

Tuula Mäkinen, Sampo Soimakallio,
Teuvo Paappanen, Katri Pahkala & Hannu Mikkola

Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit

Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit

Tuula Mäkinen, Sampo Soimakallio & Teuvo Paappanen

VTT

Katri Pahkala & Hannu Mikkola

MTT



ISBN 951-38-6825-7 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-6826-5 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/publications/index.jsp>)

Copyright © VTT 2006

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 3, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 3, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 3, P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

VTT, Biologinkuja 7, PL 1000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7048

VTT, Biologgränden 7, PB 1000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7048

VTT Technical Research Centre of Finland, Biologinkuja 7, P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7048

Toimitus Anni Kääriäinen

Edita Prima Oy, Helsinki 2006

Mäkinen, Tuula, Soimakallio, Sampo, Paappanen, Teuvo, Pahkala, Katri & Mikkola, Hannu. Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit [Greenhouse gas balances and new business opportunities for biomass-based transportation fuels and agrobiomass in Finland]. Espoo 2006. VTT Tiedotteita – Research Notes 2357. 134 s. + liitt. 19 s.

Avainsanat transportation, combined heat and power, greenhouse gases, emission reduction, biomass, biofuels, ethanol, biodiesel, reed canary grass, straw, RME, Fischer-Tropsch-diesel, MTBE

Tiivistelmä

Työn tavoitteena oli laskea energia- ja kasvihuonekaasutaseet ja vältetyn CO₂-ekvivalenttitonin hinta vertailupolttoaineisiin nähden liikenteen biopolttoaineiden tuotannolle ja käytölle sekä pelto- ja metsäbiomassan tuotannolle ja käytölle yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa. Tulosten perusteella esitettiin uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

Työssä arvioitiin sekä kaupallisia että kehitteillä olevia tekniikoita. Tarkasteluun valittiin Suomen olosuhteisiin sopivimpia, laajamittaiseen tuotantoon soveltuvia vaihtoehtoja. Hankkeessa tarkasteltiin sekä pelto- että metsäbiomassapohjaisia ketjuja. Tarkasteltaviksi peltobiopolttoaineketjuiksi valittiin ohraetanoli, rypsipohjainen biodiesel sekä ruokohelpipohjainen Fischer-Tropsch-diesel (F-T-diesel). Metsäbiopolttoaineketjuina tarkasteltiin hakkuutähdepohjaista F-T-dieseliä ja metanolia. Tämän lisäksi tarkasteltiin hakkuutähteiden ja ruokohelven käyttöä yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa. Tarkastelussa huomioitiin koko tuotanto- ja käyttöketju.

Kaikkien tarkasteltujen biopolttoaineiden energiatase on positiivinen, eli niiden raaka-aineiden tuotannossa ja polttoaineiden valmistuksessa kuluu kokonaisuudessaan vähemmän energiaa kuin mitä lopputuote sisältää. Energiankulutus polttoaineen energiasisältöä kohden on kuitenkin 3–5-kertainen fossiilisten polttoaineiden tuotannossa kuluvaan energiaan nähden. Näin ollen primäärienergiankulutusta ei voida vähentää korvaamalla fossiilisia polttoaineita biopolttoaineilla, mutta sen sijaan raakaöljyn kulutusta voidaan vähentää merkittävästi, sillä vain murto-osa biopolttoaineiden tuotantoketjussa kulutetusta energiasta on tyypillisesti peräisin raakaöljystä.

Ohraetanolin tai RME:n tuotanto ja käyttö eivät välttämättä vähennä, vaan saattavat päinvastoin lisätä, kasvihuonekaasujen päästöjä suhteessa fossiilisiin vertailupolttoaineisiin, kun koko tuotanto- ja käyttöketju otetaan huomioon. Tämä johtuu ennen kaikkea viljakasvien merkittävästä lannoitustarpeesta suhteessa raaka-aineiden energiasisältöön sekä lannoitteiden valmistuksen ja niiden käytön aiheuttamista typpioksiduulipäästöistä, jotka voivat olla suuria.

Viljelemättömien peltojen käyttöönotto ohraetanolin tai rypsi biodieselin tuotantoon saattaa siis lisätä kasvihuonekaasujen absoluuttisia päästöjä, vaikka tuotetuilla polttoaineilla korvataankin fossiilisia polttoaineita. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteivät absoluuttiset päästöt voisi vähentyä nykytilanteesta, mikäli nykyisiä viljelyketjuja, joissa pelloilla joka tapauksessa viljellään jotain, optimoitaisiin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Kasvihuonekaasupäästöt vähenisivät kuitenkin todennäköisesti enemmän vähentämällä ylimääräistä viljelyä kuin käyttämällä pellot ohraetanolin tai rypsi biodieselin valmistukseen. Ohran oljen tai rypsin varren energiakäyttö korvaamaan päästöintensiivisempiä energialähteitä sekä maaperän hiilitasetta parantavat ja typpioksiduulipäästöjä pienentävät keinot olisivat keskeisiä tekijöitä parantamaan peltoenergiaketjujen kasvihuonekaasupäästöjen taseita.

Toisen sukupolven metsätähde- ja ruokohelpipohjaiset biopolttoaineet ovat huomattavasti kaupallisia peltobiomassapohjaisia polttoaineketjuja suotuisampia kasvihuonekaasupäästöjen kannalta fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna, mikä johtuu erityisesti huomattavasti pienemmästä lannoitustarpeesta raaka-aineiden energiasisältöä kohden. Toisen sukupolven biopolttoaineilla voidaan saavuttaa jopa 70–80 %:n vähennys kasvihuonekaasujen päästöissä fossiilisiin vertailupolttoaineisiin nähden, kun sekä tuotanto- että käyttöketju huomioidaan.

Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto on nykyisellään 30–100 % kalliimpaa kuin fossiilisten polttoaineiden tuotanto. Kehitteillä olevien toisen sukupolven biopolttoaineiden päästövähennyskustannukset liikkuvat nykyisellä raakaöljyn hinnalla tasolla 30–100 euroa vähennettyä hiilidioksidiekvivalentttonnia kohden, riippuen mm. saavutettavien päästövähennysten epävarmuudesta sekä raaka-aineesta ja sen hinnan vaihteluista. Raakaöljyn hinnan noustessa päästövähennyskustannukset alenevat jyrkästi. Kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittaminen energiantuotannossa on kuitenkin liikennesektoria edullisempaa.

Mäkinen, Tuula, Soimakallio, Sampo, Paappanen, Teuvo, Pahkala, Katri & Mikkola, Hannu. Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit [Greenhouse gas balances and new business opportunities for biomass-based transportation fuels and agrobiomass in Finland]. Espoo 2006. VTT Tiedotteita – Research Notes 2357. 134 p. + app. 19 p.

Keywords transportation, combined heat and power, greenhouse gases, emission reduction, biomass, biofuels, ethanol, biodiesel, reed canary grass, straw, RME, Fischer-Tropsch-diesel, MTBE

Abstract

The aim of the project was to assess energy and greenhouse gas balances as well as greenhouse gas emission reduction costs for biomass-based fuels used in transportation and combined heat and power production (CHP) compared to selected reference fuels. New business opportunities were identified based on the results.

Both commercial technologies and technologies under development were assessed. The most suitable large-scale technologies for Finnish conditions were selected for the evaluation. Technologies utilising field crops and forest biomass as raw materials were evaluated. The main options were barley-based ethanol, biodiesel (RME) from turnip rape, forest residue and reed canary grass-derived synthetic fuels, and forest residues and reed canary grass as a fuel for CHP production. The whole utilisation chain from fuel production to end-use was evaluated.

The overall energy input per output ratio was less than one for all assessed transportation biofuel chains, which means that more energy was produced than consumed. This energy consumption per energy content of the fuels was, however, 3 to 5 fold compared to fossil fuel chains. Hence, the consumption of primary energy cannot be reduced by substituting fossil fuels by biofuels. Regardless, the consumption of petroleum based energy can be remarkably reduced as typically only minor part of energy consumed in biofuel production is based on crude oil.

The results indicated that the production and use of barley-based ethanol or biodiesel from turnip rape does not necessarily reduce greenhouse gas emissions, but can on the contrary increase the greenhouse gas emissions compared to fossil-based reference fuels, when the whole production and utilisation chain is considered. Use of fertilizers is significant compared to the energy content of the barley and turnip rape yield in Finland. Production and use of nitrogen fertilizers cause emissions of nitrous oxide, which may be very significant.

The cultivation of uncultivated or set-aside lands to produce barley-based ethanol or biodiesel from turnip rape may increase the absolute emissions of greenhouse gases, regardless of the fact that fossil fuels are replaced by the produced fuels. Greenhouse gas emissions in absolute terms can be reduced by optimising cultivation chains producing currently surplus yield. The achievable emission reduction would, however, probably be larger by reducing surplus cultivation than producing ethanol or biodiesel. Utilisation of straw in energy production to substitute emission intensive fuels and measures to increase soil carbon balance and reduce nitrous oxide emissions could remarkably decrease greenhouse gas emissions of cereal crop chains.

Second generation biofuels produced using forestry residues or reed canary grass as raw materials seem to be significantly more favourable in reducing greenhouse gases cost-effectively. It is possible to reduce greenhouse gas emissions by up to 70–80% compared to fossil fuels when both production and utilisation chains are considered. The more favourable result is mainly due to significantly lower fertilization demand per energy content of particular raw materials compared to cereal crops.

Production of transportation biofuels is currently 30–100% more expensive than production of fossil fuels. The emission reduction costs for the second generation biofuels under development were assessed to vary from 30 to 100 €/t CO₂-eq with current crude oil price level. An increase in the crude oil price results in a strong decrease in emission reduction costs. However, mitigation of greenhouse gases in the energy sector can be implemented more cost-effectively than in transportation sector.

Alkusanat

Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen on tärkeä tavoite, johon pyritään mm. käyttämällä biopolttoaineita. Liikenteen biopolttoaineiden tuotannon kasvihuonekaasupäästöt riippuvat monista eri tekijöistä, kuten polttoaineen raaka-aineista, tuotantomenetelmistä, lannoitteiden tarpeesta ja tuotannossa käytettävistä energialähteistä sekä erityisesti tarkastelujen rajauksesta ja valituista lähtökohdista. Vaikka arvioita liikenteen vaihtoehtoisten polttoaineketjujen kasvihuonekaasupäästöistä on tehty viime vuosina useita muualla, nykyvaihtoehtoista ei ole aikaisemmin tehty kattavaa selvitystä Suomen olosuhteissa.

BIOGHG-projektin tavoitteena oli laskea kasvihuonekaasutaseet ja vältetyn CO₂-ekvivalenttitonin hinnat liikenteen biopolttoaineiden tuotannolle ja käytölle sekä pelto- ja metsäbiomassan tuotannolle ja käytölle sähkön ja lämmön tuotannossa. Työssä arviointiin Suomen olosuhteisiin soveltuvia sekä kaupallisia että kehitteillä olevia tekniikoita. Työssä esitettiin myös uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Tämä julkaisu on BIOGHG-projektin loppuraportti.

BIOGHG-projekti oli VTT:n ja MTT:n yhteishanke. Projekti kuului Tekesin ClimBus-tekniologiaohjelmaan. Projektin rahoittajat olivat Tekes, VTT, MTT, KTM, Neste Oil Oyj, Pohjolan Voima Oy sekä Vapo Oy. Työ tehtiin 1.12.2004–30.9.2006. Työryhmän pääjäsenet olivat erikoistutkija Tuula Mäkinen projektipäällikkönä, tutkija Sampo Soimakallio ja tutkija Teuvo Paappanen VTT:stä sekä erikoistutkija Katri Pakkala ja tutkija Hannu Mikkola Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksesta MTT:stä. Lisäksi työhön osallistuivat erikoistutkija Päivi Aakko, johtava tutkija Paterson McKeough, tutkija Vesa Arpiainen, tutkija Hilikka Kyllönen ja tutkija Johanna Kirkinen VTT:stä ja tutkija Antti Suokannas MTT:stä. Projektin johtoryhmään kuuluivat teknologia-asiantuntijat Sami Tuhkanen (31.12.2005 asti) ja Marjatta Aarniala Tekesistä, asiantuntija Steven Gust Neste Oil Oyj:stä, tutkimusjohtaja Timo Nyrönen Vapo Oy:stä, ohjelmapäällikkö Jatta Jussila Technopolis Oyj:stä, ylitarkastaja Jukka Saarinen ja teollisuusneuvos Sirkka Vilkamo kauppa- ja teollisuusministeriöstä, tutkimusjohtaja Kai Sipilä VTT:stä, teknologiapäällikkö Satu Helynen VTT:stä, kehitysjohtaja Ilkka P. Laurila Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksesta MTT:stä ja ylitarkastajat Veli-Pekka Reskola ja Elina Nikkola maa- ja metsätalousministeriöstä. Puheenjohtajana toimi viestintäjohtaja Juha Poikola Pohjolan Voima Oy:stä. Kiitämme projektin johtoryhmää kiinnostuksesta työtämme kohtaan sekä saamistamme hyödyllisistä kommentteista ja neuvoista.

Espoo syyskuu 2006

Tekijät

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	5
Alkusanat.....	7
Määritelmät ja lyhenteet.....	11
1. Johdanto.....	15
2. Teknologiauketjut.....	19
3. Energia- ja kasvihuonekaasutaseiden ja päästövähennyskustannusten laskennan perusteet.....	22
3.1 Vertailutilanteen valinta.....	22
3.2 Tarkastelujen rajaukset.....	24
3.2.1 Allokointiperiaatteet.....	24
3.2.2 Biomassaketjujen rajaukset.....	25
3.2.3 Vertailuketjujen rajaukset.....	29
3.3 Energia- ja kasvihuonekaasutaselaskennan periaatteet ja parametrit.....	31
3.3.1 Sähkö.....	32
3.3.2 Ulkomaiset polttoaineet.....	33
3.3.3 Kuljetukset.....	34
3.3.4 Lannoitteet.....	34
3.3.5 Maaperän hiilitaseet.....	37
3.3.6 Kalkki ja torjunta-aineet.....	38
3.3.7 Jalostusprosessien kemikaalit.....	39
3.3.8 Liikennepolttoaineiden varastointi, jakelu ja annostelu.....	40
3.3.9 Liikennepolttoaineiden loppukäyttö.....	41
3.4 Kustannuslaskennan perusteet.....	43
4. Raaka-aineiden tuotantoketjut, potentiaali, kustannukset ja kasvihuonekaasutaseet.....	45
4.1 Tärkkelysohra.....	45
4.1.1 Yleistä.....	45
4.1.2 Tärkkelysohnan tuotannon yksikköprosessien kuvaus.....	46
4.2 Rypsi.....	49
4.2.1 Yleistä.....	49
4.2.2 Rypsin tuotannon yksikköprosessien kuvaus.....	50

4.3	Tärkkelysohran ja rypsin tuotantoketjujen energiankulutus, kasvihuonekaasupäästöt ja kustannukset.....	52
4.3.1	Energian kulutus ja kasvihuonekaasupäästöt.....	52
4.3.2	Ohran ja rypsin tuotantokustannukset.....	61
4.4	Ruokohelpi	62
4.4.1	Ruokohelpi biomassakasvina.....	62
4.4.2	Ruokohelven tuotanto- ja käyttöpotentiaali	62
4.4.3	Ruokohelven tuotantoketjut ja laskennan alkuarvot	64
4.4.4	Ruokohelven tuotannon primäärienergiankulutus	64
4.4.5	Ruokohelven tuotannon kustannukset ja tuet.....	66
4.5	Olki.....	68
4.5.1	Oljen tuotantopotentiaali.....	68
4.5.2	Oljen tuotantoketjut ja laskennan alkuarvot.....	69
4.5.3	Oljen korjuun ja kuljetuksen primäärienergiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt	69
4.5.4	Oljen tuotannon kustannukset	71
4.6	Metsähake.....	72
4.6.1	Tuotantopotentiaali	72
4.6.2	Tuotantoketjut ja laskennan alkuarvot	73
4.6.3	Metsähakkeen tuotantoketjujen primäärienergiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt	73
4.6.4	Tuotannon kustannukset ja tuet.....	76
5.	Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto, varastointi ja jakelu.....	78
5.1	Biodiesel (RME).....	78
5.1.1	Prosessikuvaus	78
5.1.2	Massa- ja energiataseet	79
5.1.3	Investointi- ja tuotantokustannukset	82
5.2	Biodiesel (NExBTL)	83
5.3	Ohraetanoli	85
5.3.1	Prosessikuvaus	85
5.3.2	Massa- ja energiataseet	86
5.3.3	Investointi- ja tuotantokustannukset	89
5.4	Synteettiset polttoaineet.....	89
5.4.1	Prosessikuvaus	89
5.4.2	Massa- ja energiataseet	90
5.4.3	Investointi- ja tuotantokustannukset	93
5.5	CHP-tuotanto	93
6.	Vertailuketjut	95
6.1	Dieselöljy ja bensiini	95
6.2	MTBE	97

6.3	Turve	97
6.4	Soijarehu.....	102
7.	Teknologiaketjujen kokonaistaseet ja -kustannukset.....	103
7.1	Primäärienergiapanokset ja -korvaavuudet	103
7.2	Kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt ja suhteelliset päästövähennykset	105
7.3	Tuotantokustannukset.....	109
7.4	Päästövähennyskustannukset.....	112
7.5	Tulosten vertailu muihin selvityksiin	114
7.5.1	Ruotsalainen vehnäetanoliselvitys	115
7.5.2	Concawen, EUCARin ja JRC:n biopolttonesteselvitys	115
8.	Uudet liiketoimintamahdollisuudet.....	117
9.	Johtopäätökset ja yhteenveto	120
	Lähdeluettelo	125

Liitteet

- Liite A: Viljelymaan hiilitaselaskelmat
- Liite B: Ohran viljelyn lähtötiedot (keskimääräinen tuotantointensiteetti)
- Liite C: Ohran lähtötiedot (korkea tuotantointensiteetti)
- Liite D: Rypsin viljelyn lähtötiedot
- Liite E: Ohraetanolin primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseet (standardi)
- Liite F: Ohraetanolin primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseet (teho)
- Liite G: RME:n primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseet
- Liite H: Tärkkelysohnan tuotantokustannukset
- Liite I: Kevätrypsin tuotantokustannukset
- Liite J: Ruokohelven viljelyn, korjuun ja käyttöpaikalle kuljetuksen moottoripolttoaineen kulutus
- Liite K: Ruokohelven tuotannon primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseet
- Liite L: Maataloustukien tukialueet
- Liite M: Oljen korjuun ja käyttöpaikalle kuljetuksen moottoripolttoaineen kulutus
- Liite N: Oljen korjuun ja kuljetuksen primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseet
- Liite O: Metsähakkeen korjuun ja käyttöpaikalle kuljetuksen moottoripolttoaineen ja sähkön kulutus sekä pienpuun harvennustuki Kemera-kohteissa
- Liite P: Metsähakkeen tuotannon primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseet
- Liite Q: Metanolin ja F-T-dieselin primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseet
- Liite R: Soijarehun tuotannon primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseet

Määritelmät ja lyhenteet

Biodiesel. Yleisnimitys kasviöljypohjaiselle dieselpolttoaineelle, joka valmistetaan kasviöljyistä vaihtoesteröimällä (rasvahappojen metyyliesterit).

Biokaasu. Orgaanisen aineksen anaerobisen hajoamisen tuote, pääkomponentit metaani ja hiilidioksidi.

Biomassa. Jonkin populaation tai elollisen aineksen kokonaismäärä tietyllä hetkellä. Biomassa voidaan ilmaista tuore- tai kuivapainona. Energiantuotannon yhteydessä biomassalla tarkoitetaan yleensä metsistä ja pellolta pinta-alayksikköä kohti saatavaa kasviperäistä raaka-ainetta. Biomassa voi olla myös teollisuuden ja yhdyskuntien jätteiden biohajoavaa osaa.

Biopolttoaine. Kiinteä, nestemäinen tai kaasumainen polttoaine, joka tuotetaan biomassasta.

Biopolttoneste. Nestemäinen biopolttoaine.

Exergia. Osuus energiasta, joka on hyödynnettävissä vallitsevissa olosuhteissa.

Kaasutus. Terminen prosessi, jossa kaasuttava aine reagoi kiinteän tai nestemäisen polttoaineen kanssa korkeassa lämpötilassa muodostaen polttokaasuseoksen. Kaasuttavana aineena voi olla ilma, happi, vesihöyry tai jokin muu hapen kantaja.

Liikenteen biopolttoaine. Nestemäinen tai kaasumainen liikenteessä käytettävä polttoaine, joka tuotetaan biomassasta. Liikenteen biopolttoaineita ovat esimerkiksi bioetanolli, biodiesel, biokaasu ja synteettiset biopolttoaineet. Biopolttoaineet voidaan jakaa ensimmäisen ja toisen sukupolven biopolttoaineisiin käyttöominaisuuksien tai raaka-aineiden mukaan. Ensimmäisen sukupolven biopolttoaineilla tarkoitetaan peltokasvipohjaista etanolia ja biodieseliä, joiden käytöllä nykyisissä ajoneuvoissa on rajoitteita niiden käyttöominaisuuksien vuoksi.

Pyrolyysiöljy. Korkeassa lämpötilassa hapettomissa olosuhteissa valmistettu bioöljy, jota voidaan käyttää raskaan tai kevyen polttoöljyn korvaajana lämmityssektorilla. Pyrolyysitekniikalla tuotettuja bioöljyjä on esitetty käytettäväksi myös syötteenä synteetikaasulaitoksilla tai öljynjalostamoilla.

Suorakylvö. Suorakylvö tarkoittaa kylvömenetelmää, jossa maata ei muokata ennen kylvöä eikä myöskään kylvön yhteydessä. Maan pinta on koko ajan kasvien tai niiden jätteiden, kuten oljen ja sängen, peittämä. Kylvökoneessa on yleensä vankat kiekkovan-

taat, joiden pitää leikata tiensä kasvinjätteen läpi ja joiden pitää pystyä sijoittamaan lan-
noitteet ja siemenet muokkaamattomaan maahan. Rikkakasvit torjutaan kemiallisesti.

Synteetikaasu. Kaasuseos, jonka pääkomponentit ovat vety ja hiilimonoksidi. Käyte-
tään yleisesti kemian teollisuudessa, valmistetaan nykyisin pääasiassa maakaasusta.
Synteetikaasua voidaan valmistaa biomassasta kaasutuksen kautta.

Synteettinen polttoaine. Yleisnimitys yleensä synteetikaasun valmistuksen kautta
valmistetuille hiilivetytypolttoaineille. Julkaisussa käytetään vetykäsittelyllä valmistetusta
biopohjaisesta dieselpolttoaineesta termiä **synteettinen biodiesel** erotuksena biodiesel-
termistä, joka on vakiintunut yleisnimitys vaihtoesteröinnillä valmistetulle kasviöljy-
pohjaiselle dieselpolttoaineelle.

Terminen biokaasu. (Termisellä) kaasutuksella biomassasta valmistettu kaasumainen
polttoaine. (Termisesti) kaasuttamalla saadaan vetyä ja hiilimonoksidia sisältävä poltto-
kaasu, joka voidaan tarvittaessa edelleen prosessoida metaaniksi (SNG, synteettinen
maakaasu) tai muiksi kaasuseoksiksi, esim. vedyksi.

Polttoaineiden lyhenteet

DME	dimetyylieetteri, normaalilämpötilassa ja -paineessa kaasumainen diesel- moottoreihin soveltuva polttoaine
ETBE	etyyli-tert-butyylieetteri, bensiinikomponentti, ns. oksygenaatti
EtOH	etanoli
FAME	rasvahappojen metyyliesterit (Fatty Acid Methyl Esters), esim. RME
F-T	Fischer-Tropsch, synteetiprozessi, jolla valmistetaan erityyppisiä poltto- nesteitä synteetikaasusta
MeOH	metanoli
MTBE	metyyli-tert-butyylieetteri, bensiinikomponentti, ns. oksygenaatti
NExBTL	Neste Oil Oyj:n kehittämä synteettinen biodiesel
RME	rypsimetyyliesteri

Kasvihuonekaasut

CO ₂	hiilidioksidi
CH ₄	metaani
N ₂ O	typpioksiduuli

Muut lyhenteet

CHP	combined heat and power production (yhdistetty sähkön ja lämmön tuotanto)
GWP	global warming potential (kasvihuonekaasujen suhteellista lämmitysvaiku- tusta kuvaava yksikkö)

LHV	tehollinen (alempi) lämpöarvo (lower heating value)
REF	syntypaikkalajitellusta jätteestä valmistettu polttoaine, kierrätyspolttoaine
RES-E	uusiutuvilla energialähteillä tuotettu sähkö
WTT	well-to-tank (polttoaineketju, johon kuuluvat vaiheet raaka-aineen valmistuksesta aina polttoaineen annosteluun ajoneuvon tankkiin saakka)
WTW	well-to-wheel (polttoaineketju, johon kuuluvat vaiheet raaka-aineen valmistuksesta aina ajoneuvon moottorin tekemään mekaaniseen työhön saakka)

Yksiköt

loe	ekvivalenttinen öljylitra
toe	ekvivalenttinen öljytonni
Whwattitunti	
Jjoule	

kkilo, $10^3 = 1\ 000$

Mmega, $10^6 = 1\ 000\ 000$

Ggiga, $10^9 = 1\ 000\ 000\ 000$

Ttera, $10^{12} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000$

Ppeta, $10^{15} = 1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000$

1 MWh = 3,6 GJ

1 Mtoe = 11,6 TWh

1 t biodieseliä = 0,9 toe

1 t etanolia = 0,64 toe

1. Johdanto

EU:ssa eräs keskeinen energia- ja ympäristöpolitiikan tavoite on uusiutuvien energialähteiden käytön edistäminen, erityisesti kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämiseksi ja siten ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. EU:ssa on tehty päätöksiä uusiutuvan energian edistämisestä eri sektoreilla, kuten uusiutuvan energian osuudesta primäärienergiasta, sähkön kokonaiskulutuksesta ja liikenteen polttoainekäytöstä. Laajamittaisella liikenteen biopolttoaineiden käytöllä pyritään energiansaannin turvaamiseen ja kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen. Liikenne on nykyisellään lähes täysin riippuvainen öljystä. Helposti hyödynnettävät öljyvarat ovat supistumassa samaan aikaan, kun öljyn kulutus kasvaa voimakkaasti esimerkiksi Kiinassa ja Intiassa. Lisäksi peltobioenergian hyödyntäminen tuo maataloudelle uusia tuotantovaihtoehtoja.

EU:n direktiivillä 2003/30/EY¹ pyritään edistämään biomassasta tuotettujen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käyttöä dieselöljyn tai bensiinin korvaamiseksi jäsenvaltioiden tieliikenteessä. Direktiivillä halutaan edistää muun muassa ilmastonmuutosta koskevien sitoumusten noudattamista, ympäristöystävällistä huoltovarmuutta ja uusiutuvien energialähteiden käyttöä. Jäsenvaltioiden ohjeellisten kansallisten tavoitteiden viitearvoksi on direktiivissä asetettu kaksi prosenttia laskettuna energiasisällön perusteella kaikista vuonna 2005 jäsenvaltioiden markkinoille saatetusta tieliikennekäyttöön tarkoitettua bensiinistä ja dieselöljystä. Vastaavaksi viitearvoksi vuonna 2010 on asetettu 5,75 prosenttia. Markkinaosuustavoite voidaan saavuttaa myymällä puhtaita biopolttoaineita tai sekoittamalla niitä tavanomaisiin polttoaineisiin. Direktiivissä esitetyt tavoitteet ovat ohjeellisia, eivät siis pakollisia. Jäsenmaiden tulee raportoida kansallisesta etenemisstrategiasta säännöllisesti EU:n komissiolle. Komissio tulee antamaan arviointikertomuksensa biopolttoaineiden käytön edistymisestä jäsenvaltioissa vuoden 2006 loppuun mennessä ja tekemään tarvittaessa ehdotuksia muutoksista.

EU:n komissio on vuonna 2000 julkaissut vihreän kirjan Euroopan energiahuoltostrategiasta². Vihreässä kirjassa todetaan lähtökohtana, että ilman toimenpiteitä EU:n riippuvuus tuontienergiasta saattaa seuraavien 20–30 vuoden kuluessa kasvaa nykyisestä 50 prosentista 70 prosenttiin. Liikenteen osalta vihreässä kirjassa on asetettu tavoitteeksi saavuttaa vuonna 2020 liikenteen vaihtoehtoisilla polttoaineilla 20 prosentin osuus tieliikenteen polttoainekulutuksesta. Komission tiedonannossa³ vaihtoehtoisista tieliikenteen polttoaineista on esitetty, että optimistisen kehitysskenaarion mukaisesti vaihtoeht-

¹ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/30/EY liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä. Bryssel 8.5.2003.

² Euroopan yhteisöjen komissio. Vihreä kirja – Energiahuoltostrategia Euroopalle. KOM (2000) 769 lopullinen. Bryssel 29.11.2000.

³ Komission tiedonanto Euroopan parlamentille, neuvostolle, talous- ja sosiaalikomitealle sekä alueiden komitealle vaihtoehtoisista tieliikenteen polttoaineista sekä toimenpiteistä biopolttoaineiden käytön edistämiseksi. KOM (2001) 547 lopullinen. Bryssel 7.11.2001.

toisten polttoaineiden osuudet polttoainekulutuksesta voisivat olla vuonna 2020 maasulle 10 prosenttia, biopolttoaineille 8 prosenttia ja vedylle 5 prosenttia.

EU:n komissio on 8.3.2006 julkaissut vihreän kirjan Euroopan energiasta⁴. Tässä vihreässä kirjassa esitetään ehdotuksia ja toimintavaihtoehtoja perustaksi uudelle eurooppalaiselle energiapolitiikalle. Vihreän kirjan ehdotuksia voi kommentoida 24.9.2006 asti, jonka jälkeen komissio esittää konkreettisia toimenpideehdotuksia eri energia-alueille. Liikenteen biopolttoaineiden osalta vihreässä kirjassa todetaan, että EU on jäämässä vuodeksi 2010 asetetusta 5,75 %:n ohjeellisesta tavoitteesta 1–2 prosenttiyksikköä, jos kehitys jatkuu nykyisen kaltaisena.

Vihreässä kirjassa viitataan EU:n komission esittämään biomassaa koskevaan toimintasuunnitelmaan⁵ ja biopolttoainestrategiaan⁶. Toimintasuunnitelmassa esitetään toimenpiteitä uusiutuvan energian käytölle esitetyn tavoitteen saavuttamiseksi EU:ssa (12 % primäärienergiasta vuonna 2010). Liikenteen biopolttoaineiden osalta esitetään esimerkiksi käyttövelvoitteiden käyttöönottoa. Biopolttoainestrategiassa asetetaan kolme päätavoitetta: biopolttoaineiden edistäminen sekä EU:ssa että kehitysmaissa, valmistautuminen laajaan biopolttoaineiden käyttöön parantamalla niiden kilpailukykyä ja lisäämällä tutkimusta toisen sukupolven biopolttoaineista sekä niiden kehitysmaiden tukeminen, joissa biopolttoaineiden tuotanto voi edistää talouskasvua kestävän kehityksen mukaisesti.

Liikenteen biopolttoainedirektiivin osalta Suomi asetti vuoden 2005 kansalliseksi tavoitteekseen 0,1 prosenttia markkinoille saatetusta tieliikennekäyttöön tarkoitettua bensiiniä ja dieselöljyä. Vuoden 2010 kansallinen tavoite on ilmoitettava EU:lle viimeistään kesällä 2007. Hallituksen ilmasto- ja energiapoliittisen ministerityöryhmän 9.6.2006 tekemän päätöksen mukaan Suomi tavoittelee 5,75 prosentin energiaosuutta vuonna 2010⁷. Suomessa biopolttoainedirektiivin ohjeellinen tavoite merkitsisi 215 000 tonnin biopolttoainemäärää vuonna 2010.

Keskustelu liikenteen biopolttoaineiden tuotannon ja käytön lisäämiseksi on käynnissä Suomessa vilkkaana. Kauppa- ja teollisuusministeriö asetti 14.10.2005 työryhmän, jonka tehtävänä oli valmistella ehdotus toimista, joilla liikenteen biopolttoaineiden käyttö voitaisiin nostaa Suomessa 5 %:n tasolle, ja arvio siitä, kuinka nopeasti tavoite voitaisiin saavuttaa. Lisäksi työryhmän tehtävänä oli tehdä arvio pidemmän aikavälin tavoitteista liikenteen vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttöönotolle ja siitä, missä määrin ja millä keinoin tavoitteiden mukainen käyttö voi perustua kotimaisiin raaka-aineisiin.

⁴ Euroopan yhteisöjen komissio. Vihreä kirja – Euroopan strategia kestävän, kilpailukykyisen ja varman energiahuollon turvaamiseksi. KOM(2006) 105 lopullinen. Bryssel 8.3.2006.

⁵ Komission tiedonanto. Biomassaa koskeva toimintasuunnitelma. KOM(2005) 628. Bryssel 7.12.2005.

⁶ Komission tiedonanto. EU:n biopolttoainestrategia. KOM(2006) 34. Bryssel 8.2.2006.

⁷ Kauppa- ja teollisuusministeriön tiedote ”Ilmasto- ja energiapoliittinen ministerityöryhmä päätti liikenteen biopolttoainetavoitteesta” 115/2006. 9.6.2006.

Työryhmä luovutti mietintönsä 10.3.2006 (KTM 2006). Mietinnössä työryhmä toteaa, että biopolttoaineiden 5 %:n tavoiteosuus on teoriassa mahdollista saavuttaa vuoteen 2010 mennessä, mutta biopolttoaineiden saatavuus ja kustannukset huomioiden 3 %:n energiaosuus vuonna 2010 on realistinen tavoite. Tehostamalla huomattavasti teknologiakehitystä olisi mahdollista saavuttaa jopa 8 %:n osuus vuoden 2015 jälkeen.

Suomessa eräät öljy-yhtiöt ovat kokeilleet etanolin lisäämistä bensiiniin enintään viisi tilavuusprosenttia vuosina 2002–2004. Etanolin osuudelle annettu määräaikainen 30 c:n/l polttoaineveronalennus päättyi 31.12.2004. Etanoli hankittiin Euroopan ja Brasilian markkinoilta. Neste Oil Oyj aloitti etanolin lisäämisen bensiiniin uudelleen keväällä 2006. Lisäksi Suomessa on pienessä mittakaavassa kokeiltu biodieselin ja biokaasun valmistusta ja käyttöä liikenteen polttoaineena muutamissa autoissa. Useita kotimaisia selvityksiä ja hankkeita on meneillään. Useita tehdasmittakaavan tuotantoon tähtääviä etanolihankkeita on käynnissä. Lisäksi St1-huoltoasemaketju ja VTT ovat perustaneet yhteisyrityksen käynnistämään pienimuotoista etanolintuotantoa jäteraaka-aineista. Suurin biopolttoainehanke, joka on edennyt toteutukseen, on Neste Oil Oyj:n kehittämä uudentyypinen biodieselprosessi. Ensimmäinen laitos on rakenteilla, ja tuotanto käynnistyy syksyllä 2007.

Liikenteen kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen on tärkeä tavoite, johon pyritään mm. käyttämällä biopolttoaineita. Biopolttoaineiden kasvihuonekaasusäästöpotentiaali on mitä suurimmassa määrin polttoainekohtainen, ja siihen vaikuttavat mm. raaka-ainepohja sekä käytetyt raaka-aineiden tuotantomenetelmät ja polttoaineiden jalostusprosessit. Biopolttoaineiden tuotantoon joudutaan usein käyttämään suhteellisen paljon energiaa, mm. raaka-aineiden tuotannon ja polttoaineiden jalostusasteen mukaan. Käytettävän fossiilisperäisen energian määrä vaihtelee tuotantoketjun mukaan, mutta tyypillisesti vähintäänkin osa energiasta on fossiilisperäistä. Jalostusasteen noustessa saattaa tarvittava energiapanostus olla jo merkittävä osuus tuotettavan polttoaineen energiasällöstä. Näistä syistä erilaisten biopolttoainejalosteiden tuotantoketjujen energiankulutuksen ja aiheutuvien päästöjen tunnistaminen on hyvin oleellista, kun biopolttoaineilla suunnitellaan korvattavan fossiilisia polttoaineita.

Arvioita liikenteen vaihtoehtoisten polttoaineketjujen kasvihuonekaasupäästöistä on tehty viime vuosina useita muualla, mutta kattavaa selvitystä nykyvaihtoehdoista ei ole tehty Suomen olosuhteissa. Läpinäkyviä selvityksiä polttoaineketjujen kasvihuonekaasutaseista on kuitenkin hyvin vähän. Lopputulosten kannalta keskeistä on, kuinka tarkastelut on rajattu ja miten vertailutilanne on valittu. Esimerkkejä viime vuosina laadituista tieto- ja menetelmäpohjaltaan läpinäkyvistä selvityksistä biopolttoneiden kasvihuonekaasutaseista ovat mm. Edwards ym. (2003a ja b) ja Elsayed ym. (2003).

Työn tavoitteena oli laskea primäärienergiapanokset, kasvihuonekaasutaseet ja vältetyn CO₂-ekvivalenttitonin hinta liikenteen biopolttoaineiden tuotannolle ja käytölle sekä pelto- ja metsäbiomassan tuotannolle ja käytölle sähkön ja lämmön tuotannossa. Työssä arvioitiin sekä kaupallisia että kehitteillä olevia tekniikoita. Tarkasteluun valittiin Suomen olosuhteisiin sopivimpia, laajamittaiseen tuotantoon soveltuvia vaihtoehtoja. Tulosten perusteella esitettiin uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

2. Teknologiauketjut

Liikenteen biopolttoaineiksi valmistetaan nykyisin kaupallisesti etanolia ja biodieseliä viljelykasveista. Lisäksi joissakin maissa käytetään biokaasua metaanikäyttöisissä ajoneuvoissa. Neste Oil Oyj on kehittänyt uudentyyppisen biodieselprosessin, ja rakenteilla olevassa ensimmäisessä laitoksessa tuotanto on alkamassa vuonna 2007. Muiden biopolttoaineiden tuotantoprosessit eivät ole vielä kaupallisia. Kehitys- ja tutkimusvaiheessa ovat esimerkiksi etanolin valmistus lignoselluloosapohjaisesta biomassasta ja toisen sukupolven biopolttoaineiden, kuten Fischer-Tropsch-dieselin (F-T-dieselin), valmistus biomassasta. Alkoholeja (metanoli ja etanoli) voidaan jalostaa edelleen eettereiksi (esimerkiksi MTBE ja ETBE), joita käytetään yleisesti polttoaineiden lisäaineina, niin sanottuina oksygenaatteina. Eettereiden tuotanto alkoholeista on kaupallista tekniikkaa. Myös muita vaihtoehtoja on esillä, kuten pyrolyysitekniikalla tuotetun bioöljyn jalostaminen liikenteen polttoaineiksi.

Tässä työssä arvioitiin sekä kaupallisia että kehitteillä olevia tekniikoita. Tarkasteluun valittiin Suomen olosuhteisiin sopivimpia, laajamittaiseen tuotantoon soveltuvia vaihtoehtoja. Aihepiirin laajuuden ja monimutkaisuuden vuoksi hankkeessa jouduttiin rajamaan erilaiset biokaasuketjut pois ja työssä keskityttiin nestemäisiin pelto- ja metsäbiomassapohjaisiin liikenteen biopolttoaineisiin. Tarkasteluun valitut polttoaineketjut esitetään taulukossa 1.

Taulukko 1. Tarkasteltavat polttoaineketjut.

Peltobiomassaketjut	Vertailuketjut
- ohraetanoli	- bensiini (fossiilinen)
- rypsibiodiesel (RME)	- diesel (fossiilinen)
- NExBTL-biodiesel (rypsi)	- diesel (fossiilinen)
- ruokohelpi-F-T-diesel	- diesel (fossiilinen)
- ruokohelpi-CHP	- turve
Metsäbiomassaketjut	Vertailuketjut
- metsätähde-F-T-diesel	- diesel (fossiilinen)
- metsätähde-MTBE	- MTBE (fossiilinen)
- metsätähde-CHP	- turve

Suomessa on käynnissä useita selvityksiä ja hankkeita, joissa pyritään käynnistämään viljaetanolin tuotantoa suomalaisesta raaka-aineesta. Suomessa viljeltävistä viljakasveista ohra ja vehnä sopivat etanolin raaka-aineeksi kaikkein parhaimmin (KTM 2006). Ohra on Suomen tärkein viljakasvi, ja se soveltuu viljeltäväksi suurimmassa osassa maata. Viljelyvarmuutensa ja suomalaisen ohran käsittely- ja prosessiosaamisen vuoksi

ohra on paremmin Suomeen sopiva raaka-aine kuin vehnä. EU:n sokerireformin myötä mahdollisuus käyttää sokerijuurikasta etanolintuotannon raaka-aineena on noussut keskusteluihin. Sokerijuurikas on kuitenkin vaateliäs kasvi, eikä sen viljelyala riittäisi kattamaan kuin osan etanolintuotantolaitoksen raaka-ainetarpeesta. Suomessa kehitetään teknologiaa etanolin tuottamiseksi ns. lignoselluloosaraaka-aineista, kuten oljesta ja puusta. Lisäksi St1:n ja VTT:n yhteisyrityksessä ollaan aloittamassa pienimuotoista etanolintuotantoa jäteraaka-aineista.

Perinteisen biodieselin pääraaka-aine Suomessa olisi rypsi, ja eteläisimmässä Suomessa myös rapsi on mahdollinen. Perinteinen biodiesel koostuu rasvahappojen metyyliesteereistä, jotka muodostuvat kasviöljyjen vaihtoesteröinnistä metanolin kanssa. Nykyisellään rypsin viljelyn kannattavuus on heikko, minkä vuoksi kotimainen rypsintuotanto ei ole riittänyt edes elintarviketeollisuuden tarpeisiin. Tällä hetkellä Suomessa ei ole tietävästi käynnissä hankkeita, joissa suunniteltaisiin Suomeen RME:n tehdasmittakaavaista tuotantoa (laitoksen tuotanto useita kymmeniä tuhansia tonneja vuodessa). Muutama vuosi sitten silloinen Fortum Oil and Gas Oy (nykyisin Neste Oil Oy) ja Raisio Oy suunnittelivat biodiesellaitoksen (RME) rakentamista Naantalın jalostamolle, mutta yhtiöt arvioivat hankkeelle myönnetyn määräaikaisen, osittaisen verohuojennuksen riittämättömäksi, eikä laitosta rakennettu. Maatilakokoluokan RME-tuotanto on käynnistynyt, ja laitteita on myyty 20–30 maatilalle Suomessa. Työssä arvioitiin RME:n tehdasmittakaavaista tuotantoa, ja lisäksi maatilamittakaavaiselle tuotannolle on esitetty tuotantokustannusarvioita.

Neste Oil Oy on kehittänyt uudentyyppisen biodieselprosessin, jossa tuotetaan hiilivedyistä koostuvaa toisen sukupolven biodieselpolttoainetta perinteisen rasvahappoesteereistä muodostuvan biodieselin sijasta. Neste Oilin prosessi perustuu raaka-aineen vetykäsittelyyn. Neste Oil Oy:n julkisuudessa esittämien tietojen mukaan rakenteilla olevassa ensimmäisessä laitoksessa pääraaka-aineena tulee olemaan palmuöljy. Muita mahdollisia raaka-aineita ovat mm. rypsiöljy, soijaöljy ja eläinrasva. Työssä verrattiin suomalaisesta rypsiöljystä valmistettua NExBTL-biodieseliä tässä työssä arvioituihin ketjuihin Neste Oil Oy:stä saatujen tietojen perusteella.

Biomassasta on mahdollista valmistaa liikenteen biopolttoaineita myös ns. synteetisikaasureitin kautta. Tässä prosessissa biomassasta valmistettaisiin ensin termisesti kaasuttamalla synteetisikaasua. Synteetisikaasusta voidaan tunnetuilla prosesseilla valmistaa korkealaatuista dieselpolttoainetta, niin sanottua Fischer-Tropsch-dieseliä, metanolia tai dimetyylieetteriä (DME). Metanolista voitaisiin edelleen valmistaa eettereitä, kuten MTBE:tä, käytettäväksi bensiinin lisäaineina. Synteetisikaasusta voidaan valmistaa myös synteettistä maakaasua tai vetyä. Suomessa panostetaan synteetisikaasun valmistusprosessin kehittämiseen VTT:n vetämässä Ultra clean gas -hankkeessa (Kurkela 2006), joka kuuluu Tekesin ClimBus-teknologiaohjelmaan.

Suomessa kaavailtujen synteesikaasun käyttöön perustuvien konseptien perusajatuksena on biopolttonesteiden ja sähkön tai lämmön yhteistuotanto esimerkiksi metsäteollisuus-integraatin yhteydessä, jolloin saavutetaan korkea kokonaishyötysuhde. Suomessa tulisivat kyseeseen lähinnä puuraaka-aineet, kuten metsäteollisuuden laitoksen sivuvirrat (kuori) ja metsätähte, sekä ruokohelpi ja jättepohjaiset raaka-aineet. Myös turve soveltuu raaka-aineeksi. Työssä tarkasteltiin F-T-dieselin ja metanolin tuotantoa metsäteollisuus-integraatin yhteydessä. Metanoli jalostettaisiin edelleen MTBE:ksi. Raaka-aineina tarkasteltiin puubiomassaa ja ruokohelpeä.

Lisäksi työssä tarkasteltiin ruokohelven ja metsätähteen käyttöä yhdistetyn sähkön ja lämmön tuotannon polttoaineina. Liikenteen biopolttoaineiden osalta vertailupolttoaineina olivat bensiini ja diesel ja sähkön ja lämmön tuotannon osalta turve.

3. Energia- ja kasvihuonekaasutaseiden ja päästövähennyskustannusten laskennan perusteet

3.1 Vertailutilanteen valinta

Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseen ja niihin liittyvien kustannusten määrittelyyn liittyy lukuisia kysymyksiä, joiden vaikutus tuloksiin voi olla merkittävä. Arvioitaessa kasvihuonekaasupäästöjen vähenemisiä tai niiden kustannuksia on aina asetettava jokin tilanne vasten jotain toista tilannetta. Keskeistä on, kuinka vertailutilanne asetetaan ja toisaalta kuinka tarkastelut rajataan.

Gustavsson ym. (2000) ovat kirjoittaneet ohjeellisia periaatteita vertailutilanteen valinnasta kasvihuonekaasupäästöjen laskennassa projektiperusteisissa hankkeissa. Heidän mukaansa vertailutilanteen valinnan peruseriaatteena täytyy olla projektin tehokkuus auttaa saavuttamaan YK:n ilmastopimuksen perimmäinen tavoite, joka on pysäyttää kasvihuonekaasujen pitoisuuksien kasvu ilmakehässä vaarattomalle tasolle. Tämän periaatteen täyttymisen osoittaminen kasvihuonekaasupäästöjen vähenemistä arvioitaessa on erittäin vaikeaa ja haasteellista, sillä kysymykseen liittyy monia ongelmia. Tarkastelujen rajaaminen voi olla hankalaa ja vertailutilanteen valinta vaikeaa tilallisesti ja ajallisesti siten, että kasvihuonekaasupäästöjen absoluuttinen vähentyminen voitaisiin osoittaa kvantitatiivisesti. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen tietyssä kohteessa saattaa lisätä päästöjä toisaalla joko samanaikaisesti tai myöhemmin, johtuen toteutettavasta päästövähennyksestä tähtäävästä toimenpiteestä.

Kasvihuonekaasupäästöjen vähenemistä voidaan arvioida joko jo toteutuneille toimille tai tulevaisuudessa mahdollisesti toteutettaville toimille. Keskeistä on, että tarkastelujen ajallinen lähtökohta valitaan järkevästi. Jos tarkastellaan jo toteutuneita toimia, on tarkastelun vertailutilanne asetettava siihen hetkeen, joka vallitsi juuri ennen kyseisten toimien täytäntöönpanoa. Vastaavasti tarkasteltaessa tulevaisuudessa mahdollisesti toteutettavia toimia asetetaan vertailutilanteeksi hetki juuri ennen toimien toteuttamista. Vertailutilanteen asettaminen erityisesti kauas tulevaisuuteen on hankalaa. On myös huomattava, että vertailutilanne saattaa muuttua toimenpiteen toteutuksen aikana, sillä monet päästövähennystoimet on tarkoitettu kestäväksi vuosia tai vuosikymmeniä. Tässä työssä tarkasteltavat teknologiat ovat joko jo kaupallisella tasolla tai niiden odotetaan kaupallistuvan lähivuosien aikana, joten vertailutilanteeksi valitaan nykyhetki ja oletettu kehitys lähitulevaisuudessa.

Kun tarkastellaan jonkin polttoaineen korvaamisella saavutettavissa olevia kasvihuonekaasujen päästövähennyksiä, on tärkeää tunnistaa ne muutostekijät, joita korvaaminen aiheuttaa valittuun vertailutilanteeseen nähden. Tässä työssä tarkastellaan pääasiassa

sekä pelto- että metsätähdepohjaisten liikenteen biopolttoaineiden tuotannon ja käytön avulla saavutettavissa olevia kasvihuonekaasujen päästövähennyksiä biopolttoaineiden korvata fossiilisia polttoaineita. Vertailutilanteen ja sen kasvihuonekaasupäästövai-
kutusten tunnistamiseksi on valittava polttoaineiden raaka-aineiden tuotantoalueiden vertailukäyttömuoto, mikäli alueita ei käytettäisi tässä työssä tarkasteltavien polttoai-
neiden tuotantoon.

Peltoenergiaketjujen osalta maankäytön vertailutilanne voi olla kesantopelto (uudessa tilatukijärjestelmässä hoidettu viljelemätön pelto), muussa viljelykäytössä oleva pelto tai turpeen tuotannosta poistunut turvemaa. Myös metsä on mahdollinen vertailutilanne, koska sekä peltoja että turpeentuotannosta poistuneita alueita metsitetään. Tässä työssä tarkastelujen vertailutilanteeksi valittiin hoidettu viljelemätön pelto, koska viljelemät-
tömyys on todennäköisin vaihtoehto energiantuotannolle erityisesti alueilla, joilla viljan tuotantoedellytykset ovat heikot. Turpeen tuotannosta poistuneen suon pohjan käyttö esim. ruokohelven viljelyyn sivuutettiin tämän tutkimuksen tarkasteluissa.

