.

Käytännössä ekologiset selkäreput muodostuvat lähinnä kaivosteollisuuden louhintajätteestä ja prosessivesistä. Esimerkiksi kullan ekologinen selkäreppu on 77 000 -kertainen teräkseen verrattuna johtuen siitä, että kultaa on malmiesiintymässä huomattavasti harvemmassa kuin rautaa ja vettä kuluu kullan tuottamisessa enemmän (Lista MI-kertoimista 2001). Siirretyn maamassan määrä kuvaa ainoastaan siirretyn maamassan määrää ja kulutettu vesi ainoastaan kulutettua veden määrää. Ekologisessa selkärepuissa merkittävän panoskäytön arvottaminen tapahtuu siis hyvin absurdien asioiden perusteella, joiden suoraa yhteyttä ekologisiin vaikutuksiin on vaikea nähdä.

Vertailukelpoisuus

Ekologisen selkärepun kehittäjät tunnustavat, että menetelmä toimii varsin karkealla tasolla. Sillä ei olekaan millään tavalla tarkoitus kuvata ympäristövaikutuksia, vaan erilaisten tuotteiden aiheuttamaa ympäristökuormituspotentiaa, eli mahdollisuutta ympäristökuormitukseen. Mahdollisuus ympäristökuormitukseen luonnollisesti kasvaa jokaisen materiaalipanoksen käytön myötä- mutta miten paljon? Vaikka ekologinen selkäreppu kasvaa yhdellä yksiköllä, ympäristökuormituspotentia ei välttämättä kasva millään tavalla samassa suhteessa. Eri tuotteiden ekologiset selkäreput eivät siis ole keskenään vertailtavissa. Tämä heikentää indikaattorin käytön mielekkyyttä melkoisesti.

Tästä huolimatta eri hyödykkeiden välisten ekologisten selkäreppujen katsotaan olevan riittävän yhteismitallisia, jotta suuntaa antavaa vertailua voidaan tehdä, jopa täysin erilaisten hyödykkeiden välillä. Reppuja on laskettu muun muassa opetus ja koulutustarkoitukseen niin muovipulkalle, barbienukelle kuin bussimatkallemkin (mm. Opas ekotehokkaiseen arkeen 2000; Kestävien valintojen taito 1999.)

Massatasapainoperiaate

Ekologinen selkäreppu perustuu ajatukseen, jossa ympäristökuormitusta määriteltäessä suunta antavasti riittää, että mitataan hyödykkeen tuottamisen vaatimia panoksia (massatasapainoperiaate). Etenkin kun panosten mittaaminen on huomattavasti helpompaa kuin sekä nykyisten että mahdollisesti vielä tuntemattomien ympäristövaikutusten mittaaminen. (Schmidt-Bleek 2000, s. 105-107).

Massatasapainoperiaatteen soveltaminen ympäristökuormituksen kuvaamiseen on kuitenkin järkevää ainoastaan globaalisti leviävien ympäristöongelmien, kuten kasvihuonekaasupäästöjen suhteen. Muiden ympäristövaikutusten osalta panoskäytön ympäristövaikutukset riippuvat täysin siitä, minkä tyyppiseen ekosysteemiin vaikutukset kohdentuvat ja minkälaisista materiaaleista on kyse.

Dematerialisaatiotavoite

Ekologisen selkärepun katsotaan palvelevan yleisluontoista dematerialisaatiotavoitetta, jolla pyritään vähentämään yhteiskuntien materiaalikäyttöä. Kaikki materiaalikäyttöä vähentävä toimintahan on toki positiivista, olkoonpa se sitten vettä tai plutoniumia. Olennaista on kuitenkin havaita, että kaikki materiaalikäytön vähentäminen ei ole yhtä positiivista. Erilaisilla materiaaleilla on täysin erilaisia vaikutuksia ekosysteemeissä, jotka eivät riipu kyseisten materiaalien tai niiden piilovirtojen massasta.

Teollisissa prosesseissa materiaalit saattavat myös korvata toisiaan, jolloin tietty materiaalikäyttö saatetaan korvata toisella materiaalilla, joka on huomattavasti ympäristölle haitallisempaa, mutta piilovirtamassaltaan edellistä kevyempää. saattaa olla edellistä huomattavasti massaltaan kevyempää. Ekologinen selkäreppu arvottaa kaiken panoskäytön materiaalien massaan ja niiden piilovirtoihin perustuen sokeasti samanarvoisiksi. Ekologisen selkärepun ei siis voi katsoa palveleva dematerialisaatiotavoitetta, vaan enemmänkin ”sokeaa” dematerialisaatiota, jossa ei ole väliä korvautuuko materiaalit toisilla materiaaleilla vaan vain se, että käytettyjen materiaalien määrä kiloina tai tonneina mitattuna laskee.

Toksisuus

Schmidt-Bleek (2000, s. 127-129) painottaa, ettei ekologinen selkäreppu ota huomioon eroja eri ainevirtojen välillä, kuten myrkyllisyyttä ympäristölle tai ihmisille, sillä se keskittyy ihmisen toiminnan kokonaisvaikutuksiin. Lähestymistavalla ei ole tarkoituskaan korvata aineiden myrkyllisyysarviointia, vaan täydentää ekotoksisista arviointia korostamalla talous-suoritteiden materiaali- ja energiakäytön tehokkuutta. Huomiotta jäävät myös monet muut olennaiset tekijät, kuten luonnon monimuotoisuus, luonnonvarojen oikeudenmukainen jakautuminen tai talouden toimintojen pinta-alan kulutus. (Schmidt-Bleek 2000, s. 127-129; Rissa 2001, s. 60). Ekologista selkäreppua ei siis ole tarkoituskaan käyttää yksittäisenä mittarina, vaan muiden indikaattoreiden rinnalla.

Selkärepun soveltuvuus

Ekologisen selkärepun teoreettisista ongelmista huolimatta on todettava, että ekologisen selkäreppu antaa hyvin samansuuntaisen lopputuloksen energiatarkestellun kanssa. Tämä osaltaan johtuu siitä, että molemmat ovat panoskäyttöön keskittyviä mittareita. Lisäksi energian kulutus materiaalitonneiksi muunnettuna vastaa suurimmasta osasta sianlihatuotantoketjujen materiaalikäytöstä. Ekologinen selkäreppu siis pääasiassa toistaa saman asian, jonka jo

energiatarkastelu kertoo. Energiatarkastelu on vain huomattavasti yksinkertaisempi ja johdonmukaisempi tapa tarkkailla panoskäyttöä. Energiatarkastelun eduksi voi laskea myös sen, ettei sen väitetä kuvaavan mitään muuta kuin energiakäyttöä.

Toisaalta ekologinen selkäreppu nostaa tiettyjä tekijöitä esiin, jotka eivät tule vastaavasti energia-analyysissä esiin. Nämä saattavat olla joissain tapauksissa merkittäviä huomata, esimerkiksi tarkasteltaessa infrastruktuurin melko suurta osuutta ekologisista selkärepuista. Toisaalta, ekologinen selkäreppu voi olla yhtä hyvin harhaanjohtava, joka vaikuttaa todennäköiseltä esimerkiksi kalkitus osalta. (ks. luku 7.1.1).

Indikaattorin arvioinnissa olennaista on myös siitä saatu hyöty suhteessa käytettyihin resursseihin. Aikaa tarkasteltavien sianlihatuotantojärjestelmien ekologisten selkäreppujen selvittämiseen meni noin kolme kuukautta. Ajan käyttö riippuu paljolti siitä, miten tuttuun aiheeseen tarttuu, miten paljon lähdetietoa on saatavilla ja miten pitkälle jalostetusta tuotteesta on kyse. Itse en tiennyt selvitystyötä alkaessani sianlihatuotannosta juuri mitään. Jonkun muun elintarvikkeen, esimerkiksi maidon tai naudanlihan selkäreppun selvittämiseen, laskentamallin ja tietolähteet jo löytäneenä, kuluisi nyt tuskin kuukautta enempää.

Mitä käytetyn ajan vastineeksi saa? Ekologinen selkäreppu on tiivis ja helposti omaksuttava paketti hyödykekohtaisesta materiaalikulutuksesta. Selkäreppuja on käytetty muun muassa kuluttajavalistus- ja koulutustarkoituksiin. Ongelmana tässä on, että eri hyödykkeiden ekologiset selkäreput ovat keskenään vertailtavissa ainoastaan, jos hyväksytään se, ettei ekologinen selkäreppu kuvaa mitään muuta kuin hyödykkeiden tuotannossa käytettyjen materiaalien massaa. Eri materiaaleilla ja niiden käyttömäärillä on yhteys ympäristökuormituspotentiaan, mutta yhteys on vain välillinen ja täysin materiaalikohtainen.

Kiitokset tutkimuksen tukijoille ja rahoittajille

Haluan kiittää tutkimuksen rahoittajia ja siinä mukana olleita henkilöitä. Resurssit tutkimukselle on luonut MTT Ympäristöntutkimus yhteistyössä MTT Taloustutkimuksen kanssa. Tutkimuksen alulle panneita ja sen tukijoita ovat olleet muun muassa MMT Sirpa Kurppa, MMT Jyrki Aakkula, FL Helmi Risku-Norja, MMM Anja Yli-Viikari, VTT Markku Ollikainen, MMM Marko Sinkkonen ja MMM Terhi Ihalainen. Kiitokset teille!