Metsätähdeketjujen osalta työssä on oletettu, että metsäteollisuus tuottaa jatkossakin enemmän hakkuutähteitä kuin mitä niitä hyödynnetään energiantuotannossa. Näin ollen metsätähteiden käytön vertailutilanteessa tähteet jätetään palstalle. On kuitenkin mah-
dollista, että hakkuutähteiden käytön lisääntyessä hakkuutähteistä syntyy kilpailua tie-
tyille alueille. Tällöin kaikille toimijoille ei välttämättä riitä hakkuutähteitä kilpailuky-
kyiseen hintaan. Toimijoiden maksukyky ja vaihtoehtoisten polttoaineiden käyttömah-
dollisuus ratkaisevat sen, kenelle tähteistä aiheutuu pulaa. Tällaisessa tilanteessa on
mahdollista, että metsätähteiden käyttö siirtyykin kohteesta toiseen, jolloin myös saavu-
tettava päästövähennys saattaa jäädä näennäiseksi. Tässä työssä on kuitenkin oletettu,
että metsätähteiden käytön lisääminen ei aiheuta edellä kuvattua kilpailutilannetta ja
polttoaineen siirtymää.

Työssä on lähdetty siitä, että lähitulevaisuudessa biopolttoaineiden käyttöosuus ajoneu-
voissa ei tule olemaan niin suuri, että sillä olisi kovinkaan suurta merkitystä fossiilisten
polttoaineiden tuotantoon. Näin ollen vaihtoehtoisten maankäyttömuotojen tarkastelu ei
fossiilisten polttoaineiden kohdalla ole tarkoituksenmukaista.

Vertailutilanteen valinnalla on keskeinen vaikutus tarkastelujen lähtökohtaan ja rajauk-
seen sekä tarkasteluissa huomioitaviin parametreihin. Tuloksia tarkasteltaessa on huo-
mioitava tehty valinta, sillä muussa tapauksessa mahdollisuus tehdä vääriä johtopäätök-
siä on ilmeinen. Tulokset ovatkin verrannollisia vain valittuun vertailutilanteeseen näh-
den, on se sitten realistinen tai epärealistinen.

3.2 Tarkastelujen rajaukset

3.2.1 Allokointiperiaatteet

Energia- ja kasvihuonekaasutaseiden tarkastelussa yksi keskeisimmistä kysymyksistä on, kuinka tarkasteltavat ketjut rajataan. Biopolttoaineiden tuotannon yhteydessä syntyy tyypillisesti muitakin tuotteita. Arvokkaimman tuotteen katsotaan monesti olevan päätuote ja vähemmän arvokkaiden sivutuotteita. Biopolttoaineet voivat olla joko pää- tai sivutuotteita. Vain harvoin, jos koskaan, tarkasteltava ketju on niin yksiselitteinen, että sen voidaan katsoa olevan täysin irrallinen muista tuotteista.

Ketjutarkasteluissa energiapanosten ja päästöjen kohdentamisesta (allokoimisesta) eri tuotteille on olemassa useita erilaisia menetelmiä. Kohdentaminen voi perustua esimerkiksi tuotteiden massaun, energia- tai exergiasisältöön, hintaan tai johonkin muuhun tekijään. Yhtä oikeaa lähestymistapaa ei ole olemassa. Massaun perustuva kohdentaminen ei ota lainkaan huomioon tuotteen käyttöominaisuuksia, ja siksi sen käyttöä ei voida pitää kovin perusteltuna. Exergiasisältöön perustuva kohdentaminen ei puolestaan huomioi energian laatua, kuten exergiasisältöön perustuva kohdentaminen. Nämäkin menetelmät eivät ole välttämättä perusteltuja käytettäväksi esimerkiksi tilanteessa, jossa vain osa tuotteista käytetään energiaksi. Edellä mainittujen, fysikaalisiin suureisiin perustuvien kohdentamismenetelmien hyvänä puolena voidaan pitää menetelmien pysyvyyttä eli riippumattomuutta ajasta. Ne saattavat kuitenkin johtaa tulokseen, jossa energiapanoksia tai päästöjä kohdennetaan tuotteille, joilla ei ole käyttöarvoa. Hintaperusteista (esim. markkinahinta) allokointia voidaankin tässä suhteessa pitää perustelluimpana kohdentamismenetelmänä. Hinta ei kuitenkaan ole pysyvä suure, mikä aiheuttaa ongelmia menetelmän käyttämiselle erityisesti silloin, kun hinnoissa tapahtuu tai on odotettavissa merkittäviä vaihteluita.

Koska kohdentamismenetelmät ovat aina enemmän tai vähemmän subjektiivisia, tulisi niiden käyttöä välttää aina kuin mahdollista. Tämä voidaan tehdä kasvattamalla tarkastelujen rajoja siten, että kaikki relevantit tuotteet energia- ja päästövirtoineen ovat tarkastelussa mukana. Tällöin kuitenkin ongelmaksi nousee se, että tarkasteltava tuote ei enää olekaan alkuperäinen yksikkö, vaan laajempi, kaksi tai useampia tuotteita käsittävä kokonaisuus. Jotta lopputulos voidaan antaa haluttua tuoteyksikköä kohden, on systeemin rajoja laajennettava vielä siten, että muiden (kuin halutun tuotteen) tuotteiden käyttö otetaan myös tarkasteluun mukaan. Mikäli näiden muiden tuotteiden voidaan katsoa korvaavan jotain toista tuotetta, voidaan korvauksesta syntyvä muutos energiankulutuksessa tai päästöissä laskea tarkasteltavan (halutun) tuotteen hyväksi. Tällaista kohdentamisperiaatetta kutsutaan korvausmenetelmäksi (substituutio), joka on suositelluin lähestymistapa myös ISO 14040 -standardin mukaan.

3.2.2 Biomassaketjujen rajaukset

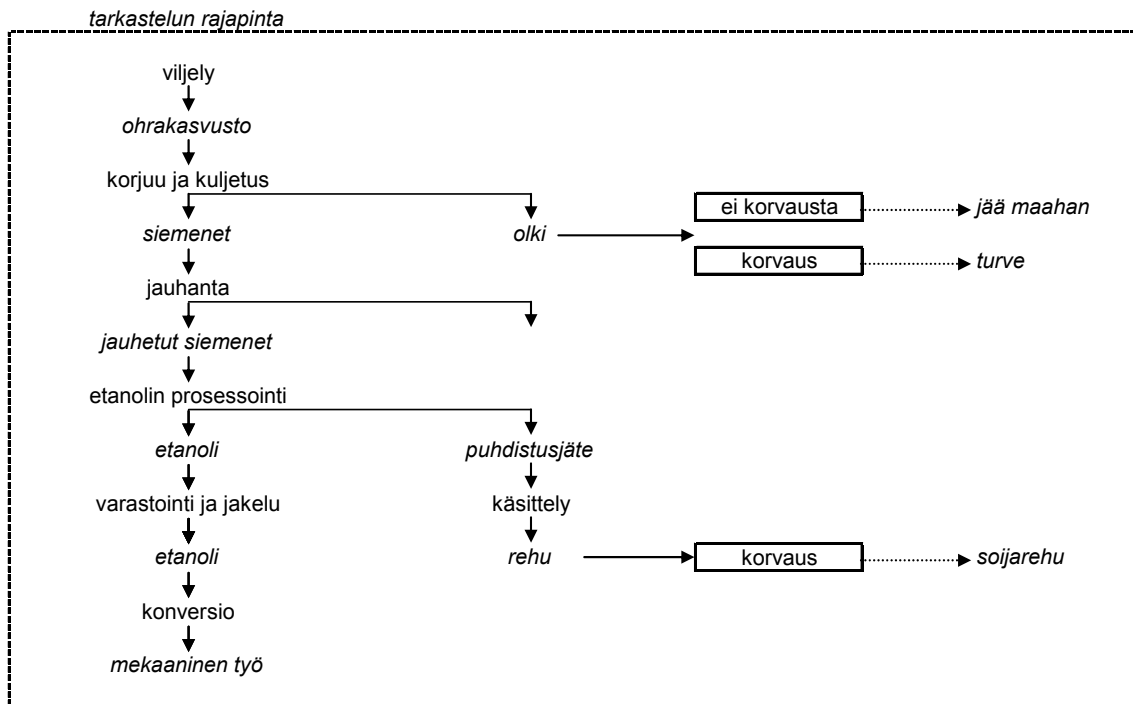
Tässä työssä tarkasteltavien maatalousketjujen osalta on käytetty korvausmenetelmää, koska ketjuihin liittyy merkittäviä muita tuotevirtoja. Ohraetanolin valmistuksessa on näin ollen huomioitu oljen ja valkuaisrehun käyttö (kuva 1) ja rypsipohjaisen biodieselin valmistuksessa edellä mainittujen lisäksi myös glyserolin käyttö (kuva 2). Perusoletuksena on, että valkuaisrehu korvaa Yhdysvalloista tuotavaa soijarehua ja glyseroli korvaa energiakäytössä turvetta, mutta ohran olkea tai rypsin vartta ei hyödynnetä. Glyserolia käytetään raaka-aineena kemian- ja kosmetiikkateollisuudessa, mutta markkinat ovat pienet verrattuna biodieselin tuotannon kasvutavoitteisiin. Biodieselin tuotanto on jo kasvanut sille tasolle, ettei sivutuoteglyserolille ole enää markkinoita kyseisinä raaka-aineina. Lisätapauksina tarkastellaan myös korsibiomassan energiakäyttöä turpeen korvaajana. Ruokohelven energiakäyttöön ei liity vastaavia sivutuoteketjuja, joten korvausmenetelmä ei ruokohelven osalta ole tarpeellinen (kuvat 3 ja 4).

Työssä tarkasteltavien hakkuutähdeketjujen osalta (kuvat 5–7) on jouduttu käyttämään erilaista lähestymistapaa kuin peltobiomassaketjujen kohdalla. Korvausmenetelmää ei ole voitu käyttää, koska metsäteollisuuden tuotteiden käytöstä ja niiden korvauskertoimista ei ole olemassa riittävästi tietoa. Niinpä hakkuutähteiden on oletettu syntyvän metsäteollisuuden jätteenä ja metsänistutuksesta, hoidosta ja ainespuun korjuusta aiheutuvat päästöt on kohdennettu kokonaan ainespuulle. Hakkuutähdeketjujen osalta tarkastelut alkavat siis tilanteesta, jossa tähteet ovat metsässä eikä niitä vertailutapauksessa hyödynnettäisi.

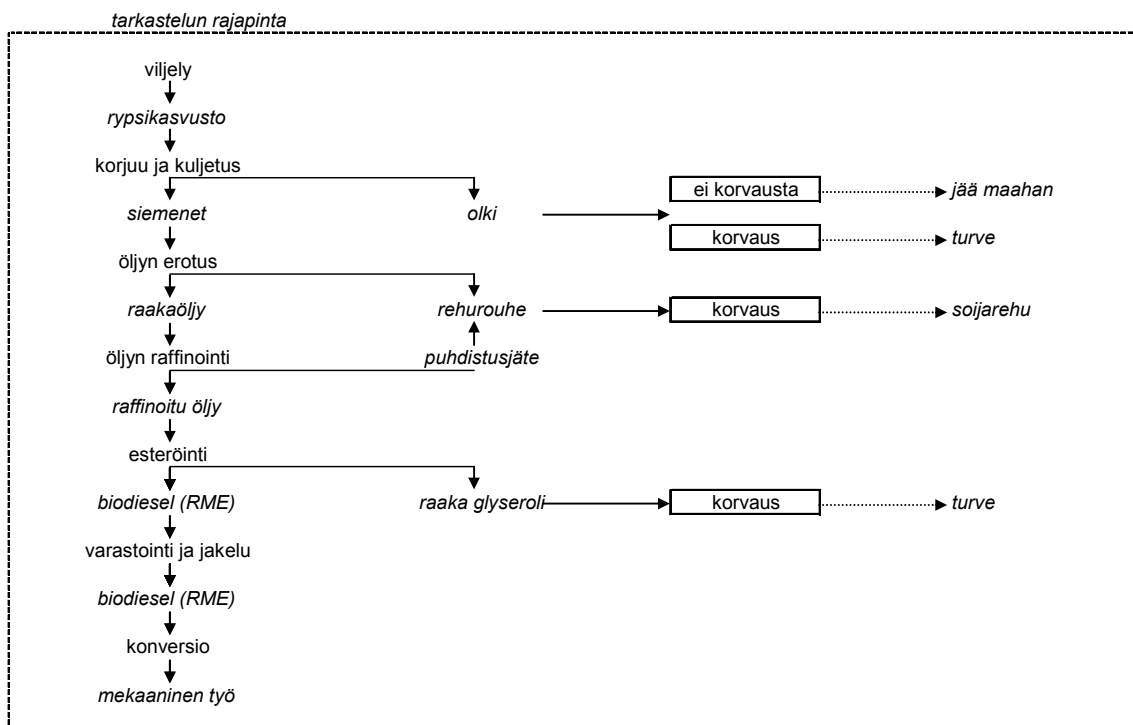
Maatalous- ja metsäpohjaisten biopolttoaineketjujen erilainen rajaus ja tarkastelujen lähestymistapa aiheuttavat sen, etteivät nämä ole keskenään täysin vertailukelpoisia. Metsäteollisuuden energiakäytön ja päästöjen huomioiminen tarkasteluissa lisäisi hakkuutähdeketjujen energiapanosta ja päästöjä. Toisaalta puutuotteiden materiaalikorvauuden, esimerkiksi rakennusmateriaaleissa, huomioiminen ja laskeminen hakkuutähteiden hyväksi voisi merkittävästi jopa alentaa hakkuutähteiden laskennallista energiapanosta ja päästöjä. Tätä asiaa pohditaan tulosten tarkastelun yhteydessä.

Kaikissa tarkastelluissa ketjuissa on energia- ja kasvihuonekaasupäästötaseiden laskennassa tehty tiettyjä yhdenmukaisia rajauksia. Tarkasteluissa ei ole huomioitu tarvittavien työkoneiden, tuotantolaitosten tai muidenkaan laitteistojen valmistusta, koska luotettavaa tietoa näiden tekijöiden energiapanoksista ja päästöistä ei ole ja koska tarkasteltavissa vertailuketjuissa ei myöskään ole huomioitu näitä tekijöitä. Lisäksi tarvittavan infrastruktuurin rakentaminen on rajattu tarkastelujen ulkopuolelle. Muita rajauksia ovat muutokset viljelys- ja metsämaan hiilitaseissa, tuhkan kierrätys ja biomassan varastoinnin yhteydessä mahdollisesti aiheutuvat päästöt. Näitä asioita käsitellään osin tulosten epävarmuustarkastelujen yhteydessä sekä kvalitatiivisesti tulosten analysoinnin yhtey-

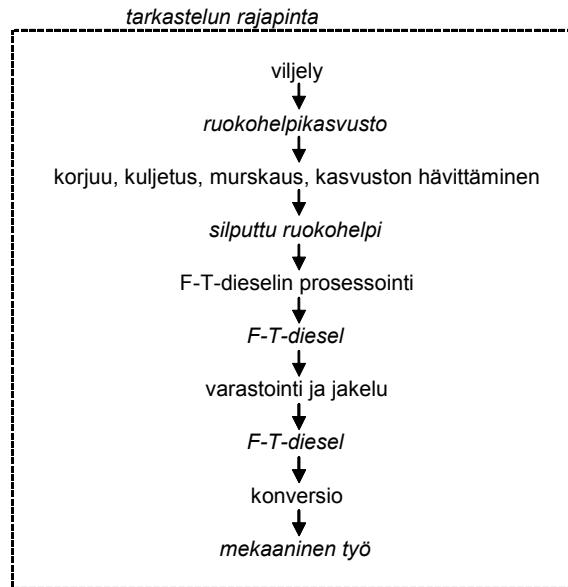
dessä. Muilta osin ketjujen kaikki energiapanokset ja kasvihuonekaasupäästöt on pyritty huomioimaan yhdenmukaisia periaatteita noudattaen.



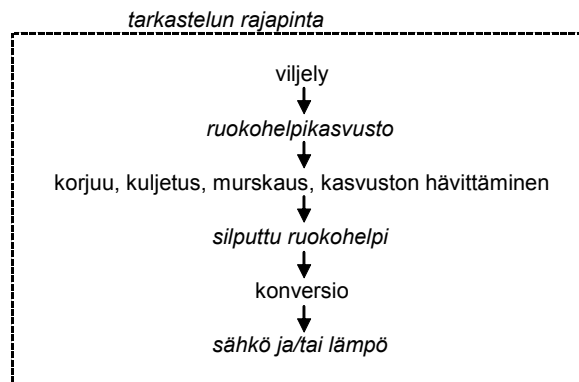
Kuva 1. Ohraetanoliketjun raja.



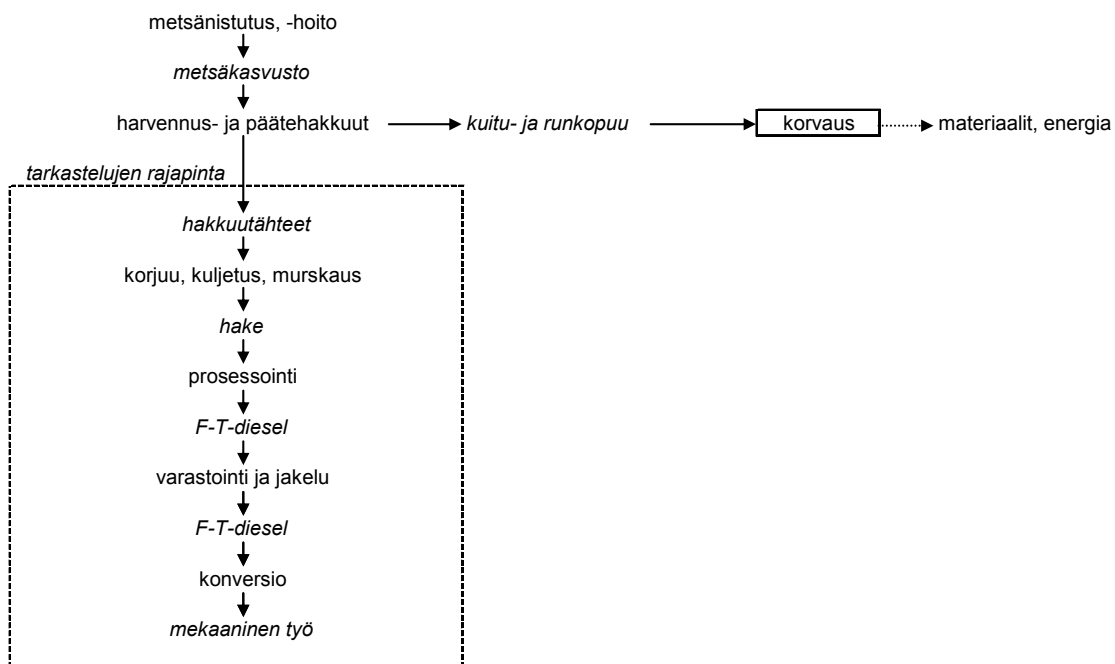
Kuva 2. Rypsipohjaisen biodieselketjun raja.



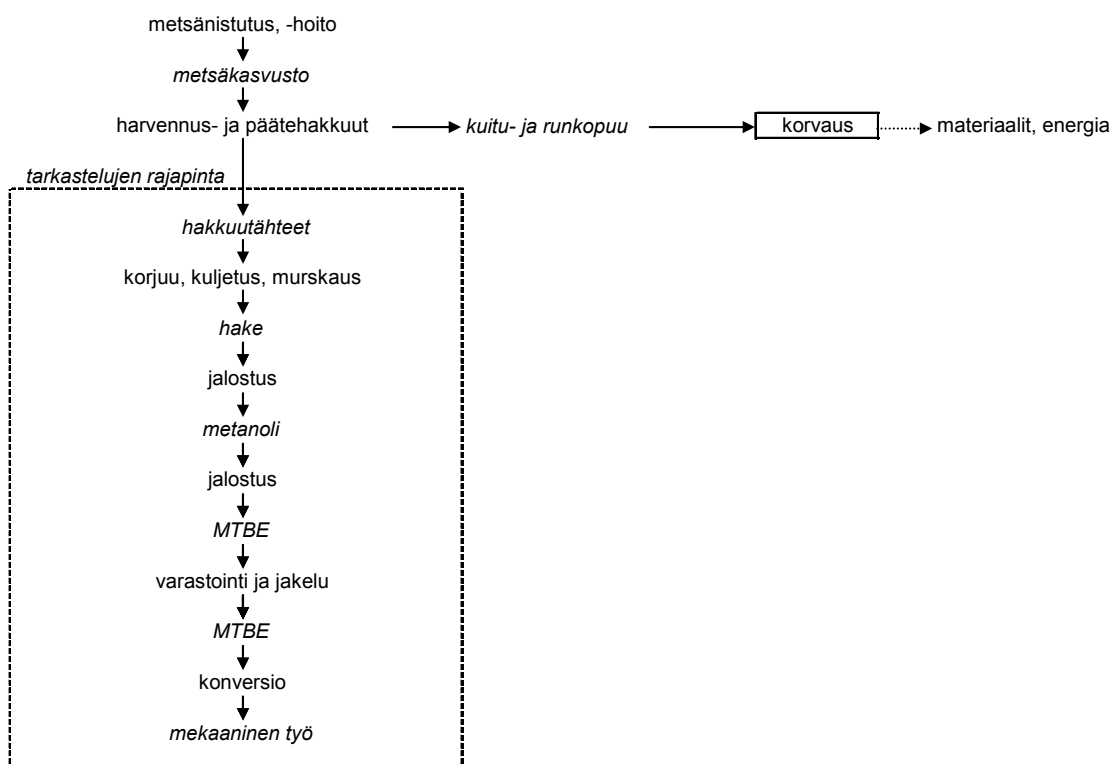
Kuva 3. Ruokohelpipohjaisen Fischer-Tropsch-dieselketjun rajaus.



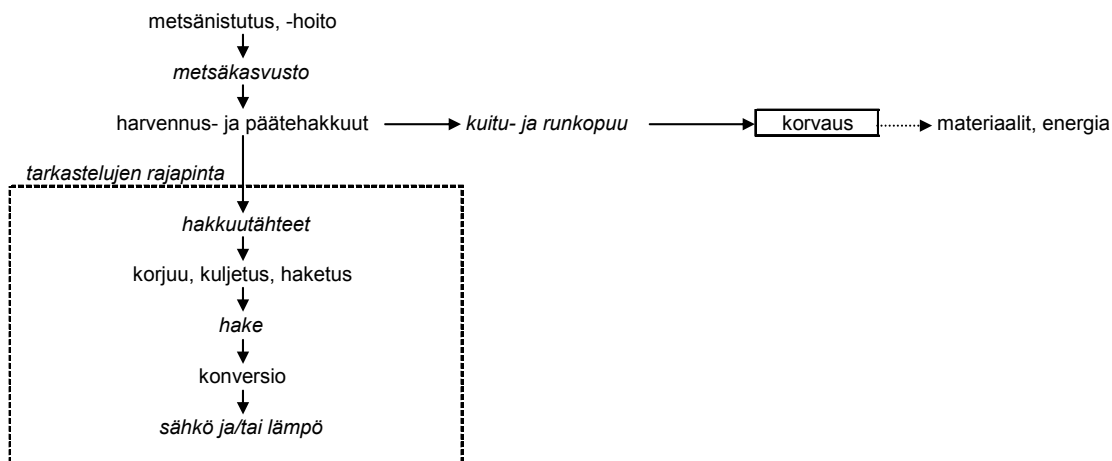
Kuva 4. Ruokohelven kattilakäyttöketjun rajaus.



Kuva 5. Metsätähdepohjaisen Fischer-Tropsch-dieselketjun raja-
aus.



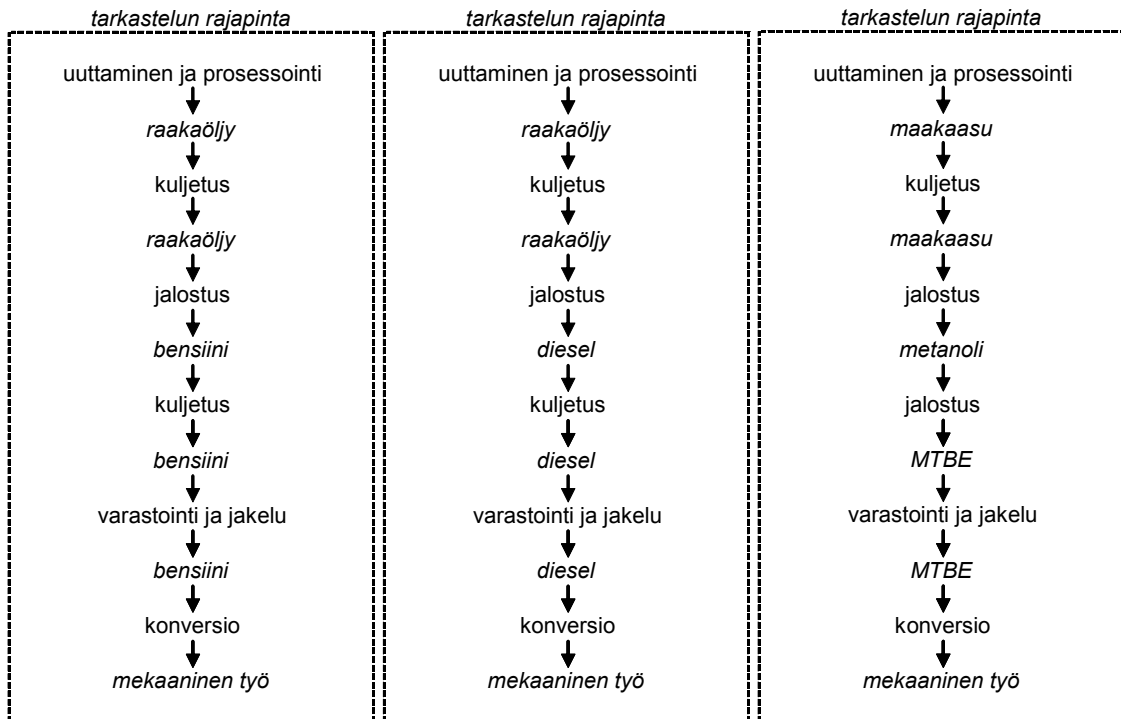
Kuva 6. Metsätähdepohjaisen MTBE-
ketjun raja-
aus.



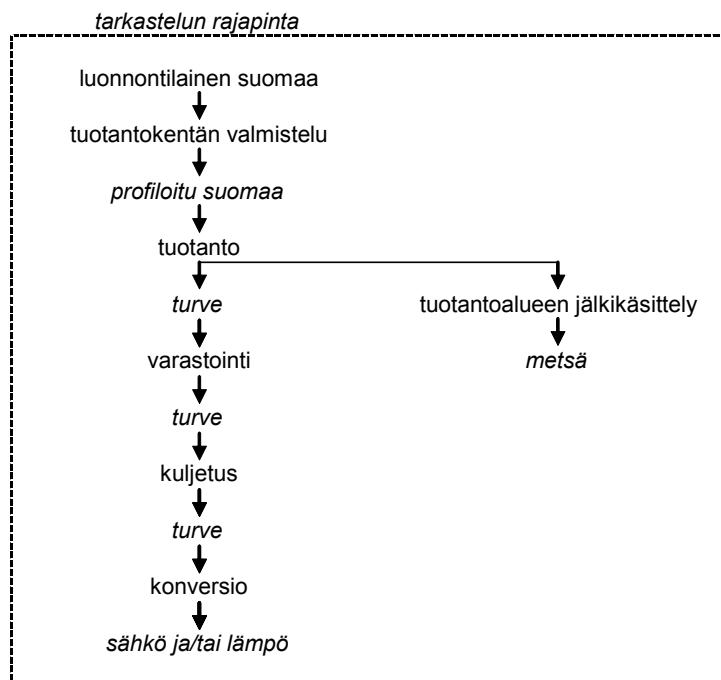
Kuva 7. Metsätähteiden energiakäyttöketjun rajaus.

3.2.3 Vertailuketjujen rajaukset

Työssä tarkastellaan liikenteen biopolttoaineiden tai -komponenttien vertailuketjuina fossiilista bensiiniä, dieseliä ja MTBE:tä. Nämä vertailuketjut ja niiden rajaukset (kuva 8) perustuvat EUCARin, CONCAWEn ja JRC/IES:n ”Well-to-Wheels”-selvitykseen (Edwards ym. 2003a, 2003b, 2004). Metsätähteiden ja ruokohelven liikennepolttoainekäytön lisäksi tarkastellaan ko. raaka-aineiden käyttöä sähkön ja/tai lämmön tuotannossa, jossa niiden vertailupolttoaineeksi on valittu turve. Turpeen energiakäyttöketjun rajaus esitetään kuvassa 9. Turpeen tuotantoalueeksi on valittu metsäojitettu suo, joka turvetuotantokäytön jälkeen metsitetään.



Kuva 8. Fossiilisen bensiini- (a), diesel- (b) ja MTBE- (c) ketjujen rajaukset.



Kuva 9. Turpeen energiakäyttökettujen raja.

3.3 Energia- ja kasvihuonekaasutaselaskennan periaatteet ja parametrit

Energia- ja kasvihuonekaasutaseiden laskenta valittujen rajapintojen sisällä tehtiin noudattamalla mahdollisimman yhdenmukaisia periaatteita. Kaikissa polttoaineiden tuotantovaiheissa tarvittavat energiapanokset muutettiin primäärienergiaksi tietyillä kertoimilla. Tuotannossa käytettävien koneiden, laitteiden ja prosessien hyötysuhteiden avulla laskettiin tuotantoketjun polttoaineiden, kemikaalien ja sähkön tarve, jolle sitten sovellettiin valittuja kertoimia primäärienergiatarpeen arvioimiseksi. Primäärienergiaan on laskettu mukaan sekä uusiutuva että uusiutumaton energia, mutta tarkasteltavaan polttoaineeseen siirtyvää energiamäärää ei ole huomioitu.

Kasvihuonekaasuista tarkasteluissa huomioitiin hiilidioksidi (CO₂), metaani (CH₄) ja typpioksiduuli (N₂O). YK:n ilmastopöytäkirjassa on sovittu, että kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutusten tarkastelujaksoksi käytetään 100 vuotta. Se valittiin käytettäväksi myös tässä työssä. Tarkasteltavien kasvihuonekaasujen globaalit lämmityspotentialit 100 vuoden tarkastelujaksolle (GWP₁₀₀-kertoimet) valittiin IPCC:n (1996a) ⁸ mukaisiksi ja ne esitetään taulukossa 2.

Taulukko 2. Työssä käytetyt painokertoimet tarkasteltavien kasvihuonekaasujen muuttamiseksi hiilidioksidiekvivalenteiksi (IPCC 1996a).

kaasu	GWP ₁₀₀
hiilidioksidi (CO ₂)	1
metaani (CH ₄)	21
typpioksiduuli (N ₂ O)	310

Revised 1996 IPCC Guidelines (IPCC 1996b) antaa ohjeet ihmisen toiminnan aiheuttamien kasvihuonekaasupäästöjen arviointiin. Ohjeiden mukaan laskennassa ei oteta huomioon niitä hiilidioksidipäästöjä, jotka ovat peräisin kestävästä kehityksestä kasvitetusta biomassasta. Kestävästä kehityksestä oletetaan tässä yhteydessä tarkoittavan sitä, että biomassaa kasvatetaan yhtä paljon kuin sitä käytetään. Tällöin kasvien yhteyttämisessä sitomat ja biomassasta poltossa tai muuten vapautuvat CO₂-määrät ovat yhtä suuret, eikä ilmakehän CO₂-pitoisuuksissa tapahdu muutoksia. Tässä työssä noudatetaan edellä mainittua periaatetta CO₂-päästöjen huomioimisessa laskennassa.

⁸ IPCC:n kolmannen arviointiraportin (2001) mukainen GWP₁₀₀-kerroin metaanille on 23 ja typpioksiduulille 296, mutta YK:n ilmastopöytäkirjassa laadittavissa virallisissa kasvihuonekaasuinventaareissa on toistaiseksi käytetty toisen arviointiraportin (1996) GWP₁₀₀-arvoja.

3.3.1 Sähkö

Tuotantoprosessien eri vaiheissa tarvittava sähkö, siltä osin kuin tuotantoprosessi tapahtuu Suomessa, on oletettu ostettavan valtakunnan verkosta. Sen oletettiin vastaavan valtakunnallista keskiarvoa. Kulutettava sähkö muutetaan primäärienergiaksi kertoimella, joka saadaan siten, että sähkön kotimaisessa tuotannossa tarvittava primäärienergiämäärä jaetaan sähkön kotimaisella nettotuotannolla. Kotimaisen ja tuontisähkön jakeluhäviöiden on arvioitu olevan yhtä suuria.

Energiatilastoissa tuuli- ja vesivoiman sähköhyötysuhteeksi on oletettu 100 %, ydinvoimalle puolestaan 33 %. Sähkön ja lämmön yhteistuotannon polttoaineet on pääperiaatteessa jaettu siten, että lämmölle lasketaan vaihtoehtoisen erillistuotannon polttoaineet (90 %:n hyötysuhde) ja sähkölle lisäpolttoaine, joka tarvitaan sähkön tuottamiseen. Käytännössä lauhdesähkölle sekä kaukolämmön ja teollisuuden yhteistuotannolle on annettu kiinteät kulutussuhteet, joiden avulla laitosten vuosituotannoille on laskettu laskennallinen polttoaineen kulutus, joka normeerataan vastaamaan toteutunutta kokonaiskulutusta. Polttoaineiden jakomenetelmälle on tulossa rinnakkainen laskentatapa, joka perustuu ns. hyödynjakomenetelmään (Tilastokeskus 2005a). Sähkön kotimaisessa tuotannossa tarvittava primäärienergia on arvioitu energiatilastoja hyödyntäen ja huomioimalla lisäksi sähkön tuotannossa tarvittavien polttoaineiden välillinen energiantarve, jonka suuruudeksi on oletettu 10 %. Näillä oletuksilla tehty arvio sähköenergian primäärienergian tarpeesta vuosina 2002–2004 esitetään taulukossa 3. Tässä työssä sähkön primäärienergian tarpeen kertoimen oletusarvona käytetään näiden vuosien mukaista keskiarvoa 2,35.

Taulukko 3. Arvio tuotantoprosesseissa kulutetun sähkön primäärienergiakertoimista eri tilastovuosina.

	2002	2003	2004
bruttotuotanto (TJ)	257 821	289 357	295 758
häviöiden osuus (%)	4 %	4 %	3 %
nettotuotanto (TJ)	248 745	277 654	285 702
nettotuonti (TJ)	42 930	17 467	17 532
kotimaisen tuotannon primäärienergia (TJ)	524 311	610 889	598 818
välillisen primäärienergian osuus (%)	10 %	10 %	10 %
primäärienergiakerroin (kWh_{prim}/kWh_e)	2,3	2,4	2,3

Sähköntuotannon päästöt kulutettua sähköenergiaa kohden on arvioitu IEA:n energia- ja päästötietokantoja hyödyntäen kohdentamalla yhteistuotannon päästöt energiaperusteisesti tuotetulle sähkölle ja lämmölle. Tällä periaatteella laskettuna hiilidioksidipäästöt tuotettua nettosähköenergiaa kohden olivat Suomessa vuonna 2000 n. 190 g CO₂/kWh_e ja vuonna 2002 n. 270 g CO₂/kWh_e. Energiantuotannossa CH₄- ja N₂O-päästöjen osuus

polttoaineiden polton kokonaispäästöistä on tyypillisesti alhainen, vain muutaman prosentin luokkaa. Jos oletetaan, että nämä päästöt ja sähköntuotannon polttoaineiden välilliset päästöt ovat yhteensä n. 15 % sähköntuotannossa käytettävien polttoaineiden polton hiilidioksidipäästöistä, voidaan sähköntuotannon päästöjen tuotettua nettosähköenergiaa kohden olettaa karkeasti vaihtelevan Suomessa välillä 200 ja 300 g CO₂-ekv./kWh_e. Tässä työssä oletusarvona käytetään tämän vaihteluvälin puoliväliä 250 g CO₂-ekv./kWh_e.

3.3.2 Ulkomaiset polttoaineet

Tuotantoprosessien työkoneissa ja ajoneuvoissa käytettävien, ulkomailta Suomeen tuotavien polttoaineiden ja jalosteiden (dieselöljyn, raskaan polttoöljyn, maakaasun) välillinen primäärienergian tarve ja kasvihuonekaasupäästöt on arvioitu Edwardsin ym. (2003a) raportin perusteella. Dieselöljylle ja raskaalle polttoöljylle käytettiin suoraan Edwardsin ym. (2003a) ilmoittamia oletusparametreja.

Maakaasun osalta putkikuljetuksen (4 000 km) primäärienergian tarve ja päästöt suhteutettiin maakaasun keskimääräiseen kuljetusmatkaan Venäjältä Suomeen (3 300 km). Biodieselin valmistuksessa tarvittava metanoli on oletettu valmistettavaksi maakaasusta, jonka tunnusluvut on otettu Edwardsin ym. (2003a) raportista.

Polttoaineiden energiasisältö ja polton kasvihuonekaasupäästöt perustuvat Suomen kasvihuonekaasuinventaarilaskennassa käytettäviin oletuskertoimiin (Statistics Finland 2006) ja tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmään (LIISA 2004). Todellisuudessa polttoaineiden metaani- ja typpioksiduulipäästöt riippuvat voimakkaasti polttotekniikasta ja olosuhteista. Tämän työn laskennassa käytetyt parametrit ovat oletettuja keskimääräisiä parametreja käyttökohteissa (taulukko 4).

Taulukko 4. Laskennassa käytetyt parametrit ulkomailta raaka-aineina tai jalosteina Suomeen tuotavien polttoaineiden välilliselle primäärienergian tarpeelle sekä välillisille ja suorille kasvihuonekaasupäästöille (Edwards ym. 2003a, Statistics Finland 2006, LIISA 2004).

Polttoaine	LHV	primääri- energia	välilliset päästöt (g/MJ _{pa})			poltton päästöt (g/MJ _{pa})			yhteensä (g/MJ _{pa})
	MJ/kg		MJ _{prim} /MJ _{pa}	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
dieselöljy									
- työkoneet	43,0	1,16	13,79	0,001	0	73,29	0,004	0,031	98,48
- kattila	43,0	1,16	13,79	0,001	0	73,29	0,002	0,003	88,89
raskas polttoöljy									
- kattila	40,5	1,09	6,65	0	0	78,80	0,001	0,002	86,09
maakaasu									
- kattila	50,0	1,17	8,36	0,21	0	55,04	0,001	0,001	68,19
metanoli	19,7	1,67	21,86	0,21	0				

3.3.3 Kuljetukset

Biopolttoaineiden tuotantoketjuun sisältyy sekä välillisiä että välittömiä kuljetuksia. Välillisiä kuljetuksia ovat esim. raaka-aineiden tuotannossa tarvittavien hyödykkeiden, kuten lannoitteiden, tai syntyvien sivutuotteiden kuljetukset. Välittömiä kuljetuksia ovat puolestaan biopolttoaineiden raaka-aineen kuljetukset. Kaikissa kuljetuksissa on oletettu käytettävän täysperävaunuyhdistelmää (60 t, EURO 3 -luokka), jossa paluumatka tapahtuu tyhjällä kuormalla. Välillisten kuljetusten on oletettu tapahtuvan täydellä kuormalla, mutta raaka-aineiden kuljetusten kuormitusaste on arvioitu jokaiselle raaka-aineelle tapauskohtaisesti sadon perusteella. Kaikissa kuljetuksissa taajama-ajon osuudeksi on oletettu 5 %. Kuljetusten polttoaineen kulutuskertoimet ja polton päästökertoimet perustuvat LIPASTO 2004 -laskentajärjestelmään. Polttoaineiden valmistuksesta ja jakelusta aiheutuvat kuljetusten välilliset päästöt on laskettu Edwardsin ym. (2003a) raportin perusteella. Työssä käytetyt kuljetusten päästökertoimet eri kuormitusasteille (paluu tyhjänä) esitetään taulukossa 5.

Taulukko 5. Laskennassa käytetyt parametrit biopolttoaineiden tuotannossa tarvittavien välillisten ja välittömien kuljetusten primäärienergiantarpeelle ja kasvihuonekaasupäästöille (LIPASTO 2004).

Kuormitusaste (täysperävaunu- yhdistelmä, 60 t, EURO 3)	kulutus	primääri- energia	välilliset päästöt (g/t,km)			suorat päästöt (g/t,km)			yhteensä (g/t,km)
	g/t, km	MJ/t, km	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -ekv.
100 %	18,48	0,92	11,0	0,001	0	58,17	0,001	0,002	69,63
95 %	19,33	0,96	11,46	0,001	0	60,83	0,001	0,002	72,83
88 %	20,49	1,02	12,15	0,001	0	64,52	0,001	0,002	77,24
79 %	22,41	1,11	13,29	0,001	0	70,54	0,001	0,002	84,45
70 %	24,64	1,22	14,61	0,001	0	77,57	0,001	0,002	92,87
56 %	29,92	1,49	17,74	0,002	0	94,19	0,001	0,003	112,80

3.3.4 Lannoitteet

Maatalousmaiden typpioksiduulipäästöt (N₂O) ovat peräisin väkilannoitteiden, lannan ja lietteiden levityksestä. Osin typpioksiduulipäästöjä aiheutuu myös kasvijäänteiden hajoamisesta. Typpioksiduulia vapautuu maaperästä mikrobitoiminnan aiheuttamana nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosesseissa. Näiden prosessien voimakkuuteen ja typpioksiduulin muodostumiseen ja vapautumiseen vaikuttavat monet tekijät, kuten typen määrä ja kemiallinen olomuoto, maan happitila, pH, kosteus, lämpötila, liukoisen hiilen määrä jne. (Pipatti ym. 2000).

Peltobiomassan osalta viljelyketjujen alkutilaksi oletetaan tilanne, jossa pelloilla on edellisenä vuotena viljelty ohraa, kauraa tai vehnää tai pelto on ollut kesantona. Sato

korjataan viljelykäytössä olevilta pelloilta talteen ja pois vietävät ravinteet kompensoidaan lannoittamalla. Koska vain osa lannoitteiden sisältämistä ravinteista sitoutuu kasvavaan biomassaan, on lannoitusmäärän oltava suurempi kuin pois vietyjen ravinteiden määrä. Lannoitusmäärät arvioidaan erikseen kunkin viljelykasvin osalta kohdissa 4.1, 4.2 ja 4.4. Kasvijäänteiden hajoamisesta aiheutuvia typpioksiduulipäästöjä ei tässä työssä huomioida, sillä peltobiomassaketjujen vertailutilanteeksi oletetulla kesantopellolla tapahtuu vastaavaa hajoamista.

Metsätähteet sisältävät runsaasti typpeä. Poltossa typpi vapautuu ilmakehään yleisimmin suoraan typpenä (N_2) tai erilaisina typenoksideina (NO_x). Metsästä tähteiden mukana pois viety typpi ei siis jää tuhkaan, joten sitä ei voida kompensoida levittämällä tuhkaa metsään. Osa pois viedystä tuestä kompensoituu kuitenkin ilmakehästä tulevan typpilaskeuman kautta. Jos metsätähteiden talteenotto on hyvin intensiivistä tai talteenotto tapahtuu typpiköyhillä metsämailla, voi typen kompensatio lannoittamalla tulla periaatteessa kysymykseen. Tämä koskee erityisesti ensiharvennuksessa korjattua biomassaa (Wihersaari & Palosuo 2000).

Metsätähdeketjujen vertailutilanteessa tähteet jätetään hajoamaan metsään, jolloin osa niiden sisältämästä tuestä vapautuisi ilmakehään typpioksiduulina luonnollisen hajoamisen kautta. Toisaalta typpioksiduulia vapautuu myös, kun metsätähteitä tai niistä valmistettua polttoainetta poltetaan. Näiden tekijöiden keskinäistä suuruutta ei tunneta. On mahdollista, että nämä tekijät lähes kompensoivat toisensa, mutta on myös mahdollista, että jompikumpi tekijöistä on toista suurempi. Lannoitus kuitenkin lisää typpioksiduulipäästöjä, joten mikäli lannoitus on tarpeellinen, tulee lannoituksen päästöt huomioida tarkasteluissa. Niitäkään ei tosin tunneta kovin hyvin. Tässä työssä on oletusarvoisesti lähdetty siitä, ettei typen kompensatiolannoitus ole tarpeellinen. Metsämaan lannoitus huomioidaan ja sen vaikutusta arvioidaan kuitenkin tulosten epävarmuustarkasteluissa Wihersaaren (2005) arvioiden perusteella.

Todellisuudessa lannoituksen aiheuttamiin kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttaa oleellisesti se, kuinka suuri osa lannoitteen sisältämästä tuestä muodostaa typpioksiduulia. Tämä taas riippuu muun muassa sääolosuhteista, maaperästä, viljelykasvista tai puustosta sekä viljely- tai metsämaanhoitotoimista. Osa lannoitteen tuestä muuntuu maaperässä suoraan typpioksiduuliksi. IPCC (2006) suosittelee tälle maaperän suoralle päästölle N_2O-N/N -päästökertoimeksi⁹ 0,0125, jota on käytetty myös Suomen uusimpien kasvihuonekaasuinventaarien laskennassa oletuskertoimena (Statistics Finland 2006). Päästökertoimen epävarmuusväliksi IPCC olettaa $\pm 80\%$. MTT:n mittaukset osoittivat mineraalimaiden suoralle N_2O -päästölle kerrointa 0,0257, joka on yli kaksi kertaa IPCC:n oletuskerrointa suurempi. Kertoimen epävarmuusväliksi arvioitiin $-104\% \dots 171\%$ (Monni ym. 2005).

⁹ Lannoitteen sisältämän typen määrästä vähennetään ammoniakiksi tai typenoksideiksi haihtuva määrä ennen suorien päästöjen laskemista (IPCC, 1996b).

Osa lannoitteen tyypestä muuntuu typenoksideiksi (NO_x) ja ammoniakiksi (NH₃), joista osa edelleen reagoi ilmakehässä typpioksiduuliksi (N₂O). Lisäksi osa lannoitteen tyypestä muuntuu typpihuuhtouman ja -laskeuman kautta typpioksiduuliksi. Suomen kasvihuonekaasuinventaarilaskennassa lannoitteiden tyypestä 0,6 % arvioidaan muuntuvan typenoksideiksi tai ammoniakiksi (epävarmuus ±30 %). IPCC:n (1997) oletusarvion mukaan tästä määrästä muuntuu edelleen typpioksiduuliksi 1 % (epävarmuus –57 %...100 %). Vastaavasti huuhtouman arvioidaan olevan Suomen olosuhteissa 15 % (epävarmuus –70 %...170 %) lannoitteen typpisisällöstä ja siitä n. 2,5 % (epävarmuus –94 %...380 %) arvioidaan muuntuvan typpioksiduuliksi (Statistics Finland 2006).

Käyttämällä IPCC:n oletuskertoimia ja epävarmuusvälejä voidaan lannoitteen tyypestä arvioida suorien ja epäsuorien prosessien kautta muuntuvan typpioksiduuliksi yhteensä 2,55 %¹⁰ (epävarmuus –84 %...338 %). Tätä lukua on käytetty myös tämän selvityksen oletuskertoimena (taulukko 6).

Peltobiomassan viljelyssä käytettävien lannoitteiden valmistuksen primäärienergiantarve- ja kasvihuonekaasupäästötiedot perustuvat Kemira GrowHow Oyj:ltä saatuihin tietoihin (Hero 2005). Lannoitteiden valmistuksen primäärienergiantarve ja kasvihuonekaasupäästöt riippuvat voimakkaasti lannoitteen sisältämän typen määrästä, sillä typpihapon valmistamiseen kuluu suhteellisen paljon energiaa ja lisäksi valmistuksessa syntyy typpioksiduulia, joka on voimakas kasvihuonekaasu. Lannoitteiden kuljetusmatkan on oletettu olevan 200 km ja kuljetusten on oletettu tapahtuvan täysin rekkakuormina (ks. kohta 3.3.3). Lannoitteen valmistuksen ja kuljetusten primäärienergiantarve ja kasvihuonekaasupäästöt esitetään taulukossa 6.

Taulukko 6. Laskennassa käytetyt oletusarvot lannoitteiden valmistuksen ja kuljetusten primäärienergiantarpeelle ja kasvihuonekaasupäästöille sekä lannoitteiden sisältämän typen suorille ja epäsuorille typpioksiduulipäästöille maaperästä (Hero 2005, Statistics Finland 2006).

Lannoite (Kemira)	Valmistus				Kuljetukset				Maaperä	Yhteensä
	prim.- energia	päästöt (kg/t)			prim.- energia	päästöt (kg/t)			päästöt (kg/t)	päästöt (kg/t)
	GJ/t	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GJ/t	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	N ₂ O	CO ₂ -ekv.
Syysviljan Y1	7,6	329,9	0,1	1,3	0,2	2,2	0,0	0,0	3,3	1 394
Kevätviljan Y2	12,9	556,6	0,18	2,3	0,2	2,2	0,0	0,0	5,9	2 438
Kevätviljan Y3	11,7	506,0	0,16	2,0	0,2	2,2	0,0	0,0	5,1	2 143

¹⁰ Prosenttiosuus on muutettu typpioksiduulin ja typen moolimassojen suhteella N₂O-massaksi. Esim. 100 kg lannoitteen tyyppiä vastaa oletuskertoimen mukaan 2,55 kg typpioksiduulia.

3.3.5 Maaperän hiilitaseet

Luonnontilaisessa metsässä tai pellolla kasvavaan biomassaan sitoutuva hiili päätyy aikanaan maaperään, ellei metsässä tai pelloilla tapahdu hakkuiden, sadonkorjuun tai kulojen kaltaisia häiriöitä. Maaperään hiili kerääntyy yleensä kiinteässä muodossa orgaanisissa aineksissa. Hiili poistuu maaperästä maan orgaanisen aineen mineralisoitussa mikrobien hajotustoiminnan seurauksena aerobisessa ympäristössä. Hiilen mineralisaatio riippuu useista tekijöistä, kuten lämpötila- ja kosteusolosuhteista, maaperän happamuudesta ja ilmavuudesta, maan rakenteesta, koostumuksesta ja ravinnepitoisuudesta, muokkauksesta sekä kasvi- tai puujätteiden kemiallisista ominaisuuksista. Maaperään kertyvän orgaanisen hiilen määrä riippuu siis kasvijätteistä tai muusta orgaanisesta aineesta tulevan hiilisyötteen ja maaperän orgaanisen aineen mineralisaation välisestä tasapainosta (Paustian ym. 1998). Maatalousmaiden hiilidioksidipäästöjä aiheutuu myös kalkituksesta, jota käsitellään seuraavassa kohdassa (3.3.6).

Biomassan korjuu vähentää maaperään sitoutuvan hiilen määrää. Tällöin maaperän hiilivarasto pienenee. Näin tapahtuu esimerkiksi metsien hakkuiden tai hakkuutähteiden korjuun sekä viljelykasvien sadonkorjuun yhteydessä. Tässä työssä maankäytön vertailutilanteeksi on oletettu hakkuutähteiden jättäminen palstoille ja peltojen jättäminen viljelemättömiksi. Näin ollen muutoksia maaperän hiilitaseessa arvioidaan hakkuutähteiden ja peltobiomassan korjuun osalta valittuun vertailutilanteeseen nähden.

Korjattaessa ainespuun lisäksi hakkuutähteet palstoilta syntyvät maaperän hiilivarastoihin metsän kiertoaajan aikana keskimäärin 1–2 %:n vaje (Palosuo & Wihersaari 2000). Kun korjattuihin hakkuutähteisiin sitoutunut hiili vapautuu polton yhteydessä ilmakehään, vapautuu myös hiilimäärä, joka muuten olisi sitoutunut maaperään hyvin pitkiksi ajoiksi. Mallilaskelmien mukaan hakkuutähteiden alkuperäisestä hiilimäärästä keskimäärin 11 % on varastoituneena maaperään ensimmäisen 100 vuoden (tyypillinen kiertoaika) aikana. Tämä osuus hakkuutähteiden hiilimäärästä voidaan siis 100 vuoden aikana laskea polttoainekäytön aiheuttamaksi epäsuoraksi hiilipäästökseksi ilmakehään (Palosuo & Wihersaari 2000). Mallilaskelmiin sisältyy kuitenkin merkittäviä epävarmuuksia, ja koska lisäksi metsätähteiden korjuun ja korjaamatta jättämisen välistä N₂O-tasapainoa ei tunneta, ei maaperän hiilivajeesta aiheutuvia epäsuoria päästöjä sisällytetty oletusarvoisesti tarkasteluihin. Sen sijaan vaikutus huomioidaan metsätähteiden korjuun ja käytön kasvihuonekaasupäästöjen epävarmuustarkasteluissa.

Kun luonnontilassa oleva maa muutetaan viljelysmaaksi, vapautuu maaperään sitoutunutta hiiltä hiilidioksidina ilmakehään mm. maan muokkauksen seurauksena. Lisäksi jatkuvan sadonkorjuun yhteydessä hiilisyöte maaperään pienenee. Intensiivinen ja tiheä viljelykasvien korjuu ja maan uudelleenmuokkaus edistävät yleensä maaperän hiilitaseen pienenemistä. Viljelymaan hiilivarastoa lisää mm. kasvien juuristo. Jos viljelykäy-

töstä luovutaan, kertyy maaperään hiiltä, kunnes uusi tasapainotila saavutetaan. Tyypillisesti tämä tapahtuu 50–100 vuoden kuluessa. Näin ollen lyhyt väliaikainen viljelemättömyys ei käytännössä vaikuta maaperän hiilivarastoa kasvattavasti pitkällä aikavälillä (Paustian ym. 1998).

Suomen virallisissa kasvihuonekaasuinventaareissa maatalousmaiden ja maankäytönmuutoksista johtuvat hiilidioksidipäästöt raportoidaan käyttämällä laskennassa IPCC:n karkeita oletuskertoimia ja laskentamenetelmää maaperän hiilivaraston muutokseen vaikuttaville tekijöille. Käyttämällä kyseisiä kertoimia ja laskentamenetelmää saadaan pitkäaikaiselle perinteiselle viljelylle maaperän vuosittaiseksi hiilitaseen pienenemiseksi n. 0,4 t C/ha 20 vuoden laskentaperiodia käyttäen. Tämä vastaa n. 1,4 t CO₂/ha, a. Vastaava tulos saadaan myös, mikäli muutamia vuosia viljelemätön pelto otetaan viljelykäyttöön. Esimerkkilaskelma esitetään liitteessä A. Maaperän hiilivarasto ei kuitenkaan pienene ikuisesti, vaan se saavuttaa lopulta tietyn tasapainotilan. Näin ollen pitkäaikaisessa viljelyssä tarkastelujakson pidentyessä keskimääräinen vuosittainen hiilitaseen pieneneminen on vain murto-osa edellä mainitusta arvosta.

Muokkauksen vähentämisen tai siitä kokonaan luopumisen on todettu vähentävän mineralisaatiota ja siten kääntävän maaperän orgaanisen aineksen määrän kasvuun. Näin esimerkiksi suorakylvömenetelmän on todettu kasvattavan maaperän hiilitasetta. IPCC:n oletuskertoimia ja laskentamenetelmää käyttäen saadaan pitkäaikaiselle suorakylvöviljelylle maaperän vuosittaiseksi hiilitaseen kasvuksi 0,01 t C/ha (~0,05 t CO₂/ha,a). Maaperän hiilitase voi kasvaa niin kauan, kunnes uusi tasapainotila löytyy. Esimerkkilaskelma on liitteessä A. Suorakylvömenetelmä saattaa kuitenkin lisätä maaperän N₂O-päästöjä, mikä saattaa kompensoida ainakin osan saavutetusta kasvihuonekaasutasehyödystä (Ball ym. 1999).

Maatalousmaiden hiilitaseet ovat todellisuudessa suhteellisen huonosti tunnettuja. Tässä työssä muutoksia maaperän hiilitaseissa ei huomioitu oletusarvoisesti viljelyketjujen kasvihuonekaasutaseissa, mutta kylläkin epävarmuustarkasteluissa.

3.3.6 Kalkki ja torjunta-aineet

Maatalousmaiden kalkituksessa käytetään erilaisia karbonaattiyhdisteitä, kuten kalkkikiveä (CaCO₃) tai dolomiittikalkkia (CaMg(CO₃)₂), nostamaan maan pH-arvoa. Kalkin karbonaatti reagoi maaperässä ja luovuttaa hiilidioksidia ilmakehään. Syntyvät hiilidioksidipäästöt vaihtelevat maaperän ja käytetyn karbonaattiyhdisteen ominaisuuksien mukaan. Revised 1996 IPCC Guidelinesin (IPCC 1996b) mukaan maatalousmaiden kalkituksesta aiheutuvat CO₂-päästöt lasketaan olettaen kaiken karbonaatin reagoivan (Pipatti ym. 2000). Suomen kasvihuonekaasupäästöjen inventaarilaskennassa käytetään IPCC:n oletuskertoimia, jotka ovat kalkkikivelle 0,427 t CO₂/t CaCO₃ ja dolomiittikal-

kille 0,463 t CO₂/t CaMg(CO₃)₂ (Statistics Finland 2006). Inventaarilaskentaa varten kerätyt tiedot kalkkikiven ja dolomiittikalkin käytöstä osoittavat, että dolomiittikalkin osuus kokonaiskäytöstä on vaihdellut vuosina 1990–2004 arviolta välillä 7 ja 17 % ja ollut keskimäärin 12 % (Statistics Finland 2006). Tämän perusteella karbonaattiyhdisteiden käytön keskimääräiseksi päästökertoimeksi saadaan 0,431 t CO₂ tonnia karbonaattiyhdistettä kohden.

Viljelyssä käytettävän kalkin valmistukseen (murskaus, jauhatus, kuivaus) oletettiin tarvittavan sähköä 30 kWh/t ja kevyttä polttoöljyä 3,5 l/t (Lauronen 2005). Kalkin kuljetusmatkan oletettiin olevan 70 km ja kuljetusten oletettiin tapahtuvan täysin rekka-kuormina. Laskennassa käytetyt parametrit esitetään taulukossa 7.

Viljelyssä käytettävien torjunta-aineiden valmistuksen energiankulutus ja päästöt ovat melko epävarmoja ja vaihtelevat eri selvitysten välillä suhteellisen paljon. Koska torjunta-aineiden käyttömäärät ovat kuitenkin vähäisiä, ei niiden vaikutus viljelyketjujen energiankulutukseen tai päästöihin ole merkittävä, vaikka parametrien arvoja muutettaisiin kirjallisuudesta löytyvän vaihteluvälin puitteissa. Tässä työssä käytetään Edwardsin ym. (2003a) raportin mukaista arviota torjunta-aineiden valmistuksen ja kuljetusten primäärienergiatarpeelle ja kasvihuonekaasupäästöille. Laskennassa käytetyt parametrit esitetään taulukossa 7.

Taulukko 7. Laskennassa käytetyt parametrit torjunta-aineiden ja kalkin valmistuksen ja kuljetusten primäärienergiatarpeelle ja kasvihuonekaasupäästöille sekä kalkituksesta aiheutuville maaperän hiilidioksidipäästöille (Elsayed ym. 2003).

	primääri-energia	valmistuksen ja kuljetusten päästöt (kg/t)				maaperä (kg/t)	yhteensä (kg/t)
	GJ/t	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -ekv.	CO ₂	CO ₂ -ekv.
kalkki	0,5				20,5	431	451
torjunta-aineet	267	16 214	19	0,15	16 666		16 666

3.3.7 Jalostusprosessien kemikaalit

Biopolttoaineiden tuotantoprosesseissa kulutetaan vähäisiä määriä erilaisia kemikaaleja. Tällaisia ovat esimerkiksi rikki- ja fosforihappo, smektiittiryhmä, natriumhydroksidi ja heksaani. Näiden kemikaalien valmistuksen ja kuljetusten välillinen primäärienergiatarve ja kasvihuonekaasupäästöt on arvioitu raportin Elsayed ym. (2003) perusteella ja esitetään taulukossa 8.

Taulukko 8. Laskennassa käytetyt parametrit biopolttoaineiden tuotantoprosesseissa tarvittavien kemikaalien välilliselle primäärienergiantarpeelle ja kasvihuonekaasupäästöille (Elsayed ym. 2003).

kemikaali	primäärienergia	välilliset päästöt (g/kg _{tuote})			
	MJ _{prim} /MJ _{pa}	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -ekv.
rikkihappo	3,87	184,4	0,41	0,004	195
fosforihappo	11,4	768,0	1,23	0,020	800
smektiittiryhmä	2,55	197,0	0,04	0,007	200
natriumhydroksidi	19,87	1120,0	3,25	0	1188
heksaani	52,05	543,0	0,67	0,014	561

3.3.8 Liikennepolttoaineiden varastointi, jakelu ja annostelu

Polttoaineiden varastointi, jakelu ja annostelu muodostavat tyypillisesti vain murto-osan koko polttoaineketjun primäärienergiankulutuksesta ja kasvihuonekaasupäästöistä. Varastoinnissa ja annostelussa kulutetaan vähäisiä määriä energiaa (tyypillisesti sähköä) mm. pumppaustoimintoihin ja jakelussa puolestaan dieselöljyä kuljetuskaluston energiaksi. Useimmiten polttoaineet jalostetaan lopputuotteeksi suhteellisen lähellä loppumarkkinoita, eivätkä jakelumatkat tällöin kasva kovin suuriksi. Tällöin jakeluvaiheen energiapanokset ja päästöt ovat oletettavasti suhteellisen samansuuruisia toisiaan vastaaville bio- ja fossiilisperäisille polttoaineille, joten verrattaessa näitä komponentteja keskenään ei jakeluvaiheen päästöillä ole juurikaan merkitystä lopputulokseen.

Edwards ym. (2003a) arvioivat fossiilisen dieselöljyn ja bensiinin kohdalla varastoinnin, jakelun ja annostelun muodostavan yhteensä n. 10 % koko polttoaineen tuotantoketjun päästöistä (ks. luku 6.1, taulukot 21 ja 22). Tässä työssä liikennepolttoaineiden varastoinnin, jakelun ja annostelun energiatase ja kasvihuonekaasupäästöt on arvioitu kaikille polttoaineille Edwardsin ym. (2003a) raportin mukaan olettamalla, että esitetyt arviot ovat soveltuvia sekä fossiilis- että bioperäisille komponenteille (taulukko 9).

Taulukko 9. Polttoaineiden jakelun laskennalliset energiapanokset ja kasvihuonekaasupäästöt (Edwards ym. 2003a).

	MJ _{prim} /MJ _{pa}	g CO ₂ /MJ _{pa}	g CH ₄ /MJ _{pa}	g N ₂ O/MJ _{pa}	g CO ₂ -ekv./MJ _{pa}
dieselöljy	0,016	0,82	0,001	0	0,85
bensiini	0,016	0,82	0,001	0	0,85
metanoli	0,03	1,80	0	0	1,86
etanoli	0,03	1,5	0	0	1,54

3.3.9 Liikennepolttoaineiden loppukäyttö

Polttoaineketjujen energia- ja kasvihuonekaasutaselaskennan viimeiseksi tarkasteltavaksi vaiheeksi on valittu polttoaineen konversio hyötyenergiaksi. Liikennepolttoaineiden kohdalla vertailuyksiköksi on valittu ajoneuvon mekaaninen energia, joka kuljettaa ajoneuvoa keskimääräisessä ajossa yhden kilometrin verran. Näin ollen eri polttoaineseosten mahdolliset muutokset moottorin hyötysuhteissa tulevat laskennallisesti huomioituiksi.

Suomen tieliikenteen pakokaasujen laskentajärjestelmä LIISA sisältää arvion tieliikenteen päästöistä Suomessa (LIISA 2004, Mäkelä ym. 2005). LIISA-laskentajärjestelmässä Suomen nykyisen autokannan keskimääräinen polttoaineenkulutus on arvioitu Suomessa myytyjen polttonesteiden määrän avulla. LIISA-laskentajärjestelmän verkkosivuilla (LIISA 2004) ylläpidetään myös yksikköpäästöjä, jotka perustuvat mm. VTT:n mittauksiin. Näitä arvoja on käytetty tässä työssä. LIISA-laskentajärjestelmän verkkosivuilla on yksikköpäästötiedot eri pakokaasupäästöluokkia edustaville ajoneuvoille: PreEuro, Euro 1 (1993), Euro 2 (1997) ja Euro 3 (2000->). Tähän tarkasteluun valittiin perustiedoksi Euro 3 -ajoneuvojen polttoaineenkulutusarvot, sillä niiden katsotaan kuvaavan tilannetta Suomessa seuraavan viiden vuoden aikana. Arvoja verrattiin myös VTT:llä mitattuihin autojen CO₂-yksikköpäästöihin.

Polttoaineenkulutuksen arviona on siis käytetty bensiini- ja dieselpolttoaineille ajoneuvoille LIISA-laskentajärjestelmän yksikköpäästöjen arvioita Euro 3 -päästöluokan autoille. Polttoainekomponenttien vaikutus polttoaineenkulutukseen laskettiin lämpöarvojen perusteella. Tosin polttoaineenkulutus ei ole pelkästään lämpöarvosta riippuvainen, sillä myös komponentin vaikutus palamistapahtumaan vaikuttaa asiaan. Esimerkiksi MTBE:n on todettu parantavan palamisprosessia, mikä johtaa parempaan moottorin hyötysuhteeseen. Polttoaineenkulutus ei lisääny yhtä paljon kuin komponentin hiiliveityspolttoainetta alhaisemman lämpöarvon perusteella voisi odottaa. Pieniä eroja on mitauksilla vaikea todentaa: esimerkiksi MTBE:n (11 %) vaikutusta polttoaineenkulutukseen ei VTT:n mittauksissa havaittu, sillä ero oli pienempi kuin mittaustarkkuus (Nylund ym. 1992). Tässä selvityksessä eettereiden mahdollista palamista edistävää vaikutusta ei huomioitu.

Bensiinin ja dieselpolttoaineen oletettiin täyttävän EN590-standardin (2004) vaatimukset. Työssä tarkasteltavien polttoainekomponenttien ominaisuuksia esitetään taulukossa 10.

Taulukko 10. Polttoainekomponenttien tyypillisiä ominaisuuksia (Rantanen ym. 2005, Nylund ym. 2004, Aakko & Nylund 2003a ja b, Bosch 2002).

komponentti	hiilisisältö (paino-%)	happisisältö (paino-%)	tiheys (kg/l)	LHV MJ/kg	bio-osuus (%)
metanoli	37,5	49,9	0,79	19,7	0
biometanoli	37,5	49,9	0,79	19,7	100
etanoli (EtOH)	52,1	34,7	0,79	26,8	100
bioMTBE	68,1	18,2	0,75	35,0	35
RME ^{*)}	77,0	10,8	0,89	37,5	89,5
NexBTL	84,9	0	0,78	44,0	100
F-T-diesel	84,9	0	0,78	44,0	100
bensiini Euro 3, Finland	86,0	0	0,75	43,0	0
diesel Euro 3, Finland	86,0	0	0,83	43,0	0

^{*)} RME:n sisältämä metanoli oletettu fossiiliseksi

Biopolttoainekomponentteja tarkastellaan tässä työssä sekoitusosuuksina, jotka eivät edellytä muutoksia ajoneuvoissa tai polttoaineiden jakelujärjestelmissä Suomen ilmasto-olosuhteissa ja jotka toisaalta täyttävät laajasti liikenteen polttoaineille asetetut laatuvaatimukset. Voimassa olevia polttoaineiden laatuvaatimuksia on käsitelty mm. kauppa- ja teollisuusministeriön asettaman, liikenteen biopolttoaineiden käytön edistämistä pohtineen työryhmän mietinnössä (KTM 2006). Direktiivi 98/70/EY säätelee etanolin osuudeksi enintään 5 tilavuusprosenttia bensiinissä, joka vastaa 3,4:ää prosenttia energiasisältönä. Direktiivissä ei ole erityisiä säännöksiä biopolttoaineiden sekoittamisesta dieselin joukkoon. Direktiivin tiheysvaatimus kuitenkin rajoittaa epäsuorasti biodieselin pitoisuuden 5–10 tilavuusprosenttiin. Sen sijaan standardissa EN590 on asetettu biodieselin (FAME, RME) käytölle 5 tilavuusprosentin yläraja, joka vastaa 4,6:ta prosenttia energiasisältönä. Euroopan komissio suunnittelee nostavansa sallittuja osuuksia.

Tarkasteluun valituille polttoainesekoituksille laskettiin aluksi hiilisisältö, tiheys, lämpöarvo ja polttoaineen kulutus keskimäärin ajettua sataa kilometriä kohden Euro 3 -päästöluokan henkilöautoille. Näiden tietojen perusteella laskettiin polttoaineseoskohtaiset pakokaasujen hiilidioksidipäästöt ajettua kilometriä kohden. Metaanin ja typpioksiduulin polttoaineseoskohtaiset pakokaasupäästöt ajettua kilometriä kohden arvioitiin LIISA 2004 -järjestelmän ja muiden VTT:n raporttien (Aakko & Nylund 2003a ja b, Nylund ym. 2004) tietojen perusteella. Polttoaineseosten pakokaasujen laskennalliset kasvihuonekaasupäästöt saatiin vähentämällä biokomponentin aiheuttamat hiilidioksidipäästöt pakokaasujen kokonaishiilidioksidipäästöistä. Sen sijaan pakokaasujen metaani- ja typpioksiduulipäästöt huomioidaan laskennallisissa kasvihuonekaasupäästöissä sekä fossiilille että biokomponentille. Tarkasteluun valittujen biokomponenttia sisältävien polttoaineseosten ja vertailupolttoaineiden yksikkökulutukset, pakokaasupäästöt ja las-

kennalliset pakokaasujen kasvihuonekaasupäästöt ajettua kilometriä kohden esitetään taulukossa 11.

Taulukko 11. Tarkasteltavien polttoaineseosten yksikkökulutukset, pakokaasupäästöt ja pakokaasupäästöjen laskennalliset kasvihuonekaasupäästöt vertailuyksikköä kohden Euro 3 -päästöluokan henkilöajoneuvoille.

	kulutus l/100 km	Pakokaasupäästöt (g/km)				Pakokaasujen laskennalliset khk-päästöt (g/km) ^{*)}	
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -ekv.	CO ₂ (foss.)	CO ₂ -ekv. ^{*)}
bensiiniseokset							
bensiini Euro 3, Finland	6,80	160,7	0,03	0,014	165,7	160,7	165,7
bensiini, 5 til-% EtOH	6,91	160,6	0,03	0,014	165,6	155,6	160,6
bensiini, 11 til-% MTBE	6,94	160,3	0,03	0,014	165,3	155,3	160,3
dieselseokset							
diesel Euro 3, Finland	5,50	143,9	0,001	0,014	148,2	143,9	148,2
diesel, 5 til-% RME	5,52	144,0	0,001	0,014	148,4	138,2	142,6
diesel, 5 til-% NExBTL	5,51	141,8	0,001	0,014	146,2	136,5	140,9
diesel, 50 til-% F-T	5,62	141,3	0,001	0,014	145,6	70,6	75,0

^{*)} Pakokaasujen laskennallisissa kasvihuonekaasupäästöissä on huomioitu hiilidioksidipäästöjen osalta vain fossiilisen hiilen aiheuttama hiilidioksidi, mutta metaani- ja typpioksiduulipäästöt sekä bio- että fossiilisesta komponentista.

Dieselpolttoaineseosten kohdalla laskelmat tehtiin myös raskaille ajoneuvoille. Verratessa eri polttoaineseoksia toisiinsa ei laskennallisten päästöjen suhteellisessa osuudessa ajettua kilometriä kohden ollut käytännössä ero vastaavaan henkilöajoneuvovertailuun nähden. Näin ollen jatkotarkastelut suoritettiin vain henkilöajoneuvoille. Tässä työssä lasketut pakokaasupäästöt CO₂-ekvivalentteina ilmoitettuna ovat samaa suuruusluokkaa kuin esim. Edwardsin ym. (2004) raportoimat arvot bensiiinkäyttöisten autojen osalta. Suomessa dieselkäyttöisten henkilöautojen moottorikoko ja polttoaineenkulutus ovat korkeampia kuin Euroopassa keskimäärin, joten tässä työssä lasketut arvot dieselkäyttöisten henkilöautojen pakokaasupäästöille (CO₂-ekv.) ovat korkeammat kuin esim. Edwardsin ym. (2004) raportoimat arvot.

3.4 Kustannuslaskennan perusteet

Työssä vertailtiin eri biopolttoaineiden tuotantoprosessien kannattavuutta ja päästövähennyskustannuksia. Tuotantokustannukset laskettiin biopolttoaineita tuottavan laitoksen kannalta. Laskennassa raaka-aineiden hintoina käytettiin niiden markkinahintoja. Työssä laskettiin ohraetanolin ja rypsi biodieselin tuotantokustannukset myös käyttäen arvioituja ohran ja rypsin tuotantokustannuksia. Työssä ei arvioitu liikenteen biopolttoaineiden ja raaka-aineiden tuotannon ja käytön kansantaloudellisia tai yhteiskunnallisia vaikutuksia.

Kullekin vaihtoehdolle arvioitiin tyypillinen tuotantokapasiteetti, joka on teknisesti ja taloudellisesti mahdollinen Suomen olosuhteissa. Laitosten kapasiteettia rajoittaa esimerkiksi hintatasoltaan riittävän alhaisten raaka-aineiden saatavuus tai sivutuotteiden

markkinat. Prosessien taseiden arviointi perustuu VTT:n tietämykseen, kotimaisilta yrityksiltä saatuihin arvioihin ja kirjallisuustietoihin.

Tuotantokustannukset koostuvat kiinteistä ja muuttuvista kustannuksista sekä pääomakustannuksista. Kiinteät kustannukset sisältävät työvoimakustannukset, kunnossapidon materiaalit sekä verot ja vakuutukset. Muuttuvat kustannukset sisältävät raaka-aineiden, kemikaalien ja käyttöhyödykkeiden hankintakustannukset. Vuosittaiset pääomakustannukset arvioitiin annuiteettimenetelmällä. Sivutuotehyvitys otettiin huomioon vähentämällä vuosikustannuksista sivutuotteista saatava tulo. Tuotantokustannuslaskennan laskentaperusteita ja lähtöarvoja esitetään taulukossa 12.

Taulukko 12. Tuotantokustannusarvioiden laskentaperusteita ja lähtöarvoja.

Investoinnin ajankohta	Syky 2005
Investoinnin paikka	Suomi
Käyttöhyödykkeiden hinnat	
Sähkö	30 €/MWh
Höyry	22 €/MWh
Tuorevesi	1,2 €/m ³
Jätevesi	1,3 €/m ³
Kiinteät käyttökustannukset	
Työvoimakustannus	50 000 €/a
Kunnossapitotyö	1 % laitosinvestoinnista
Kunnossapidon materiaalikustannukset	3 % laitosinvestoinnista
Verot ja vakuutukset	2 % laitosinvestoinnista
Muut kustannukset	1 % laitosinvestoinnista
Korkokanta	10 %
Laitoksen pitoaika	20 a
Käynnistyskustannukset	10 % laitosinvestoinnista
Käyttöpääoma	5 % laitosinvestoinnista

4. Raaka-aineiden tuotantoketjut, potentiaali, kustannukset ja kasvihuonekaasutaseet

4.1 Tärkkelysohra

4.1.1 Yleistä

Ohraa viljellään Suomessa pääasiassa rehuksi. Lisäksi sitä käytetään maitaiden, neste-sokerin, entsyymien ja tärkkelyksen valmistukseen. Vuonna 2004 ohran viljelyala oli 531 800 hehtaaria, kokonaissato 1 724,7 milj. kg ja koko maan keskimääräinen hehtaarisato 3,2 t (Maatilatilastollinen vuosikirja 2005). Tähän tutkimukseen valitun Etelä-Pohjanmaan alueen keskimääräinen sato v. 2000–2004 oli 3,5 t/ha. Kotimainen teollisuus ostaa ohraa noin 650 miljoonaa kiloa, tiloilla käytetään 800–900 milj. kiloa ja siemeneksi tarvitaan noin 125 miljoonaa kiloa (Kirkkari 2005).

Etanolin valmistukseen soveltuvat parhaiten lajikkeet, joilla on korkea tärkkelyspitoisuus, kuten Arve, Botnia, Edel, Erkki, Kunnari, Loviisa, Saana, Tofta ja Viskosa (Vuorinen ym. 2004). Tärkkelysohraa tuotetaan viljelysopimuksin hyväksytyistä tärkkelysohralajikkeista. Tärkkelysohnan vähimmäislaatuvaatimuksien mukaan hehtolitrapainon pitää olla vähintään 62 kg ja kosteuden alle 14 % (Altia 2006). Ohranjyvien tärkkelyspitoisuus on keskimäärin 58 % kuiva-aineesta, jos ohran hehtolitrapaino on 62–67 kg (Rehutaulukot ja ruokintasuositukset 2004) (taulukko 13).

Ohraa tuottaessa puintijätteenä syntyy myös olkea. Kuiva-aineeksi laskettuna olkea syntyy saman verran kuin jyviä. Käytettävissä oleva olkimäärä on kuitenkin aina pienempi kuin kokonaisolkimäärä, sillä maahan jäävä sänki sekä korjuutappiot vähentävät olkisatoa. Oljen määrään vaikuttavat lisäksi lajike, kasvunsäätteen käyttö, maaperä, ilmasto ja leikkuukorkeus. Ohran jyvien ja oljen hiilisisältö kuiva-aineessa on 35–45 paino-% (Katajajuuri ym. 2000, Koizumi ym. 1992). Ohran jyvien ja oljen muuta koostumusta kuvataan taulukossa 13.

Taulukko 13. Ohran jyvien ja oljen koostumus (g/kg kuiva-ainetta).

	Tuhka	N	P	K	S	Tärkkelys	Sokerit	Lähde
Jyvät	29	20,2	3,5	6	1,5	580	20	Jyvät: Rehutaulukot ja ruokintasuositukset 2004
Oljet	89	4,9	1–3*	14,3	2,0		8	Oljet: Pahkala ym. 1994, *Jansson ym. 1985

Ohra kylvetään keskimäärin 12.5. (Mukula ym. 1977). Kylvömuokkaus tehdään välittömästi ennen kylvöä. Kun ohrassa on kaksi lehteä (noin 10.6.), siitä torjutaan rikkakasvit. Kasvunsääderyiskutus tehdään, kun korressa on kaksi solmua (20.6.). Kasvusto tuuleentuu puintikuntoon keskimäärin 9.8. eli 89 päivää kylvöstä (Kunnari-lajike) (Vuorinen ym. 2004).

4.1.2 Tärkkelysohnan tuotannon yksikköprosessien kuvaus

Seuraavassa kuvataan etanolin raaka-aineeksi sopimustuotantona kasvatetun tärkkelysohnan tuotantoprosessi Etelä-Pohjanmaalla sijaitsevalla keskivertoviljatilalla.

Tilalta on matkaa Ilmajoen Koskenkorvan tehtaille korkeintaan 100 km. Tilan peltoala on 45 hehtaaria ja tärkkelysohnan sopimusala on 18 hehtaaria. Pinta-alat vastaavat Altian tehtaiden tyypillisen sopimustuotantotilan pinta-aloja (Marttila 2005). Tärkkelysohraa viljellään puhtaana kasvustona (ei nurmen suojaviljana). Viljelykierrossa tärkkelysohnan (18 ha) lisäksi tilalla viljellään rehuviljaa ja rypsiä. Lisäksi tilalla on sänkikesantoa 5 % (2 ha) peltopinta-alasta. Sekä jyvä- että olkisadon on oletettu olevan joko 3 500 kg/ha (keskimääräinen tuotantointensiteetti) tai 4 200 kg/ha (korkea tuotantointensiteetti) 13 %:n kosteudessa (Marttila 2005). Jos olki korjataan talteen, se oletettiin korjattavaksi vain joka toinen vuosi, ja vuosittaisesta olkisadosta arvioitiin saatavan talteen 70 %. Ohran puintikosteus on keskimäärin noin 22 %. Tärkkelysohralajikkeena on lujakortinen ja satoisa Kunnari, joka soveltuu viljeltäväksi Etelä-Pohjanmaalla (III viljelyvyöhyke). Sen hehtolitraino on korkea (64,7 kg) (Kangas ym. 2004).

Esimerkkitalalla on kaksi traktoria, jotka ovat tehoiltaan 65 ja 50 kW. Tilalla on kalkitusta lukuun ottamatta mahdollisuus tehdä kaikki viljely- ja sadonkorjuutoimet omilla koneilla. Tilalla on oma lämminilmasiilokuivuri.

1. Perusmuokkaus

Ohrapello kynnetaan tai sänkimuokataan puinnin jälkeen syksyllä. Kyntösyvyys on 20–23 cm. Auran (4-teräinen) työleveys on 1,6 m ja kyntönopeus 6–8 km/h. Auran vetämiseen tarvitaan traktori, jonka moottoriteho on 65 kW. Perusmuokkauksen yhteydessä myös oljet tulevat käännettyä maahan.

Kynnön sijasta pelto voidaan sänkimuokata syksyllä, mikä on kyntämistä kevyempi toimenpide. Sänkimuokkaukseen, joka tehdään kahteen kertaan, käytetään yleensä kultivaattoria, ja muokkaussyvyys on 12–15 cm. Kultivaattorin työleveys on 2,85 m, ja vetämiseen tarvitaan moottoriteholtaan 65 kW:n traktori. Kultivointinopeus on 7–10 km/h.

2. Kalkitus

Pellot kalkitaan joka viides vuosi. Kalkituksen suorittaa siihen erikoistunut kalkitusurakoitsija talvisaikaan. Koneena käytetään 88 kW:n traktoria ja levitysvaunua, jonka työleveys on 12 m. Kalkkia levitetään kerralla noin 4 000 kg/ha. Kalkin toimittaa Nordkalk, ja mahdollisia toimituspaikkakuntia ovat esimerkiksi Siikainen tai Vimpeli.

3. Kylvömuokkaus (tasausäestys ja kylvömuokkaus)

Maa muokataan kylvökuntoon juuri ennen ohran kylvöä. Toimenpiteen tavoitteena on muokata pellon pintaan 5–7 senttimetrin paksuinen, melko hienojakoinen maakerros, joka hidastaa veden haihtumista. Kylvömuokkaukseen käytetään S-piikkiästä, jonka työleveys on 3,8 m. Pelto äestetään kahteen kertaan, jotta pellon pinta saadaan muokattua riittävän hienoksi. Äestysnopeus on 7–10 km/h ja vetotraktorin moottoriteho on 65 kW.

Savimaat tasausäestetään ennen varsinaista kylvömuokkausta. Tasausäestyksen tarkoituksena on estää pellon pinnan liiallinen kuivuminen ja tasata kosteusoloja. Tasausäes on 2–4-palkkinen lata, jonka työleveys on 5 metriä. Ajonopeus on 5–7 km tunnissa, ja äkeen vetämiseen käytetään moottoriteholtaan 50 kW:n traktoria.

4. Kylvö ja lannoitus

Ohra kylvetään ja lannoitetaan samalla ajokerralla käyttäen kylvölannoitinta, jonka työleveys on 2,5 m. Kone sijoittaa ohran siemenet noin 5 cm:n syvyyteen käyttäen 12,5 cm:n riviväliä ja rakeisen lannoitteen riveihin, jotka sijaitsevat 25 cm:n välein ja vähän syvemmillä kuin siemenrivit. Siemeniä käytetään 450 kpl/m² (Vuorinen ym. 2004) eli noin 190 kg/ha, jos itävyys on 95 %. Kylvölannoittimessa on yleensä myös jyräpyörästö, joka tiivistää kylvöksen. Erillinen jyräys on tarpeen esimerkiksi, jos pellon pinnalla on runsaasti kiviä. Tällöin käytetään 4 m:n levyistä jyrää. Nostolaitesovitteisen kylvölannoittimen vetämiseen ja jyräykseen tarvitaan moottoriteholtaan 50 kW:n traktori.

Lannoitteena käytetään moniravinteisia lannoitteita, jotka sisältävät typpeä (N), fosforia (P) ja kaliumia (K) sekä muita kasville tarpeellisia kivennäisaineita. Ohran lannoitustarve on 100 kg N, 18 kg P ja 30 kg K/ha, jos ohraa viljellään savimaalla, jossa fosforia ja kaliumia on vähintään tyydyttävä määrä ja jos jyväsadon oletetaan olevan 4 200 kg/ha. Lannoitustarpeen ravinnesuhteita lähimpänä on Kevätviljan Y3 (NPK 20-3-8), jonka käyttömäärän ollessa 500 kg/ha saadaan hehtaarille 100 kg typpeä, 15 kg fosforia ja 40 kg kaliumia. Pienemmällä tuotantointensiteetillä jyväsadon oletettiin jäävän 3 500 kg/ha, jolloin Kevätviljan Y3 -lannoitteen käyttötarpeen arvioitiin olevan 400 kg/ha.

Ohra voidaan kylvää myös suorakylvökoneella ilman perus- ja kylvömuokkausta. Tällöin satotaso ei välttämättä ole yhtä korkea kuin perinteisiä menetelmiä käytettäessä.

5. Kasvinsuojelu

Kylvösiemenen peittäys

Kylvösiemenestä noin 75–80 % on omaa, siemeneksi kunnostettua viljaa (Peltonen-Sainio ym. 2003), eli yleensä viljelijä kylvää omalla tilalla tuotettua, edellisen vuoden

peittaamatonta satoa. Peitattua siementä kylvetään noin 25 % ohra-alasta. Peittausaineen tarkoituksena on ehkäistä siemenlevintäisiä kasvitauhteja. Peittaukseen käytetään tiloilla jauhemaista Baytan I -torjunta-ainetta (tehoaine triadimenoli ja imatsaliili), 150 g/100 kg kylvösiementä tai nestemäistä Täyssato S:ää (tehoaine karboksiini ja imatsaliili) (200 ml/100 kg kylvösiementä) (Peltonen 2002). Ostosiemen on usein peitattu Fungazil A 25 (tehoaine imatsaliili) -torjunta-aineella.

Rikkakasvien torjunta

Rikkakasvit torjutaan, kun viljan oraassa on 2–4 lehteä tai viimeistään viljan alkaessa muodostaa sivuversoja. Viljakasvusto peittää tällöin noin 40–50 % maan pinnasta, rikkakasvien peittävyys on tätä vähemmän. Herbisidi (esim. fenoksihappovalmiste tai pienannosherbisidi) sekoitetaan veteen, jota käytetään 200 l/ha. Ruiskun koko on yleisesti 600–800 l ja työleveys 12 m. Traktorin moottoriteho on 50 kW ja ajonopeus 7 km/h.

Kasvitautilien ja laon torjunta

Jos on tarvetta torjua ohraa härmää tai laikkutauteja, vilja ruiskutetaan propikanotsoli (Tilt GL) tai prokloratsi-valmisteella (Sportak 45 HFEC) viljojen korrenkasvun aikaan. Tautitorjunta voidaan yhdistää laontorjuntaruiskutukseen, jolloin kasvunsääde (Cerone, Terpal) ja fungisidi ruiskutetaan samalla ajokerralla. Pienemmällä tuotantointensiteetillä (sato 3,5 t/ha) kasvitautiruiskutusta ei yleensä tehdä, ja se on jätetty pois laskelmista.

6. Puinti ja kuljetus kuivuriin

Ohra puidaan noin viikon kuluttua keltatuleentumisesta, kun jyvän kosteus on keskimäärin 22 %. Puimurin työleveys on 3 m ja sen kapasiteetti ohran puinnissa on 0,9 hehtaaria tunnissa. Vilja kuljetetaan pellolta kuivuriin traktorin perävaunulla, jonka kapasiteetti on 10 m³ eli noin 6 000 kg. Ohraa viljeltäessä jyvien lisäksi saadaan myös olkea saman verran kuin jyviäkin. Osa oljesta kulkee puimurin silppurin läpi takaisin peltoon ja osa jää pystyyn sänkenä. Tässä tutkimuksessa oletetaan, että olki paalataan 9 hehtaarialta vuosittain ja silputaan peltoon 9 hehtaarin alalta.

7. Kuivaus

Jyvien kosteus on lähes aina liian suuri varastointia ajatellen, ja siksi vilja on kuivattava. Vilja kuivataan lämminilmakuivurissa 13–20 m³:n erinä (7 150 kg/erä) 13–14 %:n kostuteen. Tärkkelysohran suurin sallittu kosteus on 14 %.

8. Siirto varastoon, varastointi

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

4.2 Rypsi

4.2.1 Yleistä

Öljykasveja viljellään siemenistä puristettavan öljyn vuoksi. Suomessa kasviöljy käytetään elintarvike- ja rehuteollisuudessa. Kevätrypsin ja -rapsin yhteenlaskettu pinta-ala vuonna 2004 oli 82 800 hehtaaria, josta yli 95 % kevätrypsiä. Sato oli yhteensä noin 74,8 milj. kg, josta rapsin osuus oli vain 3,2 milj. kg (Maatilatilastollinen vuosikirja 2005). Syysrypsin viljelyala vuonna 2004 oli 620 hehtaaria (Franssila 2005). Rapsin nykyisten lajikkeiden kasvuaika on jonkin verran pitempi kuin rypsin, joten niitä voidaan viljellä vain eteläisimmässä Suomessa. Seuraavassa käsitellään vain kevätrypsin viljelyä.

Kevätrypsin pääviljelyalueet ovat Etelä- ja Lounais-Suomessa, Hämeessä sekä Etelä-Pohjanmaalla. Viljelyalue on viime vuosien aikana siirtynyt pohjoisemmaksi Pohjanmaan rannikkoalueella aina Oulun korkeudelle saakka. Viljely on yleistynyt myös Keski-Suomessa, Pohjois-Savossa ja Pohjois-Karjalassa (Maatilatilastollinen vuosikirja 2004). Yleisimmät lajikkeet ja niiden suhteellinen osuus viljelypinta-alasta olivat vuonna 2004: Valo 41 %, Tuli 20 %, Kulta 14 %, Harmoni 12 % (Maatilatilastollinen vuosikirja 2005).

Rypsin siemen sisältää kasviöljyä noin 40–43 % ja valkuaisainetta 20–22 % (Kangas ym. 2004) normaalissa 9 %:n kosteudessa. Rypsin viljelyn sopimustuotannossa määritellään sadon yleiset laatuvaatimukset seuraavasti: Perushintaisen siemenen kosteus on 9 %, öljypitoisuus 40 % (määritetty 9 %:n kosteudessa) ja epäpuhtausprosentti 2 %. Ravintokäyttöön tulevan rypsin lehtivihreäpitoisuuden tulee olla alle 20 mikromoolia/g, öljyn erukahappopitoisuuden alle 1 % ja rouheen glukosinolaattipitoisuuden alle 18 mikromoolia/g. Rypsin siemenen hiilipitoisuus kuiva-aineessa on keskimäärin n. 59 % (Alakangas 2000).

Suomessa on kaksi suurta öljynpuristamo: Mildola Oy Kirkkonummella ja Raisio Oyj Raisiossa. Öljynpuristuksen jälkeen jäljelle jäävä rouhe tai puriste käytetään rehuteollisuudessa. Raisio Oyj:ssä perinteisellä uuttotekniikalla valmistetun rypsirouheen rasvapitoisuus on noin 4 % ja valkuaisainepitoisuus 35 % (Raisio Group 2005). Mildola Oy:n rypsipuristeen rasvapitoisuus on 9 %. Kuitupitoisuus rypsirouheessa ja -puristeessa on noin 11 % (Franssila 2005). Rouhe joudutaan kuumentamaan, jotta se ei pilaannu. Rypsiä puristetaan pieniä määriä myös maatilapuristamoissa. Rouheen öljypitoisuus on yleensä suurempi kuin suurissa puristamoissa, minkä vuoksi rouheen käyttö kaupallisesti on vaikeampaa ja öljyisaanto pienempi.

Rypsi kylvetään Etelä-Suomessa toukokuun toisella viikolla. Sen kukinta alkaa 20.–30.6., ja puintiaika on syyskuun ensimmäisellä tai toisella viikolla. Rypsin kasvuaika kylvöstä puintiin on 101–103 päivää. Rypsiä voidaan viljellä samalla lohkollla vain joka neljäs tai viides vuosi ilman, että tautiriski (möhöjuuri, pahkahome) kasvaa liian suurek-

si. Kevätöljykasveja käytetäänkin yksipuolisen viljan viljelyn katkaisijana, jolloin öljykasvivuosi lisää viljan satoa. Edullinen vaikutus näkyy vielä kahden vuoden kuluttua öljykasvien viljelystä 6–8 %:n lisäyksenä ohrasatoon. Rypsiä voidaan viljellä useimmilla maalajeilla.

4.2.2 Rypsin tuotannon yksikköprosessien kuvaus

Rypsin tuotanto on kuvattu Varsinais-Suomessa tyypillisellä keskivertotilalla, jonka peltopinta-ala on 55 ha, rypsiä 14 hehtaaria ja kuljetusmatka Raision öljynpuristamolle noin 70 km. Tilan lajike on suomalainen Valo-kevätrypsi. Rypsiä viljellään joka neljäs vuosi. Lisäksi tilalla viljellään kevätiljaa. Kesantona on 10 % pelloista. Sopimus tuottajien keskimääräinen rypsin siemensato on noin 1 600 kg/ha (Martti 2005). Tätä vastaava vuosittainen korsisato on noin 3 200 kg/ha. Jos korsi korjataan talteen, se oletettiin korjattavaksi vain joka toinen vuosi, ja vuosittaisesta korsisadosta arvioitiin saatavan talteen 70 %. Varsinais-Suomen alueen keskimääräinen rypsin siemensato v. 2000–2004 oli 1,4 t/ha.

1. Perusmuokkaus

Rypsin viljelyyn aiottu pelto kynnetään puinnin jälkeen syksyllä. Kyntösyvyys on 20–23 cm. Auran (4-siipinen) työleveys on 1,6 m ja kyntönopeus 6–8 km/h. Auran vetämiseen tarvitaan traktori, jonka moottoriteho on 60–65 kW. Perusmuokkauksen yhteydessä myös esikasvina mahdollisesti olleen viljan oljet tulevat käännettyä maahan.

Kynnön sijasta pelto voidaan sänkimuokata syksyllä. Sänkimuokkaus tehdään kahteen kertaan 2,8 m:n kultivaattorilla, jonka muokkaussyvyys on 12–15 cm. Vetotraktorin teho on 65 kW ja nopeus 7–10 km/h.

2. Kalkitus

Pelto kalkitaan talvella viiden vuoden välein. Öljykasvilohkon pH-luvun optimi kivennäismailla on 6,0–6,5. Eloperäisillä mailla pH-vaatimus on 0,5 yksikköä alempi. Kalkitus parantaa ravinteiden saatavuutta ja etenkin fosforin ja muiden pääravinteiden käytökelpoisuutta. Kalkituksen suorittaa kalkitusurakoitsija 88 kW:n traktorilla ja levitysvaunulla, jonka työleveys on 12 m. Kalkkia levitetään kerralla noin 4 000 kg/ha. Kalkin toimittaja on Nordkalk, Parainen tai Vampula.

3. Kylvömuokkaus

Rypsin kylvömuokkaus tehdään viljojen kylvömuokkausta matalampaan, vain noin 2–3 cm:n syvyyteen, ja muokkauksen tulee olla hienojakoisempi. Savimailla kannattaa aina tehdä tasausäestys, joka estää maan nopean kuivumisen ja antaa mahdollisuuden lykätä kylvöä, kunnes maa on lämmennyt. Tasausäkeen työleveys on 5 m ja ajonopeus on 5–7

km/h. Vetotraktorin moottoriteho on 50 kW. Kylvömuokkaukseen käytetään S-piikkiäestä, jonka työleveys on 3,8 m. Äkeellä ajetaan kahdesta kolmeen kertaan, jotta pellon pinta saadaan muokattua riittävän hienoksi. Äkeen sopiva muokkausnopeus 7–10 km/h, ja sen vetämiseen tarvitaan traktori, jonka moottoriteho on 65 kW.

4. Kylvö ja lannoitus

Rypsi kylvetään ja lannoitetaan kylvölannoittimella, jonka työleveys on 2,5 m, ajonopeus 6–7 km/h ja riviväli 12,5 cm. Kone sijoittaa rypsin siemenet noin 2 cm:n syvyyteen ja rakeisen lannoitteen 25 cm välein oleviin riveihin, jotka sijaitsevat vähän syvemmällä kuin siemenrivit. Kylvömäärä on 250–300 itämiskykyistä siementä neliömetrille eli noin 6,5–8 kg/ha (Sankari & Pahkala 1994). Nostolaitesovitteisen kylvölannoittimen vetämiseen tarvitaan moottoriteholtaan 50 kW:n traktori.

Rypsin lannoitukseen käytetään moniravinteisia lannoitteita, jotka sisältävät typpeä (N), fosforia (P) ja kalialia (K) sekä muita kasville tarpeellisia kivennäisaineita. Lannoitustarve rypsilille on 110 kg N, 15 kg P ja 30 kg K/ha, jos rypsiä viljellään savimaalla, jonka viljavuusluokka on fosforin ja kaliumin osalta on tyydyttävä ja tavoiteltu satotaso 2 t/ha. Koska esimerkkitaapauksessamme satotaso on keskimäärin 1 600 kg/ha, typpilannoitus voi olla 100 kg/ha. Haluttuja ravinnesuhteita lähimpänä on tässä tapauksessa Kevätviljan Y 2 (NPK 23-3-5), jonka käyttömäärän ollessa 435 kg/ha saadaan hehtaarille 100 kg typpeä, 13 kg fosforia ja 22 kg kalialia. Tilan koko rypsialan lannoittamiseen tarvitaan yhteensä 6 090 kg lannoitetta, joka toimitetaan Uudestakaupungista.

5. Kasvinsuojelu

Rikkakasvien torjunta

Rikkakasvit torjutaan ruiskuttamalla äestetty alue ennen rypsin kylvöä trifluraliini-valmisteella (Super Treflan, Trifulon, käyttömäärä 2 l/ha), joka tuhoaa itävät rikkakasvit. Herbisidi sekoitetaan veteen ruiskuteliuokseksi, jota käytetään 200 l/ha. Ruiskun koko on 600–800 l, työleveys 12 m ja ajonopeus 7 km/h. Torjunta-aine mullataan välittömästi ruiskutuksen jälkeen äestämällä, jolloin samalla saadaan valmis kylvöalusta.

Tuholaisten torjunta

Rypsin sertifioitu kylvösiemen on yleensä valmiiksi peitattu kirppatuhoja vastaan. Peitaukseen käytetään Cruiser OSR -torjunta-ainetta (tehoaineet tiametoksaami + metaksalyyli M + fludioksoniili) 15 ml/kg kylvösiementä.

Rapsikuoriaiset torjutaan pyretroidivalmisteilla (esim. Decis, Fastac, Kestac 0,2 l/ha, Karate 0,2 kg/ha). Torjunta-aineella on noin 1–3 vuorokauden kesto vaikutus. Ruiskutus tehdään rypsin nappuvaiheessa torjuntakynnyksen ylityttyä (yksi kuoriainen/kasvi aikaisessa nappuvaiheessa ja 2–3 kuoriaista/kasvi lähellä kukinnan alkua).

6. Sadonkorjuu

Rypsin puinti voidaan aloittaa silloin, kun siementen kosteus on 20–25 %. Hyvien säiden vallitessa puintia voidaan siirtää myöhäisempään ajankohtaan rypsin laadun siitä kärsimättä. Puimurin työleveys on 3 m ja sen kapasiteetti rypsin puinnissa on noin 0,9 hehtaaria tunnissa. Rypsi kuljetetaan pellolta kuivuriin traktorin perävaunulla, jonka kapasiteetti on 10 m³ eli noin 5 800 kg. Rypsin hehtolitraino on noin 58 kg.

7. Kuivaus ja kuljetus varastoon

Siemen kuivataan mahdollisimman nopeasti puinnin jälkeen alle 9 %:n kosteuteen, jolloin sen laatu pysyy hyvänä. Lisäksi huolehditaan, että kosteus ei varastoinnin aikana pääse nousemaan. Rypsi kuivataan lämminilmakuivurissa 13–20 m³:n erinä (6 380–12 000 kg).