Kirjallisuus

- Aakkula, J. 1999. Tavoitteena kestävä maatalous: Ekologisesta kestävydestä yhteiskunnalliseen toteutettavuuteen. Teoksessa: Aakkula, J. (toim.) Kestävä kehitys maa- ja elintarviketaloudessa: käsitteet, mittaaminen ja arviointi. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitoksen selvityksiä 5/99. Helsinki: MTTL: 5-8.
- Ala-Mantila, O. 1998. Maatalouden tuotantokustannukset viljelmämalleilla. Maatalouden tuotantokustannukset Suomessa. Maatalouden taloudellisen tutkimuslaitoksen tutkimuksia, No 222. Helsinki: MTTL. 120 s.
- Audsley, E., Alber, S., Clift, R., Cowell, S., Crettaz, P., Gaillard, G., Hausheer, J., Jolliet, O., Kleijn, R., Mortensen, B., Pearce, D., Roger, E., Teulon, H., Weidema, B. & van Zeijts, H. 1997. Harmonization of Environmental Life-cycle Assessment for Agriculture. Report of Concerted Action. European Commission DG VI Agriculture. Community Research and Technological Development Programme in the Field of "Agriculture and Agro-Industry, including Fisheries". 103 s.
- Ayres, R.U. 1978. Application of Physical Principles to Economics. Teoksessa: Costanza, R., Perrings, C. & Cleveland C.J. 1997. The Development of Ecological Economics. The International Library of Critical Writings in Economics 75. An Elgar Reference Collection. Cheltenham: Edward Elgar Publishing Ltd. s. 260-295.
- Ayres, R.U. & Simonis U.E. (toim.) 1994. Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development (UNUP-841). Tokyo: United Nations University Press.
- Ayres, R.U. 1998. Eco-thermodynamics: economics and the second law. Ecological Economics 26: 189-209.
- Bleken, M.A. & Baken, L.R. 1997. The anthropogenic nitrogen cycle in Norway. Teoksessa: Romstad, E., Simonsen, J. & Vatn, A. (toim.). Controlling Mineral Emissions in European Agriculture, Vol 2. Wallingford: CAB International. s. 27-40.
- Bianciardi, C., Tiezzi, E. & Ulgiati, S. 1993. Complete recycling of matter in the framework of physics, biology and ecological economics. Ecological Economics 8:1-5.
- Boulding, K.E. 1966. The Economics of the Coming Spaceship Earth. Teoksessa: Daly, H.E. (toim.) 1980. Economics, Ecology, Ethics. Essays Toward Steady-State Economy. San Francisco: W.H. Freeman and Company. s. 251-263.
- Brown, M.T. & Herendeen, R.A. 1996. Embodied energy analysis and emergy analysis - A comparative view. Ecological Economics 19(3): 219-235.
- Bruce, Å., Egonsson, D., Karlsson, T. & Pettersson, O. 1997. Vegan - vegetarian – allätare? SLU Kontakt 3. Uppsala. 65 s.
- Carlsson-Kanyama, A. 1998. Climate change and dietary choices. – how can emissions of greenhouse gases from food consumption be reduced. Food Policy, Vol. 23, No.3/4: 277-293.
- Cleveland, C. J. & Ruth, M. 1999. Indicators of Dematerialization and the Material Intensity of Use. Journal of Industrial Ecology 2(3): 15-50.
- Commission of the European Communities. 2001. Environment 2010: Our Future, Our Choice. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the Sixth Environment Action Programme of the European Community. 24.1.2001, COM (2001) 31 final, 2001/0029 (COD), Brussels. Saatavissa internetistä: <http://europa.eu.int/eurllex/en/com/pdf/2001/en-501PC0031.pdf>. Viitattu: 17.4.2002.
- Dalgaard, T., Halberg, N. & Porter, J.R. 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture used to compare organic and conventional farming. Agriculture, Ecosystems and Environment 87: 51-65.