Mikäli sato on tuleentunut epätasaisesti, sen esikuivaaminen kylmällä ilmalla on suositeltavaa, sillä kylmäilmakuivauksen aikana tapahtuu myös jälkituleentumista. Kuivaus kylmällä ilmalla voi kestää esimerkiksi 3–4 vuorokautta, minkä jälkeen loppukosteus poistetaan lämminilmakuivauksella.

8. Varastointi

Rypsi varastoidaan kuivurin yhteyteen rakennettuihin siiloihin, joihin se siirretään elevaattorilla. Jos siilot ovat etäällä kuivurista, voidaan joutua käyttämään ruuvi- tai tasokuljettimia. Elevaattori ja muut kuljettimet ovat sähkökäyttöisiä.

4.3 Tärkkelysohnan ja rypsin tuotantoketjujen energiankulutus, kasvihuonekaasupäästöt ja kustannukset

4.3.1 Energian kulutus ja kasvihuonekaasupäästöt

Etanolin ja rypsimetyyliesterin raaka-aineina käytettävien tärkkelysohnan ja rypsin viljelyn primäärienergian kulutus ja kasvihuonekaasupäästöt laskettiin kohdissa 3.1–3.3 määriteltyjen yleisten periaatteiden ja oletusten mukaisesti. Tässä kohdassa määritellään energiankulutusta ja kasvihuonekaasupäästöjen laskentaa varten tarkasteluun valittujen viljelyketjujen keskeiset oletukset, kuten koneiden ja laitteiden käyttöenergian laatu ja määrä, sadon määrä sekä kuljetusmatkat.

Viljelyketjujen tarkastelua varten tehtiin kaksi tilamallia, joista toinen oli tärkkelysohraa viljelevä tila Etelä-Pohjanmaalla ja toinen rypsiä viljelevä tila Varsinais-Suomessa. Tilojen koko, viljelyala ja koneistus valittiin tutkimalla tilastotietoja (Maatilatilastollinen vuosikirja 2001, 2002 ja 2004) sekä kysymällä ohran ja rypsin ostajilta, millainen on

tyypillinen tärkkelysohraa tai rypsiä tuottava sopimustila. Ohran laskelmat tehtiin keskimääräisen ja korkean tuotantointensiteetin mukaan. Keskimääräisen intensiteetin sato oli 3 500 kg/ha ja korkean 4 200 kg/ha. Suuremman sadon saamiseksi oletettiin tarvittavan enemmän työtä, lannoitusta ja kasvinsuojelua kuin pienemmän sadon. Rypsin sato oli 1 600 kg/ha. Suorakylvötuotantoketjujen satojen oletettiin olevan 90 % tavanomaisen kyntöön perustuvan tuotantoketjun sadosta. Oletus perustuu MTT:ssä tehtyjen kenttäkokeiden tuloksiin (Känkänen 2004). Niissä on todettu suurempiakin satoeroja kuin 10 %, mutta suorakylvö on niin uusi menetelmä, että sitä ei vielä osata käyttää parhaalla mahdollisella tavalla (Alakukku ym. 2004). Tuloksia on vasta siirtymäkaudelta ja näyttää siltä, että noin 10 %:n satoero olisi realistinen, kunhan saadaan lisää tietoa mm. viljelykierroista ja kasvinsuojelutarpeesta.

Viljelyketjujen alkutilaksi on oletettu pelto, jolla on edellisenä vuonna viljelty ohraa, kauraa tai vehnää. Peltoa on oletettu muokattavan viljelyketjun edellyttämällä tavalla. Viljelyketjut päättyvät etanolitehtaan tai öljynpuristamon portille. Tarkastelussa on mukana viljelyssä tarvittavien koneiden ja laitteiden energiankulutuksen lisäksi lannoitteiden, kalkin ja torjunta-aineiden valmistukseen ja niiden kuljettamiseen sekä sadon kuljettamiseen tarvittava energia. Käyttöenergia on muunnettu primäärienergiaksi ja aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt on laskettu kohdan 3.3 määrittelyjen perusteella.

Ohran ja rypsin viljelystä muodostettiin tuotantoketjuja, joissa vaihtelivat perusmuokkauksen tapa ja intensiteetti, kylvötapa, varastointimenetelmä (lämminilma-kuivaus tai ilmatiivis säilöntä) sekä kuivaukseen käytetty energianlähde (öljy tai hake). Tuotantoketjut ja niiden työvaiheet esitetään taulukossa 14. Tuotantotekniikka, käytetyt lannoite-, kalkki- ja siemenmäärät sekä torjunta-aineet kuvataan yksityiskohtaisesti kohdissa 4.1.2 ja 4.2.2.

Taulukko 14. Ohran ja rypsin tuotantoketjut ja niiden työvaiheet. Rypsin tuotannolle ei ole lainkaan tarkasteltu ketjua E, sillä tietoa ilmatiiviin säilönnän soveltuvuudesta rypsin säilöntään ei ole.

Työvaihe	Ohran tuotantoketjut												Rypsin tuotantoketjut				
	Keskimääräinen intensiteetti						Korkea intensiteetti										
	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	F
Kyntö	x						x						x				
Sänkimuokkaus		x	x			x		x	x			x		x	x		x
Kalkitus	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Tasausäestys							x	x	x			x	x	x	x		x
Kylvömuokkaus, kaksi äestyskertaa	x	x	x			x	x	x	x			x	x	x	x		x
Kylvölannoitus	x	x	x			x	x	x	x			x	x	x	x		x
Suorakylvö				x	x					x	x					x	
Jyräys							x	x	x			x	x	x	x		x
Rikkakasvien torjunta	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kasvitautilien torjunta							x	x	x	x	x	x					
Tuholaisten torjunta													x	x	x	x	x
Leikkuupuinti	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sadon kuljetus talouskeskukseen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lämminilmakuivaus, polttoaineena öljy	x	x	x	x			x	x	x	x			x	x	x	x	
Lämminilmakuivaus, polttoaineena hake						x						x					x
Ilmatiivis säilöntä					x						x						
Siirto varastoon	x	x	x	x		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x
Siirto ajoneuvoon	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kuljetus etanolitehtaalle	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
Kuljetus öljynpuristamolle													x	x	x	x	x

Tuotantoketjujen kuvaus:

- A Perusmuokkauksena kyntö, kylvömuokkaus, kylvölannoitus, kasvinsuojelu, lämminilmakuivaus.
 B Perusmuokkauksena sänkimuokkaus kahteen kertaan, kylvömuokkaus, kylvölannoitus, kasvinsuojelu, lämminilmakuivaus.
 C Perusmuokkauksena sänkimuokkaus yhteen kertaan, kylvömuokkaus, kylvölannoitus, kasvinsuojelu, lämminilmakuivaus.
 D Suorakylvö, kasvinsuojelu ja lämminilmakuivaus.
 E Suorakylvö, kasvinsuojelu ja varastointikäsitteilynä ilmatiivis säilöntä.
 F Perusmuokkauksena sänkimuokkaus kahteen kertaan, kylvömuokkaus, kylvölannoitus, kasvinsuojelu, lämminilmakuivaus käyttäen haketta polttoaineena.

Peltotyövaiheiden polttoaineenkulutusluvut saatiin kirjallisuudesta (Danfors 1988, Pälöinen & Oksanen 1993, Nagy ym. 1994, Suomi ym. 2003, Rinaldi ym. 2005, Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung 2005). Yksittäisten työvaiheiden kulutusluvut ja työketjujen yhteenlasketut kulutusluvut esitetään liitteissä B, C ja D. Useimmissa tapauksissa samalle työlle annettiin lähteissä erilaisia kulutuslukuja ja tällöin käytettiin näiden keskiarvoa.

Tuotantoketjuissa A, B, C ja D vilja ja rypsi on oletettu kuivattavan siilotyyppisessä lämminilmakuivurissa, jonka energiankulutus oli 0,167 l kevyttä polttoöljyä haihdutettua vesikiloa kohden (Suomi ym. 2003). Viljan lähtökosteus oli 22 % ja loppukosteus 13 %. Rypsin lähtökosteus oli 22 % ja loppukosteus 9 %. Tuotantoketjussa F oletettiin käytettävän polttoaineena sekahaketta polttoöljyn sijasta. Hakkeen kosteus oli 25 % ja tehollinen lämpöarvo 13,6 MJ/kg (Wahlroos 1979). Polton hyötysuhteeksi on oletettu öljyllä lämmitettäessä 90 % ja hakkeella 70 %. Hakkeen valmistuksen energiankulutukseksi oletettiin 12,17 l/tonni (Harstela 2004).

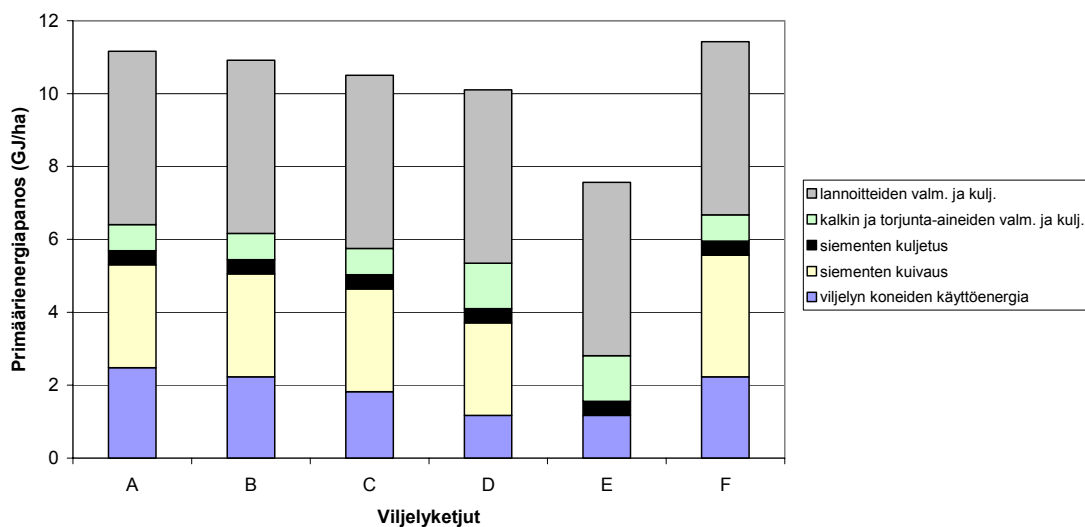
Lannoitteiden, torjunta-aineiden ja kalkin valmistuksen ja kuljetusten energiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt tuotetonna kohden määritellään kohdissa 3.3.4 ja 3.3.6. Lannoitteiden kuljetusmatkan oletettiin olevan 200 km ja kalkin 70 km. Kummatkin oletettiin kuljetettavan rekalla täysinä kuormina. Torjunta-aineiden kuljetusmatkaa ei otettu huomioon, koska torjunta-aineiden määrä on pieni ja ne oletettiin noudettavan maatalouskaupasta muun asioinnin yhteydessä. Ohran kuljetusmatkan etanolitehtaalle oletettiin olevan 100 km ja rypsin kuljetusmatkan öljynpuristamolle 70 km.

Siemen oletettiin tuotettavan tuotantoketjulla A. Siemeneksi tuotettava määrä oletettiin 30 % suuremmaksi kuin itse siemenmäärä, koska sementuotannossa raakaerät on aina lajiteltava. Sementuotannon energiamäärä saatiin kertomalla siemeneksi tuotettava kilomäärä energiamäärällä, joka tarvittiin tuotantoketjussa A yhden ohra- tai rypsikilon tuottamiseen. Lajittelussa erottuvalla osalla ei hyvitetty tuotantoketjua, vaikka pienet ja kevyet siemenet voidaankin käyttää rehuksi. Tämän katsottiin kompensoivan siemen- tuotannon energiantarvetta lajitteluun, pakkaamiseen ja kuljetuksiin.

Siementen kuiva-aineen alemmaksi lämpöarvoksi (LHV) 20 %:n kosteudessa oletettiin Tuunasen (1993) mukaan ohralle 16,2 MJ/kg ka ja rypsilille 26,3 MJ/kg ka. Tässä työssä ohran toimituskosteudeksi on oletettu 13 % ja rypsin 9 %, joten niitä vastaavat kuiva- aineen alemmat lämpöarvot ovat ohralle 16,4 MJ/kg ka ja rypsilille 26,6 MJ/kg ka.

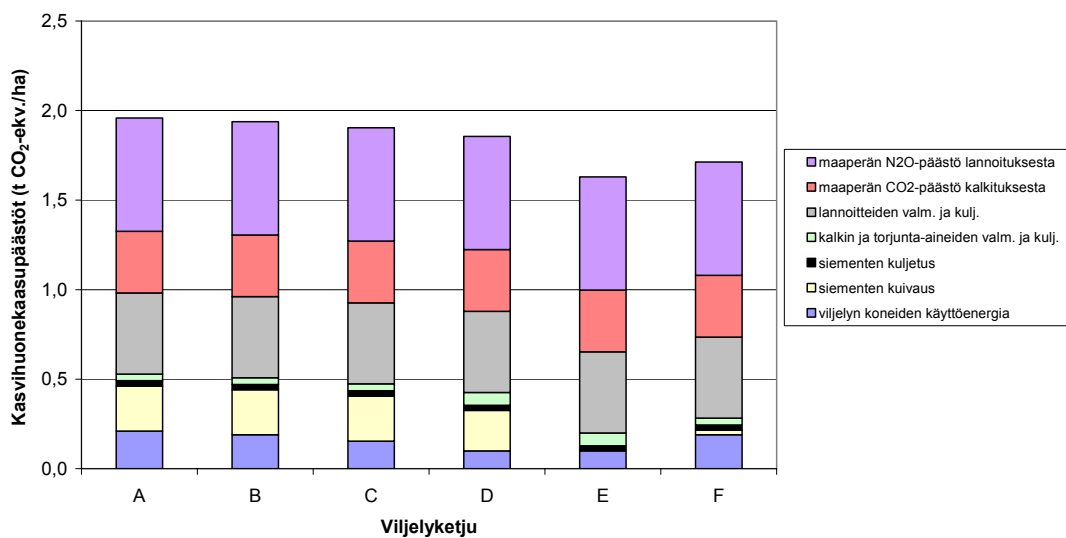
Kuvissa 10–16 esitetään ohran ja rypsin tuotantoketjujen primäärienergiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt viljelyalaa kohden. Tarkemmat tulokset ovat liitteissä E, F ja G.

Ohran viljelyketjujen primäärienergiapanokset (keskimääräinen tuotantointensiteetti)



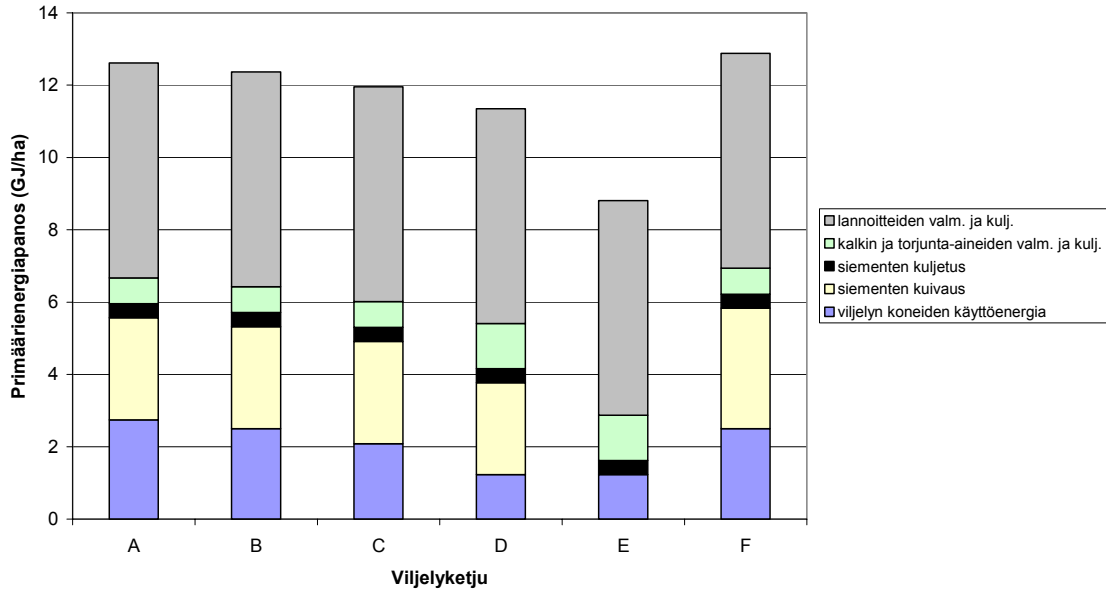
Kuva 10. Tärkkelysohran viljelyyn käytetty primäärienergia, kun tuotantointensiteetti on keskimääräinen. Tuotantoketjut A–F ovat taulukon 14 mukaisia.

Ohran viljelyketjujen kasvihuonekaasupäästöt (keskimääräinen tuotantointensiteetti)



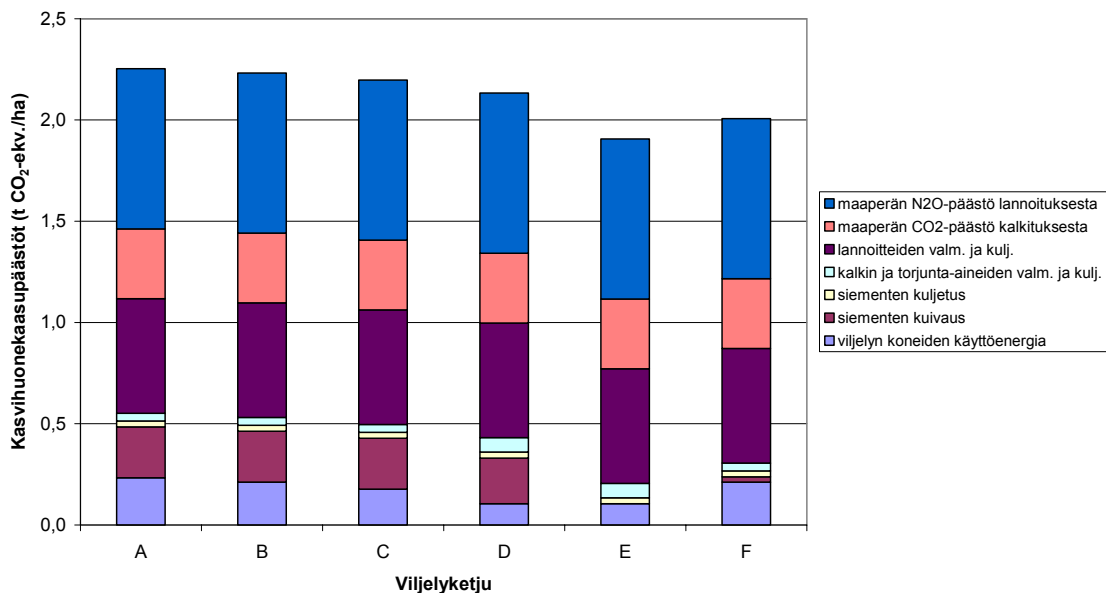
Kuva 11. Tärkkelysohran viljelyn kasvihuonekaasupäästöt, kun tuotantointensiteetti on keskimääräinen. Tuotantoketjut A–F ovat taulukon 14 mukaisia.

Ohran viljelyketjujen primäärienergiapanokset (korkea tuotantointensiteetti)



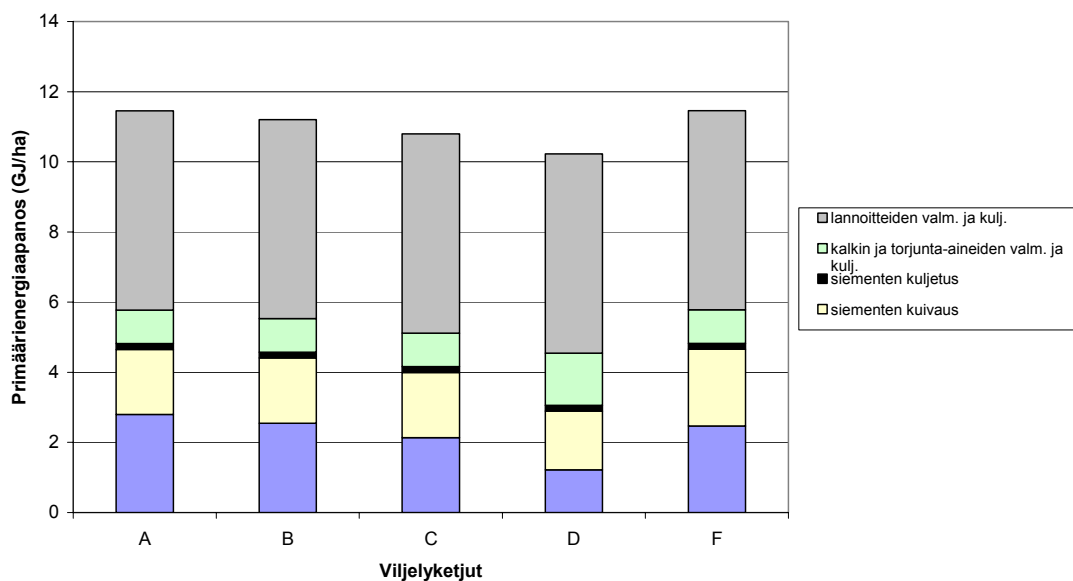
Kuva 12. Tärkkelysohran viljelyyn käytetty primäärienergia, kun tuotantointensiteetti on korkea. Tuotantoketjut A–F ovat taulukon 14 mukaisia.

Ohran viljelyketjujen kasvihuonekaasupäästöt (korkea tuotantointensiteetti)



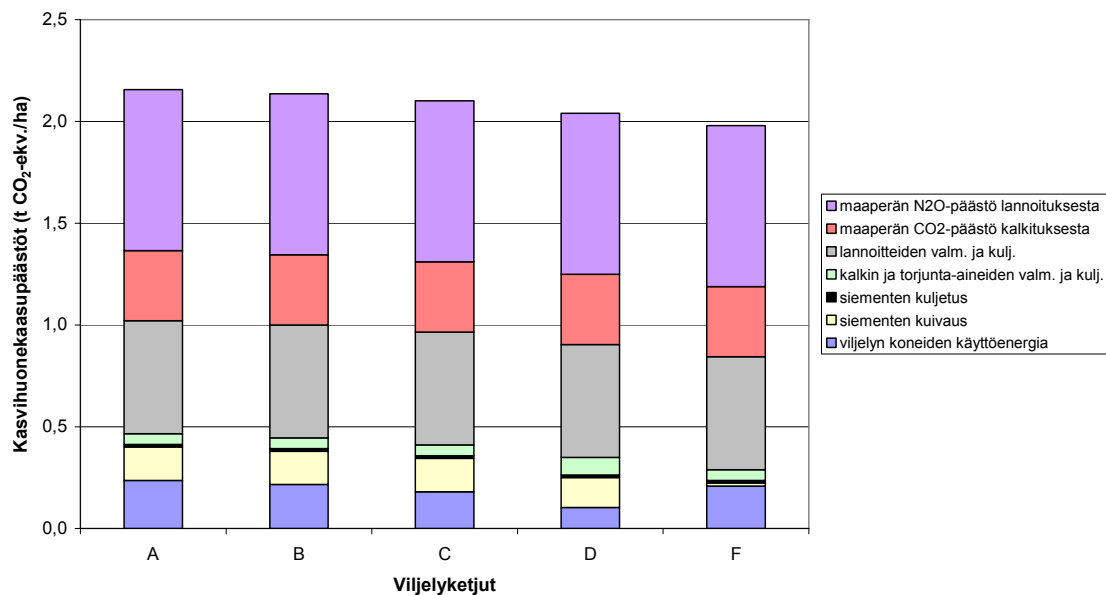
Kuva 13. Tärkkelysohran viljelyn kasvihuonekaasupäästöt, kun tuotantointensiteetti on korkea. Tuotantoketjut A–F ovat taulukon 14 mukaisia.

Rypsin viljelyketjujen primäärienergiapanokset

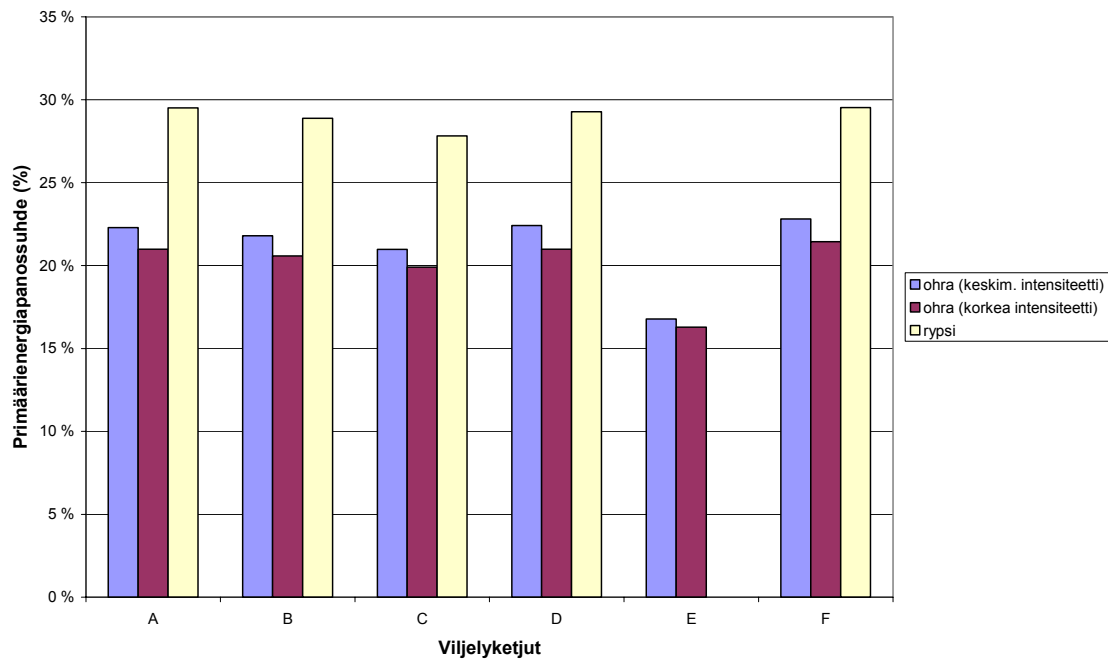


Kuva 14. Rypsin viljelyyn käytetty primäärienergia. Tuotantoketjut A–D ja F ovat taulukon 14 mukaisia.

Rypsin viljelyketjujen kasvihuonekaasupäästöt



Kuva 15. Rypsin viljelyn kasvihuonekaasupäästöt. Tuotantoketjut A–D ja F ovat taulukon 14 mukaisia.



Kuva 16. Tärkkelysohran ja rypsin tuotantoon panostettu primäärienergia suhteutettuna siementen energiasisältöön. Energiapanoksessa ei ole mukana viljan itsensä sisältämää energiaa. Tuotantoketjut A–F ovat taulukon 14 mukaisia.

Perinteisissä ohran tuotantoketjuissa, joissa perusmuokkauksena oli kyntö tai sänki-muokkaus (ketjut A–C), primäärienergiaa kului 20–22 % siemensadon energiasisällöstä. Vaikka muokkaus oli puinnin ohella eniten energiaa kuluttava työvaihe, muokkausmenetelmien vaikutus koko ketjun primäärienergian kulutukseen oli vähäinen. Tämä kuvaa sitä, että lannoitteiden valmistus ja kuivaus hallitsevat energian kulutusta. Lannoitteiden valmistuksessa suurin osa energiasta kuluu typen tuotantoon. Lannoitteiden valmistuksen (ja kuljetuksen) osuus oli lähes puolet ja lämmintilma-kuivauksen osuus noin neljännes koko tuotantoketjujen primäärienergiakulutuksesta.

Siirtyminen perinteisestä muokkauksesta suorakylvöön (ketju D) ei parantanut ohran tuotannon energiahyötysuhdetta, vaan päinvastoin huononsi sitä (kuva 16). Tämä johtuu siitä, että suorakylvössä sadon on arvioitu jäävän 10 % muita ketjuja pienemmäksi, ja lisäksi suorakylvössä ruiskutetaan juuririkkakasvien torjumiseksi 2 litraa/ha glyfosaattivalmistetta, jonka valmistaminen on energiaintensiivistä.

Säilöttäessä ohra ilmatiiviiseen siiloon (ketju E) aleni primäärienergiapanos suorakylvöketjussa noin 17 %:iin siemensadon energiasisältöön nähden. Ilmatiivis säilöntä on ainakin toistaiseksi teoreettinen vaihtoehto, koska etanolin tuotantoprosessi on suunniteltu käyttämään raaka-aineenaan kuivattua ohraa, jonka vesipitoisuus on alle 14 %. Mitään varsinaista estettä tuoreena säilötyn viljan käytölle ei kuitenkaan näyttäisi ole-

van. Ilmatiiviiseen siiloon voidaan säilöä ohraa, jonka vesipitoisuus on 25 % tai ylikin, mutta tätä korkeampi vesipitoisuus voi haitata siilon tyhjentämistä (Pokki 1982). Rypsin säilömisestä ilmatiiviiseen siiloon ei ole tietoa, ja siksi tämä vaihtoehto jätettiin tarkastelun ulkopuolelle.

Tehokkaan tuotantointensiteetin primäärienergiankulutus oli yhdestä kahteen prosenttiyksikköä pienempi kuin keskimääräisen. Energiataloudellisesti kannattaa siis pyrkiä suureen satoon, vaikka se edellyttäisi enemmän työvaiheita, lisälannoitusta ja tehokkaampaa kasvinsuojelua.

Viljankuivauksessa käytetään yleensä lämmönlähteenä öljyuuneja, koska ne ovat helpohoitaisia ja edullisia. Investointia kalliimpaan hakeuuniin pidetään kannattavana vain, jos samaa uunia voidaan käyttää kuivauskauden ulkopuolella muuhun lämmittämiseen. Viljan kuivaaminen käyttäen haketta lämmönlähteenä olisi kuitenkin tehokas tapa vähentää uusiutumattoman energian käyttöä viljelyssä. Se olisi myös realistinen vaihtoehto, koska Suomen metsistä voitaisiin hyvin hakata noin 0,5 miljoonaa kiintokuutiometriä (Mäkelä & Ahokas 1983) hakepuuta, joka tarvittaisiin viljan kuivaamiseen. Ketju F on muuten sama kuin ketju B, mutta viljan kuivaamiseen on ketjussa F oletettu käytettävän haketta. Tällöin primäärienergian tarve on kattilan huonomman hyötysuhteen vuoksi korkeampi kuin ketjussa B, mutta fossiilisen energian tarve on noin neljänneksen pienempi. Tämä näkyy vertailtaessa ketjujen päästöjä keskenään (kuvat 11 ja 13).

Rypsin tuotantoketjuissa kuluu likimain saman verran energiaa kuin ohran keskimääräisen intensiteetin ketjuissakin, mutta siemensadon energiasisältö on pienempi. Siksi rypsin tuotantoketjuissa tuotantoon käytetyn energian määrä on 25–30 % sadon energiasisällöstä, mikä on suurempi määrä kuin ohran tuotantoketjuissa (kuva 16). Rypsin kuivaamiseen hakkeella pätevät samat kommentit kuin ohraankin.

Lannoitteiden valmistus aiheuttaa arviolta noin 25–30 % viljelyketjujen kasvihuonekaasupäästöistä. Ketjujen merkittävimäksi yksittäiseksi kasvihuonekaasupäästöihin vaikuttavaksi tekijäksi on kuitenkin arvioitu lannoitteiden sisältämästä tpeestä aiheutuva maaperän suora ja epäsuora typpioksiduulipäästö. Laskennassa käytetyillä oletuspäästökertoimilla lannoituksen typpioksiduulipäästöt maaperästä muodostavat n. 30–40 % koko ketjun kasvihuonekaasupäästöistä (kuvat 11, 13 ja 15). Näihin päästöihin liittyvä epävarmuus on kuitenkin erittäin suuri. Kalkituksesta aiheutuva maaperän hiilidioksidipäästö muodostaa n. 15–20 % viljelyketjujen kasvihuonekaasupäästöistä. Loppuosuus päästöistä aiheutuu viljelyketjujen koneiden ja laitteiden energiankäytöstä.

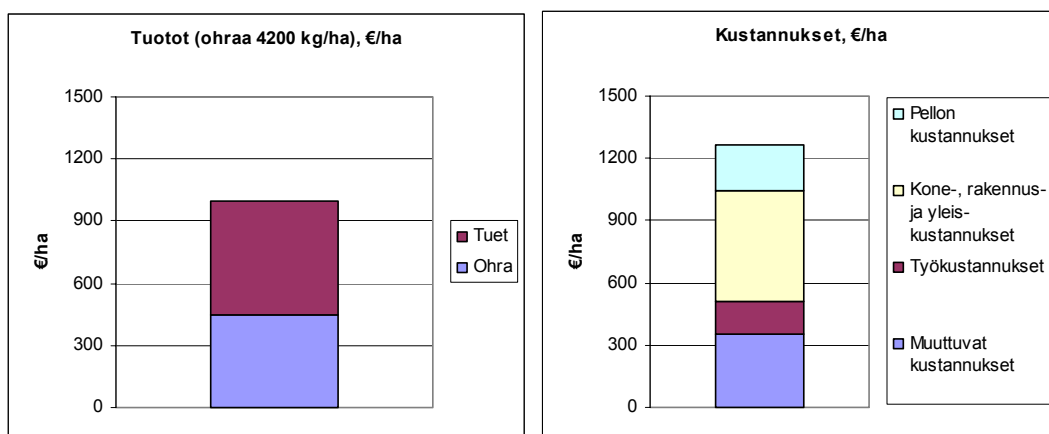
Ohraetanolin ja rypsimetyyliesterin raaka-ainetuotannon uusiutumattoman energian kuluista vähentäisivät tehokkaimmin työvaiheet ja panostukset, jotka eivät kuluta paljon energiaa, mutta lisääisivät sadon määrää. Kasvinjalostus ja tuotantoketjun optimointi ovat

avainasemassa, ja tätä työtä tehdään koko ajan. Öljyn korvaaminen hakkeella lämminil-makuivauksessa tai etanolin valmistukseen käytettävän ohran varastointi ilmatiiviisiin siiloihin vähentäisivät eniten tuotantoketjun fossiilisen polttoaineen kulutusta. Näiden toimien vaikutus viljelyketjujen kasvihuonekaasupäästöjen pienemiseen on kuitenkin vähäinen. Suurempi merkitys olisi sellaisten toimien löytämisellä, jotka lisäisivät maape-rän hiilivarastoa ja vastaavasti pienentäisivät maaperän typpioksiduulipäästöjä.

Eräs keskeinen ohran ja rypsin viljelyn kasvihuonekaasutaseita parantava tekijä voisi olla ohran oljen ja rypsin varren energiakäyttö korvaamaan päästöintensiivisempiä polttoaineita. Olkea ei ole todennäköisesti kannattavaa korjata talteen joka vuosi. Liian intensiivinen oljen korjuu voi myös pienentää maan hiilitasetta ja lisätä jonkin verran lan-noitustarvetta, mikä voi osittain kompensoida oljen käytöllä saavutettavan hyödyn kas-vihuonekaasupäästöjen vähentämisessä.

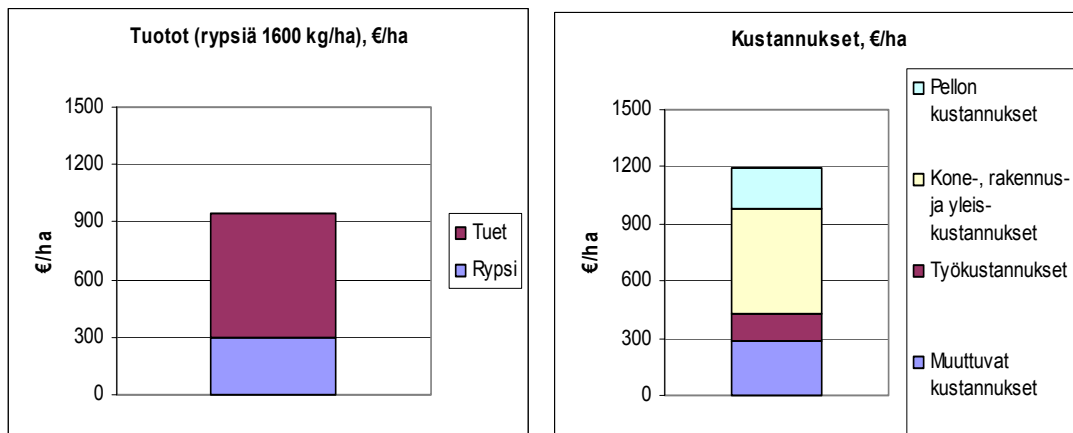
4.3.2 Ohran ja rypsin tuotantokustannukset

Ohran ja rypsin tuotantokustannukset esitetään kuvissa 17 ja 18 sekä liitteissä H ja I. Laskelmat räätälöitiin Enrothin (2005) Nettituottopehtoorissa esittämistä laskelmista tähän tarkoitukseen sopiviksi. Ohran tuotantointensiteetin ollessa keskimääräinen tuo-tantokustannukset olivat 340 €/tonni ja tuotantointensiteetin ollessa korkea 310 €/tonni. Vertailun vuoksi todettakoon, että Riepposen (2003) mukaan viljan tuotantokustannus oli kirjanpito-tiloilla vuosina 1998–2000 keskimäärin 327 €/tonni. Tuotantokustannus on siis noin kolminkertainen markkinahintaan verrattuna, ja tuotanto on mahdollista vain tukien avulla. Kone- ja rakennuskustannukset ovat noin puolet tuotantokustannuksesta. Tuotantokustannukset ovat yleensä alimmat tiloilla, joilla saadaan suuria satoja.



Kuva 17. Ohran viljelyn tuotot ja kustannukset.

Rypsin tuotantokustannus oli 780 €/tonni ja se on 3,5-kertainen markkinahintaan verrattuna. Myös rypsin tuotanto on mahdollista vain tukien avulla.



Kuva 18. Rypsin viljelyn tuotot ja kustannukset.

4.4 Ruokohelppi

4.4.1 Ruokohelppi biomassakasvina

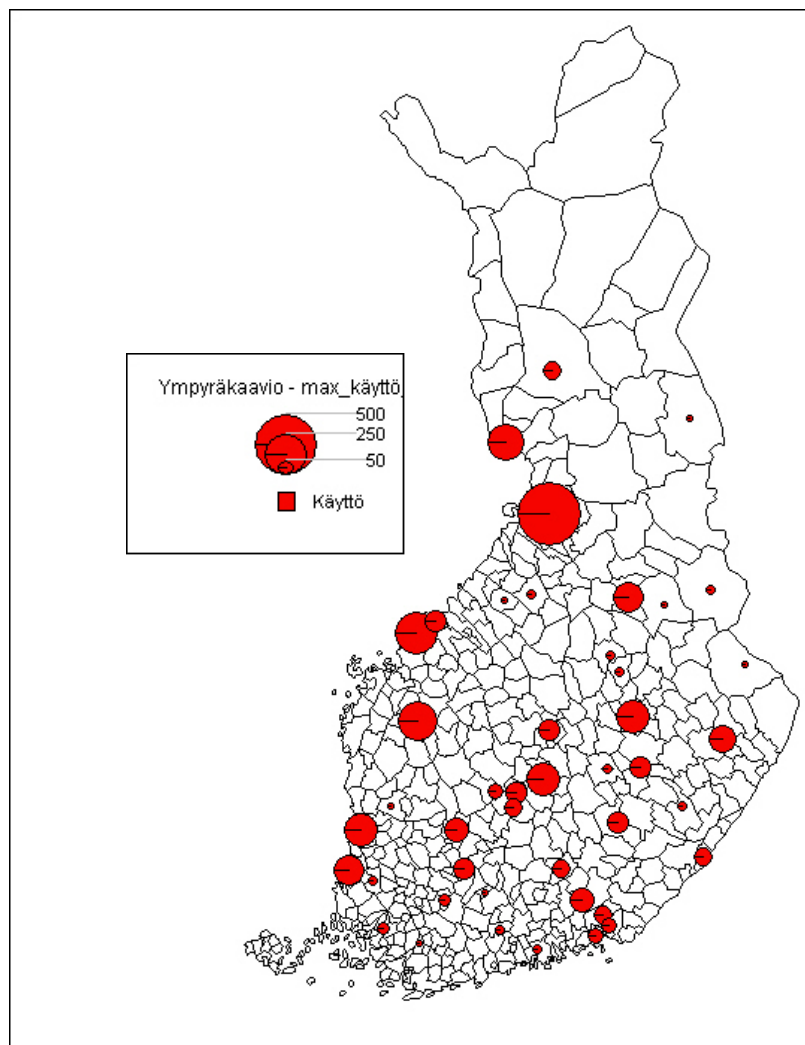
Ruokohelppi on Suomen oloissa satoisin energia- ja kuitukäyttöön kasvatetuista kasveista. Ruokohelppi tuottaa satoa vähintään 10–12 vuotta, jos sato korjataan keväällä kulloheinä, jolloin sadon ominaisuudet kiinteänä polttoaineena ovat parhaat ja korjuuajankohta on hyvä myös kasvin ravinnetalouden kannalta (Pahkala ym. 2005). Kasvuston korkeus kasvukauden päätyttyä on 1,5–1,9 m ja tyypillinen satotaso on 4,5–8 t_{ka}/ha, mikä on noin 22–38 MWh/ha maaperän ja lannoituksen mukaan.

4.4.2 Ruokohelven tuotanto- ja käyttöpotentiaali

Suomen kokonaispeltopinta-ala on noin 2,2 miljoonaa hehtaaria, josta noin 250 000 ha on kesantoa ja loput joko elintarvikkeiden tai eläinten rehun tuotannossa. Energian tuotannon tullessa mahdollisesti yhdeksi peltojen merkittäväksi käyttömuodoksi on peltojen käyttöä tarkasteltava kokonaisuutena ottamalla huomioon valtiovallan asettamat vaatimukset maataloustuotannolle ja niiden muuttuminen tulevaisuudessa muun muassa rakennemuutoksen, kulutustottumusten ja tukien muutosten vuoksi. Lisäksi peltoenergian tuotantoon vaikuttaa polttoainevaihtojen tuotos-panos-tarkastelu kasvihuonekaasujen ja tuotantokustannusten avulla. Maa- ja metsätalousministeriön asettama työryhmä tarkasteli peltoviljelyn tulevaisuuden linjauksia ja päätyi omissa linjauksissaan 50 000 ha:n suuruiseen ruokohelvipinta-alaan Suomessa, mikä vastaa energiana noin 1,1–1,4 TWh (MMM 2005).

Lisäksi ruokohelpeä voidaan viljellä tuotannosta poistuneilla turvetuotantoalueilla. Viljelmiä on nykytilanteessa noin 10 000 hehtaaria (Vapo Oy 2006), mikä vastaa energiana 0,09–0,11 TWh. Vuosittain turvetuotannosta vapautuva pinta-ala on noin 2 000 ha, josta kilpailevat myös muut suon jälkikäyttömuodot.

Suomessa on vajaa 60 sellaista voimalaitosta, joissa ruokohelven käyttö on mahdollista (Flyktman & Paappanen 2005). Pääosa laitoksista on CHP-voimalaitoksia, joissa on leijukerroskattila. Käyttömäärä laitoksissa on korkeintaan 10 % ruokohelpeä energiamääränä kaikesta polttoaineesta. Kaikki laitokset huomioon ottaen on ruokohelven käyttöpotentiaali 3,9 TWh (kuva 19). Lisäksi pellettien raaka-aineena voitaisiin käyttää helpeä noin 225 000 tonnia, mikä on noin 1 TWh. Yhteensä käyttöpotentiaali merkitsisi ruokohelven viljelyä 170 000–230 000 ha:n alalla.



Kuva 19. Ruokohelven käyttöpotentiaali voimalaitoksissa, GWh.

4.4.3 Ruokohelven tuotantoketjut ja laskennan alkuarvot

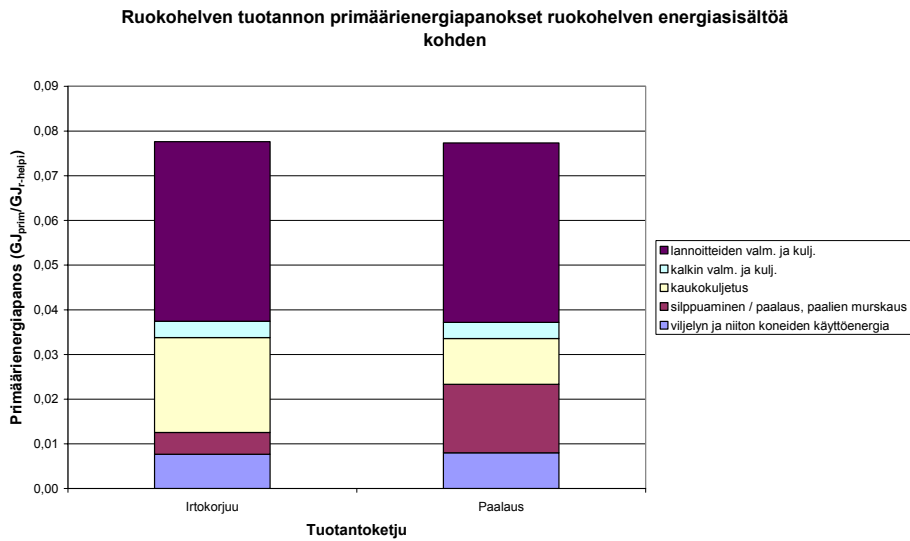
Ruokohelven viljelyn ja tuotannon työvaiheisiin käytetään olemassa olevaa maatalouden kalustoa. Päätyövaiheita ovat viljelmän perustaminen, vuosittainen lannoitus, korjuu ja kuljetus voimalaitokselle. Viljelmän perustamistyövaiheelle saatu ja myöhemmin esitettävä moottoripolttoaineen kulutus on primäärienergiapanosten ja kasvihuonekaasutaseiden laskentaa varten ositettu viljelmän koko kestoajalle, joka on 10 vuotta.

Korjuussa ruokohelppi joko silputaan valmiiksi (irtokorjuumenetelmä) tuotteeksi tai paalataan kokonaisena (paalausmenetelmä) ja silputaan myöhemmissä työvaiheissa. Sekä irtokorjuussa että paalauksessa voidaan käyttää eri konevaihtoehtoja. Tässä tarkastelussa irtokorjuu oletetaan tehtävän keskikokoisella tarkkuussilppurilla ja paalaus pyöröpaalaimella. Silputtu ruokohelppi kuljetetaan käyttöpaikalle turverekalla ja paalit irtorisun ja kantojen kuljetukseen tarkoitettulla rekalla, kun kuljetusmatka on 70 km. Paalit oletetaan murskattavan Morbarkin kaukalomurskaimella. Moottoripolttoaineiden kulutuslaskelmien alkuarvot esitetään liitteessä J.

Ruokohelven kuiva-ainesadon oletettiin olevan 6 t/ha, toimituskosteuden 20 %, tehollisen lämpöarvon 13,6 MJ/kg (Alakangas 2000) ja hiilisisällön kuiva-aineessa 46 % (Alakangas 2000). Ruokohelpiviljelmän perustamislannoitukseen arvioitiin käytettävän Kemira GrowHow'n Syysviljan Y1 -lannoitetta (ravinnesisältö N 13 %, P 7 %, K 13 %), jonka käyttömäärän arvioitiin olevan 300 kg/ha. Vuosittaiseen hoitolannoitukseen arvioitiin puolestaan käytettävän Kemira GrowHow'n Kevätviljan Y3 -lannoitetta (ravinnesisältö N 20 %, P 3 %, K 8 %), jota käytettiin vuosittain 325 kg/ha. Kalkkia oletettiin levitettävän joka viides vuosi 4 000 kg. Lannoitteiden kuljetusmatkan oletettiin olevan 200 km ja kalkin 70 km, kuten ohran ja rypsin kohdalla.

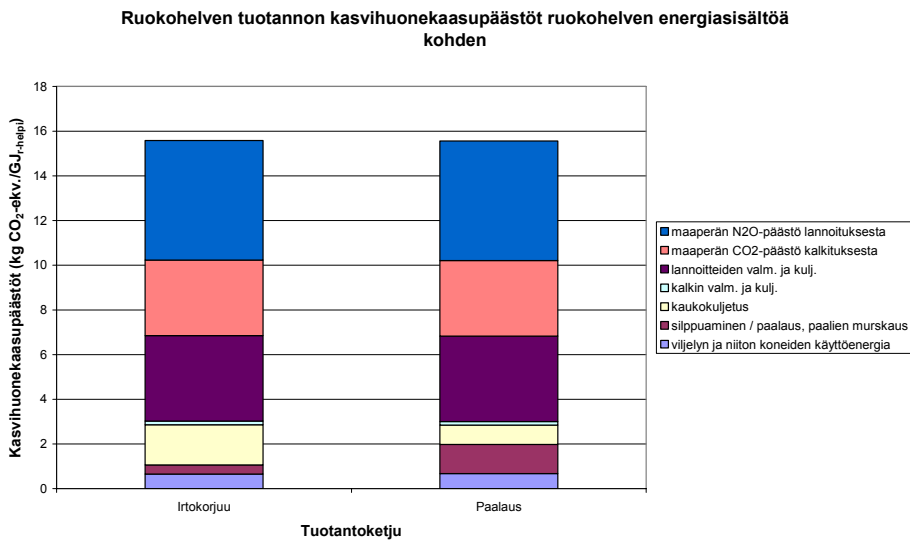
4.4.4 Ruokohelven tuotannon primäärienergiankulutus

Ruokohelven tuotantoketjujen primäärienergiankulutukset esitetään kuvassa 20 ja liitteessä K. Ketjujen kokonaisprimäärienergiapanoksissa ei ole käytännössä eroa irtokorjuu- ja paalaustekniikan välillä laskelmissa käytetyllä kaukokuljetusmatkalla. Noin puolet ketjujen primäärienergiapanoksista aiheutuu lannoitteiden valmistuksesta. Irtokorjuuketjussa silppuaminen ja kaukokuljetus aiheuttavat likimain yhtä suuren primäärienergiapanoksen kuin kaukokuljetus ja paalien murskaus paalaukseen perustuvassa korjuuketjussa. Viljelyn ja niiton koneiden käyttöenergian merkitys on suhteellisen vähäinen.



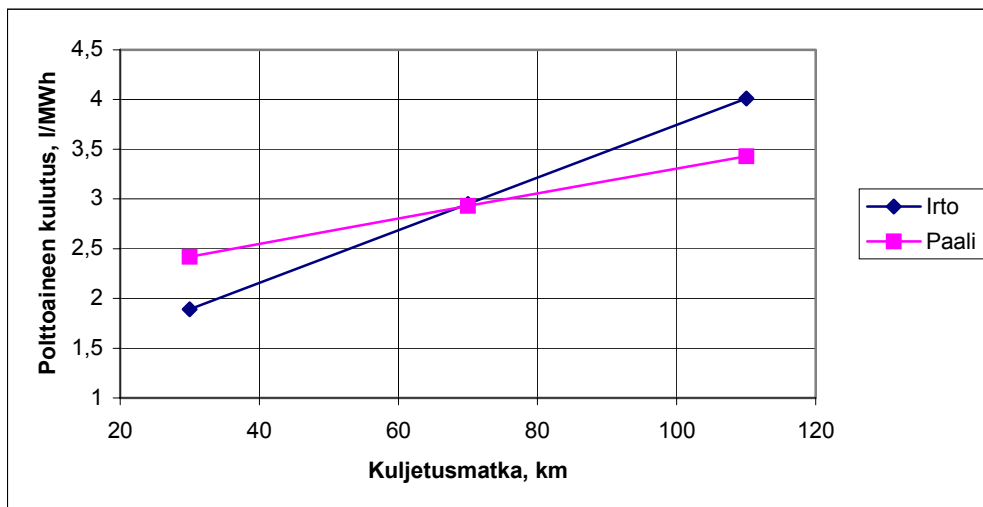
Kuva 20. Ruokohelven viljelyn, korjuun ja kaukokuljetuksen (70 km) primäärienergiankulutus.

Ruokohelven tuotannon kasvihuonekaasupäästöt esitetään kuvassa 21 ja liitteessä K. Lannoituksesta johtuvat suorat ja epäsuorat maaperän typpioksiduulipäästöt aiheuttavat noin kolmanneksen tuotantoketjujen kokonaispäästöistä. Näihin päästöihin liittyy kuitenkin merkittäviä epävarmuuksia, joita tarkastellaan myöhemmin. Keskeisiä päästöihin vaikuttavia tekijöitä ovat myös kalkituksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ja lannoitteiden valmistuksen päästöt. Viljelyn ja niiton koneiden käyttöenergiasta ja kaukokuljetuksista johtuvat kasvihuonekaasupäästöt ovat vain noin viidenneksen ketjun kokonaispäästöistä.



Kuva 21. Ruokohelven viljelyn, korjuun ja kaukokuljetuksen (70 km) kasvihuonekaasupäästöt ruokohelven energiasisältöä kohden.

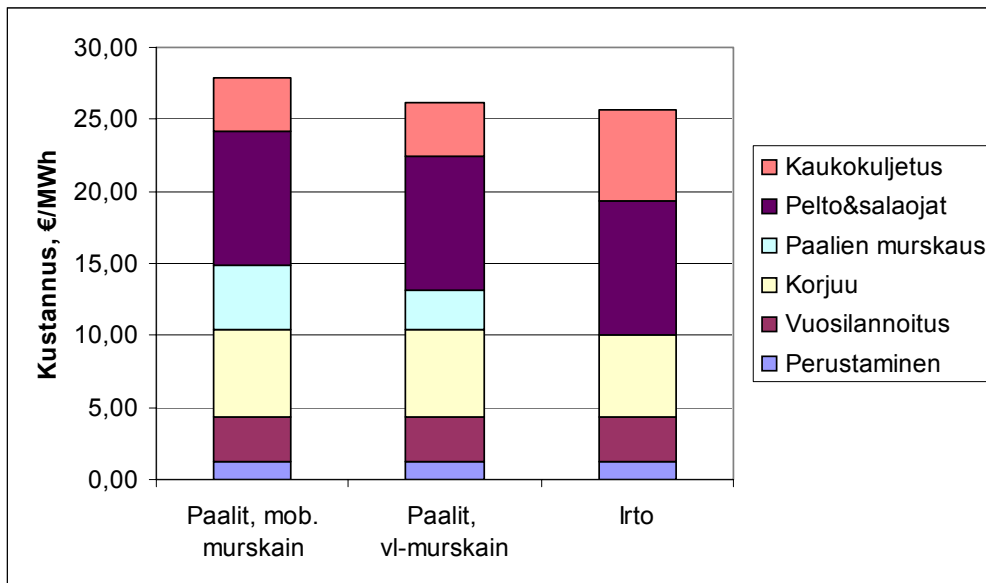
Kaukokuljetusmatkan vaikutus moottoripolttoaineiden kokonaiskulutukseen esitetään kuvassa 22 (Rinne 2005). Lyhyillä matkoilla irtokorjuumenetelmän moottoripolttoaineen kulutus on pienempi kuin paalausmenetelmän ja pitkillä matkoilla päinvastoin. Tämä rajakuljetusmatka on noin 70 km. Erot menetelmien välillä johtuvat kaukokuljetuksen ja murskauksen polttoaineen kulutuksen välisestä yhteisvaikutuksesta. Kaukokuljetuksen vaikutus ketjun primäärienergiapanoksiin ja kasvihuonekaasupäästöihin on suhteellisen vähäinen. Esimerkiksi kaukokuljetusmatkan kaksinkertaistuminen nostaa irtokorjuuketjun primäärienergiapanosta n. 15 % ja vastaavasti paalausketjun panosta n. 7 %. Suhteelliset vaikutukset ketjujen kasvihuonekaasupäästöihin ovat vielä pienempiä.



Kuva 22. Kaukokuljetusmatkan vaikutus moottoripolttoaineiden kulutukseen.

4.4.5 Ruokohelven tuotannon kustannukset ja tuet

Ruokohelven viljelyn, korjuun ja kaukokuljetuksen kustannukset esitetään kuvassa 23 (Pahkala ym. 2005, Rinne ym. 2005b). Irtokorjuun kokonaiskustannus valmiille polttoaineelle huomioituna on 725 €/ha (25,6 €/MWh, jos sato on 6 t_{ka}/ha) ja paalauksen 740–789 €/ha (26,2–27,9 €/MWh) sen mukaan, murskataanko paalit laitoksen kiinteällä murskalla vai mobiilimurskaimella. Kokonaiskustannuksesta suurimman erän muodostavat pellon arvo, korjuu ja kaukokuljetus voimalaitokseen.



Kuva 23. Ruokohelven viljelyn, korjuun ja voimalaitokseen kuljetuksen kustannukset (mob.murskain = maatalouden paalisilppuri ja vl-murskain = voimalaitoksen kiinteä murskain).

Ruokohelven saamat tuet energiakasvituotannossa vuonna 2006 ovat taulukossa 15. Tuki määräytyy tukialueen ja tilan tuotantosuunnan perusteella. Tukialueet esitetään liitteessä L.

Taulukko 15. Ruokohelven saamat tuet (€/ha) vuonna 2006 (Pahkala ym. 2005). Tuet saadaan yksikköön €/MWh jakamalla tuki luvulla 28,3 MWh/ha.

Tukikäyttö M, muu käyttö	Tukialue					
	A	B	C1	C2	C3	C4
CAP-tilatuki	253	203	203	177	177	177
LFA-tuki	150	200	200	210	210	210
LFA:n kansallinen lisäosa	15	15	10	10	10	10
Ympäristötuki						
- Kasvinviljelytila	116,89	116,89	116,89	116,89	116,89	116,89
- Kotieläintila	140,44	140,44	140,44	140,44	140,44	140,44
- Ympäristötuen kansallinen lisäosa	6,00	6,00				
Yleinen hehtaarituki	-	-	-	34	50	101
Energiakasvien tuki	45	45	45	45	45	45
Tuet yhteensä kasvinviljelytilalla	586	586	575	593	609	660
Tuet yhteensä kotieläintilalla	609	609	598	606	632	683

Ottamalla huomioon ruokohelven tuotannon kokonaiskustannukset, polttoaineesta saava hinta (samaa suuruusluokkaa kuin turpeen hinta) ja maatalouden tuet on ruokohelven viljely kannattavaa viljelijälle. Sitä voidaan verrata ohran viljelyn kannattavuuteen. Päästökaupan seurauksena hiilidioksidipäästöttömien polttoaineiden kannattavuus on parantunut ja saattaa parantua tulevaisuudessa entisestään. Ilman maatalouden tukia kummankaan viljely ei nykyhinnoilla kuitenkaan ole kannattavaa.

4.5 Oiki

4.5.1 Oljen tuotantopotentiaali

Suomen vilja-ala on noin 1,2 miljoonaa hehtaaria, joka sisältää kaikki viljakasvit. Alalta syntyvästä oljesta arviolta 20 % käytetään eläinten kuivikkeena. Kuivikekäyttö pois lukien on oljen laskennallinen energiamäärä noin 9 TWh, kun korjuukosteudeksi oletetaan 20 % ja sadoksi 2 t_{ka}/ha. Kun ravinnetaloudellisista ja maaperärakenteellisista syistä oletetaan olkea korjattavan samalta paikalta joka toinen vuosi, jää oljen tuotantopotentiaaliksi 4,5 TWh, jonka jakautuminen maakunnittain esitetään taulukossa 16.

Taulukko 16. Suomen vilja-ala ja käytettävissä olevan oljen määrä maakunnittain vuonna 2005 (Matilda 2005).

Maakunta	Viljalla, ha	Ylim.olki, t _{ka}	TWh, maksimi	TWh, 50 % hyöd.	TWh, 20 % hyöd.
Uusimaa ja Itä-Uusimaa	119 200	190 720	0,90	0,45	0,18
Varsinais-Suomi	196 600	314 560	1,48	0,74	0,30
Satakunta	89 800	143 680	0,68	0,34	0,14
Kanta- ja Päijät-Häme	116 900	187 040	0,88	0,44	0,18
Pirkanmaa	93 100	148 960	0,70	0,35	0,14
Kymeenlaakso ja Etelä-Karjala	79 500	127 200	0,60	0,30	0,12
Etelä-Savo	26 100	41 760	0,20	0,10	0,04
Pohjois-Savo	49 200	78 720	0,37	0,19	0,07
Pohjois-Karjala	30 000	48 000	0,23	0,11	0,05
Keski-Suomi	38 300	61 280	0,29	0,14	0,06
Etelä-Pohjanmaa	134 300	214 880	1,01	0,51	0,20
Keski-Pohjanmaa	103 500	165 600	0,78	0,39	0,16
Pohjois-Pohjanmaa	97 300	155 680	0,73	0,37	0,15
Kainuu	6 300	10 080	0,05	0,02	0,01
Lappi	2 900	4 640	0,02	0,01	0,00
YHTEENSÄ	1 183 000	1 892 800	8,93	4,47	2,23

Koko maan tasolla kauran viljelyn osuus kokonaispinta-alasta on 29 %, ohran 50 %, vehnän 18 %, rukiin 14 % ja seosviljan alle 1 %. Vuosittain eri viljojen pinta-alat ja osuudet vaihtelevat hieman, mutta kaura ja ohra ovat kuitenkin pääviljalajeja. Vehnän ja rukiin viljely sijoittuu eteläiseen Suomeen. Kauraa ja ohraa viljellään tasaisemmin koko maassa.

4.5.2 Oljen tuotantoketjut ja laskennan alkuarvot

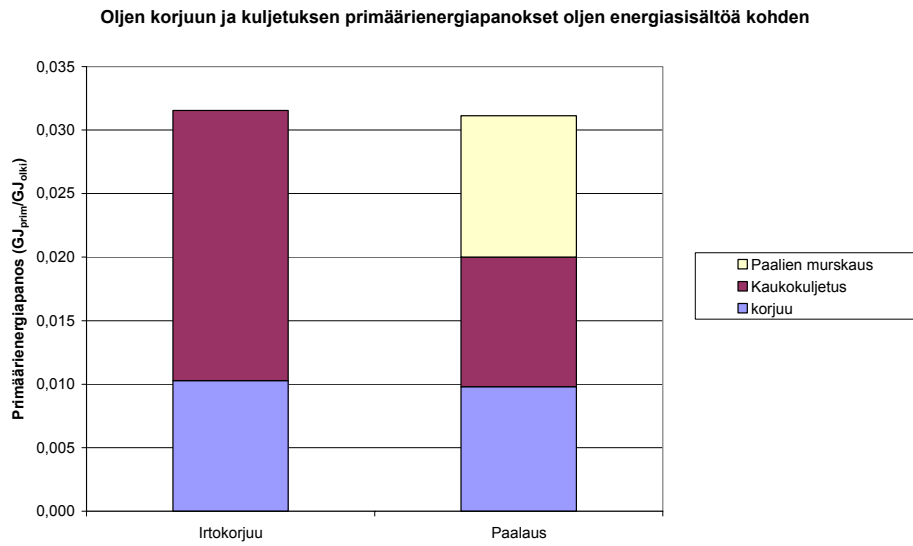
Oljen korjuuseen voidaan käyttää samoja korjuuketjuja kuin ruokohelvellä. Korjuu tapahtuu irtotavarana tai paaleina. Energiakäyttöön korjattavan oljen voidaan katsoa olevan viljan sivutuote, joka muuten jäisi pelloille. Näin ollen oljen korjuun energiapanosten ja kasvihuonekaasupäästöjen arvioinnissa lähtökohta on vastaaventyyppinen kuin metsätähteiden kohdalla. Pelloilta pois korjattujen ravinteiden kompensatiolannoitustarve arvioidaan koko kasvien ravinnepitoisuuksien mukaan, joten oljen korjuu ei sinänsä nosta lannoitustarvetta. Oljen korjuun energiapanosten ja kasvihuonekaasupäästöjen on arvioitu aiheutuvan oljen korjuun (olki niitettynä puintikarheilla) ja kuljetuksen sekä mahdollisen paalauksen ja paalien murskauksen moottoripolttoaineen kulutuksesta. Korjuuketjujen alkuarvot esitetään liitteessä M. Ruokohelvestä poiketen korjuuketjuun on lisätty karheamistyövaihe, jolla saadaan silppuamisen ja paalauksen työsaavutusta lisättyä ruokohelven tasolle.

4.5.3 Oljen korjuun ja kuljetuksen primäärienergiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt

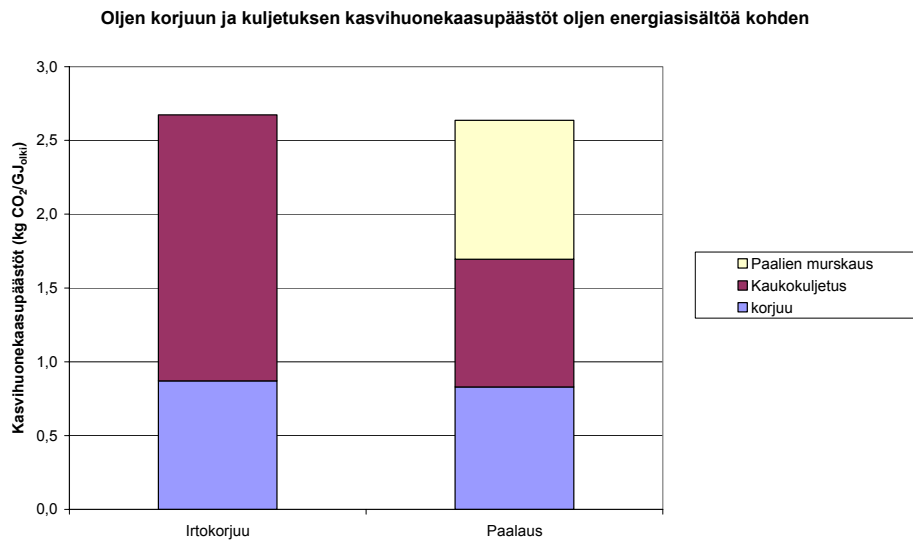
Oljen korjuun ja kuljetuksen primäärienergiankulutus esitetään kuvassa 24 ja liitteessä N. Kaukokuljetusmatkana on käytetty 70 km:ä. Irtotavaraketjussa suurin osa moottoripolttoaineen kulutuksesta aiheutuu kaukokuljetuksesta. Paalausmenetelmässä polttoaineen kulutus jakautuu tasaisesti korjuun, kaukokuljetuksen ja paalien murskauksen kesken. Irtokorjuuketjun moottoripolttoaineen kulutus on 2,75 l/MWh ja paalauksen 2,72 l/MWh, joten kokonaiskulutuksessa ei tehdyillä oletuksilla ole ketjujen välillä juurikaan eroa.

Oljen korjuun ja kuljetuksen moottoripolttoaineen kulutuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt oljen energiasisältöä kohden esitetään kuvassa 25 ja liitteessä N. Kasvihuonekaasupäästöihin pätevät samat kommentit kuin edellä on esitetty primäärienergiankulutuksesta.

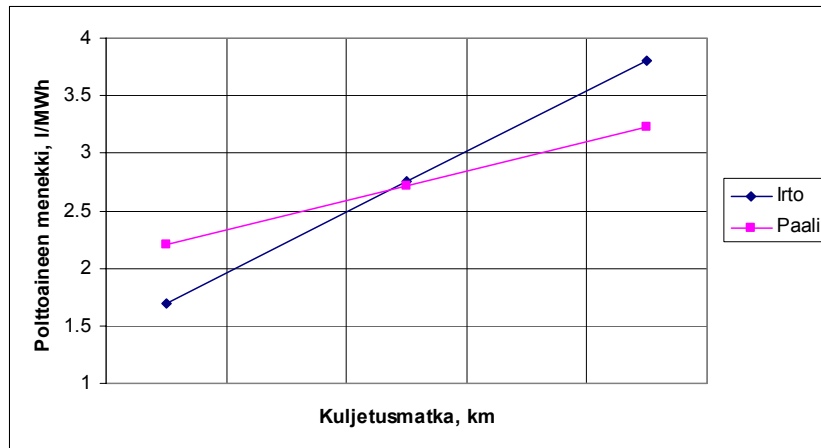
Kaukokuljetusmatkan vaikutus moottoripolttoaineiden kokonaiskulutukseen irtokorjuu- ja paalausmenetelmällä esitetään kuvassa 26. Lyhyillä kaukokuljetusmatkoilla irtokorjuuketjun kokonaiskulutus on pienempi kuin paalausketjun ja pitkillä matkoilla tilanne on päinvastoin. Syyt tähän ovat samat kuin ruokohelven kohdalla on aikaisemmin esitetty.



Kuva 24. Oljen korjuun ja kuljetuksen primäärienergiapanokset oljen energiasisältöä kohden.



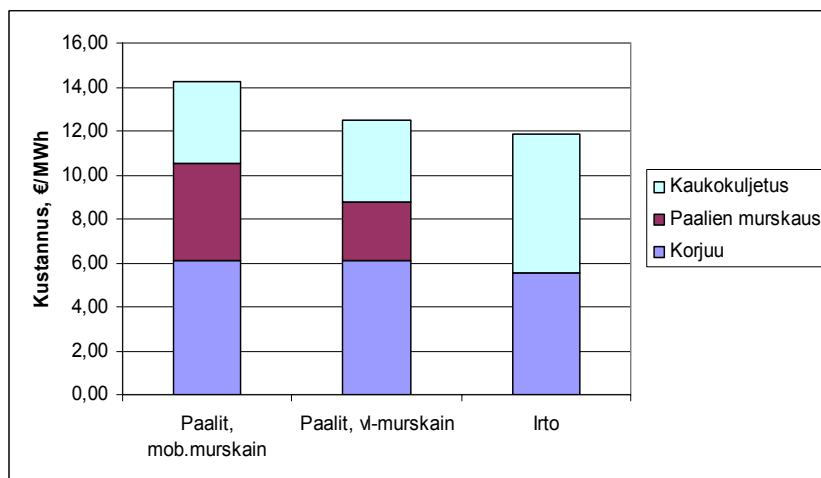
Kuva 25. Kaukokuljetusmatkan vaikutus moottoripolttoaineiden kulutukseen.



Kuva 26. Kaukokuljetusmatkan vaikutus moottoripolttoaineiden kulutukseen.

4.5.4 Oljen tuotannon kustannukset

Oljen tuotannon kustannuksissa on huomioitu korjuu, kaukokuljetus ja paalimuotoisen helven murskaus. Muiden kustannusten on oletettu sisältyvän viljan tuotannon kustannuksiin. Työvaiheiden työsaavutustiedot ovat samat kuin ruokohelvellä, samoin käyttökosteus. Oljen tuotannon kustannukset esitetään kuvassa 27.



Kuva 27. Oljen tuotannon kokonaiskustannukset (Pahkala ym. 2005, Paappanen 2006).

Oljen tuotannon kokonaiskustannus (12–14 €/MWh) on pienempi kuin ruokohelvellä (25–28 €/MWh), mutta toisaalta olki ei saa maatalouden tukia. Voimalaitoksen oljesta maksaman hinnan on tällöin katettava koko tuotantokustannus. Voimalaitoksen maksama hinta määräytyy siitä, mitä polttoainetta oljella korvataan. Oljen kilpailukyky puupolttoaineisiin verrattuna ei ole kovin hyvä, koska puupolttoaineet saavat muun muassa sähköntuotannon tukea. Vaikka olki saisi tukeakin, on puupolttoaineilla muita etuja, esimerkiksi parempi kuljetustehokkuus ja valmiit käsittelyjärjestelmät voimalaitoksessa.

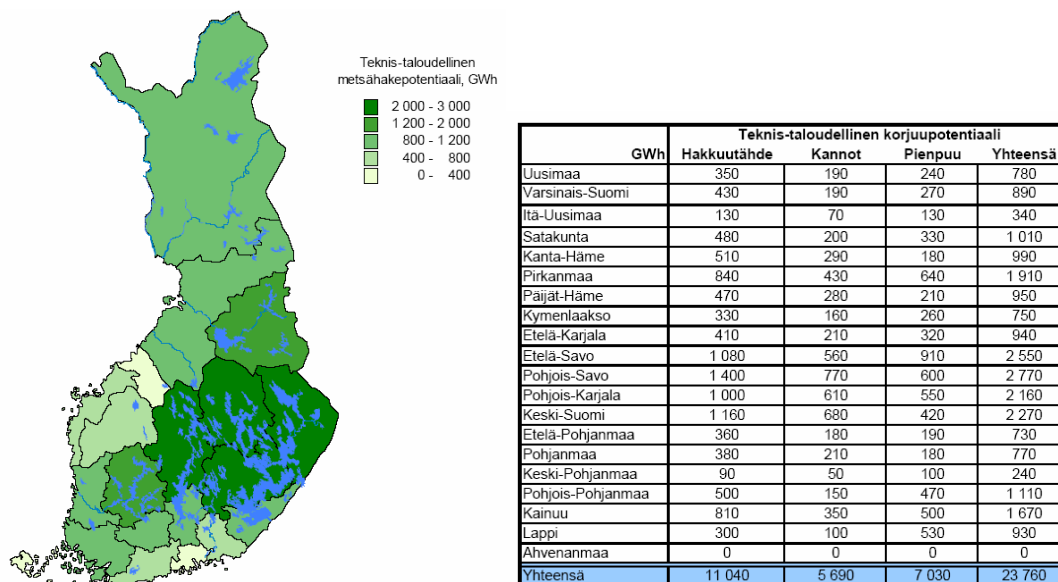
Ruokohelpeen verrattuna oljen kosteuden hallinta on haasteellisempaa ja olki sisältää myös polton kannalta enemmän haitallisia alkuaineita.

Oljen kilpailukyky kivihiileen ja turpeeseen verrattuna on päästökaupan takia parempi. Voimalaitoksen maksukyky oljesta riippuu koko polttoainevalikoimasta ja on voimalaitoskohtainen. Voidaan keskimäärin olettaa, että voimalaitoksen maksama hinta kattaa oljen tuotantokustannukset, edellyttäen, että oljen käyttö ei aiheuta merkittäviä lisäkustannuksia laitokselle. Oljen saatavuuden, polttoteknisten ominaisuuksien ja laitosten polttoaineen käsittelyjärjestelmien takia olki voi olla vain sivupolttoaine. Kattilan lämmönsiirtopintojen likaantuminen voi olla merkittävämpää kuin ruokohelvellä, mutta laajempaa kokemusta tästä ei ole. Metsähakkeella tehtyjen tutkimusten perusteella likaantumisen aiheuttamat kustannukset ovat olleet pienemmät kuin hakkeen aiheuttamat säästöt kivihiiltä tai turvetta korvattaessa, mikä voi olla tilanne myös olkea käytettäessä.

4.6 Metsähake

4.6.1 Tuotantopotentiaali

Metsähakkeen teknis-taloudellinen tuotantopotentiaali koko Suomessa vuonna 2010 on arviolta noin 23,8 TWh, joka sisältää hakkuutähteet, kannot ja pienpuun. Potentiaalिन jakautuminen maakunnittain esitetään kuvassa 28 (Electrowatt-Ekono 2005). Suurimmat tuotantopotentiaalit ovat Keski-Suomen, Etelä- ja Pohjois-Savon sekä Pohjois-Karjalan maakunnissa.



Kuva 28. Metsähakkeen teknis-taloudellinen korjuupotentiaali (Ranta 2004, Electrowatt-Ekono 2005).

4.6.2 Tuotantoketjut ja laskennan alkuarvot

Metsähakkeen tuotantoketjuista otettiin tarkasteluun kuusi eri ketjua, joissa kolmen ketjun raaka-aineena oli hakkuutähde, kahden harvennusten pienpuu ja yhden päätehakkuaalojen kannot. Tuotantoketjuja olivat

- 1) hakkuutähdehake, välivarastohaketus
- 2) risutukkimenetelmä, käyttöpaikkahaketus
- 3) irtorisumenetelmä, käyttöpaikkahaketus
- 4) kannot, käyttöpaikkahaketus
- 5) pienpuu, välivarastohaketus
- 6) pienpuu, käyttöpaikkahaketus.

Kaikki tarkastellut metsähakkeen tuotantomenetelmät ovat käytäntöön vakiintuneita menetelmiä. Niiden moottoripolttoaineen ja sähkön kulutukset laskettiin tyypillisissä leimikko-oloissa ja tyypillisillä konekalustoilla. Metsähakkeen tuotannon metsäpään alkuarvot saatiin eri metsätutkimusorganisaatioiden tekemistä tutkimuksista ja niitä täydennettiin tarvittaessa konevalmistajien ja urakoitsijoiden haastatteluilla. Kaukokuljetuksen moottoripolttoaineen kulutus ja käyttökosteudet saatiin VTT:n pitkäaikaisista seurantatutkimuksista. Ketjukohtaiset korjuukalustot ja laskennan alkuarvot esitetään tarkemmin liitteessä O.

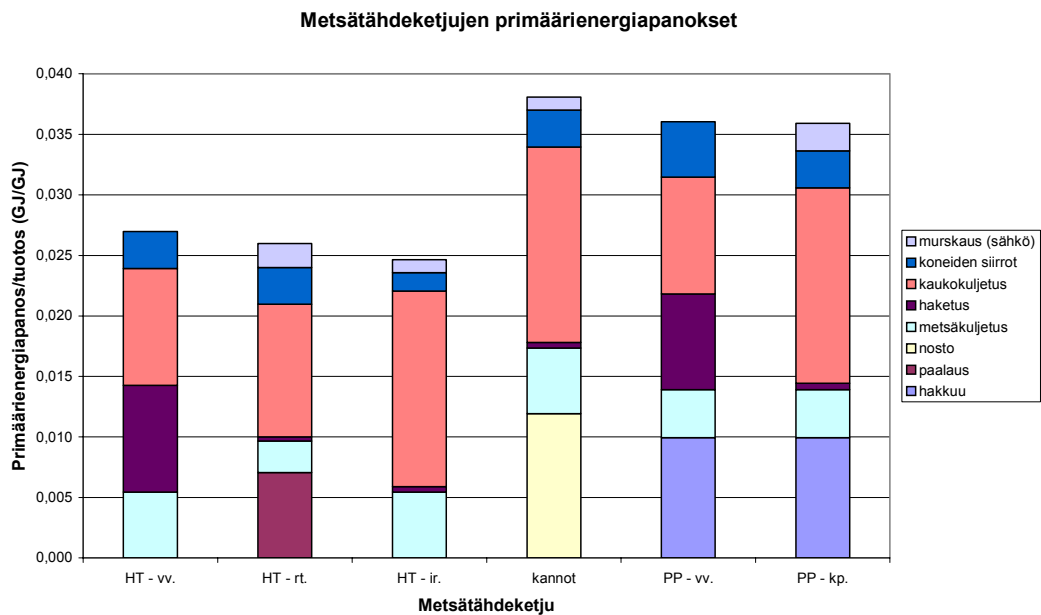
4.6.3 Metsähakkeen tuotantoketjujen primäärienergiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt

Päätehakkuiden ajankohta määräytyy ainespuun kysynnän ja hinnan perusteella. Näin ollen metsätähteet syntyvät palstalle riippumatta siitä, kerätäänkö ne talteen vai ei. Sen vuoksi tässä työssä ei ole kohdennettu metsityksen, ainespuun hakkuiden eikä metsien lannoituksen energiantarvetta eikä päästöjä metsätähteille (ks. kohdat 3.1 ja 3.3.4).

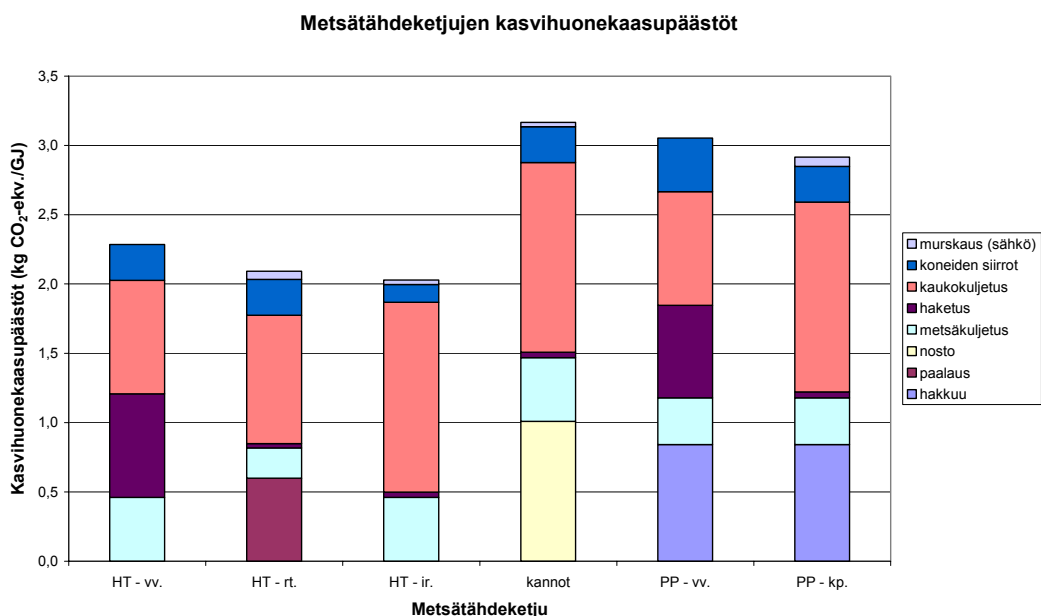
Metsähakkeen tuotantoketjujen energiankulutus koostuu tähteiden korjuun, kuljetusten ja haketuksen moottoripolttoaineiden ja sähkön kulutuksesta. Kuvassa 29 ja liitteessä P esitetään primäärienergiana tuotantoketjujen eri vaiheiden energiapanokset metsätähteen energiasisältöä kohden. Hakkuutähteen tuotantoketjujen primäärienergiankulutus on pienin ja kantojen tätä jonkin verran suurempi. Pienpuuhakkeen tuotannon primäärienergiankulutus on puolestaan samaa luokkaa kuin kantojen. Kantojen ja pienpuun korkeammat primäärienergiankulutukset selittyvät kantojen nostosta ja toisaalta hakkuusta aiheutuvilla suhteellisen korkeilla polttoaineen kulutuksilla.

Metsähakkeen tuotantoketjujen kasvihuonekaasupäästöt esitetään kuvassa 30 ja liitteessä P. Koska päästöjen on arvioitu aiheutuvan ainoastaan metsätähteiden korjuusta, kul-

jetuksista ja haketuksesta, eri ketjujen keskinäiset suuruuserot ovat päästöissä ja eri teki-
joiden vaikutuksissa päästöihin vastaavia kuin primäärienergiapanoksissa.

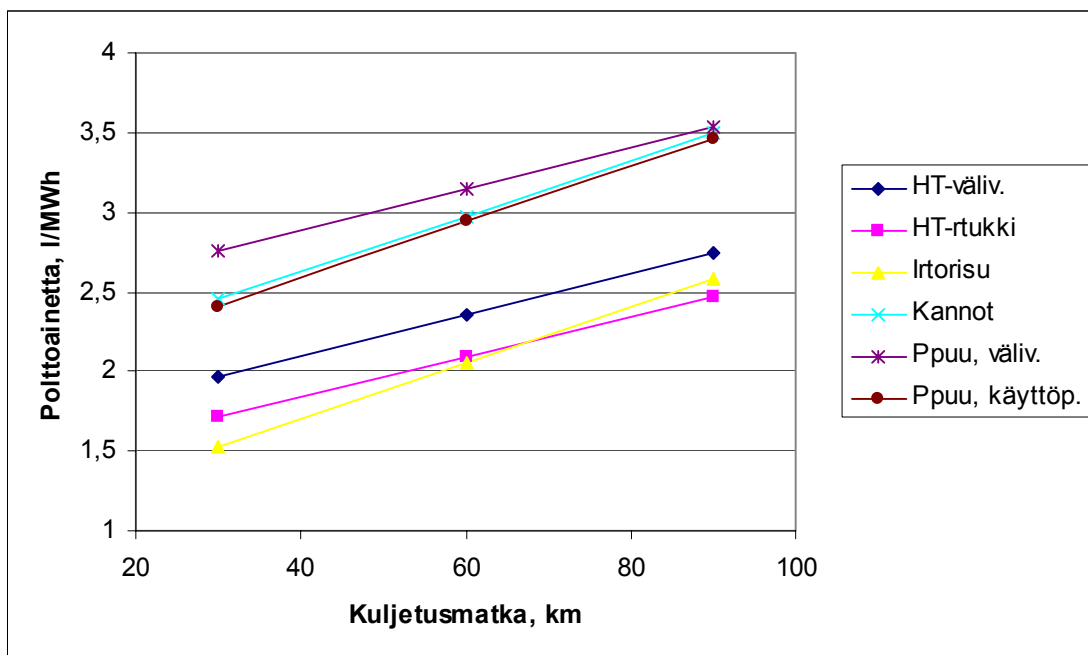


Kuva 29. Metsätähdeketjujen primäärienergiapanokset metsätähteen energiasisältöä
kohden (HT = hakkuutähde, PP = pienpuu, vv = välivarastohaketus, rt = risutukki, ir =
irtorisu ja kp = käyttöpaikkahaketus).



Kuva 30. Metsätähdeketjujen kasvihuonekaasupäästöt metsätähteen energiasisältöä
kohden (HT = hakkuutähde, PP = pienpuu, vv = välivarastohaketus, rt = risutukki ja
kp = käyttöpaikkahaketus).

Tässä työssä metsätähteiden tai -hakkeen kaukokuljetusmatkan on oletettu olevan 60 km. Kaukokuljetusmatkan vaikutus moottoripolttoaineen kokonaiskulutukseen esitetään kuvassa 31. Vaikka kaukokuljetus muodostaakin merkittävän osan ketjujen energiankulutuksesta ja siitä aiheutuvista kasvihuonekaasupäästöistä, eivät nämä nouse merkittäviksi, vaikka kuljetusmatka kaksinkertaistuisi. Esimerkiksi 60 km:n muutos kuljetusmatkassa kasvattaa tähteen energiasisältöä kohden laskettua polttoaineen kulutusta n. 1 l/MWh. Tämä tarkoittaa n. 0,01 GJ/GJ lisäystä kuvan 29 primäärienergiapanokseen ja vajaan 1 kg CO₂-ekv./GJ lisäystä kuvan 30 kasvihuonekaasupäästöihin.



Kuva 31. Kaukokuljetusmatkan vaikutus metsähakkeen tuotantoketjujen polttoaineen kulutukseen.

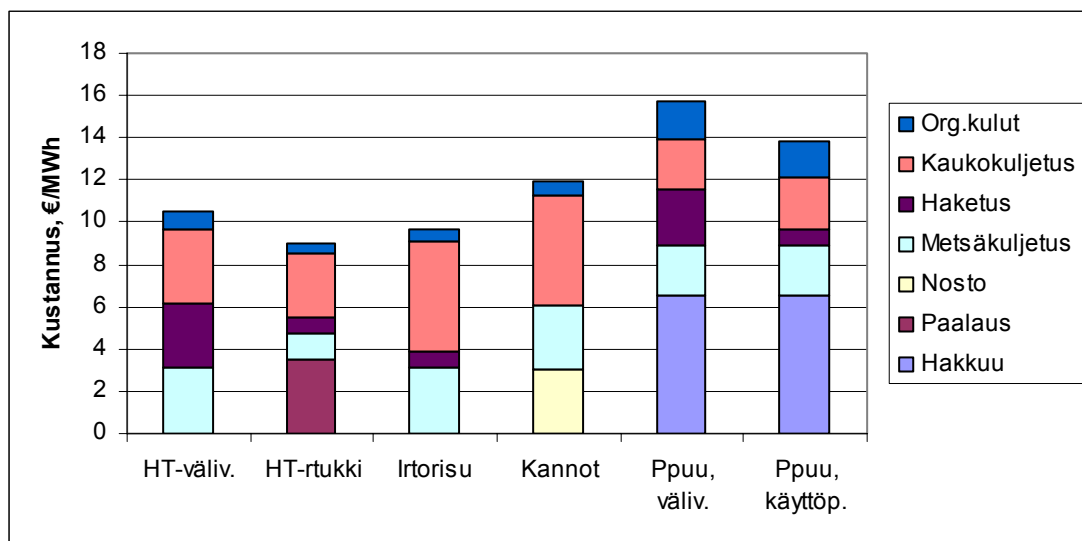
Metsätähteiden korjuun on kuitenkin todettu alentavan maaperän hiilitasetta. Mallilaskelmien mukaan hakkuutähteistä maaperään sitoutuvan hiilen määrä 100 vuoden kiertokäytöllä on keskimäärin n. 11 % hakkuutähteen sisältämän hiilen määrästä, vaihdellen hakkuutähteen koostumuksen mukaan (Wihersaari 2005). Kun hakkuutähteiden tai niistä valmistetun polttoaineen polton yhteydessä tämä hiilimäärä, joka muuten olisi sitoutunut maaperään, vapautuu, se vastaa hakkuutähteiden energiasisältöön suhteutettuna n. 11–13 kg CO₂-ekv./GJ, riippuen mm. tähteiden koostumuksesta, saannosta ja kosteudesta (Wihersaari 2005). Määrä on moninkertainen hakkuutähteiden korjuun, kuljetuksen ja haketuksen polttoaineen ja sähkön kulutuksesta aiheutuviin päästöihin (kuva 10) verrattuna. Maaperän hiilitaseen alentumisen huomioiminen nostaa hakkuutähteiden kasvihuonekaasupäästöt tasolle 14 kg CO₂-ekv./GJ. Arvioon sisältyy kuitenkin merkittäviä epävarmuuksia.

Typen kompensatiolannoitus voi tulla kyseeseen, jos metsätähteiden talteenotto on hyvin intensiivistä tai talteenotto tapahtuu typpiköyhillä metsämailla. Wihersaaren ja Palosuon (2000) arvion mukaan typen kompensatiolannoitteen valmistus, kuljetus ja levitys sekä lannoituksesta aiheutuva maaperän typpioksiduulipäästö voisivat yhdessä aiheuttaa kasvihuonekaasupäästön, joka vastaa suuruusluokaltaan n. 2 kg CO₂-ekv./GJ (Wihersaari 2005).

Mahdolliset muutokset maaperän hiilitaseessa ja mahdollinen typen kompensatiolannoitus voivat siis yhdessä nostaa hakkuutähteiden korjuun kasvihuonekaasupäästöt tasolle 16 kg CO₂-ekv./GJ, kun pelkän korjuun moottoripolttoaineen ja sähkön kulutuksesta aiheutuvat päästöt ovat n. 2 kg CO₂-ekv./GJ.

4.6.4 Tuotannon kustannukset ja tuet

Metsähakkeen tuotannon kustannukset esitetään kuvassa 32. Pienimmät tuotantokustannukset ovat risutukki- ja irtorisumenetelmässä 9–10 €/MWh. Hakkuutähdehakkeen välivarastohaketuksen kustannukset ovat noin 10 €/MWh. Kantojen tuotantokustannukset ovat noin 12 €/MWh ja pienpuun kustannukset ovat 14–16 €/MWh.



Kuva 32. Metsähakkeen tuotannon kustannukset (Harstela 2004, Asikainen 2001).

Pienpuun korjuuseen voi saada Kemera-tukia, jos leimikko täyttää tuelle asetetut ehdot. Tukia ovat korjuu-, harvennus- ja haketustuki. Tuet ovat puumäärä- tai hehtaarikohtaisia (taulukko 17), ja lisäksi harvennustuki määräytyy tukivyöhykkeen perusteella (liite L). Ottaen huomioon tyypillinen hehtaarikohtainen puukertymä on pienpuun saamien tuki-en yhteismäärä 604–689 €/ha tukivyöhykkeen mukaan. Energiayksikköä kohti tuki on siis tyypillisesti 8–9,1 €/MWh (taulukko 17). Kantopuu ei saa varsinaista korjuutukea,

mutta tapauskohtaisesti kannon nostoon voidaan myöntää juurikäävän torjuntaan tarkoitettuja tukia riskialttiilla alueilla. Kuusen juurikäävän riskialueen pohjoisraja on Etelä-Pohjanmaan, Keski-Suomen, Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan metsäkeskusten pohjoisraja. Tuen määrä on 0,44 € hakattua ainespuu-m³:ä kohti, mikä tyypillisessä leimikossa tarkoittaa 110 €/ha eli 0,7 €/MWh.

Taulukko 17. Pienpuun ja kantojen saamat korjuutuet (Metsä vastaa -verkkopalvelu 2006).

	Pienpuu	Kannot	€/ha Pienpuu	€/ha Kannot
Korjuutuki ¹⁾ , €/korjattu-m ³	7		245,0	
Harvennustuki, I - III alue, €/ha	210,5 - 294,7		210,5 - 294,7	
Haketustuki ²⁾ , €/hake-m ³	1,7		148,8	
Juurikäävän torjunta ³⁾ , €/m ³		0,44		110
YHTEENSÄ, €/ha			604 - 689	110
YHTEENSÄ, €/MWh			8 - 9,1	0,7
¹⁾ Pienpuun kertymä 35 m ³ /ha, ²⁾ 1k-m ³ on 2,5 i-m ³ ³⁾ Ainespuun kertymä 250 m ³ /ha				

5. Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto, varastointi ja jakelu

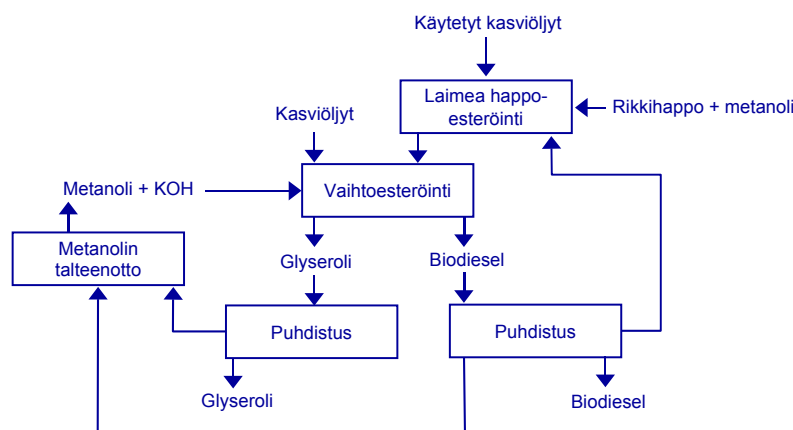
5.1 Biodiesel (RME)

5.1.1 Prosessikuvaus

Kasviöljyt eivät sovi sellaisenaan nykyisten ajoneuvojen polttoaineeksi. Kasviöljyt voidaan vaihtoesteröidä alkoholin kanssa viskositeetin ja kylmäominaisuuksien säätämiseksi dieselkäyttöön soveltuvaksi. Yleensä vaihtoesteröintiin käytetään metanolia, jolloin kasviöljyjen rasvahapot ja metanoli reagoivat muodostaen rasvahappojen metyyliestereitä (FAME), ns. biodieseliä, sekä glyserolia.

Biodieseliä voidaan valmistaa monista raaka-aineista. Yleisin raaka-aine on rypsi tai rapsi, muita raaka-aineita ovat auringonkukkaöljy ja erityisesti Yhdysvalloissa soijaöljy. Euroopassa noin 95 % biodieselistä tuotetaan rapsista tai rypsistä (Körbitz ym. 2003). Suomessa yleisin öljykasvi on rypsi (biodieseltuotteena RME, rypsimetyyliesteri). Ete-läisimmässä Suomessa voitaisiin raaka-aineena käyttää myös rapsia. Uusimmissa tuotantolaitoksissa Euroopassa hyödynnetään raaka-aineena myös ravintoloiden ja elintarviketeollisuuden käytettyjä kasviöljyjä, lisäksi tarkastellaan mahdollisuuksia eläinrasvojen hyödyntämiseen raaka-aineena.

Rypsimetyyliesterin valmistuksessa siemenet puristetaan ensin mekaanisesti, jolloin saadaan raakarypsiöljyä ja valkuaispitoiseksi eläinrehuksi kelpavaa kiinteää jäännöstä eli rypsirouhetta. Kuumapuristuksella saadaan kylmäpuristusta hieman korkeampi öljysaanto. Kiinteä jäännös voidaan vielä uuttaa liuottimilla, esimerkiksi heksaanilla, jolloin öljysaanto paranee. Rypsimetyyliesteriä saadaan esteröimällä raakarypsiöljy metanolilla. Sivutuotteena syntyy glyserolia. Biodieselin valmistuksen perusprosessi esitetään kuvassa 33.



Kuva 33. Biodieselin valmistuksen perusprosessi (AFDC 2004).

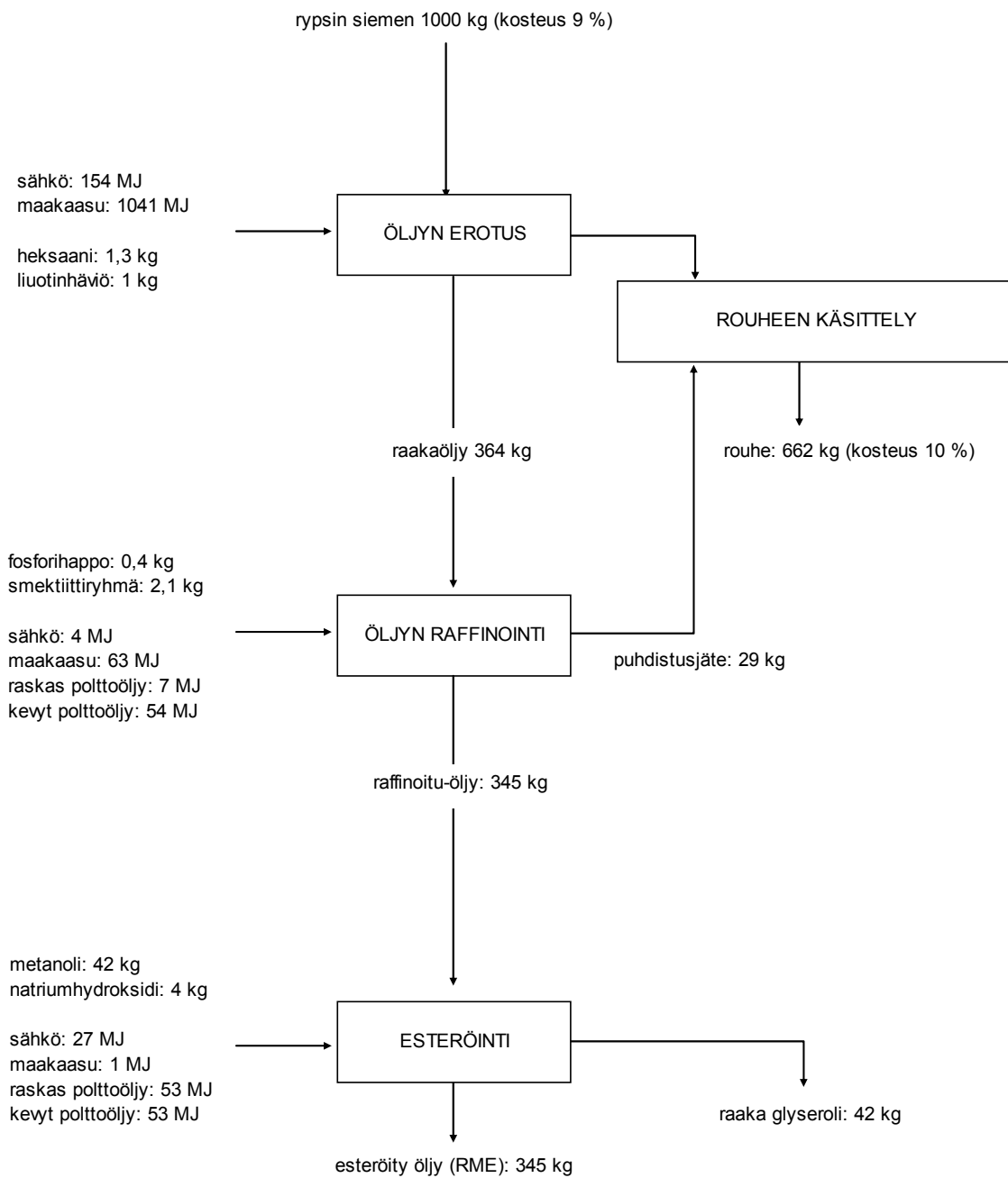
Useat eri tahot ovat kehittäneet Suomessa viime vuosikymmeninä vaihtoehtoisia kasviöljyestereiden tuotantokonsepteja eri kokoluokkiin. Tällä hetkellä ei ole tietävästi käynnissä hankkeita, joissa suunniteltaisiin Suomeen RME:n tehdasmittakaavaista tuotantoa (laitoksen tuotanto useita kymmeniä tuhansia tonneja vuodessa). Kasviöljy voidaan esteröidä RME:ksi myös pienehköissä laitoksissa. Maatilakokoluokan RME-tuotanto on käynnistynyt ja laitteita on myyty 20–30 maatilalle Suomessa.