- Daly, H.E. 1968. "On economics as life science." *The Journal of Political Economy* 76: 392-406.
- Daly, H.E. (toim.) 1973. *Toward a Steady-State Economy*. San Fransisco: W.H. Freeman and Company.
- Daly, H.E. 1977. *Steady-State Economics - the Economics of Biophysical Equilibrium and Moral Growth*. San Francisco: W.H. Reeman & Co.
- Daly, H.E. 1991. *Steady-State Economics: Second Edition with New Essays*. Washington: Island Press. 302 s.
- Daly, H.E. 1996. *Beyond Growth. The Economics of Sustainable Development*. Boston: Beacon Press. 253 s.
- Danish Agricultural Production 2000. Landbrugsraadet. Saatavissa internetistä: <http://www.agriculture.dk/agriculture/cap3.htm>. Viitattu 7.2.2002.
- Danske Slagterier's Statistics 2000. The Federation of Danish Pig Producers and Slaughterhouses. Saatavilla internetistä: <http://www.ds-data.dk/english/stat/Index.htm>. Viitattu: 8.2.2002.
- Dasgupta, P.S. & Heal, G.M. 1979. *Economic Theory and Exhaustible Resources*. Cambridge Economic Handbooks. New York: Press Syndicate of the University of Cambridge. 499 s.
- de Boo, W. 1993. *Environmental and Energy Aspects of Liquid Biofuels*. Delft, Holland: Centrum voor energisparing en shone technologie.
- Driving Distances Between Selected USA Cities 2000. Saatavissa internetistä: <http://www.explorephoto.com/driving.htm>. Viitattu: 14.3.2002
- Edwards-Jones, G., Davies, B. & Hussain S. 2000. *Ecological Economics - An Introduction*. Oxford: The Blackwell Science Ltd. 266 p.
- EFMA 1995. *Best Available Techniques for Pollution Prevention and Control in the European Fertilizer Industry*. Booklet no. 1 of 8: Production of Ammonia. European Fertilizer Manufacturers' Association (EFMA). 1995. 34 s. Saatavissa internetistä: <http://www.efma.org/Publications/BAT%2095/Bat01/index.asp>. Viitattu 4.2.2002.
- EFMA 1997. *Mineral Fertilizer Production Process*. European Fertilizer Manufacturers' Association (EFMA). Saatavissa internetistä: <http://www.efma.org/manufacturing/section01.asp>. Viitattu 4.2.2002.
- Ekotehokkuus rakennusalalla. 2002. Helsinki: Suomen luonnonsuojeluliitto. 64 s.
- Eurostat. 1998. The European Comission. Saatavissa internetistä: <http://europa.eu.int/comm/eurostat>. Viitattu: 13.3.2002.
- Faber, M., Manstetten, R. & Proops, J. 1996. *Ecological Economics: Concepts and Methods*. , Cheltenham: Edward Elgar Publishing Ltd. 342 s.
- FAO Statistical Databases - FAOSTAT 2001. Saatavissa internetistä: <http://apps.fao.org/>. Viitattu: 31.1.2002.
- Fluck, R.C. 1992. *Energy in Farm Production*. Amsterdam: Elsevier. 367 s.
- Fransman, M., Junne, G. & Roobeek, A.1995. *The Biotechnology Revolution?* Oxford: Basil Blackwell.
- Georg, S. 1999. The social shaping of household consumption. *Ecological Economics* 28: 455-466.
- Georgescu-Roegen, N. 1971. *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge: Harvard University Press. 457 s.

- Georgescu-Roegen, N. 1972. Energy and Economic Myths. Teoksessa: Georgescu-Roegen, N. 1976. Energy and Economic Myths. Institutional and Analytical Economic Essays. New York: Pergamon Press Inc. s. 3-36.
- Georgescu-Roegen, N. 1976. Energy and Economic Myths. Institutional and Analytical Economic Essays. New York: Pergamon Press Inc. 380 s.
- Georgescu-Roegen, N. 1979. Energy analysis and economic valuation. Southern Economic Journal 45:1023-1058.
- Green, M. 1987. Energy in pesticide manufacture, distribution and use. Teoksessa: Helsel, Z.R. (toim.). Energy in Plant Nutrition and Pest Control, Vol 7. Amsterdam: Elsevier s. 165-177.
- Grönroos, J. & Voutilainen, P. 2001. Maatalouden tuotantotavat ja ympäristö: Inventaarioanalyysin tulokset. Helsinki: Suomen ympäristökeskus 231. 52 s.
- Halberg, N. & Kristensen, I.S. 1997. Expected crop yield loss when converting to organic dairy farming in Denmark. Biological Agriculture & Horticulture 14: 25-41.
- Hanley, N., Shogren, J. & White, B. 1997. Environmental Economics in Theory and Practise. Macmillan Texts in Economics. London: Macmillan Press. 464 s.
- Hertwich, E.G., Pease, W.S. & Koshland, S.P. 1997. Evaluating the environment impact of products and production processes: A comparison of six methods. The Science of the Total Environment 196(1): 13-29.
- Hinterberger, F., Luks, F. & Schmidt-Bleek, F. 1997. Material flows versus "natural capital" - What makes an economy sustainable? Ecological Economics 23:1-14.
- Hoffrén, J. 1994. Ympäristötaloustieteen perusteet. London: Oy Libri Academici/Gaudeamus Kirja. 125 s.
- Hoffrén, J. 1998. Materiaalivirtailinpito luonnonvarojen kokonaiskulutuksen seurantavälineenä. Suomen ympäristö 257. Helsinki: Ympäristöministeriö. 52 s.
- Hjørshøj, A. & Rasmussen, S. 1977. En kortlægning af den primære jordbrugssektors energiforbrug. Report no. 7. , Copenhagen: Økonomisk Insitut Den Konglige Veterinær –og Landbohøjskole. 119 s.
- Hynninen, E-L & Blomqvist, H. 1998. Pesticide Sales in Finland 1997. Kemia 25(6). Helsinki: Kemian kustannus Oy. s. 513-516.
- IFA - Fertilizer use by crop 1999. Fourth edition. IFA – International Fertilizer Industry Association. Rome: IFDC- International Fertilizer Development Center ja Food and Agriculture Organization of the United Nations. 52 s. Saatavissa internetistä: <http://www.fertilizer.org/ifa/statistics/crops/fubc4ed.pdf>. Viitattu: 31.1.2002.
- IFIAS 1974. Energy Analysis Workshop on Methodology and Conventions. Teoksessa: Slesser, M. (toim.) Energy Analysis. Report No. 6. Stockholm: International Federation on Insitutes for Advanced Study. 89 s.
- Jokinen, P. 1995. Tuotannon muutokset ja ympäristöpolitiikka – Ympäristösosiologinen tutkimus suomalaisesta maatalouden ympäristöpolitiikasta vuosina 1970-1994. Turun yliopiston julkaisuja, sarja C, osa 116. Turku: Turun yliopisto. 154 s.
- Jongbloed, A.W., Poulsen, H.D., Dourmad, J.Y. & van der Peet-Schwering, C.M.C. 1999. Environmental and legislative aspects of pig production in The Netherlands, France and Denmark. Livestock Production Science 58: 243–249.
- Juutinen, A. 2000. Energiamateriaalien virrat. Ekotehokas Suomi -Projekti, Osaraportti 7. Thule-Instituutti, Oulun yliopisto. 24 s. Saatavissa internetistä: <http://thule.oulu.fi/ecoef/assets/pdfs/energia.pdf>. Viitattu: 12.2.2002.