Pienimuotoisessa RME:n tuotannossa rypsiöljy puristetaan tilan omasta rypsisadosta. Sekä esteröity öljy että sivutuotteena syntyvä rypsipuriste hyödynnetään samalla tilalla tai myydään paikallisilla markkinoilla. Pienimuotoinen rypsiöljyn puristaminen ja esteröinti voi olla kuljetus- ja kaupankäyntikustannuksissa syntyvien säästöjensä vuoksi kilpailukykyistä verrattuna suuren mittakaavan tuotantoon. Kustannustehokkuus edellyttää kuitenkin käytännössä merkittävää mautilojen välistä yhteistyötä. (KTM 2006.)

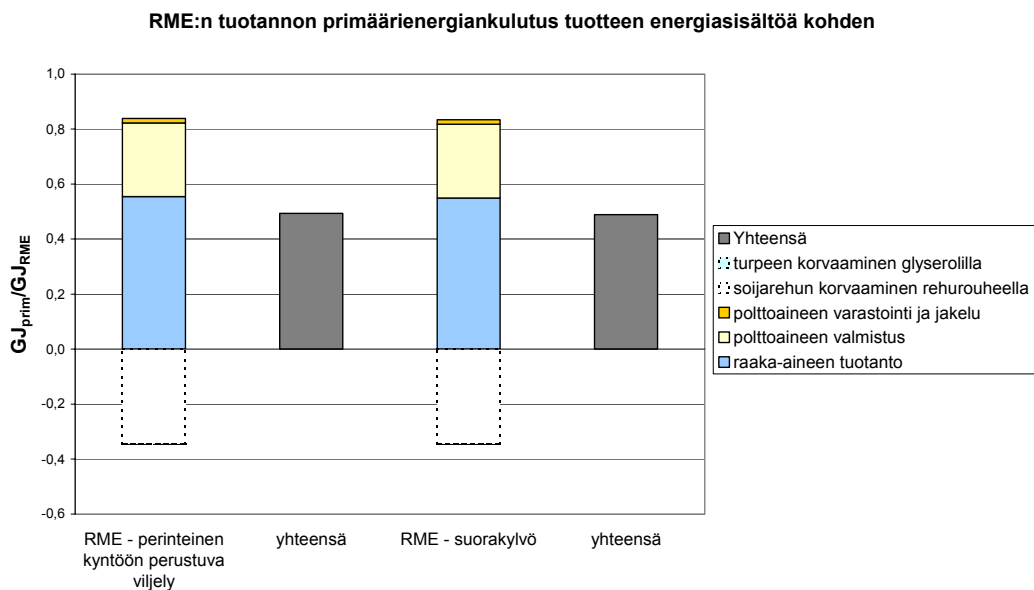
5.1.2 Massa- ja energiataseet

Tehdasmittakaavaisen RME:n tuotannon massataseet ja energiapanokset on arvioitu Elsayedin ym. (2003) raportin perusteella ja ne esitetään kuvassa 34. Energiapanokset on muutettu primäärienergiaksi kohdassa 3.3 esitettyjen periaatteiden perusteella. Tuotannon energiatase on arvioitu laskennassa käytettyjen rypsin siemenen ja RME:n lämpöarvojen perusteella, jotka esitetään kohdissa 3.3.9 ja 4.2.

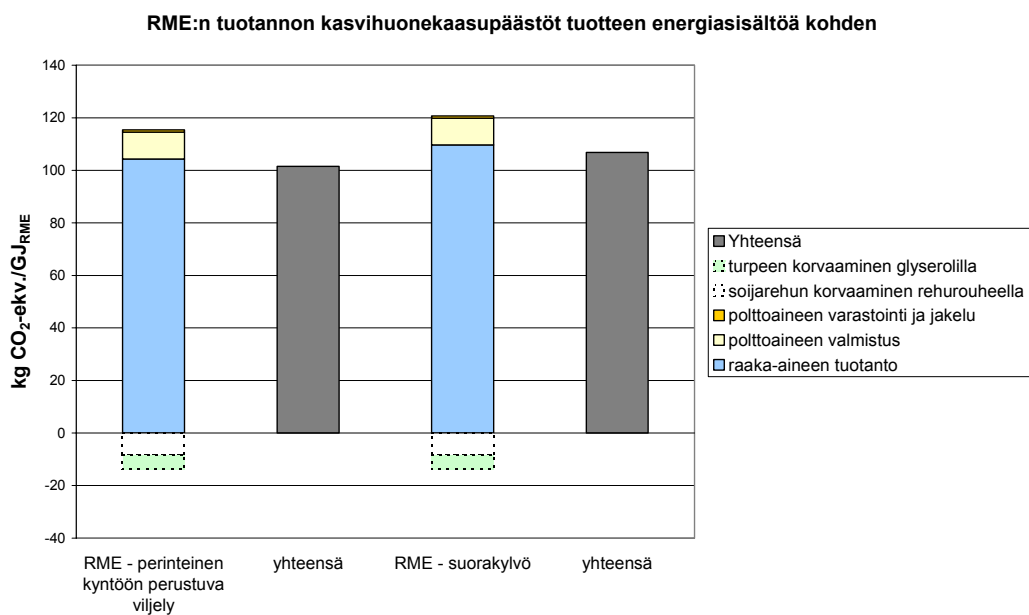
RME:n tuotantoprosessin höyryn kulutukseksi rypsin siemenmassaa kohden on Elsayedin ym. (2003) raportin perusteella oletettu 994 kg/t. Höyry on oletettu tuotettavan maakaasulla 88 %:n hyötysuhteella, joten maakaasun käytön höyrymassaa kohden on arvioitu olevan 2,3 MJ/kg. RME:n tuotantoprosessin primäärienergiapanos tuotetun polttoaineen energiasisältöä kohden on n. 27 % ja kasvihuonekaasupäästöt n. 10 kg CO₂-ekv./GJ. Koko raaka-aineiden ja tuotantoketjun primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaselaskelmat esitetään kuvissa 35 ja 36 sekä liitteessä G. Prosessissa syntyvällä rehuruuheella on oletettu korvattavan Yhdysvalloista tuotavaa soijarehua ja glyserolilla puolestaan polttoaineturvetta. Rehuruheen korvaus vaikuttaa RME:n primäärienergiapanokseen suhteessa enemmän kuin kasvihuonekaasupäästöihin (kuvat 35 ja 36).



Kuva 34. Tehdasmittakaavaisen RME:n tuotannon massataseet ja energiapanokset. Rypsin siemenen ja rehuruheen massat on ilmoitettu märkämassoina.



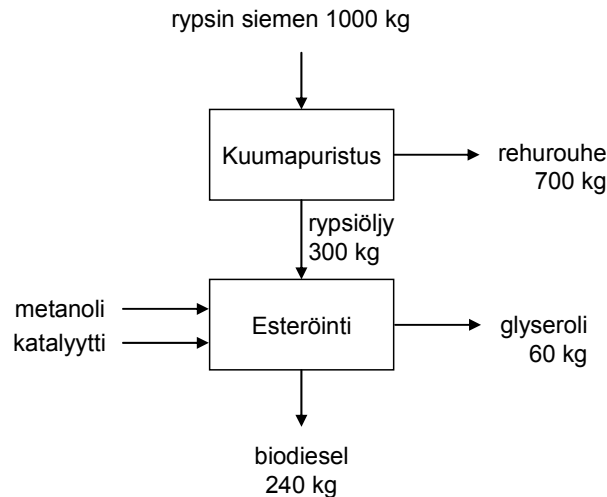
Kuva 35. RME:n tuotannon primäärienergiapanos RME:n energiasisältöä kohden raaka-aineen tuotannosta polttoaineen jakeluun. Viljelyketjuina on tarkasteltu perinteistä kylvöön perustuvaa viljelyä (ketju A, taulukko 14) ja suorakylvöä (ketju D, taulukko 14).



Kuva 36. RME:n tuotannon kasvihuonekaasupäästöt RME:n energiasisältöä kohden raaka-aineen tuotannosta polttoaineen jakeluun. Viljelyketjuina on tarkasteltu perinteistä kylvöön perustuvaa viljelyä (ketju A, taulukko 14) ja suorakylvöä (ketju D, taulukko 14).

Maatilamittakaavaisen tuotannon massataseet ja energiapanokset perustuvat KTM:n Liikenteen biopolttoaineet -työryhmän mietinnössä esitettyyn, MTT:n tekemään arvioon

ja Limetti Oy:n Juha Solion esittämiin tietoihin (Solio 2005). Prosessin lohkokaaavio ja massatase esitetään kuvassa 37. Prosessissa on käytetty kuumapuristusta. Prosessin primäärienergian kulutus ja kasvihuonekaasupäästöt tuotetun polttoaineen energiasisältöä kohden ovat samaa suuruusluokkaa tehdasmittakaavaisen tuotannon kanssa.



Kuva 37. RME:n tuotanto maatilamittakaavassa. Rypsin siemenen ja rehuruuheen massat on ilmoitettu märkämassoina. (KTM 2006, Solio 2005.)

5.1.3 Investointi- ja tuotantokustannukset

Tehdasmittakaavaisen öljynpuristamon ja esteröintilaitoksen investointikustannuksiksi arvioitiin noin 17 miljoonaa euroa, kun tuotanto on 27 600 t RME/a (24 600 toe/a). Tarvittava rypsin viljelypinta-ala on tällöin 50 000 ha. RME:n tuotantokustannuksiksi arvioitiin 0,49 €/l, joka vastaa noin 14,5 €/GJ.

Tuotantokustannusten laskentaperusteet esitetään kohdassa 3.4. Rypsin siemenen hintana käytettiin 220 €/tonni (rypsin siemenen viimeaikainen markkinahinta Suomessa). Vuosikustannuksista vähennettiin sivutuotteiden arvo. Valkuaisrehuna käytettävän rypsirouheen hintana käytettiin 200 €/tonni ja glyserolin 100 €/tonni. Glyserolin hinta vastaa sen arvoa polttoaineena.

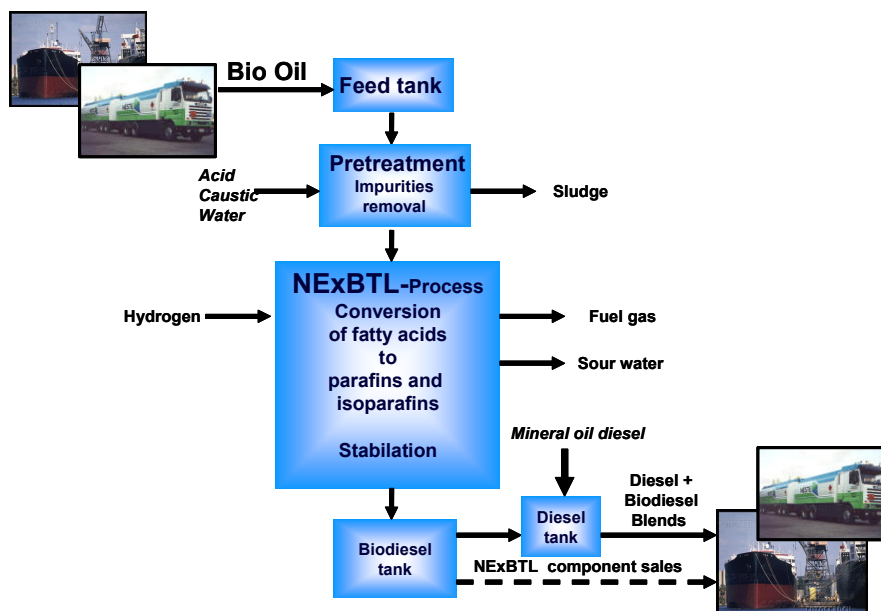
Tehdasmittakaavassa biodieseliä tuotetaan kuitenkin yleensä erillisissä esteröintilaitoksissa, jotka ostavat raaka-aineen puristettuna kasviöljynä markkinoilta. Rapsi- ja rypsiöljyn hinta on viime aikoina ollut suhteessa huomattavasti korkeampi kuin rypsin siemenen, joten RME:n tuotantokustannukset nousevat erillisessä esteröintilaitoksessa korkeiksi. Rapsi- ja rypsiöljyn markkinahinta on ollut tasolla 500 €/t; viime elokuussa hinta oli jopa 680 €/t (Mattila 2006). Jos rypsiöljyn hinta on 500 €/t, RME:n esteröintikustannukset olisivat noin 21 €/GJ.

Maatilamittakaavaisen (kapasiteetti on 400 l/d) kuumapuristimen ja esteröintilaitteiston hinta on noin 25 000 euroa (Solio 2005). Jos RME:n vuotuinen tuotantomäärä on noin 60 000 tonnia, RME:n tuotantokustannukset ovat arviolta 0,68 €/l, joka vastaa noin 20 €/GJ.

Maatilamittakaavaisen tuotannon osalta tuotantokustannusarviossa oletettiin, että yhden RME-tonnin tuottamiseen tarvitaan työtunteja noin 20 ja sähköä 820 kWh. Rypsin siemenen hintana käytettiin 220 €/tonni (rypsin siemenen viimeaikainen markkinahinta Suomessa). Sähkön hinta laskelmissa oli 80 €/MWh. Laskennassa käytettiin 5 %:n korkokantaa ja 10 vuoden pitoaikaa. Vuosikustannuksista vähennettiin sivutuotteiden arvo. Valkuaisrehuna käytettävän rypsirouheen hintana käytettiin 200 €/tonni ja glyserolin 100 €/tonni.

5.2 Biodiesel (NExBTL)

Neste Oil on kehittänyt uudentyyppisen biodieselprosessin (kuva 38), jossa tuotetaan kasviöljyistä ja eläinrasvoista hiilivedyistä koostuvaa biodieselpolttoainetta perinteisen rasvahappoestereistä muodostuvan biodieselin sijasta. Tuotteen kaupallinen nimi on NExBTL. Ensimmäinen laitos, tuotantokapasiteetiltaan 170 000 t/a, on rakenteilla Neste Oilin Porvoon jalostamolle, ja tuotanto käynnistyy syksyllä 2007. Prosessin raaka-aineina on kaavailtu käytettävän esimerkiksi Malesiasta tuotavaa palmuöljyä, jäterasvoja ja rypsiöljyä.



Kuva 38. Neste Oilin NExBTL-prosessi (lähde: Neste Oil Oyj).

Neste Oil Oyj:stä saatujen tietojen mukaan NExBTL-prosessissa kuluu vetyä n. 30–33 kg, sähköä 0,7 GJ_{prim} ja höyryä 1,4 GJ_{prim} NExBTL-dieseltonnia kohden. Lisäksi kuluu hyvin vähäisiä määriä tiettyjä kemikaaleja ja vettä. Tuotteina syntyy NExBTL-dieselin lisäksi pieniä määriä biobensiiniä (n. 0,01 t/t_{NExBTL}) ja polttokaasua (0,06–0,07 t/t_{NExBTL}) sekä vähäinen määrä lietettä, vettä ja hiilidioksidia (Gust 2006).

Tässä työssä laskettiin karkeasti NExBTL-dieselin primäärienergiantarve ja kasvihuonekaasutaseet, jos raaka-aineena käytetään kotimaista rypsiöljyä. Palmuöljyn tuotannosta ei ollut käytössä vastaavan taseisia tietoja kuin kotimaisista raaka-aineiden tuotantoketjuista, eikä sitä arvioitu. Rypsin tuotannon ja kuljetuksen lähtöarvot on oletettu samoiksi kuin viljelyketjussa A (kohta 4.2) ja raffinoitun rypsiöljyn lähtöarvot on otettu kohdassa 5.1.2 kuvatun RME-prosessin perusteella. Rypsiöljyn tuotannossa syntyvän rouheen on oletettu korvaavan Yhdysvalloista tuotavaa soijarehua kohdan 6.4 mukaisesti.

NExBTL-prosessissa käytetty höyry tuotetaan jalostuslaitoksella, kuten osa sähköstäkin. Loppuosa ostetaan valtakunnan verkosta. Vety tuotetaan jalostuslaitoksella maakaasusta. Neste Oil Oyj on arvioinut prosessissa käytettävän höyryn ominaispäästöksi 230 g CO₂-ekv./kWh, sähkön 250 g CO₂-ekv./kWh ja vedyn 9 000 g CO₂-ekv./kg. Prosessissa syntyvällä biopolttokaasulla voidaan korvata maakaasua ja Neste Oil Oyj:stä saatujen tietojen mukaan korvaavuuden on oletettu vähentävän prosessin primäärienergiantarvetta n. 2,8 GJ/t_{NExBTL} ja kasvihuonekaasupäästöjä 220 kg CO₂-ekv./t_{NExBTL} (Gust 2006). Näitä arvoja käytettiin NExBTL-prosessin primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseiden laskennassa. Muiden tekijöiden vaikutus prosessin taseeseen on niin vähäinen, ettei niitä huomioitu. NExBTL:n varastoinnin, jakelun ja annostelun primäärienergiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt arvioitiin dieselöljyn arvojen perusteella (ks. kohta 3.3.8).

Laskennan tuloksena syntyneet arviot NExBTL-dieselin primäärienergiantarpeesta ja kasvihuonekaasupäästöistä tuotteen energiasisältöä kohden esitetään taulukossa 18. Raaka-aineen tuotanto ja kuljetus muodostavat n. 75 % primäärienergiankulutuksesta ja peräti 95 % kasvihuonekaasupäästöistä. NExBTL-prosessin osuus on vain n. 20 % primäärienergiankulutuksesta ja alle 5 % kasvihuonekaasupäästöistä.

Taulukko 18. NExBTL-dieselin primäärienergiankulutus ja kasvihuonekaasupäästöt (WTT), jos raaka-aineena käytetään kotimaista rypsiöljyä. Rypsin viljelyketjeksi on oletettu ketju A kohdan 4.2 perusteella.

	Primäärienergiankulutus (GJ/GJ_{NExBTL})	Kasvihuonekaasupäästöt (t CO₂-ekv./GJ_{NExBTL})
Raaka-aineen tuotanto	0,366	0,108
Prosessointi	0,105	0,005
Varastointi, jakelu, annostelu	0,016	0,001
Yhteensä	0,487	0,113

5.3 Ohraetanoli

5.3.1 Prosessikuvaus

Etanolia valmistetaan pääasiassa fermentoimalla sokereita mikro-organismien avulla alkoholiksi. Etanolin tuotantoon käytetään useita sokeripitoisia raaka-aineita. Noin 60 % maailmassa tuotetusta etanolista on valmistettu sokeripitoisista viljelykasveista, pääasiassa sokeriruo'osta, ja suurin osa lopusta valmistetaan viljasta, pääasiassa maissista. Tärkkelyspitoisten raaka-aineiden, kuten perunan ja viljojen, tärkkelys on muunnettava ennen fermentointia sokereiksi ns. hydrolyysin avulla. Tärkkelys on kuitenkin suhteellisen helposti hydrolysoitavissa sokereiksi. Sokeri- ja tärkkelyspitoisiin viljelykasveihin perustuva etanolin tuotantoprosessi on tunnettua tekniikkaa ja käytössä polttoainetuotannossa laajassa mittakaavassa erityisesti Brasiliassa ja Yhdysvalloissa.

Suomen olosuhteissa etanolin tuotannon pääraaka-aine olisi ohra. Suomessa viljeltävistä viljakasveista ohra ja vehnä sopivat etanolin raaka-aineeksi kaikkein parhaimmin. Viljelyvarmuutensa ja ohran käsittelyosaamisen vuoksi ohra on kuitenkin Suomessa etanolin tuotantoon paremmin soveltuva raaka-aine kuin vehnä. Ohra soveltuu viljeltäväksi lähes kaikkialla Suomessa. EU:n sokerireformista johtuen myös sokerijuurikas on keskusteluissa noussut esille raaka-ainevaihtoehtona. Viljan viljely on kuitenkin Suomen olosuhteissa suhteellisesti kilpailukykyisempää kuin sokerijuurikkaan viljely. Viljat eivät ole yhtä vaateliaita kasvuolosuhteiden, kuten pellon happamuuden ja ravinnemäärien, suhteen. (KTM 2006.)

Suomessa on tällä hetkellä käynnissä 5–6 hanketta, joissa tähdätään polttoaine-etanolin tuotannon käynnistämiseen Suomessa. Viljapohjaisen etanolin tuotantoprosessi on pääpiirteissään samanlainen kaikilla laitetoimittajilla. Prosessissa syntyy sivutuotteena merkittävä määrä rehua. Merkittävimmät erot eri laitosten välillä ovatkin lähinnä rehu-markkinoista johtuvat erot rankin prosessoinnissa rehujakeiksi. (HAMK 2005.)

Ohraetanolin tuotantoprosessi voidaan jakaa seuraaviin päävaiheisiin (kuva 39):

- siemenien esikäsittely
- nesteytys
- sokerointi ja fermentointi
- etanolin tislauksen ja vedenpoiston
- rankin käsittely ja rehun kuivaus.

Esikäsittelyssä vilja puhdistetaan ja jauhetaan. Viljasta erotetaan epäpuhtaudet, kuten kivet. Viljan kuoret voidaan erottaa tässä vaiheessa esimerkiksi polttoaineena käytettäväksi, tai ne voivat kulkea prosessin läpi osaksi rehujakeita.

Nesteytysvaiheessa jauhettuun viljaan lisätään vettä, entsyymejä ja kemikaaleja. Tuoreen prosessiveden käyttö pyritään pitämään mahdollisimman pienenä ja prosessivetenä käytetään mm. rankin käsittelystä saatavia eri vesivirtoja. Jätevedet johdetaan jätevedenpuhdistamoihin, jotka saavat tyypillisesti prosesseissa tarvitsemansa energian jätevirtojen energiasisällöstä.

Seuraavana vaiheena on tärkkelyksen sokerointi ja sokerien fermentointi etanoliksi. Fermentoinnissa muodostuu hiilidioksidia, joka päästetään pesurin jälkeen ilmakehään. Joissakin etanolitehtaissa hiilidioksidi kerätään talteen ja puhdistetaan myyntiin. Tuotettu etanoli tislataan ja väkevöidään dehydratoiduksi etanoliksi (99,8 tilavuusprosenttia).

Rankin käsittelyssä rankista erotetaan ensin vettä dekanterisentrifugeilla (kuiva-ainepitoisuus noin 30 %). Etanolin valmistuksessa muodostuu valkuais- ja kuitupitoisia rehuja, jotka voidaan käyttää erillään tai yhdistää yhdeksi rehujakeeksi. Rehut voidaan kuivata ja pelletoida tai ne voidaan myydä märkinä. Rehun kuivaus kuluttaa runsaasti energiaa, joten rehua kannattaa myydä mahdollisimman paljon märkinä. Märkärehun myyminen edellyttää kuitenkin rehumarkkinoita tehtaan lähiympäristössä, sillä märkärehu pilaantuu nopeasti, noin viikossa.

5.3.2 Massa- ja energiataseet

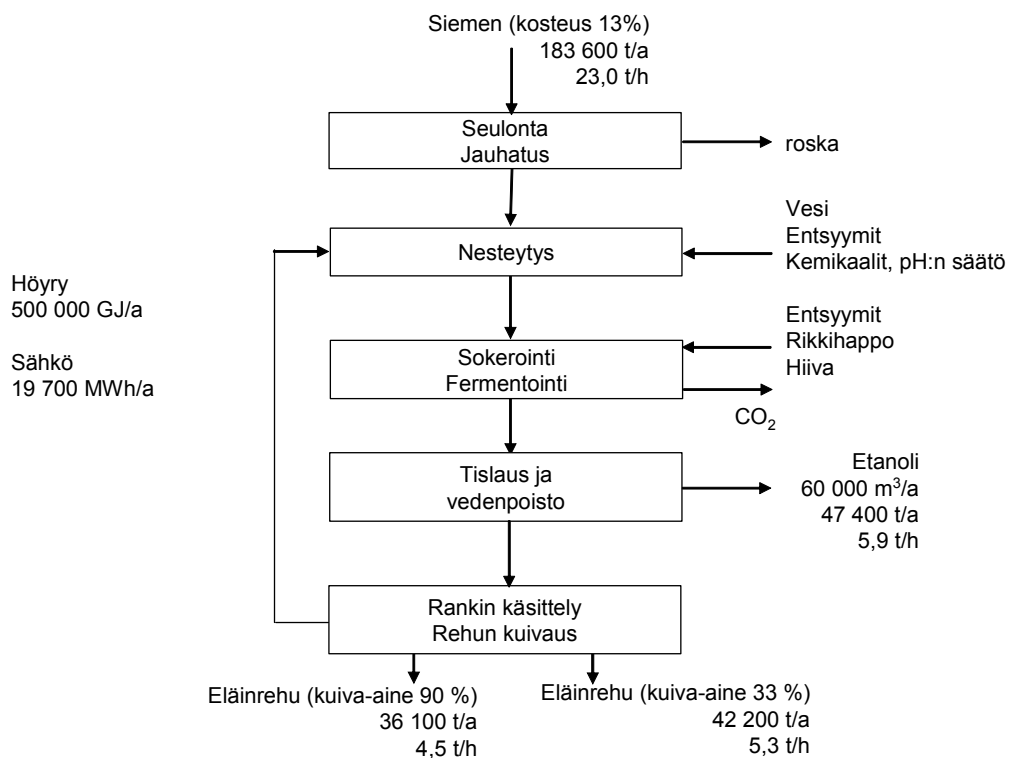
Kuvassa 39 esitetään ohraetanolin tuotannon lohkokaaavio sekä massatase- ja energiapanokset päävirtojen osalta. Massataseiden- ja energiapanosten sekä kustannusten arviointi perustuu VTT:n biotekniikan osaamiseen (von Weymarn 2005), kirjallisuustietoihin ja alan yritysten kanssa käytyihin keskusteluihin. Energiapanokset on muutettu primäärienergiaksi kohdassa 3.3 esitettyjen periaatteiden perusteella. Tuotannon energiatase on arvioitu laskennassa käytettyjen ohran siemenen ja etanolin lämpöarvojen perusteella, jotka on esitetty kohdissa 3.3.9 ja 4.1.

Tarkasteltavan etanolitehtaan kapasiteetiksi valittiin 60 000 m³ etanolia vuodessa (noin 47 000 tonnia etanolia vuodessa), mikä arvioitiin realistiseksi kapasiteetiksi Suomen olosuhteisiin raaka-aineen saatavuus ja rehumarkkinat huomioiden. Suomessa käynnissä olevissa hankkeissa kaavailtujen polttoaine-etanolilaitosten kapasiteetti vaihtelee välillä 50 000 ja 80 000 m³/a. Raaka-aineen kulutus tarkastellussa laitoksessa on 184 000 tonnia vuodessa.

Syntyvästä rehusta arvioitiin myytävän 30 % (kuiva-aineesta) märkärehuna ja loppu kuivattuna ja pelletoituna. Märkärehun tuotanto on tällöin noin 42 000 tonnia vuodessa ja kuivatun rehun noin 36 000 tonnia vuodessa. Rehun on oletettu korvaavaan USA:sta tuotavaa soijarehua.

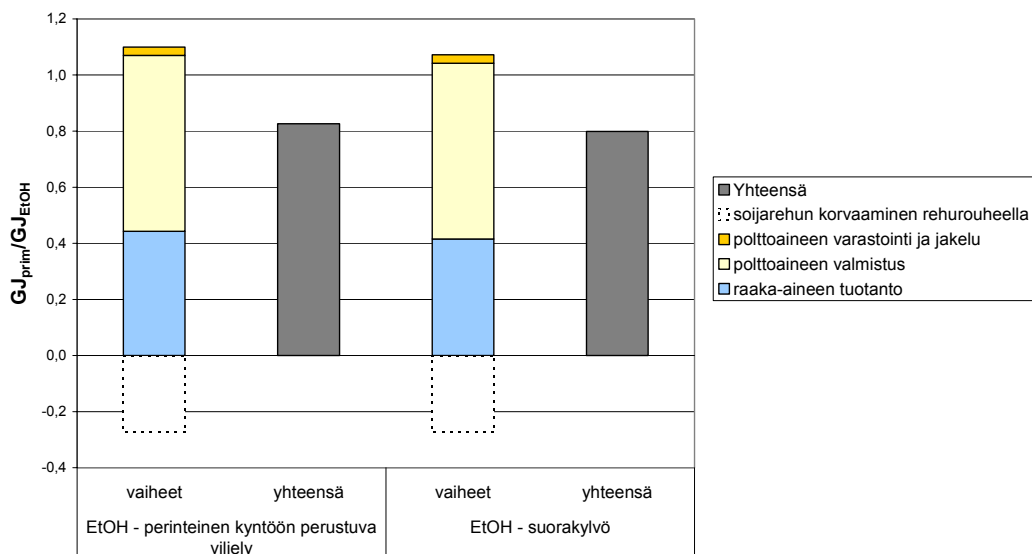
Sähkön kulutukseksi arvioitiin 19 700 MWh/a ja höyryn kulutukseksi 500 000 GJ/a. Arviot sisältävät myös rehun kuivaukseen kuluvan energian. Taseessa on arvioitu, että osa rehusta voidaan myydä lähiseudulle märkärehuna. Höyry on oletettu tuotettavan maakaasulla 88 %:n hyötysuhteella. Etanolin valmistuksessa syntyvän jäteveden puhdistukseen ei ole oletettu tarvittavan ylimääräistä energiaa, joten sitä ei ole huomioitu laskelmissa.

Etanolin valmistusprosessin primäärienergiapanoksen tuotetun polttoaineen energiasältöä kohden arvioitiin olevan n. 63 % ja kasvihuonekaasupäästöjen n. 33 kg CO₂-ekv./GJ. Ohraetanolin raaka-aineen tuotannon ja jalostuksen primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaselaskelmat esitetään kuvissa 40 ja 41 sekä liitteissä E ja F. Soijarehun korvaamisen vaikutus primäärienergiapanokseen on suhteessa suurempi kuin kasvihuonekaasupäästöihin (kuvat 40 ja 41), mikä johtuu siitä, että maaperän typpioksiduulipäästöjen satotasoon nähden on arvioitu olevan Suomessa suuremmat kuin USA:ssa.



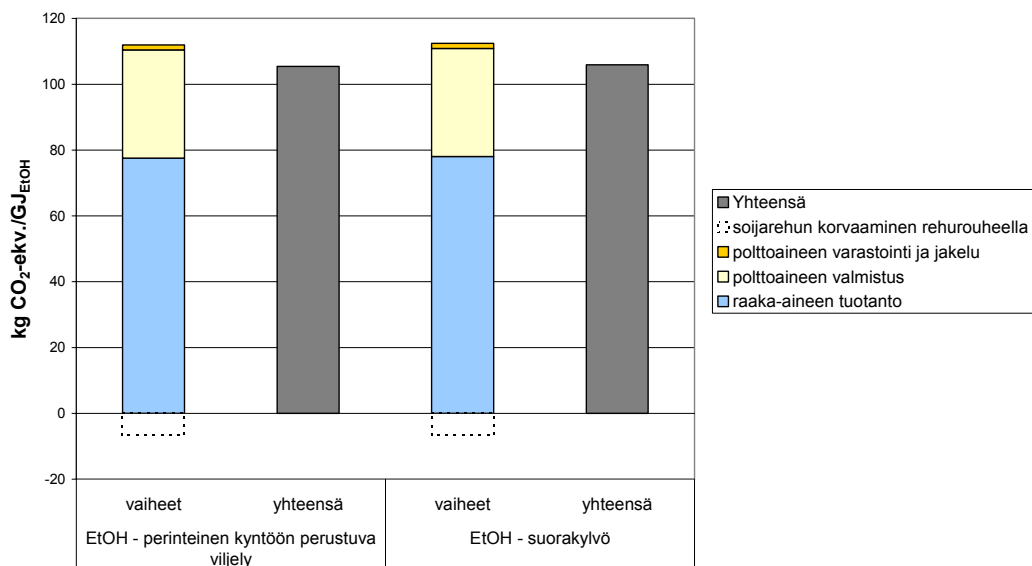
Kuva 39. Ohraetanolitehtaan massatase- ja energiapanokset. Ohran siemenen ja eläinrehujen massamäärät on ilmoitettu märkämässöina.

Ohraetanolin tuotannon primäärienergiakulutus tuotteen energiasisältöä kohden



Kuva 40. Ohraetanolin tuotannon primäärienergiapanos etanolin energiasisältöä kohden raaka-aineen tuotannosta polttoaineen jakeluun. Viljelyketjuina on tarkasteltu perinteistä kylvöön perustuvaa viljelyä (ketju A, taulukko 14) ja suorakylvöä (ketju D, taulukko 14) keskimääräisellä tuotantointensiteetillä.

Ohraetanolin tuotannon kasvihuonekaasupäästöt tuotteen energiasisältöä kohden



Kuva 41. Ohraetanolin tuotannon kasvihuonekaasupäästöt etanolin energiasisältöä kohden raaka-aineen tuotannosta polttoaineen jakeluun. Viljelyketjuina on tarkasteltu perinteistä kylvöön perustuvaa viljelyä (ketju A, taulukko 14) ja suorakylvöä (ketju D, taulukko 14) keskimääräisellä tuotantointensiteetillä.

5.3.3 Investointi- ja tuotantokustannukset

Etanolihtehtaan (tuotanto 60 000 m³ etanolia vuodessa) investointikustannuksiksi arvioitiin 46 miljoonaa euroa. Etanolin tuotantokustannuksiksi arvioitiin 0,54 €/l, joka vastaa noin 26 €/GJ. Etanolin tuotantokustannus olisi 0,52 €/l, mikäli laitoksen tuotantokapasiteetti olisi 75 000 m³/a.

Tuotantokustannusten laskentaperusteet esitetään kohdassa 3.4. Ohran hintana käytettiin 105 euroa/tonni (ohran viimeaikainen markkinahinta Suomessa). Sähkön hinta oli 30 €/MWh ja höyryn 22 €/MWh. Laitoksen vuotuinen käyttöaika on 8 000 h/a. Vuosikustannuksista vähennettiin rehusivutuotteista saatava tulo. Kuivarehun myyntihintana käytettiin 100 euroa/tonni ja märkärehun 30 euroa/tonni.

5.4 Synteettiset polttoaineet

5.4.1 Prosessikuvaus

Liikenteen biopolttoaineiden tuottamiseksi biomassasta on kehitteillä ns. synteetikaasun valmistukseen perustuvia prosesseja. Näissä prosesseissa biomassasta valmistettaisiin ensin termisesti kaasuttamalla synteetikaasua. Synteetikaasusta voidaan tunnetuilla prosesseilla valmistaa korkealaatuista dieselpolttoainetta, niin sanottua Fischer-Tropsch-dieseliä, metanolia tai dimetyylieetteriä (DME). Metanolia ei voi käytännössä käyttää ajoneuvoissa polttoaineena sellaisenaan. Metanolista voitaisiin edelleen valmistaa eettereitä, kuten MTBE:tä, käytettäväksi bensiinin lisäaineina. Synteetikaasusta voidaan valmistaa myös synteettistä maakaasua tai vetyä. Kaasutuksen tuotekaasu täytyy ennen synteesiä puhdistaa epäpuhtauksista eri kaasunpuhdistusmenetelmillä ja edelleen konvertoida synteesiprosessin vaatimusten mukaiseksi synteetikaasuksi.

Synteetikaasua voidaan valmistaa maakaasusta, kivihiilestä ja erilaisista biomassoista. Liikenteen biopolttoaineiden valmistukseen Suomessa tulisivat kyseeseen lähinnä puuraaka-aineet, kuten metsätähde ja kuori, sekä ruokohelpi ja jättepohjaiset raaka-aineet. Raaka-aineena voisi olla myös turve. Ruotsissa on tutkittu myös sellunkeiton jäteliemen, niin sanotun mustalipeän, käyttömahdollisuuksia.

Suomessa kaavailtujen konseptien perusajatuksena on ollut liikenteen biopolttoaineiden ja sähkön tai lämmön yhteistuotanto, mikä näyttäisi tarjoavan useita vaihtoehtoja kehittää kokonaishyötysuhteeltaan ja taloudeltaan houkuttelevia yhteistuotantolaitoksia esim. metsäteollisuusintegraatin tai öljynjalostamon yhteydessä. Integroinnin etuna saavutetaan erittäin korkea biomassan käyttöaste: energiahyötysuhde voi olla jopa noin 90 prosenttia,

mikä on tärkeä kilpailuetu tulevaisuuden markkinoilla, joilla uusiutuvista energia- ja raaka-ainevaroista vallitsee nykyistä kovempi kilpailu. (McKeough & Kurkela 2005.)

Paperi- ja sellutehdasympäristöön sijoitettavan laitoksen tyypillinen koko on 50 000–150 000 tonnia dieselpolttoainetta vuodessa, mikä vastaa 150–400 MW:n biomassasyötöä. Tehtaalla laitos korvaa kuorikattilan ja noin puolet sen tarvitsemasta raaka-aineesta on omaa kuorta ja toinen puoli lisäbiomassaa, kuten metsätähdettä, ruokohelpiä tai kierätyspolttoainetta. Myös turve on hyvä lisä- tai varapolttoaine.

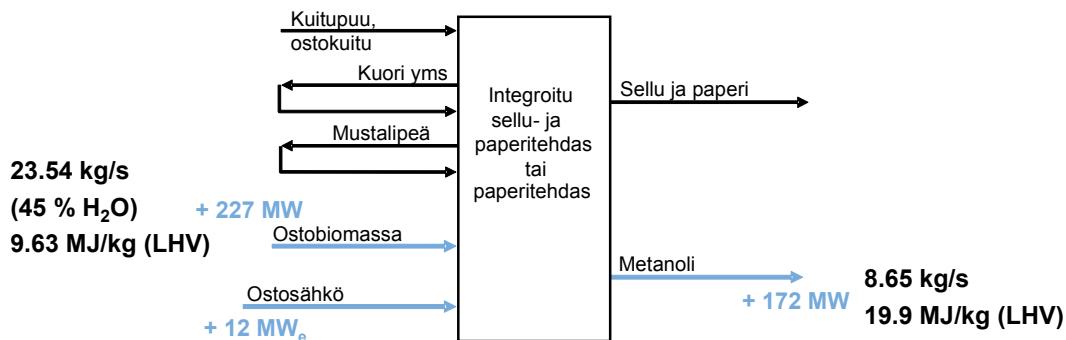
5.4.2 Massa- ja energiataseet

Tarkastelu perustuu metanolin ja Fischer-Tropsch-dieselin (F-T-dieselin) integroituun tuotantoon nykyaikaisen, Suomessa sijaitsevan metsäteollisuuden laitoksen yhteydessä. Metsäteollisuuden laitoksena voi olla joko integroitu sellu- ja paperitehdas tai paperitehdas. Aine- ja energiataseiden ja kustannusten arviointi perustuu VTT:n osaamiseen erityisesti kaasutuksen ja kaasunpuhdistuksen osalta sekä kirjallisuustietoihin erityisesti synteessiprosessin osalta, esimerkiksi (Ekbohm 2003, Hamelinck 2004).

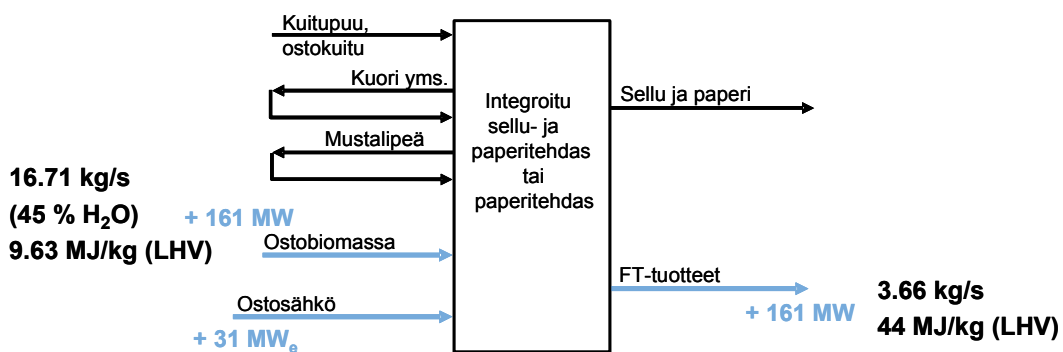
Integroitaessa metanolin tai F-T-dieselin tuotanto sellu- ja paperitehtaaseen tai paperitehtaaseen voimakattila korvattaisiin polttoaineteholtaan pienemmällä kattilalla, sillä suuri osa sellu- ja paperitehtaan tarvitsemasta höyrystä saadaan sivutuotteena biopolttonesteen tuotantolaitoksesta. Osa entisen voimakattilan polttoaineesta käytetään biopolttonesteen tuotannon raaka-aineena. Lisäksi integraatille tuodaan ostobiomassaa. Sähkön tuotanto pienenee, joten joudutaan ostamaan lisäsähköä. Hakkuutähdepohjaiselle metanolin tuotannolle arvioitiin yksi tase ja F-T-dieselin tuotannolle kaksi tasetta, joista toisessa minimoitiin ostobiomassan tarve ja toisessa ostosähkön tarve. Tämän lisäksi arvioitiin ruokohelpipohjaisen F-T-dieselin tuotannon tase, jossa ostobiomassan tarve minimoitiin.

Kuvassa 42 esitetään hakkuutähdepohjaisen metanolin, kuvassa 43 hakkuutähdepohjaisen F-T-dieselin ja kuvassa 44 ruokohelpipohjaisen F-T-dieselin integroidun tuotannon aiheuttamat muutokset tehtaan massa- ja energiataseisiin, kun ostobiomassan tarve minimoitiin. Tuotantolaitosten kapasiteetti määräytyy metsäteollisuuden laitoksen kapasiteetista. Metsäbiomassaa käyttävissä tuotantolaitostarkasteluissa kaasutuksen polttoaineteho on 267 MW ja ruokohelpeä käyttävässä laitoksessa 200 MW, josta 115 MW on peräisin ruokohelvestä ja loput 85 MW puubiomassasta. Metanolin ja F-T-dieselin raaka-aineen tuotannon ja polttoaineen jalostuksen primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaselaskelmat esitetään liitteessä Q.

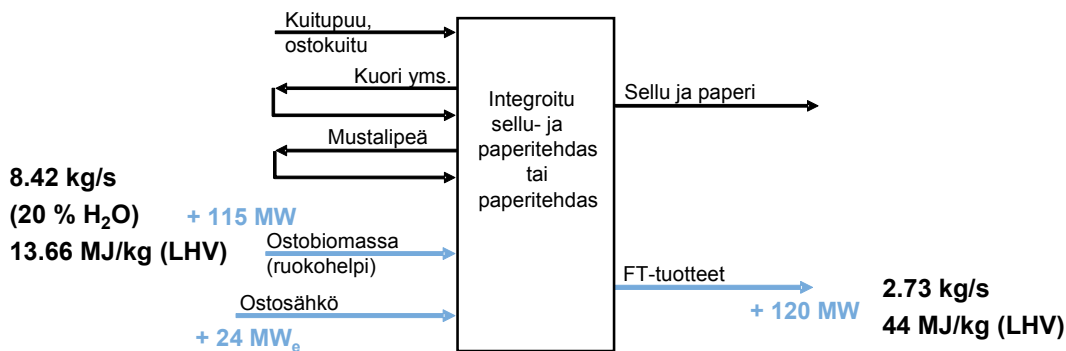
Laitosten apuenergia koostuu ostosähköstä ja F-T-dieselin valmistuksessa käytettävästä metanolista, jonka tarpeen on arvioitu olevan 100 kg/h. Tarkastelujen apuenergia muutettiin primäärienergiaksi kohdassa 3.3 kuvatulla tavalla. Polttoainelajosteen valmistusprosessin primäärienergiapanos tuotetun polttoaineen energiasisältöä kohden oli metanolin valmistuksessa 16 % ja F-T-dieselin valmistuksessa 46–48 %. Energiankulutuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt tuotetun polttoaineen energiasisältöä kohden ovat metanolin valmistuksen yhteydessä n. 5 kg CO₂-ekv./GJ ja F-T-dieselin valmistuksen yhteydessä n. 13–14 kg CO₂-ekv./GJ.



Kuva 42. Metsäbiomassapohjaisen metanolin integroitu tuotanto metsäteollisuuden laitoksen yhteydessä ja metanolin tuotannon aiheuttamat muutokset koko laitoksen massa- ja energiataseisiin, kun ostosähkön tarve on minimoitu (kaasutuksen polttoainetehto 267 MW).

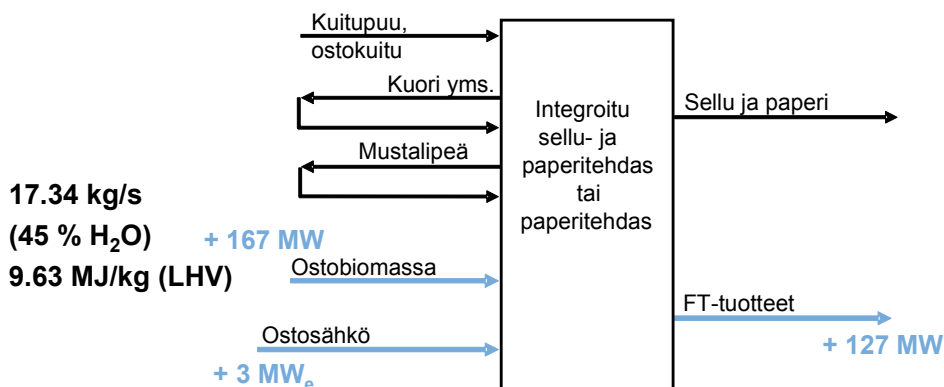


Kuva 43. Metsäbiomassapohjaisen Fischer-Tropsch-dieselin integroitu tuotanto metsäteollisuuden laitoksen yhteydessä ja F-T-dieselin tuotannon aiheuttamat muutokset koko laitoksen massa- ja energiataseisiin, kun ostobiomassan tarve on minimoitu (kaasutuksen polttoainetehto 267 MW).



Kuva 44. Ruokohelpipohjaisen Fischer-Tropsch-dieselin integroitu tuotanto metsäteollisuuden laitoksen yhteydessä ja F-T-dieselin tuotannon aiheuttamat muutokset koko laitoksen massa- ja energiataseisiin, kun ostobiomassan tarve on minimoitu (kaasutuksen polttoaineteho 200 MW).

Kuvassa 45 esitetään hakkuutähdepohjaisen F-T-dieselin integroidun tuotannon aiheuttamat muutokset tehtaan massa- ja energiataseisiin, kun ostosähkön tarve minimoitiin. Sähkön- ja metanolinkulutuksesta aiheutuva polttoaineen valmistuksen primäärienergiapanos tuotetun polttoaineen energiasisältöä kohden on kuvan 45 tapauksessa n. 6 %, joka on reilut 85 % vähemmän kuin kuvan 43 tapauksessa. Prosessin kasvihuonekaasupäästöt pienenevät vastaavasti. Biomassan riittävyys ja saatavuus kilpailukykyiseen hintaan on kuitenkin todennäköisesti rajoittavampi tekijä kuin sähkön ostaminen verkosta, mikä tekee kuvan 45 konseptista epätodennäköisemmän vaihtoehdon kuvan 43 konseptiin verrattuna.



Kuva 45. Fischer-Tropsch-dieselin integroitu tuotanto metsäteollisuuden laitoksen yhteydessä ja F-T-dieselin tuotannon aiheuttamat muutokset koko laitoksen massa- ja energiataseisiin, kun ostosähkön tarve on minimoitu (kaasutuksen polttoaineteho 267 MW).

5.4.3 Investointi- ja tuotantokustannukset

Fischer-Tropsch-dieselin tuotantolaitoksen investointikustannuksiksi arvioitiin 220 miljoonaa euroa (kaasutuksen polttoaineteho 267 MW). F-T-dieselin tuotantokustannuksiksi arvioitiin 13 €/GJ (47 €/MWh), kun ostobiomassan hintana oli 10 €/MWh. Laskentaperusteet esitetään taulukossa 19. Poistokaasujen myyntihinnaksi on arvioitu 14 €/MWh.

Taulukko 19. F-T-dieselin tuotantokustannusten laskennan tärkeimmät lähtöarvot.

Vuotuinen käyttöaika	8 000 h/a
Laskentakorko	10 %
Investoinnin pitoaika	20 a
Vuotuiset käyttö- ja huoltokustannukset	4 % vuotuisista pääomakustannuksista
Sähkön hinta	30 EUR/MWh _e
Sivutuotteiden hinnat	
Korkeapainehöyry	16 EUR/MWh
Matala- ja keskipainehöyry	13 EUR/MWh
Poistokaasut	14 EUR/MWh

5.5 CHP-tuotanto

Työssä arvioitiin liikenteen biopolttoainetarkastelujen lisäksi ruokohelven ja metsätähteiden käyttöä polttoaineena yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa. Raaka-aineiden tuotannon, kuljetuksen ja mahdollisen murskauksen primäärienergiapanokset ja kasvihuonekaasupäästöt arvioitiin ruokohelven osalta kohdassa 4.4 ja metsätähteiden osalta kohdassa 4.6 kuvatulla tavalla.

Polttoaineiden käyttöä tarkasteltiin yhteispoltossa turpeen kanssa. Turpeen käyttöä arvioitiin vähennettävän lisäämällä metsätähteiden tai ruokohelven käyttöä polttoaineiden toimituskosteudessa arvioitujen tehollisten lämpöarvojen perusteella, jotka esitetään taulukossa 20. Kattilan hyötysuhteen oletettiin pysyvän samana polttoaineiden osuuksia muutettaessa, joten hyötysuhteen huomioiminen laskelmissa ei ollut tarpeen.

Taulukko 20. Metsätähteiden, ruokohelven ja turpeen arvioidut käyttökosteudet ja teholliset lämpöarvot (märkämassaa kohden ilmaistuna).

Polttoaine	Käyttökosteus (%)	LHV (GJ/t)
Metsätähde	42 % (41–43 %)	10,3 (10,1–10,5)
Ruokohelpi	20 %	13,6
Jyrsinturve	46 %	10,7 (9,6–11,8)

Koska yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa verrattavia polttoaineita arvioitiin käytettävän samoissa voimalaitoksissa, ei laitosten investointikustannuksilla ole merkitystä vertailun lopputuloksiin. Niinpä kustannustarkastelussa keskityttiin pelkästään kustannuksiin, joilla voimalaitos voi hankkia polttoainetta käyttöönsä.

6. Vertailuketjut

6.1 Dieselöljy ja bensiini

Fossiilinen dieselöljy ja bensiini ovat raakaöljyjaloiteita, jotka puhdistetaan öljynjalostamoissa jakelua ja käyttöä varten. Tällä hetkellä suurin osa EU-alueen raakaöljyn kuluksista hankitaan Euroopasta ja Lähi-idästä. Merkittäviä raakaöljyn toimittajia ovat myös Afrikan OPEC-maat ja Venäjä. Euroopan omat lähteet ovat vähentymässä, mutta muut lähteet pystyvät monien arvioiden mukaan kattamaan kasvavan globaalin kysynnän vielä vuosikymmeniksi. Nämä muutokset eivät oletettavasti vaikuta merkittävästi raakaöljyn keskimääräiseen laatuun seuraavien muutaman vuosikymmenen aikana (Edwards ym. 2003a). Joissakin arvioissa esitetään vuotuisen öljyntuotannon kääntyvän loivaan laskuun jo lähivuosina.

Raakaöljyn tuotanto-olosuhteet riippuvat merkittävästi tuotantoalueesta, kentästä ja yksittäisestä esiintymästä. Sen vuoksi primäärienergian tarve ja kasvihuonekaasupäästöt ilmoitetaan usein keskimääräisinä tai tyypillisinä arvoina. Raakaöljy toimitetaan useimmiten putkea pitkin laivasatamaan, josta se edelleen kuljetetaan jalostamoihin yleensä meriteitse. Vaikka Eurooppaan toimitetaan joitakin valmiiksi sekoitettuja polttoainekomponentteja, on suurin osa Euroopassa myytävistä polttoaineista jalostettu raaka-öljystä Euroopassa (Edwards ym. 2003a).

Euroopan öljynjalostamot kuluttavat keskimäärin 6 % ostamastaan raakaöljystä jalostusprosesseissa (Edwards ym. 2003a). Sen lisäksi jalostamot ostavat myös muuta energiaa, kuten sähköä ja maakaasua. Raakaöljy kattaa kuitenkin yleensä suurimman osan jalostamoiden energiankulutuksesta. Jalostamot valmistavat lukuisia erilaisia öljyjaloiteita ja saattavat myydä myös prosessissa syntyneitä muuta energiaa, kuten sähköä. Näin ollen jalostamoiden kokonaisenergiatase koostuu tyypillisesti monista erilaisista energiapanoksista ja -tuotoksista.

Energiapanosten ja niistä syntyvien päästöjen kohdentaminen eri tuotteille on hankalaa, eikä sille ole olemassa yhtä oikeaa menetelmää. Yksinkertaisen kohdentamismenetelmän käyttö jättää huomioimatta monimutkaiset vuorovaikutukset, rajoitteet ja synergiat jalostamon sisällä tai eri jalostamoiden välillä ja johtaa helposti vääriin johtopäätöksiin. Esimerkiksi jos jalostamoiden tuotteissa ja niiden määrissä tapahtuu muutoksia, täytyy jalostamoiden energia- ja päästötase arvioida uudelleen.

Edwards ym. (2003a) ovat arvioineet, että vain rajoitettu osuus perinteisistä jalostamopolttoaineista voidaan korvata lähitulevaisuudessa vaihtoehtoisilla polttoaineilla, kuten biopolttoaineilla. Tämän perusteella he ovat arvioineet energiataseen ja kasvihuonekaasupäästöt bensiinin ja dieselin jalostukselle vuonna 2010, kun näiden tuotteiden tuotantoa vähennetään tietyn verran.

Valmiiksi jalostetut polttoaineet kuljetetaan jalostamoilta suoraan jakeluasemille säiliöautolla tai varastoon esimerkiksi putkea pitkin tai junalla. Edwards ym. (2003a) ovat arvioineet jakelun energiataseen ja kasvihuonekaasupäästöt huomioimalla erilaisten kuljetusmuotojen tyypilliset osuudet Euroopassa. Paluukuljetusten kuormitusasteesta ei ollut tietoa, mutta oletettavasti tyhjänä paluu on huomioitu, mikäli sellaista on oletettu tapahtuvan.

Edwards ym. (2003a) esittävät varsin kattavasti ja läpinäkyvästi dieselöljyn ja bensiinin välilliset energiapanokset ja kasvihuonekaasupäästöt aina raakaöljyn tuottamisesta valmiiden polttoainejalosteiden jakeluun. Oletuskertoimet esitetään taulukossa 21 ja 22. Bensiinin ja dieselöljyn välilliset energiapanokset ja kasvihuonekaasupäästöt ovat pieniä verrattuna polttoaineen polton päästöihin ja muodostavat tyypillisesti ainoastaan 5–15 % koko ketjun päästöistä. Muutokset koko ketjun päästöissä olisivat välillisten päästöjen tarkastakin analysoinnista huolimatta vähäisiä, joten tässä työssä päädyttiin käyttämään suoraan Edwardsin ym. (2003a) raportissa esitettyjä lukuja (taulukot 21 ja 22).

Taulukko 21. Dieselöljyn välilliset energiapanokset ja kasvihuonekaasupäästöt (Edwards ym. 2003a).

Tuotantovaihe	MJ _{prim} /MJ _{pa}	g CO ₂ /MJ	g CH ₄ /MJ	g N ₂ O/MJ	g CO ₂ -ekv./MJ
raakaöljyn tuotanto	0,025	3,330	0,000	0,000	3,330
raakaöljyn kuljetus	0,010	0,810	0,000	0,000	0,810
raakaöljyn jalostus (marg. diesel)	0,100	8,600	0,000	0,000	8,600
dieselöljyn kuljetus	0,004	0,230	0,000	0,000	0,232
dieselöljyn varastointi	0,002	0,100	0,000	0,000	0,104
dieselöljyn jakelu ja annostelu	0,014	0,720	0,001	0,000	0,741
yhteensä	0,155	13,790	0,001	0,000	13,817

Taulukko 22. Bensiinin välilliset energiapanokset ja kasvihuonekaasupäästöt (Edwards ym. 2003a).

Tuotantovaihe	MJ _{prim} /MJ _{pa}	g CO ₂ /MJ	g CH ₄ /MJ	g N ₂ O/MJ	g CO ₂ -ekv./MJ
raakaöljyn tuotanto	0,025	3,330	0,000	0,000	3,330
raakaöljyn kuljetus	0,010	0,810	0,000	0,000	0,810
raakaöljyn jalostus (marg. bensiini)	0,080	6,500	0,000	0,000	6,500
bensiinin kuljetus	0,004	0,230	0,000	0,000	0,232
bensiinin varastointi	0,002	0,100	0,000	0,000	0,107
bensiinin jakelu ja annostelu	0,014	0,720	0,001	0,000	0,747
yhteensä	0,135	11,690	0,001	0,000	11,727

6.2 MTBE

Bensiinissä käytetään eettereitä lisäaineena nostamaan bensiinin oktaanilukua. Suomessa käytetään pääasiassa MTBE:tä. MTBE valmistetaan isobutaanin ja metanolin synteesissä. Joissakin jalostamoissa isobutaani syntyy krakkausprosessien sivutuotteena, mutta sitä myös valmistetaan tavallisesta butaanista, joka puolestaan saadaan maakaasusta. Fossiilisessa MTBE:ssä sekä isobutaani että metanoli ovat peräisin maakaasusta.

MTBE:n valmistus on verrattain energiantensiivistä. Kirjallisuudessa esiintyy hyvin vaihtelevia arvioita MTBE:n valmistuksen energiankulutuksesta, johtuen mm. jalostamoiden monimutkaisista aine- ja energiataseista. Koska fossiilinen MTBE eroaa tässä työssä arvioidusta bioperäisestä MTBE:stä vain metanolin alkuperän suhteen, MTBE:n jalostusprosessi on sivuutettu tarkasteluissa. Näin ollen tässä esitetään laskennassa käytetyt arviot ainoastaan maakaasusta valmistettavalle metanolille. Arviot on esitetty taulukossa 23.

Taulukko 23. Maakaasusta valmistettavan metanolin primäärienergiantarve ja kasvihuonekaasupäästöt

Vaihe	prim.energia (GJ _{prim} /GJ _{pa})	päästöt (kg/GJ _{pa})			
		CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CO ₂ -ekv.
maakaasun valm., kulj., jakelu	0,17	8,4	0,2	0,00	12,8
metanolin valm.	0,47	11,7	0,0	0,00	11,7
metanolin jakelu ja annostelu	0,03	1,8	0,0	0,00	1,9
yhteensä	0,67	21,9	0,2	0,00	26,4

6.3 Turve

Suomella on suuret turvevarat, sillä maamme pinta-alasta lähes kolmannes on suota. Turpeen tuotannossa olevan alan suuruus Suomessa oli noin 60 000 hehtaaria (ha) vuonna 2003 (Tilastokeskus 2005b). Turpeen energiakäytön käytön haittana ovat sen aiheuttamat kasvihuonekaasujen päästöt, jotka ovat kasvaneet tasaisesti polttoturpeen käytön lisääntymisen myötä. Suomessa turve luokitellaan hitaasti uusiutuvaksi biomassapolttoaineeksi. Suomen kansallisen ilmastostrategian tavoitteena on, että turve huomioidaisiin myös muissa kansainvälisissä tilastoissa (OECD/IEA ja Eurostat) uusiutuvana biomassana, joissa turve huomioidaan tällä hetkellä fossiilisena polttoaineena (Kansallinen ilmastostrategia 2001). Myös Suomen kasvihuonekaasuinventaario ja päästökauppa rinnastaa turpeen fossiilisiin polttoaineisiin hallitusten välisen ilmastonpaneelin (IPCC) ohjeiden mukaisesti (IPCC 1996b, 2003). Vuoden 2006 ohjeissa (IPCC 2006) turve on erotettu omaksi luokakseen, mutta turpeen energiakäytön päästöjen laskennan osalta ohjeet eivät ole muuttuneet.

Kirkinen ym. (2006) ovat tutkineet turpeen energiakäytön kasvihuonevaikutusta elinkaarianalyysin näkökulmasta. Tutkimus on ollut osa KTM:n, MMM:n ja YM:n yhteisrahoitteista projektia turpeen ja turvemaiden käytöstä Suomessa (Minkkinen & Laine 2001). Tiedot päästöistä perustuvat mittauksiin edellä mainitussa projektissa ja Suomen kasvihuonekaasuinventaarioon (CRF-taulukoihin) (Tilastokeskus 2005b). Kasvihuonevaikutusta on arvioitu säteilypakotteella (Korhonen ym. 1993, Savolainen ym. 1994a, Savolainen ym. 1994b, Monni ym. 2003). Tässä julkaisussa kasvihuonevaikutusta arvioidaan myös globaalilla lämmitysvaikutuksella (GWP-kertoimilla).

Polttoturpeen tuotantoketju muodostuu kolmesta eri vaiheesta: alkutila, tuotanto ja polttaminen sekä tuotantoalueen jälleenkäsittely. Kirkisen ym. (2006) tutkimuksessa käsiteltiin mahdollisina turpeen tuotantoalueina luonnonvaraista suoaluetta (sarasuo), metsäojitettua sekä maatalouskäytössä ollutta suota. Sarasuo valittiin tutkimuskohteeksi muihin luonnontilaisiin soihin (vrt. keidassuo) verrattuna paremman turvetuotantoon soveltuvuuden takia. Suurin osa turpeen tuotantoalueista (n. 75 %) on ollut metsätalouskäyttöön kuivattua suomaata, jota Suomessa on noin 5,6 milj. ha (Leinonen & Hillebrand 2000, Virtanen ym. 2003). Maatalouskäytössä olevaa suomaata on Suomessa noin 280 000 ha (Tilastokeskus 2005b), joista turvetuotantoon soveltuvaa alaa on noin 67 000 ha (Leinonen & Hillebrand 2000). Suopeltojen päästöt ovat merkittäviä, joten niiden turvetuotantoon hyödyntämisen kasvihuonevaikutusta on tärkeää tutkia. Tällä hetkellä suopeltojen hyödyntäminen turvetuotantoon on vähäistä. Turpeen tuotannon ja polttamisen jälkeen tuotantoalueen pohjan jälleenkäsittelyvaihtoehtoina ovat soistaminen tai metsitys. Näistä alkutiloista ja jälleenkäyttömahdollisuuksista muodostettiin tutkimuksessa viisi erilaista turpeen energiantuotantoketjua. Tuotantoketjujen vertailutiloina oli alkuperäisen tilanteen säilyminen.

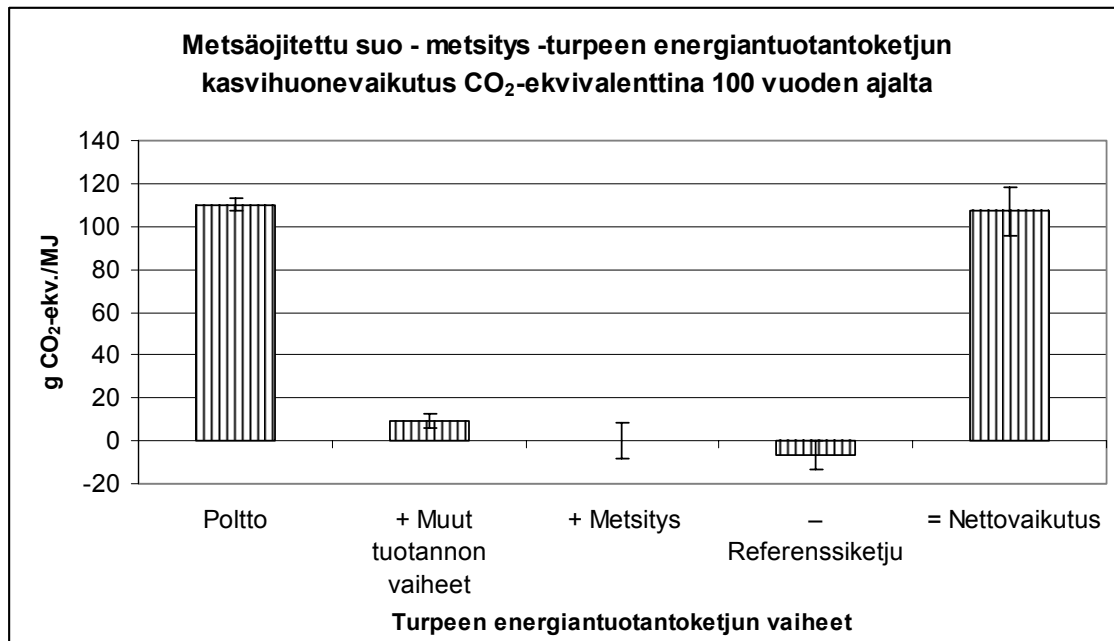
Polttoturpeen tuotantovaiheiden ja jälkikäytön kasvihuonekaasupäästöt ja -nielut luetellaan taulukossa 24 hiilidioksidiekvivalenttina (CO₂-ekv.) valittua vertailuyksikköä kohden. Turpeen tuotantovaroista sarasuo on hiilen nielu ja metaanin päästölähde. Metsäoitettu suo puolestaan vapauttaa hiilidioksidia (CO₂). Suopelto on merkittävä CO₂-päästölähde, metaanin (CH₄) vähäinen nielu ja typpioksiduulin (N₂O) päästölähde. Poltosta aiheutuu CO₂, CH₄ ja N₂O -päästöjä. Polton päästöt aiheuttavat merkittävimmän osan (90 %) turpeen energiakäytön kasvihuonevaikutuksesta. Polton päästökertoimet riippuvat paitsi polttoaineen kosteudesta myös kattilan tekniikasta ja polttolämpötilasta (Tsupari ym. 2006). Vesterinen (2003) on tutkinut polton päästökertoimia. Esitetyt päästökertoimet (taulukko 24) olettavat polttoturpeen olevan 50 %:n kosteudessa. Kosteus ei kuitenkaan merkittävästi vaikuta päästökertoimeen, sillä Kirkisen ym. (2006) mukaan kosteusprosentin aleneminen 50 %:sta 30 %:iin vähentää CO₂-päästökertointa ainoastaan 3 %. Muut tuotannon päästöt sisältävät päästöt turpeentuotantoalueelta (CO₂ ja CH₄ -päästöjä), päästöt turpeen varastoimisesta sekä kuljetuksen ja työkoneneiden päästöt. Kirkisen ym. (2006) tutkimuksessa turpeentuotantoalueen jälleenkäsittelyvaihtoehtoi-

na on joko metsitys tai soistaminen. Metsityksessä kasvava puu sitoo hiiltä, kuten myös maanpäällinen ja maanalainen karike. Jäännösturpeen hajoaminen sitä vastoin vapauttaa hiilidioksidia. Soistamisen kasvihuonekaasudynamiikka on hyvin samanlainen kuin luonnontilaisen sarasuon.

Taulukko 24. Turpeen elinkaaren vaiheiden päästö- ja nielutekijät hiilidioksidiekvivalenttina (CO₂-ekv.) turpeen vuotuista tuotantoalaa tai energiasisältöä kohden (Kirkinen ym. 2006).

Tuotantovarot	Hiilidioksidi	Metaani	Typpioksiduuli	Yksikkö
Luonnontilainen sarasuo	-73,34	475,88	0	g CO ₂ -ekv. m ⁻² a ⁻¹
Metsäojitettu suo	224	0	0	g CO ₂ -ekv. m ⁻² a ⁻¹
Suopelto	1760	-3,09	402	g CO ₂ -ekv. m ⁻² a ⁻¹
Tuotanto ja poltto				
Turvetuotantokentän päästöt	6,84	0,082		g CO ₂ -ekv. MJ ⁻¹
Turvevarastojen päästöt	1,48			g CO ₂ -ekv. MJ ⁻¹
Työkoneet	1			g CO ₂ -ekv. MJ ⁻¹
Turpeen polton päästöt	105,9	0,18	3,97	g CO ₂ -ekv. MJ ⁻¹
Jälkikäsitteily				
<i>Metsitys</i>				
Metsä sitoo hiiltä (CO ₂)	-448			g CO ₂ -ekv. m ⁻² a ⁻¹
Jäännösturpeen hajoaminen (C) (Eksponentiaalisesti vähenevä)	15000 → 0			g C m ⁻²
Jäännösturpeen määrä	15000			g C m ⁻²
Maanpäällisen karikkeen kertyminen CO ₂	-147			g CO ₂ -ekv. m ⁻² a ⁻¹
Maanalaisen karikkeen kertyminen CO ₂	-4			g CO ₂ -ekv. m ⁻² a ⁻¹
<i>Soistaminen</i>	-121,6	475,9	0	g CO ₂ -ekv. m ⁻² a ⁻¹
Oletukset:				
• Kasvava metsä sitoo hiiltä, kunnes saavuttaa kiertoaajan keskiarvon (5,5 kg C m ⁻²).				
• Maanpäällinen karike sitoo hiiltä, kunnes keskimääräinen hiilivarasto on 1,8 kg C m ⁻² .				

Kuva 46 esittää turpeen metsäojitettu suo ja metsitys -tuotantoketjun kasvihuonevaikutusta CO₂-ekvivalenttina jaettuna eri vaiheisiin. Kasvihuonevaikutusta on tarkasteltu kumulatiivisesti 100 vuoden ajanjaksolta. Kuvassa pystysuuntaiset janat kuvaavat kunkin vaiheen kasvihuonevaikutuksen epävarmuutta. Polton hiilidioksidipäästöt muodostavat suurimman osan turpeen energiakäytön kasvihuonevaikutuksesta. Muut tuotannon päästöt muodostuvat tuotantoalueen, turpeen varastoinnin ja työkoneiden (tuotanto ja kuljetus) päästöistä. Tuotanto ja poltto tapahtuvat 20 ensimmäisen vuoden aikana. Jälleenkäyttövaihtoehdossa on huomioitu metsään sitoutuva keskimääräinen hiili. Koska tuotantoalueilta ei tavanomaisesti ole kerätty kaikkea turvetta, kompensoi jäännösturpeen hajoaminen pitkällä aikavälillä kuitenkin metsään sitoutuvan hiilen nieluvaikutuksen. Nettovaikutus saadaan, kun polton, tuotannon muut sekä jälleenkäyttövaihtoehdon päästöt (tai nielut) lasketaan yhteen ja tästä saadusta luvusta vähennetään vertailutilan (suoalue pysyisi ennallaan) päästöt (tai nielut). Tällöin huomioidaan vain ihmisen aiheuttamat muutokset ilmakehän pitoisuuksiin ja säteilypakotteeseen.



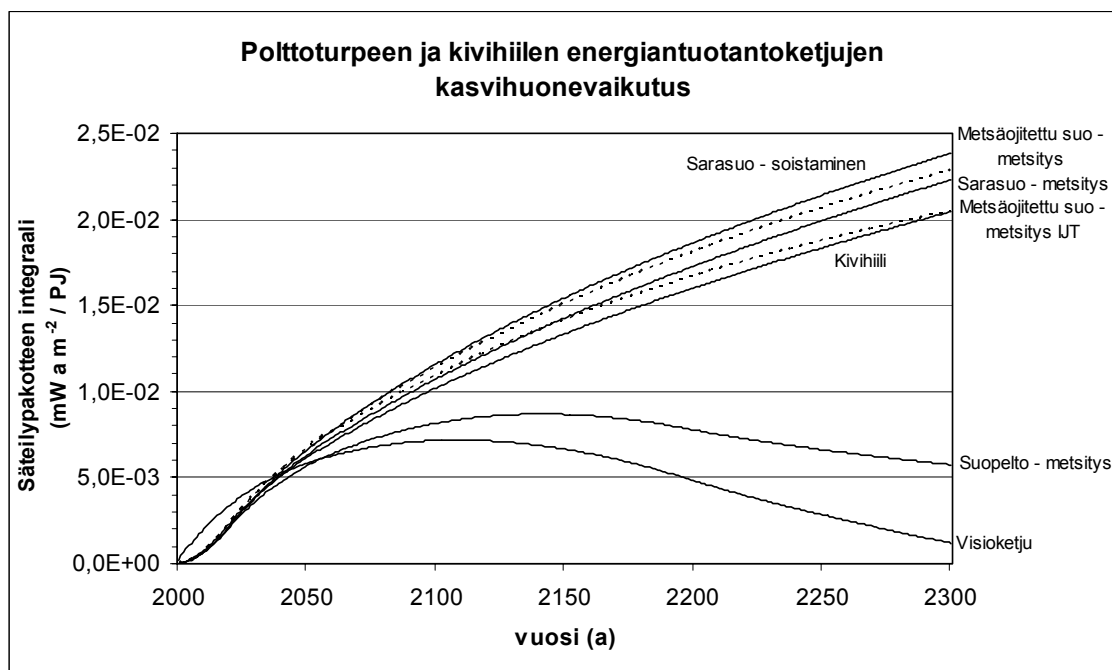
Kuva 46. Turpeen metsäojitettu suo ja metsitys -tuotantoketjun kasvihuonevaikutus CO₂-ekvivalenttina 100 vuoden ajalta turpeen energiasisältöä kohden. Nettovaikutus lasketaan vähentämällä polton, muiden tuotannon päästöistä ja metsityksen nielusta/päästöistä vertailutilan päästöt. Pystysuuntaiset viivat kuvaavat tuotantoketjun eri vaiheiden kasvihuonevaikutuksen epävarmuutta, joka aiheutuu lähtöarvojen epävarmuudesta (Kirkinen ym. 2006). Metsityksen osalta metsän kasvun sitoma hiili ja jäännösturpeen hajoaminen kumoavat likimain toisensa.

Eri turvetuotantoketjujen kasvihuonevaikutuksia verrataan toisiinsa ja kivihiileen (kuva 47). Kivihiilen ja turpeen kasvihuonevaikutuksien arvioimisessa on käytetty yhteneväistä menetelmää, jolloin tulokset ovat vertailukelpoisia. Luonnontilaisen sarasuon turvetuotantoon hyödyntämisen kasvihuonevaikutus on kivihiilen luokkaa tai jopa suurempi. Tämä johtuu lähinnä polton suuremmasta päästöstä ja jäännösturpeen hajoamisesta. Myös metsäojitetun suon hyödyntäminen turve-energian tuotantoon aiheuttaa hieman suuremman kasvihuonevaikutuksen kuin kivihiili. Poikkeuksena on turve-energian tuotantoketju, jossa turve tuotetaan metsäojitetulta suolta ja jälleenkäyttönä on metsitys. Laskelmissa on oletettu, että jäännösturvetta ei jää kentälle (IJT = Ilman JäännösTurvetta). Keräämällä jäännösturve mahdollisimman tarkasti tämän ketjun kasvihuonevaikutus on kivihiilen kasvihuonevaikutuksen tasolla (Kirkinen ym. 2006).

Ilmastolle ystävällisin turpeen tuotantoketju on maatalouskäytössä oleva turve (suopelto) – metsitys (kuva 47). Suopellon käyttöönotto turvetuotantoon lopettaa sen merkittävät maatalouskäyttöön liittyvät päästöt, jolloin poltossa vapautuneet päästöt ja niiden siirtyminen nieluihin (biosfääri) ja valtameriin (vrt. hiilen kierto) kompensoituu ajan

kuluessa luonnontilaisen tilan päästöjen loppumisen takia. Tällöin turpeen hyödyntämisestä aiheutunut kasvihuonevaikutus alkaa vähentyä (Kirkinen ym. 2006).

Kirkinen ym. (2006) tarkastelivat yhtenä turveketjuvaihtoehtona ns. visioketjua (kuva 47). Tämän ketjun kasvihuonevaikutus laskettiin, jotta voitiin osoittaa pienin mahdollinen turpeen kasvihuonevaikutuksen taso, joka voidaan saavuttaa eri vaiheiden päästöjen minimoimisella modernin teknologian avulla, jos turpeen tuotanto suunnataan alueille, jotka ovat parhaillaan suuria kasvihuonekaasujen lähteitä (suopellot). Moderniin teknologiaan kuuluu mm. polttotekniikan parantaminen erityisesti typpioksiduulin (N₂O) päästöjen osalta sekä tuotantoajan lyhenemiseen ja tuotantokentän ja aumojen päästöjen pienentämiseen tähtäävän teknologian käyttöönotto (biomassakuivuri). Kuvasta 47 nähdään, että tämän ketjun kasvihuonevaikutus alkaa vähentyä jo 100 vuoden kuluttua turpeen tuottamisesta ja päättyy miltei neutraaliksi 300 vuoden kuluessa (Kirkinen ym. 2006).



Kuva 47. Eri turve-energian tuotantoketjujen ja kivihiilen tuotantoketjun aiheuttama säteilypakoteintegraali 300 vuoden ajanjaksolta (Kirkinen ym. 2006).

Yhteenvedon Kirkinen ym. (2006) toteavat, että turve aiheuttaa nykyisellä tuotantotavalla ja nykyisten tuotantoalueiden hyödyntämisellä kivihiilen luokkaa olevan kasvihuonevaikutuksen. Turpeen kasvihuonevaikutusta voidaan kuitenkin vähentää suuntaamalla turpeen tuotanto maatalouskäytössä oleville turvemaille, jolloin kasvihuonevaikutus laskee pitkillä ajanjaksoilla merkittävästi. Metsitys on hieman ilmastoystävällisempi jälleenkäyttövaihtoehto turpeen tuotantoalueen pohjalle kuin soistaminen. Myös jäänösturpeen tarkalla keruulla, polttotekniikoiden parantamisella ja uusilla tuotantomenetelmillä saadaan turpeen kasvihuonevaikutusta selvästi pienemmäksi.

Tässä työssä turpeen energiakäytön kasvihuonekaasutaseet on arvioitu olettamalla tuotantoalueen olevan metsäojitettu suo, joka turvetuotantokäytön jälkeen metsitetään. Näin ollen turpeen energiakäytön kasvihuonekaasutaseiden oletetaan olevan kuvan 46 mukaisia ja siten nettokasvihuonevaikutuksen oletetaan olevan n. 107 ± 12 g CO₂-ekv./MJ.

6.4 Soijarehu

Soijarehu on pääasiallisista EU:ssa käytettävistä runsasproteiinisista rehuista. Pääosa siitä tuodaan Yhdysvalloista. Ohraetanolin ja rypsi biodieselin valmistusprosessissa syntyvää valkuaisrehua voidaan käyttää soijarehun sijasta. Ohra- ja rypsi rehun raakavaluonaispitoisuus ei kuitenkaan ole yhtä korkea kuin soijarehun, joten niitä joudutaan käyttämään soijarehua enemmän, jotta vastaava valkuaisainepitoisuus saavutetaan soijarehua korvattaessa. Rehujen raakavaluonaispitoisuudet ja niiden perusteella arvioidut korvausosuudet esitetään taulukossa 25.

Taulukko 25. Laskennassa käytetyt arvot rehujen raakavaluonaispitoisuudelle ja niiden perusteella arvioidut massaosuudet korvattaessa soijarehua rypsi- tai ohrarehulla. Raakavaluonaispitoisuudet rypsi- ja ohrarehulle (Rehutalkoot ja ruokintasuositukset 2004) sekä soijarehulle (Edwards ym. 2003a).

rehutyyppi	raakavaluonaispitoisuus (g/kg _{ka})	korvauskerroin (kg _{soijarehu} /kg _{valkuaisrehu})
soijarehu	490	1
rypsirehu	379	0,77
ohrarehu	380	0,78

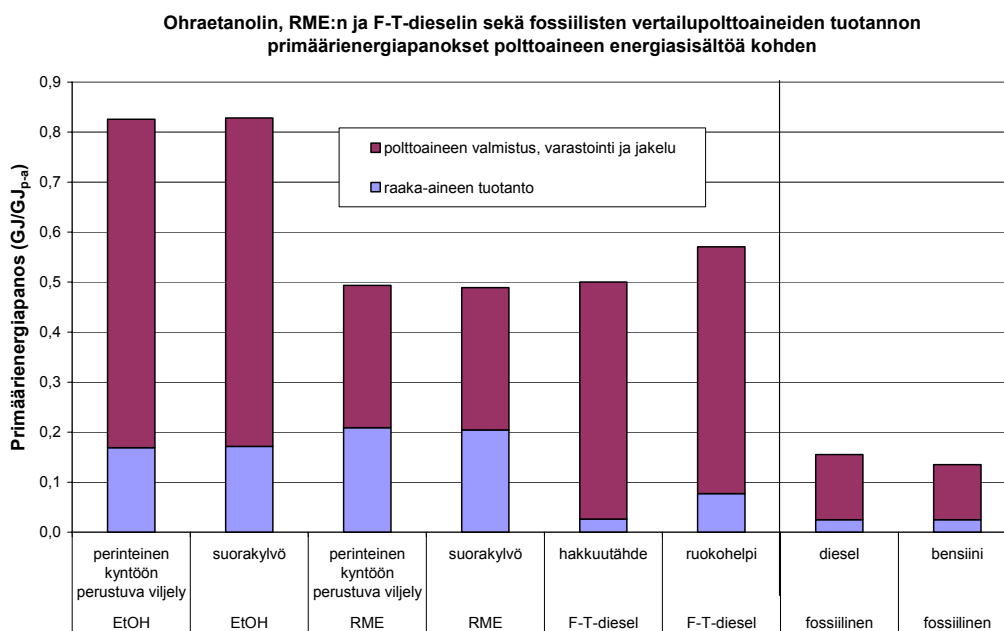
Soijarehun tuotantoketjun primäärienergian tarve ja kasvihuonekaasupäästöt on arvioitu vastaavalla tavalla kuin Edwardsin ym. (2003) raportissa. Soijarehun massaa kohden lasketun kokonaisenergian tarpeen on arvioitu olevan n. 2,7 kWh/kg ja päästöjen n. 230 g CO₂-ekv./kg (Edwards ym. 2003a). Soijarehun tuotannon sivutuotteena syntyvää soijaöljyä voidaan käyttää korvaamaan rypsiöljyä. Tämä on huomioitu energia- ja kasvihuonekaasutaselaskennassa. Tarkemmat tiedot soijarehuketjun energiantarpeesta ja kasvihuonekaasupäästöistä ovat liitteessä R.

7. Teknologiaketjujen kokonaistaseet ja -kustannukset

7.1 Primäärienergiapanokset ja -korvaavuudet

Tarkasteltujen liikenteen polttoaineketjujen kokonaisprimäärienergiapanokset polttoaineen energiasisältöä kohden esitetään kuvassa 48. Kaikissa tarkastelluissa ketjuissa primäärienergiapanoksen on arvioitu olevan energiatuotosta suurempi. Kaikkien tarkasteltujen biopolttoneiden valmistus on kuitenkin huomattavasti energiantensiivisempää kuin fossiilisten polttoaineiden, minkä seurauksena kokonaisenergiapanokset ovat selvästi suurempia kuin fossiililla polttoaineilla. Ohran ja rypsin raaka-aineen tuotannon energiapanoksissa on huomioitu soijarehun korvaaminen rehuruheella, mikä alentaa kokonaisenergiapanoksia ohraetanolin osalta n. 25 % ja RME:n kohdalla n. 40 %.

Bioraaka-aineen tuotannossa hakkuutähteiden korjuun primäärienergiapanoksen on arvioitu olevan selvästi alhaisempi kuin muilla tarkastelluilla vaihtoehdoilla ja samalla tasolla fossiilisten vertailupolttoaineiden kanssa. F-T-dieselin valmistuksessa kuluu kuitenkin niin paljon energiaa, että sen kokonaisenergiataseen on arvioitu olevan vähintään samaa suuruusluokkaa RME:n kanssa. Tarkasteluun valittiin F-T-dieselin tuotantoprosessi, jossa minimoitiin raaka-aineen tarve, jolloin ostosähkön tarve nousi suhteellisen suureksi. Ohraetanolin valmistus oli tarkastelluissa jalostusprosesseista kaikkein energiantensiivisin. Viljelyketjujen valinnalla ei ollut juurikaan merkitystä ohraetanolin tai RME:n energiatuotosta kohden laskettuun energiapanokseen (kuva 48). Tämä johtuu siitä, että vaikka suorakylvömenetelmässä tuotantoalakohtainen energiankulutus on alhaisempi kuin perinteisissä kyntöön perustuvissa ketjuissa, myös suorakylvömenetelmän tuotantoalakohtaisen sadon on oletettu olevan alhaisempi, mikä käytännössä kompensoi energiapanoksissa saavutetun hyödyn.



Kuva 48. Ohraetanolin, RME:n ja Fischer-Tropsch-dieselin primäärienergiapanokset polttoaineen energiasisältöä kohden eri viljelyketjuille tai raaka-aineille. Kuvassa esitetään myös vertailupolttoaineiden primäärienergiapanokset. Raaka-aineen tuotannossa on huomioitu primäärienergiapanokset ketjun alusta polttoaineen tuotantolaitoksen portille saakka. Tuotannossa syntyvien mahdollisten muiden tuotteiden korvaushyödyt on myös huomioitu.

Tarkastelluissa liikenteen biopolttoaineketjuissa primäärienergiapanos polttoaineen energiasisältöä kohden on 3–5-kertainen fossiilisiin ketjuihin verrattuna (kuva 48). Näin ollen korvattaessa biopolttoaineilla vertailuun valittuja fossiilisia polttoaineita primäärienergiankulutus siis lisääntyy. Tarkastelluissa biopolttoaineketjuissa käytännössä kaikki apuenergia on fossiilista alkuperää, mutta tyypillisesti vain pieni osa siitä on peräisin raakaöljystä. Suurin osa biopolttoaineketjujen primäärienergiankulutuksesta onkin peräisin kulutetun sähkön tuotannossa käytettävistä polttoaineista sekä biopolttoaineen jalostuksessa käytettävästä maakaasusta, kivihiilestä tai turpeesta. Raakaöljypohjaisen energian kulutuksen osuus on koko ohraetanolin tuotantoketjussa luokkaa 25 %¹¹, RME:n tuotantoketjussa vajaa 50 % ja F-T-dieselöljyjen tuotantoketjuissa vain n. 5 %.

Tarkasteltujen biopolttoaineiden tuotannon ja käytön avulla on siis mahdollista vähentää raakaöljypohjaisen energian kulutusta, vaikka primäärienergiankulutus lisääntyykin. Kun biopolttoaineilla korvataan fossiilista bensiiniä ja dieseliä, vähentyy raakaöljypohjaisen energian kulutus polttoaineen energiasisältöä kohden ohraetanolin ja RME:n

¹¹ Jos ohraetanolin valmistusprosessissa tarvittava höyry kuitenkin tuotetaan öljypohjaisella energialla, kasvaa sen tarve reilusti ja on luokkaa 85 % koko ohraetanolin tuotantoketjun energiantarpeesta.

kohdalla n. 85–95 %¹² ja F-T-dieseiden kohdalla n. 110 %, kun myös fossiilisten polttoaineiden välillinen (tuotanto, jakelu yms.) raakaöljypohjainen energiankulutus huomioidaan.

7.2 Kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt ja suhteelliset päästövähennykset

Peltobiomassapohjaisilla polttoaineilla raaka-aineiden tuotanto hallitsee kasvihuonekaasujen kokonaispäästöjä (kuva 49). Erityisesti näin on viljeltäessä ohraa ja rypsiä, joiden lannoitustarve on selvästi ruokohelpeä suurempi. Perinteisten biopoltonesteiden, ohraetanolin ja RME:n, kasvihuonekaasujen kokonaispäästöt ovat arvioiden mukaan selvästi suuremmat kuin toisen sukupolven biopoltonesteiden (metsätähde- tai ruokohelpipohjainen F-T-diesel) päästöt.

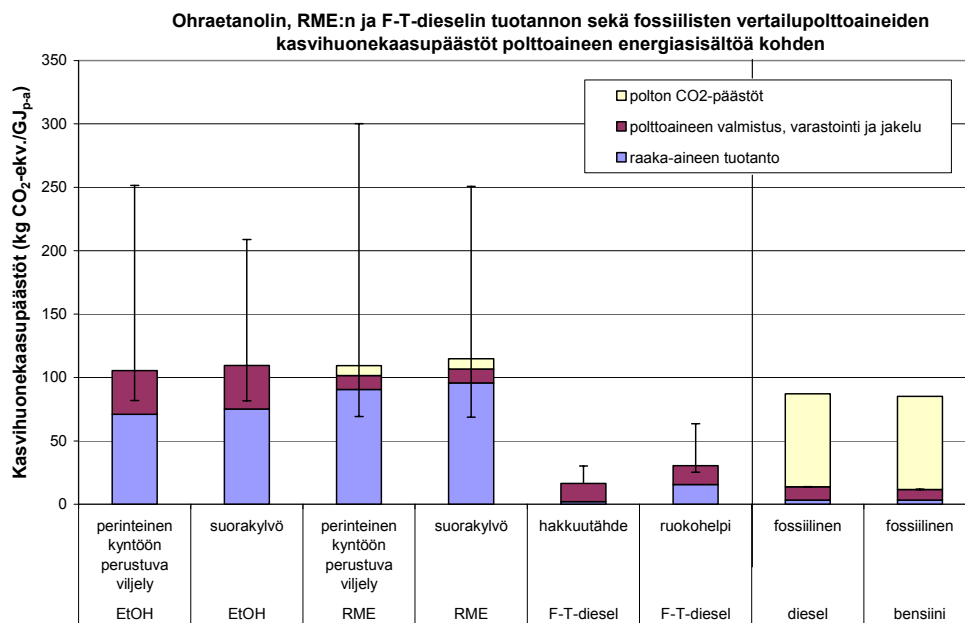
Peltobiomassapohjaisten polttoaineiden kasvihuonekaasupäästöihin liittyy kuitenkin merkittäviä epävarmuuksia. Kuvassa 49 epävarmuutta lisäävinä tekijöinä tarkastellaan lannoitteiden valmistuksen N₂O-päästöjä, lannoituksesta johtuvia maaperän N₂O-päästöjä ja maaperän hiilitaseen muutoksia. Kokonaisepävarmuus on jakautunut vinosti ylöspäin, joten ohraetanolin ja RME:n tuotannon ja jakelun kasvihuonekaasupäästöt polttoaineen energiasisältöä kohden ovat alhaisimmillaankin selvästi suuremmat kuin tarkasteltujen toisen sukupolven biopoltonesteiden tuotannon ja jakelun päästöt ja samalla tasolla kuin fossiilisten polttoaineiden kokonaispäästöt (polton päästöt huomioiden). Peltobiomassojen epävarmuusvälistä suurin osa aiheutuu maaperän N₂O-päästöjen epävarmuudesta. Perinteisissä kyntöön perustuvissa viljelyketjuissa myös maaperän hiilivajeella on suuri (n. 40 %) vaikutus epävarmuuden ylärajaan. Suorakylvöketjuissa maaperän hiilitaseen mahdollinen kasvaminen alentaa epävarmuuden alarajaa jonkin verran. RME:n epävarmuusvälit ovat suurimmat, mikä johtuu rypsin siementen pienemmästä energiasadosta muihin peltobiomassapohjaisiin polttoaineisiin verrattuna. Näin ollen herkkyys tarkasteltujen parametrien arvoissa tapahtuville muutoksille on suurempi.

Mikäli ohran olki voitaisiin korjata joka toinen vuosi talteen ja hyödyntää turpeen korvaamiseen sähkön ja/tai lämmön tuotannossa ja tästä saatava hyöty kasvihuonekaasujen päästöjen vähentymisessä laskettaisiin ohraetanolin hyväksi, alentuisivat ohraetanolin tuotannon oletuskertoimilla lasketut kasvihuonekaasupäästöt n. 70–80 % kuvan 49 päästöistä. Vastaava alenema RME:lle rypsin korren hyötykäytön seurauksena olisi n. 100 %. Kuvassa 49 esitettävä päästöjen epävarmuusväli säilyisi kuitenkin yhtä suure-

¹² Jos ohraetanolin valmistusprosessissa tarvittava höyry kuitenkin tuotetaan öljypohjaisella energialla, on raakaöljypohjaisen energian korvaavuus vain luokkaa 35–45 %.

na, mutta todennäköisyys saavuttaa päästövähennyksiä fossiilisia polttoaineita korvattaessa on huomattavasti suurempi kuin jos olkea tai kortta ei hyödynnetä lainkaan.

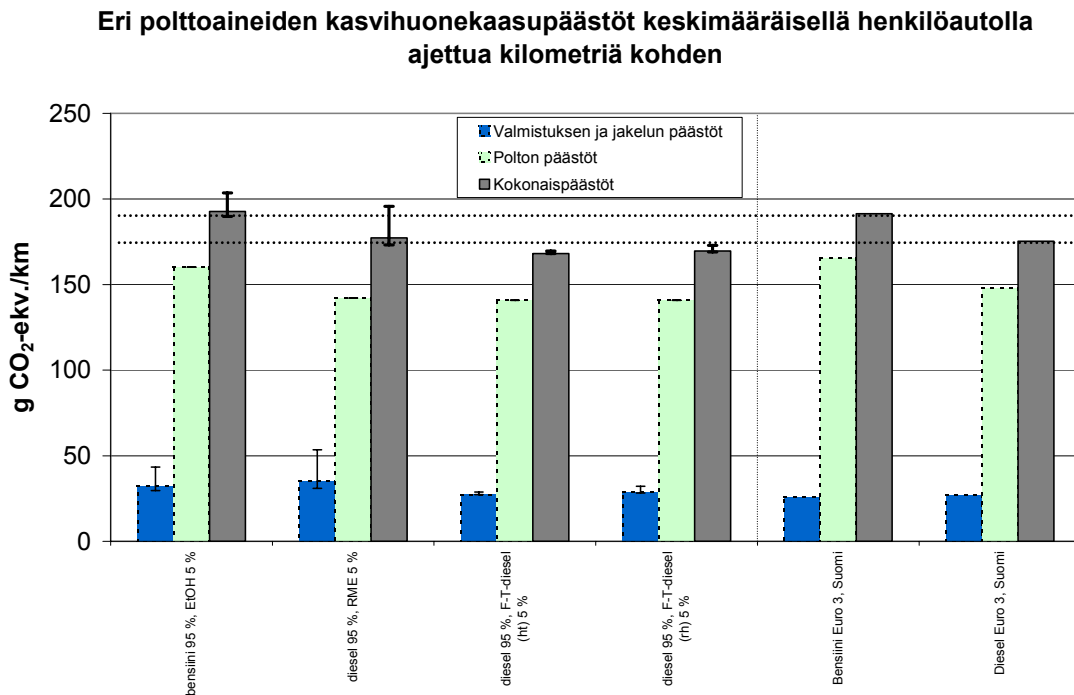
Hakkuutähdepohjaisten biopolttoaineketjujen epävarmuutena on tarkasteltu tähteiden korjuun aiheuttamaa maaperän hiilitaseen pienentymistä, siitä aiheutuvaa epäsuoraa hiilidioksidipäästöä ja mahdollisen kompensatiolannoituksen aiheuttamia päästöjä. Näiden tekijöiden sisällyttäminen tarkasteluihin nostaa hakkuutähdepohjaisen F-T-dieselin kasvihuonekaasupäästöjä merkittävästi oletusarvosta, mutta päästöt jäävät kuitenkin selvästi pienemmiksi kuin vertailupolttoaineena käytettävän dieselin laskennalliset kokonaispäästöt (kuva 49).



Kuva 49. Ohraetanolin, RME:n ja Fischer-Tropsch-dieselin sekä fossiilisten vertailupolttoaineiden tuotannon ja jakelun kasvihuonekaasupäästöt sekä polton laskennalliset hiilidioksidipäästöt polttoaineen energiasisältöä kohden eri viljelyketjuille. RME:n polton hiilidioksidipäästöt johtuvat RME:n sisältämästä fossiilisesta metanolista. Raaka-aineen tuotannossa on huomioitu kasvihuonekaasupäästöt ketjun alusta tuotantolaitoksen portille saakka. Tuotannossa syntyvien mahdollisten muiden tuotteiden korvaushyödyt on myös huomioitu. Fossiilisten polttoaineiden tuotannon ja polton kasvihuonekaasupäästöjen epävarmuus on tyypillisesti alle 5 %, eikä sitä esitetä kuvassa.

Jotta eri polttoaineiden vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin voidaan vertailla, tulee myös polttoaineiden käyttö sisällyttää tarkasteluihin. Koska polttoaineiden ominaisuudet vaikuttavat ominaiskulutukseen ja -päästöihin, valittiin sopivaksi indikaattoriksi yksi ajettu kilometri, jota kohden päästöt laskettiin (kuva 50). Biopolttoaineita tarkasteltiin

5 tilavuus-%:n osuuksina sekoitettuna fossiiliseen bensiiniin tai dieseliin. Tästä syystä ajettua kilometriä kohden lasketut kasvihuonekaasupäästöt ovat kaikissa tapauksissa suhteellisen lähellä toisiaan ja eri biopolttoaineiden vaikutusta kasvihuonekaasupäästöihin on vaikea tulkita kuvasta 50.

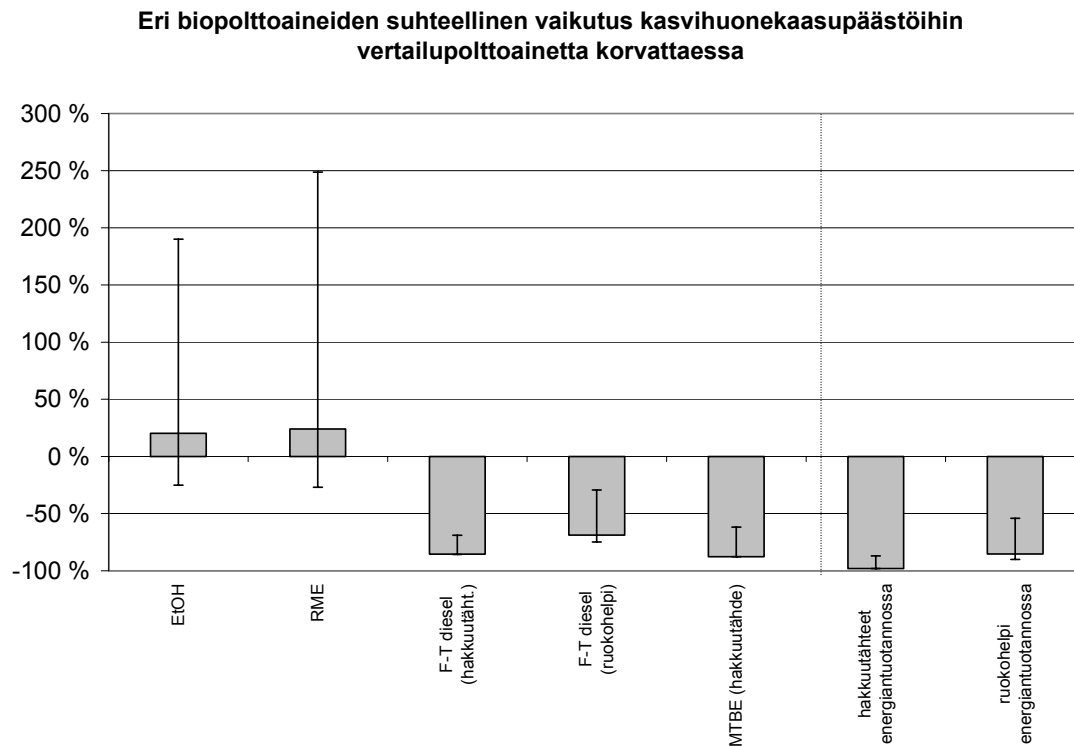


Kuva 50. Eri polttoaineiden kasvihuonekaasupäästöt keskimääräisellä henkilöautolla ajettua kilometriä kohden. Polttoaineseosten bio-osuuden on oletettu olevan 5 til-% kaikissa tarkastelluissa tapauksissa. Biokomponenttien polton hiilidioksidipäästöjä ei ole huomioitu.