- Kalkin käyttö 2002. Nordkalk Oyj. Saatavissa internetistä: <http://www.nordkalk.com/fin/index.html>. Viitattu: 13.3.2002.
- Kemiran lannoitusuusositukset 2002. Kemira Agro Oy:n Farmit palvelusivut. Saatavissa internetistä: <http://www.farmit.net/>. Viitattu: 7.4.2001.
- Kestävien valintojen taito 1999. Suomen luonnonsuojeluliitto. Saatavissa internetistä: <http://www.sll.fi/kestava/kvt.pdf>. Viitattu: 22.4.2002.
- Katajajuuri, J.-M., Loikkanen, T., Pahkala, K., Uusi-Kämppe, J., Voutilainen, P., Kurppa, S., Laitinen, P., Mikkola, H. & Kivinen, T. 2000. Ympäristöhallintaa tukevan tietopohjan kehittäminen osana maatilojen laatujärjestelmää, Case: Rehuohran elinkaariarviointi. VTT tiedotteita 2034. Espoo: Valtion taloudellinen tutkimuskeskus (VTT). 134 s.
- Kluppenburg, J.Jr., Hendrickson, J. & Stevenson, G.W. 1996. Coming in to the Foodshed. Agriculture and Human values 13: 33-34.
- Koikkalainen, K. & Haataja, K. 2000. Luomukotieläintuotteiden tuotantokustannukset. Maatalouden taloudellisen tutkimuslaitoksen selvityksiä 8/2000. Helsinki: MTTL: 59 s.
- Kotieläintilan luomuopas. 1998. Tieto tuottamaan 78, Maaseutukeskusten liiton julkaisuja no 923. Maaseutukeskusten liitto. 149 s.
- Lampinen, L. & Honkavuori, R. 1991. Betonirakenteiden oppikirja – materiaalit, työn suoritus, laatu-tekniikka. 3. painos. Suomen betoniyhdistys ry. 550 s.
- Lannan varastointi ja käyttö. 1983. Tieto tuottamaan 23, Maatalouskeskusten Liiton julkaisuja no 678. Maaseutukeskusten liitto. 95 s.
- Laitinen R. & Toivonen, J. 199. Yleinen ja epäorgaaninen kemia. Kuudes korjattu painos. Hämeenlinna. 339 s.
- Leach, G. 1976. Energy and Food Production. Guilford/ Surrey: IPC Science and Technology Press Limited. 151 s.
- Lettenmeier, M. 2000. Suomentajan esipuhe. Teoksessa: Schmidt-Bleek, F. 2000. Luonnon uusi laskuoppi: Ekotehokkuuden mittari MIPS. Helsinki: Gaudeamus. 311 s.
- Lista MI-kertoimista. 2001. Materiaalitehokkuuden neuvontaopas. Ympäristöhallinto. Saatavissa internetistä: <http://www.vyh.fi/tutkimus/eu/matnep/mi.htm>. Viitattu: 22.4.2002.
- Luoma, P. 1993. Maatalous ja ympäristökysymys - lähtökohtia tutkimukselle. Oulu: Oulun yliopisto, sosiologian laitos.
- Luomunaudan ja -sian ruokinta ja hoito. 2001. Tieto tuottamaan 94, Maaseutukeskusten liiton julkaisuja no 972. Maaseutukeskusten liitto. 92 s.
- Luomuviljan tuotanto. 2000. Tieto tuottamaan 86. Maaseutukeskusten liiton julkaisuja 947. Maaseutukeskusten liitto. 109 s.
- Luonnonmukaisen tuotannon ohjeet - eläintuotanto 2000. KTTK: julkaisuja B2, Luomutuotanto 4/2000. 52 s.
- Maanviljelijän tietokirja, osa 2. 1964. Porvoo: Werner Söderström osakeyhtiö. 883 s.
- Maatalouden tuotantorakennusten lämpöhuolto ja huoneilmasto 1998. Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja -ohjeet, MMM-RMO-C2.2. Saatavissa internetistä: <http://www.mmm.fi:800/malo/>. Viitattu: 5.2.2002
- Maatalouden tuotanto- ja varistorakennukset, yleiset suunnitteluperiaatteet. 1999. Maa- ja metsätalousministeriön rakentamismääräykset ja -ohjeet. MMM-RMO C1. Saatavissa internetistä: <http://www.mmm.fi:800/malo/>. Viitattu: 5.3.2002.

- Maatalouskuljetusten opas. 1989. KKL/MTK/Kemira. MH-Konsultit Oy. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. 21 s.
- Manstein, C. 1996. Das Elektrizitätsmodul im MIPS-Konzept. Materialintensitäts-Analyse der bundesdeutschen Stromversorgung (öffentliches Netz) im Jahr 1991. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie, Wuppertal Papers Nr. 51.
- Manstein, C. 1999. Klagenfurt Innovation, Transnational report, June 1999.
- Meadows, D.H., Dennis, L., Meadows, J.R. & William, W. 1972. Limits to Growth. New York: Behrens III. Potomac Associates.
- Media, osa 6. 1980. Leksuvisuaalinen tietosanakirja. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi. 351 s.
- Mudahar, M.S. & Trignett, T.P. 1987. Fertiliser and energy use. Teoksessa: Hessel, J.R. (toim.). Energy in Plant Nutrition and Pest Control. Energy in World Agriculture, Vol 2. Amsterdam: Elsevier. 293 s.
- Neuvoston asetus (EY) N:o 1804/1999. Maataloustuotteiden luonnonmukaisesta tuotantotavasta ja siihen viittaavista merkinnöistä maataloustuotteissa annetun asetuksen (ETY) no 22092/91 täydentämisestä siten, että asetus käsittää myös eläintuotannon. Euroopan yhteisön virallinen lehti 24.8.1999. Saatavissa internetistä: <http://eur-op.eu.int/general/fi/a3.htm>. Viitattu: 11.3.2002.
- Nielsen, A. H. & Rasmussen, S. 1997. En kortlægning af den primære jordbrugssektors energiforbrug. Landbrusøkonomiske Studier, 7. Copenhagen: Økonomisk Institut, Den Konglige Veterinær -og Landbohøjskole.
- Odum, H.T. 1971. Fundamentals of Ecology. 3. painos. Philadelphia: Saunders.
- OECD 1994. Towards Sustainable Agricultural Production: Cleaner Technologies. Paris: OECD.
- OECD Policy Brief 1998. Sustainable development: a renewed effort by the OECD. No. 8 Saatavissa internetistä: <http://www.oecd.org/publications/Pol-brief/1998/9808-eng.htm>. Viitattu: 17.4.2002.
- Opas ekotehokkaaseen arkeen 2000. Suomen luonnonsuojeluliitto. Saatavissa internetistä: <http://www.sll.fi/kestava/ekoteho/>. Viitattu: 22.4.2002.
- Paikkakuntien välimatkoja Suomessa. 2000 Tiehallinto. Saatavissa internetistä: <http://www.tiehallinto.fi/valimatkat/>. Viitattu: 14.3.2002.
- Palonen, J. (toim.) 1993. Labour, Machinery, and Energy Data Bases in Plant Production. Työtehoseuran julkaisuja 330. Helsinki: Työtehoseura. 106 s.
- Peltonen, J. & Vanhala, A. 1992. Maatalouden työnormit. Kasvintuotannon yleiset työt. Työtehoseuran maataloustiedote 14 (421). 8 s.
- Pimentel, D., Hurd, L.E., Bellotti, A.C., Forster, M.J., Oka, I.N., Sholes, O.D. & Whitman, R.J. 1973. Food production and the energy crisis. Science 182 (4111): 443-449.
- Pimentel, D. & Pimentel, M. 1996. Food, Energy and Society. University Press of Colorado. 152 s.
- Planteportalen 2002. Aktieselskabet korn- og foderstof kompagniet (KFK), Hydro Agri Danmark A/S. Saatavissa internetistä: <http://www.planteportalen.dk/>. Viitattu: 5.3.2002.
- Porsastuotannon tulokset 1998. Maaseutukeskusten liitto. Saatavissa internetistä: <http://www.maa-seutukeskus.fi/neuvonta/kotielain/winpig.htm>. Viitattu: 11.3.2002.
- Pulliainen, K. 1979. Ympäristötaloustieteen perusteet - Kokonaistaloudellinen näkökulma. Kustannuskiila Oy. 228 s.
- Rajala, J. 2001. Luonnonmukaisen viljelyn suunnittelu – Työohjeita (Osa 2). Helsingin yliopisto, Maa-seudun tutkimus- ja koulutuskeskus, Mikkeli. 50 s.

- Raumolin, J. 1995. Ympäristötaloustieteen koulukuntia ja suuntauksia. Teoksessa: Massa, I. & Rahkonen, O. (toim.) Riskiyhteiskunnan talous. Helsinki. s. 41–96
- Reith, C. 2001. Applying Environmental Management Strategies to the Agricultural Sector. Louisiana's Model Sustainable Agriculture Complex. Corporate Environmental Strategy, Volume 8, Issue 1 (2001): 75-84.
- Rennings, K. 2000. Redefining innovation - eco-innovation research and the contribution from ecological economics. Ecological Economics 32: 319–332.
- Refsgaard, K., Halberg, N. & Kristensen, E.S. 1998. Energy Utilization and Dairy Production in Organic and Conventional Livestock Production Systems. Agricultural Systems, Vol. 57, No. 4: 599-630.
- Reijnders, L. 1998. The Factor X Debate: Setting Targets for Eco-Efficiency. Journal of Industrial Ecology, 2(1): 13-22.
- Risku-Norja, H. 2000. Luonnonvarojen kokonaiskäyttö Suomen maataloudessa 1970-97. Ekotehokas Suomi-Projekti, Osaraportti 2. Maatalouden tutkimuskeskus, Luonnonvarojen tutkimus. 33s.
- Rissa, K. 2001. Ekotehokkuus - enemmän vähemmästä. Helsinki: Ympäristöministeriö, Edita. 208 s.
- Road distances in Denmark 2001. Saatavilla internetistä: <http://www.abo.fi/~oholm/distance/denmark.shtml>. Viitattu: 14.3.2002
- Salminen, E. 2002. Finnish EXPERT Report ON Best Available Techniques IN Slaughterhouses and Installations for the Disposal or Recycling of Animal Carcasses and Animal Waste. Suomen ympäristökeskuksen julkaisuja. 69 s.
- Schmidt-Bleek, F. 1993. Wieviel Umwelt braucht der Mensch? MIPS – das Maß für ökologisches. Basel/ Boston/ Berlin: Wirtschaften.
- Schmidt-Bleek, F. 1998. Ökodesign. Vom Produkt zur Dienstleistungserfüllungsmaschine. Schriftenreihe Nr. 303. Wien: des Wirtschaftsförderungsinstituts Österreich.
- Schmidt-Bleek, F. 2000. Luonnon uusi laskuoppi: Ekotehokkuuden mittari MIPS. Helsinki: Gaudeamus. 311 s. Suomennettu alkuperäisteoksista: Schmidt-Bleek, F. 1994. Wieviel Umwelt braucht Mensch? MIPS - das mass für ökologisches Wirtschaften. Birkhäuser Publishers. Basel. ja Schmidt-Bleek, F. 1998. Das MIPS-Konzept. Weniger Naturverbrauch - mehr Lebensqualität durch Faktor 10. Droemersch Verlaganstalt Th. Knauer. Nachf. München.
- Schmidt-Bleek, F. 2001. Factor 10: Making Sustainability Accountable - Putting Resource Productivity into Praxis. Factor 10 Institute. Saatavissa internetistä: <http://www.factor10-Institute.org/F10Report.pdf>. Viitattu: 20.11.2001.
- Shortle, J.S. & Abler, D.G. 1999. Agriculture and Environment. Teoksessa: van den Bergh, J.C.J.M. (toim.) Handbook of Environmental and Resource Economics. Cheltenham, UK: Edward Elgar Publishing Limited. s. 159-176.
- Sianlihan tarjontaketjun toiminnan tehostaminen 1999. Lehdistö tiedote: Pellervon taloudellisen tutkimuslaitoksen raportteja no 167. Saatavissa internetistä: <http://www.ptt.fi/tiedote/167tied.htm>. Viitattu: 19.4.2002.
- Sianlihan tuotanto. 1988. Tieto tuottamaan 51, Maaseutukeskusten liiton julkaisuja no 771. Maaseutukeskusten liitto. 97s.
- Siitonen, M. 1999. Sikatalousyrittäjien ennusteiden osuvuus muuttuvassa taloudellisessa ympäristössä. Helsingin yliopisto, Taloustieteen laitos, Julkaisuja nro 26. Helsinki: Helsingin yliopisto. 142 s.
- Sikojen ruokinta. 1999. Tieto tuottamaan 83, Maaseutukeskusten liiton julkaisuja no 940. Maaseutukeskusten liitto. 110 s.

- Sinkkonen, M. 2001. Tuotantotavan ja -paikan vaikutukset Helsingissä kulutettavan rukiin energia-taseeseen. Maatalouden taloudellisen tutkimuslaitoksen selvityksiä 15/2001. Helsinki: MTTL. 34 s.
- Sonntag, V. 2000. Sustainability - in light of competitiveness. *Ecological Economics* 34 (2000): 101–113.
- Stout, B.A., Myers, C. & Schwab, G. 1982. Energy management in US production agriculture. Teoksessa: Robinson, D.W. & Mollan R.C. (toim.). *Energy Management in Agriculture*, Vol. 5. Dublin: Royal Dublin Society. s. 67-84.
- Sustainable Consumption and Production. 1997. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). 57 s.
- Tieliikenteen tavaraliikenne. 2000. Liikennevälineiden yksikköpäästöt. LIPASTO 2000, Liikenteen päästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. VTT Yhdyskuntatekniikka. Saatavissa internetistä: http://www.vtt.fi/rte/projects/lipasto/yksikkopaastot/tavaraliikenne_tieliikenne.htm. Viitattu: 21.3.2002.
- Toresen, K., Kjött, N., Herlevsen, S., Pontoppidan O. & Hansen, P.I.E. 2001. Nordic slaughterhouses BAT document. Roskilde, Denmark: The Danish Meat Research Institute.
- Tuotantoeläinten hyvinvointi. 2000. Tieto tuottamaan 81, Maaseutukeskusten liiton julkaisuja no 954. Maaseutukeskusten liitto. 116 s.
- Tuottava maa, osa 3. 1976. Viljelijän tietokirja – Kotieläintuotanto. Helsinki: Kirjayhtymä. 555 s.
- Uhlin, H. 1998. Why energy productivity is increasing – An I-O analysis of Swedish agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 43: 109-118.
- Vesiliikenteen keskimääräiset päästöt tonnikipometriä kohden Suomessa 1999. LIPASTO 2000, Liikenteen päästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. VTT Yhdyskuntatekniikka. Saatavissa internetistä: http://www.vtt.fi/rte/projects/lipasto/yksikkopaastot/tavaraliikenne_vesiliikenne.htm. Viitattu: 14.3.2002.
- World Bank. 2000. The World Bank approach to the environment. Saatavissa internetistä: <http://www.worldbank.org/html/extdr/pb/pbenv.htm>. Viitattu: 17.4.2002.
- World Business Council for Sustainable Development. 2001. An overview of our work. Eco-efficiency. Saatavissa internetistä: <http://www.wbcsd.org/ecoeff1.htm>. Viitattu: 17.4.2002.
- Wuppertal Institut 1998. Saatavissa internetistä: <http://www.wupperinst.org/Projekte/mipsonline/index.html>. Viitattu: 17.1.2002.
- Yli-Viikari, A. 2000. Maatalouden kestävyuden arvioimisen lähtökohdat. Teoksessa: Yli-Viikari, A., Hietala-Koivu, R., Risku-Norja, H., Seuri, P., Soini, K., Widbom, T. & Voutilainen, P. Maatalouden kestävyuden indikaattorit. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, sarja A, 74. Jokioinen: MTT. 116 s.
- Ympäristötukiopas 2000. Maatalouden ympäristötuki 2000-2005. Maa- ja metsätalousministeriö. 27 s.

MTT:n selvityksiä -sarjan Talous-teeman julkaisuja

- No 7 Kröger, L. 2002. Osallistuva suunnittelu maatalouden ympäristöpolitiikassa – Viljelijöiden näkemyksiä osallistumisesta, vaikuttamismahdollisuuksista ja ympäristönhoidosta. 65 s., 1 liite.
- No 10 Tillgrén, S. & Kupiainen, T. 2002. Letuista samppanjaan – Mansikankuluttaja elämäntyyli-tutkimuksen näkökulmassa. 98 s., 5 liitettä.
- No 12 Niemi, J.K. 2002. Eläintautiriskien ekonomiaa. 39 s.
- No 13 Österman, P. 2002. Talvitomaatin tuotantokustannus ja kannattavuus. 24 s., 6 liitettä.
- No 14 Rantamäki-Lahtinen, L. 2002. Monta rautaa tulessa – Monialaisten tilojen vertailu muihin maaseutuyrityksiin. 40 s., 2 liitettä.
- No 19 Aakkula, J., Jokinen, P., Lankoski, L. & Nokkala, M. 2002. Kestävä kehitys – Pilottitutkimus tieto- ja viestintäteknologisen muutoksen vaikutuksista maatalouden kestävyYTEEN. 80 s., 3 liitettä.
- No 20 Mustakangas, E. 2002. Maatalous menestyy, maaseutu menettää? Tapaustutkimus Etelä-Pohjanmaan maataloudesta. 66 s., 1 liite.
- No 24 Kuorikoski, R. 2002. Perunantuottaja vähittäis- ja tukkukaupan tavarantoimittajana. 57 s., 4 liitettä.
- No 25 Aro-Heinilä, E. 2002. Joulukinkun ekotehokkuus - Tavanomaisen ja luonnonmukaisen tuotannon ekologinen selkäreppu sekä energiakulutus Etelä-Suomessa ja Tanskassa. 82 s.

MTT:n selvityksiä 25