Kuvassa 51 esitetään kuvan 50 tulosten perusteella lasketut suhteelliset vaikutukset kasvihuonekaasupäästöihin, kun biopolttoaineilla korvataan fossiilisia vertailupolttoaineita. Ohraetanolin on oletettu korvaavan bensiiniä ja muiden biopolttoaineiden fossiilista dieseliä. Ohraetanolin ja RME:n tuotannon ja käytön kasvihuonekaasupäästöt osoittautuivat käytetyillä oletuskertoimilla suuremmiksi kuin fossiilisten vertailupolttoaineiden. Vaikka ohran ja rypsin viljelyn kasvihuonekaasupäästöihin liittyvä epävarmuus on hyvin suuri, on epävarmuusväli vinoutunut siten, että kokonaispäästöt ovat todennäköisemmin suuremmat kuin pienemmät vertailupolttoaineiden päästöihin verrattuna (kuva 51).

Kehitteillä olevilla teknologioilla, kuten synteettisellä biodieselillä tai biopohjaisella MTBE:llä, olisi tulosten perusteella mahdollista saavuttaa merkittäviä kasvihuonekaasujen päästövähennyksiä fossiilisiin vertailupolttoaineisiin verrattuna (kuva 51). Hakkuutähtien ja ruokohelven käyttö energiantuotannossa turvetta korvaamaan vähentäisi hiili-

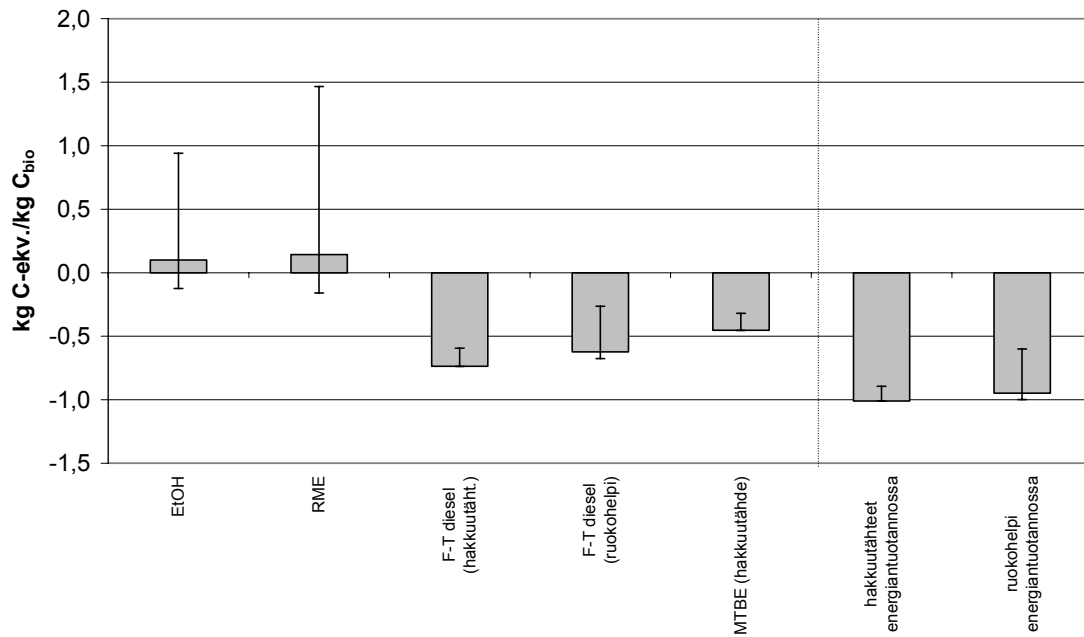
dioksidipäästöjä kuitenkin niin paljon, että suhteellinen kasvihuonekaasujen päästövähennemä olisi suurempi kuin F-T-dieselin tai MTBE:n tapauksessa.



Kuva 51. Eri biopolttoaineiden suhteellinen vaikutus kasvihuonekaasupäästöihin vertailupolttoainetta korvattaessa. Biopolttoaine korvaa aina suhteessa saman määrän fossiilista polttoainetta riippumatta biopolttoaineen käyttömäärästä tai sekoitusosuudesta. Positiivinen vaikutus tarkoittaa päästöjen kasvua ja negatiivinen puolestaan päästöjen vähentymistä suhteessa vertailupolttoaineen päästöihin.

Kuvan 51 tulokset eivät kuitenkaan vielä suoraan kerro sitä, kuinka paljon biomassaa joudutaan käyttämään suhteellista päästövähennemää saavutettaessa. Erityisesti tällä voi olla merkitystä sellaisten prosessien tarkastelussa, joissa hyödynnetään paljon biomassaa itse prosessin energiaksi. Kuvassa 52 esitetäänkin, kuinka paljon yksi kilogramma tuotettua ja prosessiin vietyä biohiiltä korvaa vertailupolttoaineiden sisältämää hiiltä eri biopolttoaineiden tapauksessa. Esimerkiksi tarkastellussa hakkuutähdepohjaisen MTBE:n valmistuksessa kuluu enemmän biohiiltä kuin F-T-dieselin valmistuksessa, mikä näkyy kuvien 51 ja 52 tolppien suhteellisten erojen muutoksena. Vastaavasti MTBE:n ero hakkuutähteiden tai ruokohelven energiantuotantokäyttöön nähden on merkittävästi pienempi, kun tulokset on suhteutettu biohiiltä kohden. Kyseinen indikaattori esitetään lähteessä Pingoud et al. (2006).

Eri biopolttoaineiden vaikutus kasviuonekaasupäästöihin biopolttoaineen hiilisältöä kohden vertailupolttoainetta korvattaessa



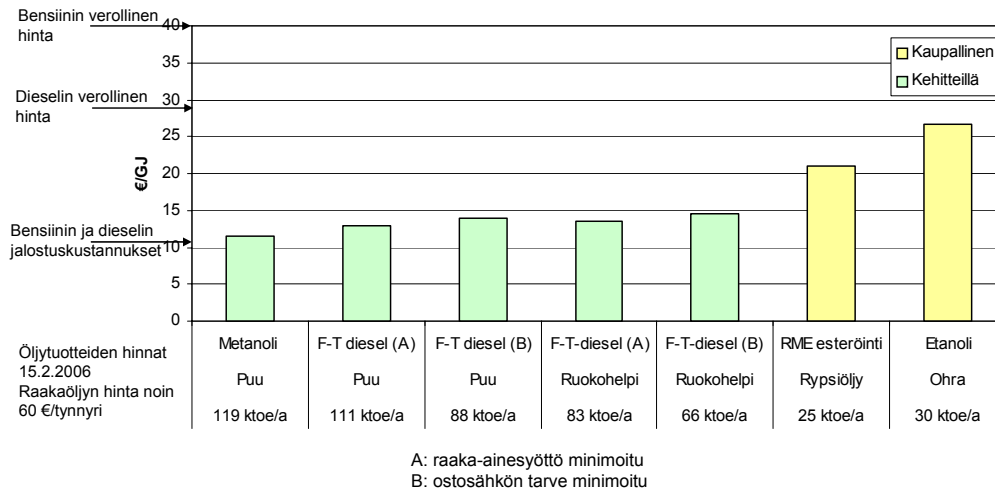
Kuva 52. Fossiilisen polttoaineen tai turpeen sisältämän hiilen korvautuminen biohiilellä korvattaessa vertailupolttoaineita eri biopolttoaineilla. Ekvivalenttiseen hiilimäärään on laskettu hiilidioksidista, metaanista ja typpioksiduulista aiheutuvat päästöt.

Kuvan 52 indikaattori kuvaa tavallaan epäsuorasti sekä polttoaineiden energia- että kasviuonekaasutaseiden hyötysuhteita ja on siten varsin hyödyllinen. Sen avulla voidaan välttää harhaanjohtavia johtopäätöksiä prosesseista, joiden hyötysuhde on verrattain huono, mutta joiden apuenergiana käytetään biomassaa tai muuta uusiutuvaa energiaa, jolloin prosessin kasviuonekaasupäästöt saattavat näyttää hyvinkin pieniltä. Tällaisissa tapauksissa kuvan 52 kaltainen indikaattori paljastaa sen, että samalla määrällä biohiiltä voitaisiin mahdollisesti saavuttaa suurempia päästövähennyksiä toisaalla.

7.3 Tuotantokustannukset

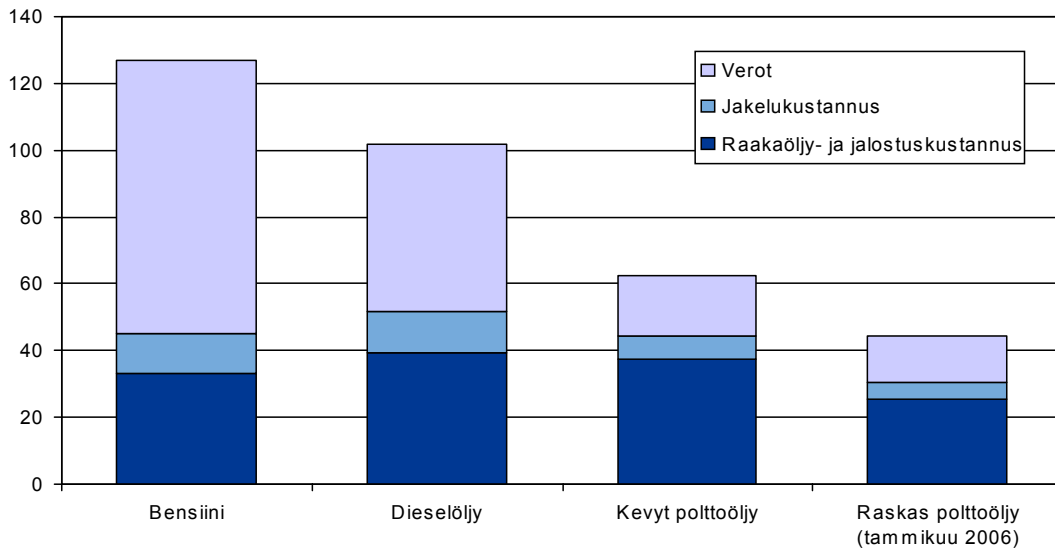
Nykyiset liikenteen biopolttoaineiden tuotantovaihtoehdot eivät ole pääsääntöisesti taloudellisesti kilpailukykyisiä fossiilisiin vaihtoehtoihin verrattuna ilman viranomaisten tukitoimenpiteitä. Liikenteen biopolttoaineiden tuotantokustannukset ovat 30–100 prosenttia kalliimpia verrattuna fossiilisten polttoaineiden jalostuskustannuksiin. Kasvava raakaöljyn hinta kuitenkin tasoittaa hintaeroa. Kuvassa 53 esitetään tuotantokustannukset eri biopolttoaineille. Tuotantokustannus on ilmoitettu euroina tuotteen energiasisältöä kohden (€/GJ). Kuvassa 54 esitetään öljytuotteiden hinnanmuodostus. Kehitteillä olevilla, metsätähdettä hyödyntävillä toisen sukupolven biopolttoaineilla on mahdollista saavuttaa metsäteollisuuden laitokseen integroituna alhaisia tuotantokustannuksia, run-

saat 50 senttiä dieselekvivalenttilitraa kohden, jos raaka-ainetta on saatavilla riittäviä määriä alhaiseen hintaan (10 €/MWh). Tällä hetkellä metsätähteen hinta on jo lähes 15 €/MWh. Raaka-aineen hinnan vaikutus tuotantokustannuksiin esitetään kuvassa 55.

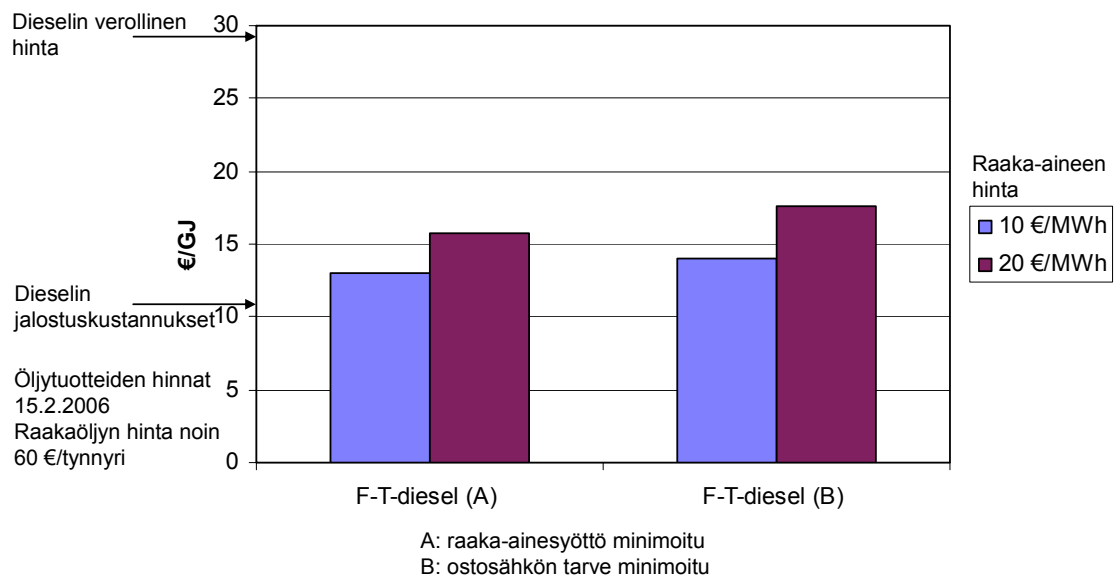


Kuva 53. Biopolttoaineiden tuotantokustannukset (raaka-aineen hintana markkinahinta).

c/l, (raskas polttoöljy c/kg)

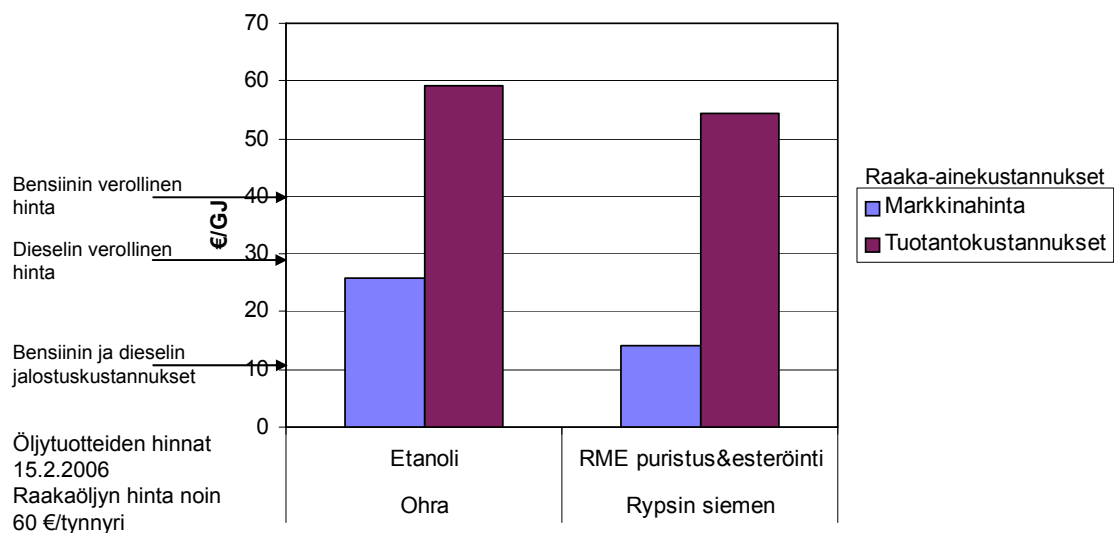


Kuva 54. Öljytuotteiden hinnan muodostus (15.2.2006). Lähde: Öljy- ja Kaasualan Keskusliitto.



Kuva 55. Raaka-aineen hinnan vaikutus F-T-dieselin tuotantokustannuksiin.

Ohran ja rypsin tuotantokustannukset ovat 3,0–3,5-kertaiset niiden markkinahintaan nähden. Ohran tuotantointensiteetin ollessa keskimääräinen tuotantokustannukset ovat 340 €/tonni ja tuotantointensiteetin ollessa korkea 310 €/tonni. Rypsin tuotantokustannus on 780 €/tonni. Kuvassa 56 esitetään peltopohjaisten biopolttoaineiden tuotantokustannukset käyttäen raaka-aineen hintana markkinahintaa ja tuotantokustannuksia.



Kuva 56. Peltopohjaisten biopolttoaineiden tuotantokustannukset, kun raaka-aineen hintana on käytetty markkinahintaa tai tuotantokustannuksia.

7.4 Päästövähennyskustannukset

Kasvihuonekaasujen päästöjen vähennyskustannukset laskettiin kohdassa 7.2 esitettyjen päästötaseiden ja kohdassa 7.3 esitettyjen polttoaineiden tuotantokustannusten perusteella. Tuotantokustannukset on laskettu polttoaineiden tuotantolaitosten kannalta käytettävillä raaka-aineilla nykyisiä maailmanmarkkinahintoja. Suhteelliset päästövähennykset on laskettu valituissa vertailutilanteissa biopolttoaineen korvatta tiettyä fossiilista polttoainetta. Näillä perusteilla lasketut kasvihuonekaasujen päästövähennyskustannukset esitetään taulukossa 26.

Taulukko 26. Kasvihuonekaasujen päästövähennyskustannusarviot, kun biopolttoaineet korvaavat vertailupolttoaineita valituissa tarkastelukohteissa ja kun bioraaka-aineiden tuotantokustannuksina on käytetty niiden markkinahintoja.

	Päästövähennyskustannus (€/t CO ₂ -ekv.)		
	minimi	keskim.	maksimi
Liikennepolttoaineet			
EtOH -> bensiini	>700	-	-
RME -> diesel	>100	-	-
F-T-diesel (hakkuutähde) -> diesel	30	30	35
F-T-diesel (ruokohelppi) -> diesel	40	40	100

Taulukossa 26 esitetyt arvot vastaavat siis nykyisillä polttoaineiden ja raaka-aineiden maailmanmarkkinahinnoilla laskettuja kasvihuonekaasujen päästövähennyskustannuksia, joiden epävarmuus riippuu biopolttoaineiden tuotantoketjujen kasvihuonekaasupäästöjen epävarmuudesta. Koska ohraetanolin ja RME:n tuotannon ja käytön kasvihuonekaasupäästöt ovat todennäköisesti suuremmat kuin niillä korvattavien fossiilisten polttoaineiden päästöt, ei päästövähennyskustannusta voitu laskea kuin minimitaloukselle, jossa päästöt olivat fossiilisia pienemmät. Nämäkin päästövähennyskustannukset olivat kuitenkin selvästi suuremmat, erityisesti ohraetanolin kohdalla, kuin toisen sukupolven biopolttoaineiden kohdalla.

Päästövähennyskustannukset riippuvat kuitenkin voimakkaasti sekä biopolttoaineiden että niillä korvattavien fossiilisten polttoaineiden päästöjen ja kustannusten epävarmuudesta. Taulukossa 26 on huomioitu vain merkittävimmät päästöihin liittyvät epävarmuudet.

Öljyn hinnan arvioidaan yleisesti alenevan hieman nykyisestä tasosta lähitulevaisuudessa ja lähtevän sen jälkeen hitaasti kasvuun. Jos dieselöljyn ja bensiinin hinnat olisivat esimerkiksi 30 % nykyisiä alhaisempia, olisivat taulukossa 26 esitetyt kustannukset hakkuutähteistä tehdyn F-T-dieselin osalta n. 2,5-kertaiset, ruokohelvestä tehdyn F-T-dieselin ja RME:n osalta 2,3-kertaiset ja ohraetanolin osalta n. 1,2-kertaiset. Vastaava suhteellinen öljyn hinnan kasvu puolestaan pienentäisi taulukon lukuja samassa suhteessa, jolloin taulukon luvut menisivät negatiivisiksi paitsi ohraetanolin kohdalla. Todelli-

suudessa kuitenkin raaka-öljyn hinnan heilahtelut vaikuttavat myös bioraaka-aineiden markkinahintoihin, jolloin esitetyt erot päästövähennyskustannuksissa eivät olisi näin voimakkaita.

Hakkuutähteiden tai ruokohelven käyttö energiantuotantokattiloissa kivihiiltä tai turvetta korvaamaan on selvästi liikennepolttoainekäyttöä kustannustehokkaampi keino kasvihuonekaasujen päästöjen vähentämiseen kohteissa, joissa polttoaineen vaihdos ei aiheuta merkittäviä lisäkustannuksia. Nykyisellään hakkuutähteiden ja ruokohelven markkinahinta määräytyy pääasiassa turpeen markkinahinnan ja päästöoikeuden hinnan perusteella. Esimerkiksi hakkuutähteiden nykyinen markkinahinta (n. 11 €/MWh) on suurin piirtein samaa luokkaa, jopa alhaisempi kuin yhteenlaskettu jyrshinturpeen markkinahinta (n. 8–10 €/MWh) ja nykyinen päästöoikeuden hinta (n. 10 €/t CO₂ ~ 3,8 €/MWh). Näin ollen polttoaineen vaihto turpeesta hakkuutähteisiin on soveltuvisissa kohteissa hyvin edullista tai jopa kannattavaa. Tilanne on vastaava ruokohelvellä, jonka tuotantokustannukset ilman tukia ovat tosin huomattavasti sen markkinahintaa korkeammat.

Hakkuutähteiden tai ruokohelven markkinahintaa voivat tulevaisuudessa nostaa myös muut kilpailijat kuin energiantuotantolaitokset. Tällaisia ovat lähinnä erilaiset biojalostamot, joissa voidaan tuottaa hyvin monenlaisia tuotteita, mm. liikenteen biopolttoaineita. Jos hakkuutähteiden markkinahinta nousisi kaksinkertaiseksi nykyisestä ja turpeen ja päästöoikeuden hinta pysyisi nykytasolla, olisi turpeen korvauksen päästövähennyskustannus n. 30 €/MWh, joka olisi huomattavasti alhaisempi kuin toisen sukupolven biopolttoaineiden tuotannolla ja käytöllä saavutettava päästövähennyskustannus vastaavalla hakkuutähteiden markkinahinnalla. Ruokohelven kohdalla tilanne on vastaavanlainen. Näin ollen kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittamisen kustannustehokkuuden näkökulmasta hakkuutähteet ja ruokohelvi kannattaa ensisijaisesti käyttää energiantuotannossa korvaamaan kivihiiltä tai turvetta.

Päästövähennyskustannukset riippuvat päästöjen ja markkinahinnoissa esiintyvien epävarmuuksien lisäksi myös siitä, miten kustannustarkastelut on rajattu. Tässä työssä päästövähennyskustannuksia tarkastellaan biopolttoaineita tuottavien laitosten kannalta, eikä kustannuksissa siten huomioida kansantaloudellisia tai yhteiskunnallisia vaikutuksia. Niinpä päästövähennyskustannukset eivät ole todellisia valtion taloudellisia kustannuksia, sillä tällöin tulisi huomioida myös biopolttoaineiden mahdollisesti saamat tuet ja toisaalta myös muut ulkoiset kustannukset tai hyödyt, kuten työpaikkojen määrä. Kaiken kaikkiaan päästövähennyskustannusten määrittäminen on monimutkaista, sillä kaikkien ulkoisten tekijöiden huomioiminen ja arvottaminen sekä toisaalta epävarmuuksien poistaminen on hyvin hankalaa, ellei mahdotonta.

7.5 Tulosten vertailu muihin selvityksiin

Eri selvityksissä laaditut arviot biopolttoaineiden tuotannon primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseista, saavutettavissa olevista päästövähennyksistä ja niiden kustannuksista voivat poiketa toisistaan useiden eri tekijöiden takia, mikä hankaloittaa arvioiden vertailemista. Ennen kaikkea kysymys on menetelmiä koskevista valinnoista, kuten tarkastelujen rajauksesta, kohdentamisperiaatteista ja vertailutilanteesta, joita on käsitelty kohdissa 3.1 ja 3.2. Mikäli näitä tekijöitä ei ole raportoitu riittävän läpinäkyvästi, ei poikkeavuuksia tulosten välillä ole mahdollista analysoida perusteellisesti. Lisäksi jos laskentamenetelmät poikkeavat toisistaan eri selvitysten välillä, tulisi ne saattaa yhdenmukaiseksi, jotta tulosten järkevä vertaileminen olisi ylipäänsä mahdollista.

Mikäli tarkastelujen laskentamenetelmiin liittyvät valinnat tunnetaan, voidaan parametrialintojen vaikutusta tuloksiin arvioida. Parametrien arvojen taustalla voi kuitenkin myös esiintyä menetelmällisiä eroavaisuuksia, joita voi olla läpinäkymättömyyden vuoksi hyvin hankala tunnistaa. Näiden seikkojen takia tulosten tulkinta eri selvitysten välillä on mahdollista tehdä vain perusteellisella paneutumisella kunkin tarkasteltavan selvityksen menetelmiin ja parametreihin, mikä on usein hyvin työlästä.

Seuraavassa vertaillaan tämän työn ohraetanolin ja RME:n energiapanos- ja kasvihuonekaasupäästöjen tuloksia kahteen menetelmäpohjaltaan läpinäkyvään selvitykseen, joissa on käytetty vastaavanlaista lähestymistapaa (korvausmenetelmää) energiapanosten ja kasvihuonekaasupäästöjen kohdentamisessa tuotteille ja joiden tulokset poikkeavat merkittävästi sekä toisistaan että tässä työssä saavutetuista tuloksista. Molempien selvitysten tulosten poikkeavuudesta tämän työn tuloksiin verrattuna pyrittiin löytämään keskeiset syyt. Esimerkkien tarkoituksena on myös kuvata vertailujen hankaluutta eri selvitysten välillä.

Ruotsalaisessa selvityksessä Bernesson ym. (2006) ovat vertailleet suuren, keskisuuren ja pienen mittakaavan vehnäetanolin tuotantoa Ruotsissa mm. energiapanosten ja kasvihuonekaasupäästöjen suhteen. Lisäksi tarkastellaan Concawen, EUCARin ja JRC:n yhdessä laatimaa selvitystä (Edwards ym. 2003a), jossa on tarkasteltu mm. useiden eri biopolttonesteiden tuotantoa Euroopassa energiapanosten ja kasvihuonekaasupäästöjen suhteen. Molemmissa selvityksissä tulokset on esitetty käyttäen kohdentamisperiaatetta, jossa polttoaineen tuotannon sivutuotteena syntyvä valkuaisrehu korvaa soijarehua eikä olkea tai kortta ole hyödynnetty.

7.5.1 Ruotsalainen vehnäetanoliselvitys

Bernessonin ym. (2006) mukaan suuren mittakaavan vehnäetanolin tuotannon, raaka-aineesta polttoaineeksi, energiantarve on $0,189 \text{ GJ/GJ}_{\text{EtOH}}$ ja kasvihuonekaasupäästöt vastaavasti $30,5 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./GJ}_{\text{EtOH}}$. Energiantarve on siis vain noin 20 % ja kasvihuonekaasupäästöt vain noin 30 % tässä työssä ohraetanolille lasketuista arvoista. Ruotsalaisen selvityksen viljelyn tuotantoalakohtainen primäärienergiantarve ja kasvihuonekaasupäästöt ovat kuitenkin hyvin lähellä tässä työssä arvioituja lukuja. Keskeisimmiksi tulosten poikkeavuutta aiheuttaviksi tekijöiksi tunnistettiin erilainen viljan satotaso, maaperän N_2O -päästöjen oletuskerroin, N_2O :n kasvihuonevaikutus, etanolin prosessoinnissa käytetty energianlähde ja erilainen ostetun sähkön tuotantorakenne.

Ruotsalaisen selvityksen satotaso oli energiana ilmaistuna 40–70 % suurempi, mutta käytetyn typpilannoitteen määrä vain 20–50 % suurempi. Koska ruotsalaisessa selvityksessä käytetty maaperän N_2O -päästöjen oletuskerroin oli 25 % pienempi ja N_2O :n kasvihuonevaikutus 5 % pienempi, johtavat nämä yhdessä sato- ja lannoitemääräerojen kanssa 30–35 % pienempiin maaperän N_2O -päästöihin tässä työssä arvioituihin verrattuna. Etanolin valmistuslaitoksen tarvitsema höyry on ruotsalaisessa selvityksessä oletettu tuotettavan hakkuutähteistä ja lisäksi ostosähkön tuotantorakenne on arvioitu huomattavasti vähäpäästöisemmäksi kuin tässä selvityksessä. Lisäksi on epäselvää, onko ruotsalaisen selvityksen energiapanoksissa mukana bioenergiaa ja päästöissä kalkituksesta aiheutuvia hiilidioksidipäästöjä vai ei. Näillä tekijöillä on merkittävä vaikutus tuloksiin. Muissa parametreissa, kuten kuljetusmatkoissa, lannoitteiden valmistuksen päästöissä ja soijarehun korvauskertoimissa, voi myös esiintyä eroavaisuuksia, mutta oletettavasti niiden vaikutus lopputulosten eroihin on verrattain vähäinen.

7.5.2 Concawen, EUCARin ja JRC:n biopolttonesteselvitys

Concawen, EUCARin ja JRC:n selvityksessä (Edwards ym. 2003a) vehnäetanolin tuotannon, raaka-aineesta polttoaineeksi, primäärienergiantarve on $1,8\text{--}2,0 \text{ GJ/GJ}_{\text{EtOH}}$ ja kasvihuonekaasupäästöt vastaavasti $74,1\text{--}92,1 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./GJ}_{\text{EtOH}}$. RME:n vastaavat arvot ovat $1,04\text{--}1,27 \text{ GJ/GJ}_{\text{RME}}$ ja $28,8\text{--}73,3 \text{ kg CO}_2\text{-ekv./GJ}_{\text{RME}}$. Edellä mainittuihin primäärienergiantarpeisiin sisältyy ilmeisesti myös rehuruuheeksi menevän biomassan energiasisältö, vaikka sillä korvataan lähes identtinen määrä soijarehun energiasisältöä. Fossiilisen primäärienergian tarve on vehnäetanolille $1,00 \text{ GJ/GJ}_{\text{EtOH}}$ ja RME:lle puolestaan $0,39\text{--}0,44 \text{ GJ/GJ}_{\text{RME}}$. Edellä mainittu arvo vehnäetanolille on n. 25 % suurempi ja RME:lle puolestaan n. 20 % pienempi kuin tässä työssä arvioidut primäärienergiataseet.

Edwards ym. (2003a) ovat arvioineet sekä etanolin että RME:n tuotannon kasvihuonekaasupäästöt merkittävästi alhaisemmiksi kuin tässä työssä. Syitä eroon on vaikea ha-

vaita raportista, sillä erot monissa keskeisissä parametreissa aiheuttavat poikkeamaa molempiin suuntiin. Esimerkiksi satotaso on selvästi korkeampi kuin tässä työssä, mutta vastaavasti myös ilmoitetut tuotantoalakohtaiset lannoitemäärät ja maaperän N₂O-päästöt ovat suuremmat kuin tässä työssä, mikä ainakin osittain kompensoi satotasosta johtuvaa eroa. Myös muiden parametrien välillä on eroavaisuuksia, joiden merkitystä lopputuloksiin on hankala havaita.

8. Uudet liiketoimintamahdollisuudet

Yhtenä tavoitteena liikenteen biopolttoaineiden käytön edistämiseksi on työllisyyden parantaminen, erityisesti maaseudulla. Jos Suomessa tuotettaisiin biopolttoaineita kotimaisista peltokasveista, tuotanto vaikuttaisi maataloudessa osittaisena toimeentulolähteenä tai toimeentulon jatkumisena. Maaseudulla on menossa rakennemuutos, jossa tilat vähenevät ja karjakoko kasvaa. Toivottavana tulevaisuudenkuvana on peltojen pysyminen tuotannossa, mikä on edellytys maaseudun asuttuna pysymiselle. Viljanviljelyn vaihtoehtoina ovat mm. kesannointi ja energiatuotannon lisääminen. Peltobiomassojen viljely tarjoaa maataloille varteentotettavan vaihtoehdon esimerkiksi rehuviljan viljelylle.

Oljen hyötykäytöllä on suuri merkitys peltobiomassapohjaisten biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöketjujen kasvihuonekaasutaseisiin. Olkea voidaan hyödyntää sähkön ja lämmön tuotannon polttoaineena. Nykylaitoksissa olki voi olla vain sivupolttoaine oljen saatavuuden, polttoteknisten ominaisuuksien ja laitojen polttoaineen käsittelyjärjestelmien takia. Ruokohelpeen verrattuna oljen kosteuden hallinta on haasteellisempaa ja olki sisältää myös polton kannalta enemmän haitallisia alkuaineita. Kattilan lämmönsiirtopintojen likaantuminen voi olla merkittävämpää kuin ruokohelvellä, mutta laajempaa kokemusta tästä ei ole.

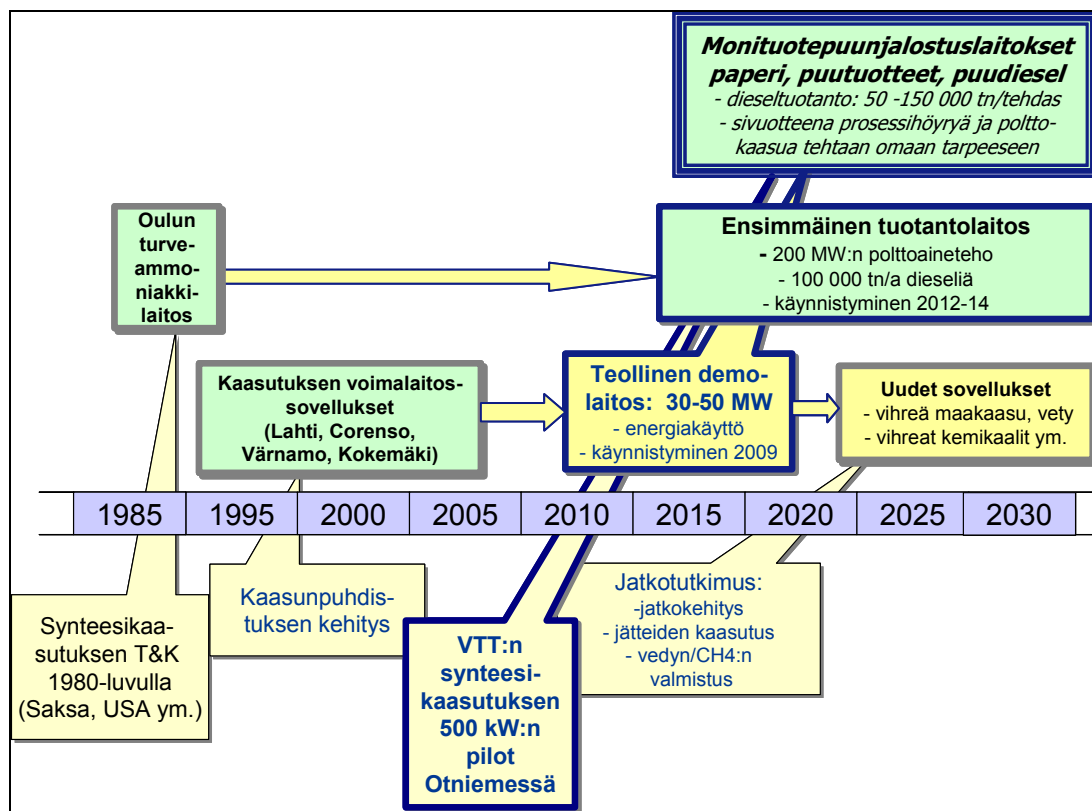
Olkea on laajamittaisesti hyödynnetty energiantuotannossa lähinnä Tanskassa. Tanskassa käytettiin olkea vuonna 2003 noin 60 kaukolämpölaitoksessa ja noin kymmenessä CHP-laitoksessa yhteensä 11,9 PJ, joka vastaa n. 1,4 % Tanskan kokonaisenergiakulutuksesta (Euroheat & Power 2002). Olkea käytetään lähinnä suuren kokoluokan CHP-laitoksissa lisäpolttoaineena tai ainoana polttoaineena pienen kokoluokan CHP-laitoksissa tai kattilalaitoksissa. Viime vuosina oljen käyttö on vähentynyt käyttötekniisten ongelmien ja puupolttoaineiden hinnan alentumisen vuoksi. Käynnissä on useita tutkimushankkeita, joiden tavoitteena on parantaa oljen polttoainekäyttöä kattiloissa siten, että samalla päästöt vähenevät ja polton tehokkuus paranee. Tanskalaisella rahoituksella on kehitetty mm. kaasutus- ja pyrolyysiteknikkaa oljelle. VTT on ollut mukana tässä kehitystyössä. Viime vuosina kaasutustutkimuksen pääpaino Tanskassa on kuitenkin ollut puun kaasutuksessa, koska oljen kaasutus on todettu ongelmallisemmaksi ja koska puupolttoaineen hinta on alentunut. (Hansen 2000, OPET 2001.)

Tulevaisuudessa olkea voi olla mahdollista hyödyntää myös etanolin tuotannon raaka-aineena. Ensimmäiset ns. toisen sukupolven raaka-aineita hyödyntävät pilottilaitokset ovat jo toiminnassa Kanadassa (Iogen) ja Ruotsissa (Örnsköldvik). Kanadan pilottilaitoksessa hyödynnetään raaka-aineena vehnän olkea ja Ruotsissa sahanpurua. Eurooppaan on suunnitteilla uusia pilottilaitoksia. Merkittävällä tutkimuspanoksella voisi olla mahdollista käynnistää suomalaisen teknologiaan ja kotimaiseen raaka-aineeseen perustuva pilottilaitos vuonna 2008. Kaupallinen tuotanto voisi käynnistyä noin vuonna 2012. Raaka-

aineena voisivat olla olki, ruokohelpi ja puubiomassat. Tutkimuspanosta tarvitaan erityisesti raaka-aineen esikäsittelymenetelmien kehittämiseen, hydrolyysientsyymien ja niiden tuotannon kehittämiseen sekä hiivojen aineenvaihdunnan optimointiin.

Tarkastelluissa toisen sukupolven metsätähde- ja ruokohelpipohjaisissa prosessikonsep-teissa biopolttoaineiden tuotanto on yhdistetty metsäteollisuuden laitoksiin, jolloin saavutaan korkeampia kokonaishyötysuhteita kuin erillisissä biopolttoaineiden tuotantolaitok-sissa ja voidaan hyödyntää olemassa olevaa biomassan hankintalogistiikkaa. Raaka-ainepohja on erittäin laaja: metsätähteet, kuori, olki, ruokohelpi ja muut peltobiomassat, kierrätyspolttoaineet sekä vara- ja lisäpolttoaineena turve. Prosessia kehitetään VTT:n ja suomalaisten yritysten yhteistyönä VTT:n koordinoimassa kansallisessa ns. UCG-projektissa (Kurkela 2006). UCG-hanke on osa Tekesin ClimBus-teknologiaohjelmaa.

UCG-hankkeessa on tehty etenemispolku synteesikaasutukseen perustuvalla biopoltto-aineteknologian kaupallistamiselle koetoiminnasta pilotoinnin ja demonstroinnin kautta. Suunniteltua etenemispolkua havainnollistetaan kuvassa 57. Pilottikokeet VTT:n syn-teesikaasutuksen pilottilaitoksessa (500 kW) Otaniemessä alkavat syksyllä 2006. Ta-voitteena on rakentaa ensimmäinen demonstraatiolaitos (30–50 MW) sellu- ja paperi-tehtaan tai lämpöä ja sähköä tuottavan laitoksen yhteyteen vuosina 2008–2009. De-monstraatiolaitoksessa valmistettaisiin synteesikaasua esimerkiksi öljyn tai maakaasun korvaamiseksi, mutta ei vielä tuotettaisi dieseliä. Varsinainen 200–250 MW:n dieselin tuotantolaitos on tarkoitus käynnistää vuosina 2012–2014. Ensimmäisen tuotantolaitok-sen suunnittelu ja hankevalmistelu käynnistetään jo vuoden 2007 aikana.



Kuva 57. Etenemispolku synteesikaasuun perustuvalle biopolttoaineteknologian kaupallistamiselle (Kurkela 2006).

Ruokohelven käyttö haketta tai turvetta pääpolttoaineena käyttävissä sähkö- tai lämpövoimalaitoksessa voi olla uusi maatalan lähitulevaisuuden liiketoiminta-alue. Ruokohelven viljely vähentää selvästi työmäärää tiloilla, mikä mahdollistaa myös muun toiminnan viljelyn ohella. Ruokohelven viljelyala vuonna 2005 oli noin 10 000 hehtaaria. Ruokohelven viljely on voimakkaassa kasvussa. Tuotantomahdollisuuksien on arvioitu olevan vuosina 2010–2015 jopa yli 100 000 hehtaaria.

Laajamittaisen ruokohelven tuotannon edellytyksiä olisi parannettava synteesikaasuun perustuvien tuotantolaitosten raaka-ainehuollon turvaamiseksi. 150 MW:n synteesikaasulaitoksen tarvitsema raaka-ainemäärä saataisiin noin 60 000 hehtaarin viljelyalalta. Lisäksi tulisi selvittää turpeen käyttömahdollisuuksia.

9. Johtopäätökset ja yhteenveto

Liikenteen biopolttoaineiden käytön lisäämisellä pyritään vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä ja turvaamaan energiansaantia. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentyminen biopolttoaineiden tuotannon ja käytön lisäämisellä ei kuitenkaan ole yksiselitteisen selvää. Liikenteen biopolttoaineiden tuotannon kasvihuonekaasupäästöt riippuvat monista eri tekijöistä, kuten polttoaineen raaka-aineista, tuotantomenetelmistä, lannoitteiden tarpeesta ja tuotannossa käytettävistä energialähteistä. Vaikka arvioita liikenteen vaihtoehtoisten polttoaineketjujen kasvihuonekaasupäästöistä on tehty viime vuosina useita muualla, nykyvaihtoehtoista ei ole aikaisemmin tehty kattavaa selvitystä Suomen olosuhteissa.

Työn tavoitteena oli laskea energia- ja kasvihuonekaasutaseet sekä vältetyn CO₂-ekvivalenttitonin hinta vertailupolttoaineisiin nähden liikenteen biopolttoaineiden tuotannolle ja käytölle sekä pelto- ja metsäbiomassan tuotannolle ja käytölle sähkön ja lämmön tuotannossa. Tulosten perusteella esitettiin uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

Työssä arvioitiin sekä kaupallisia että kehitteillä olevia tekniikoita. Tarkasteluun valittiin Suomen olosuhteisiin sopivimpia, laajamittaiseen tuotantoon soveltuvia vaihtoehtoja. Hankkeessa tarkasteltiin sekä pelto- että metsäbiomassapohjaisia ketjuja. Tarkasteltaviksi peltobiopolttoaineketjuiksi valittiin ohraetanoli, rypsipohjainen biodiesel ja ruokohelpipohjainen Fischer-Tropsch-diesel (F-T-diesel). Metsäbiopolttoaineketjuina tarkasteltiin hakkuutähdepohjaista F-T-dieseliä ja metanolia. Työssä arvioitiin karkeasti myös rypsipohjaisen NExBTL-polttoaineen primäärienergiantarve ja kasvihuonekaasutaseet. Neste Oil Oyj on ilmoittanut palmuöljyn olevan NExBTL-tuotannon pääraaka-aine, mutta koska palmuöljyn tuotannosta ei ollut käytössä vastaavan tasoisia tietoja kuin kotimaisten raaka-aineiden tuotantoketjuista, ei sitä arvioitu. Työssä tarkasteltiin myös hakkuutähteiden ja ruokohelven käyttöä sähkön ja lämmön tuotannossa. Tarkasteleissa huomioitiin koko tuotanto- ja käyttöketju.

Tässä työssä peltoenergiaketjujen vertailutilanteeksi valittiin viljelemätön pelto, koska viljelemättömyys on todennäköisin vaihtoehto energiantuotannolle erityisesti alueilla, joilla viljan tuotantoedellytykset ovat heikot. Näin ollen peltoenergiaketjujen energiapanokset ja kasvihuonekaasupäästöt huomioitiin viljelyn alkuvaiheesta lähtien. Metsätähdeketjujen osalta oletettiin, että metsäteollisuus tuottaa jatkossakin enemmän hakkuutähteitä, kuin mitä niitä hyödynnetään energiantuotannossa. Näin ollen metsätähteiden käytön vertailutilanteessa tähteet jätetään lahoamaan palstoille ja ketjujen energiapanokset ja kasvihuonekaasupäästöt huomioitiin tähteiden korjuusta alkaen.

Lannoitetypen valmistus ja siemensadon kuivaus lämminilmakuivurissa ovat suurimmat uusiutumattoman energian kuluttajat ohran ja rypsin tuotantoketjuissa, joiden energia-

panos-tuotossuhde on ohralla n. 20 % ja rypsilä n. 30 %. Ohran ja rypsin kuivaaminen käyttäen haketta polttoaineena tai tärkkelysohran varastointi ilmatiiviisiin siiloihin olisivat realistisimmat vaihtoehdot vähentää tuotantoketjujen uusiutumattoman energian käyttöä. Raaka-aineiden viljelyssä kannattaa pyrkiä korkeisiin satoihin, koska energiahyötysuhde on silloin jonkin verran parempi kuin tyydyttäessä keskimääräisiin satoihin. Ohran ja rypsin tuotantokustannukset ovat 3,0–3,5-kertaiset niiden markkinahintaan nähden. Tuotanto on mahdollista nykyisillä markkinahinnoilla vain tukien avulla.

Ruokohelven tuotannon primäärienergian kulutus tuotosta kohden on vain n. 6–7 %, mikä on huomattavasti vähemmän kuin ohran ja rypsin kohdalla. Tämä johtuu ennen kaikkea ruokohelven vähäisemmästä lannoitustarpeesta ja kuivauksen puuttumisesta. Ruokohelven energiatiheys on kuitenkin alhaisempi kuin viljan jyvien, joten ruokohelven kaukokuljetus on hieman energiaintensiivisempää suhteessa viljan jyvien kuljetukseen. Kaukokuljetusmatkan kasvaessa yli 70 km:iin tulee ruokohelven paalaus irtokorjuuta kannattavammaksi energiapanoksen kannalta. Huomioimalla ruokohelven tuotantokustannukset, markkinahinta ja maatalouden tuet on ruokohelven viljely kannattavaa viljelijälle. EU:n päästökauppa on parantanut ja saattaa jatkossa parantaa entisestään poltossa hiilidioksidivapaiden polttoaineiden kilpailukykyä markkinoilla. Ilman maatalouden tukia viljely ei kuitenkaan kannata nykyisillä markkinahinnoilla.

Viljelyketjujen kasvihuonekaasupäästöt aiheutuvat pääasiassa lannoitteiden valmistuksen ja lannoituksesta aiheutuvista maaperän typpioksiduulipäästöistä. Myös kalkituksen aiheuttavat hiilidioksidipäästöt ovat merkittäviä. Näiden päästöjen, erityisesti maaperän typpioksiduulipäästöjen, suuruusluokka on kuitenkin hyvin epävarma. Muutokset maaperän hiilitaseissa viljelytoimenpiteiden takia voivat myös olla merkittäviä. Suorakylvön on todettu parantavan maaperän hiilitasetta, mutta toisaalta lisäävän mahdollisesti maaperän N₂O-päästöjä, mikä voi ainakin osittain kompensoida maaperän hiilitaseeseen parantumisesta saatavan kasvihuonekaasuyödyn.

Hakkuutähteiden korjuun primäärienergiankulutus tuotosta kohden on vain 1–2 %:n luokkaa. Kaukokuljetus aiheuttaa suurin piirtein samansuuruisen lisän primäärienergiapanokseen ketjun ja kuljetusetäisyyden mukaan ja nostaa hakkuutähdehakkeen tuotannon primäärienergiapanoksen tuotosta kohden tasolle 3 %. Pidemmällä kuljetusmatkoilla tähteiden paalaus muodostuu kannattavimmaksi tuotantomenetelmäksi. Korjuun, kuljetuksen ja haketuksen energiankulutuksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt ovat myös vähäisiä. Hakkuutähteiden korjuun aiheuttama vaje maaperän hiilitaseessa ja toisaalta typen mahdollinen kompensatiolannoitus saattavat kuitenkin nostaa kasvihuonekaasupäästöjä oleellisesti, jopa noin kahdeksankertaisiksi pelkästään energiankulutuksesta aiheutuviin päästöihin nähden. Näiden päästöjen suuruusluokkaan liittyy merkittäviä epävarmuuksia.

Biopolttoaineiden tuotantoprosessit ovat suhteellisen energiantensiivisiä verrattuna fossiilisen dieselin ja bensiinin jalostukseen. Fossiilisen dieselin ja bensiinin primäärienergiapanos on noin 10 % tuotteen energiasisällöstä. Tarkastelluista liikenteen biopolttoaineiden tuotantoprosesseista RME:n valmistuksessa kuluu noin neljännes, ohraetanolin valmistuksessa noin kaksi kolmasosaa, F-T-dieselin valmistuksessa noin puolet ja NExBTL:n valmistuksessa noin kuudennes tuotteen energiasisällöstä. Valmistusprosessissa syntyvien sivutuotteiden antamat korvaushyödyt kuitenkin pienentävät primäärienergiankulutusta tuotteen energiasisältöä kohden ohraetanolin valmistuksessa tasolle 35 %, RME:n valmistuksessa lähelle nollaa ja NExBTL:n valmistuksessa n. 10 %:iin. Liikenteen biopolttoaineiden tuotantokustannukset ovat 30–100 % kalliimpia verrattuna fossiilisten polttoaineiden jalostuskustannuksiin. Kasvava raakaöljyn hinta kuitenkin tasoittaa hintaeroa.

Kokonaisuudessaan biopolttoaineiden primäärienergiapanos tuotteen energiasisältöä kohden on raaka-aineen tuotannosta ajoneuvon tankkiin (WTT = well-to-tank) saakka ohraetanolilla n. 80 %, RME:llä n. 50 %, F-T-dieselillä n. 50–60 % ja rypsi pohjaisella NExBTL-dieselillä n. 50 %. Kaikkien tutkimuksessa mukana olleiden biopolttoaineiden energiatase on siis positiivinen. Toisin sanoen niiden raaka-aineiden tuotannossa ja valmistuksessa kuluu kokonaisuudessaan vähemmän energiaa kuin mitä lopputuote sisältää. Energiankulutus polttoaineen energiasisältöä kohden on kuitenkin 3–5-kertainen fossiilisten polttoaineiden tuotannossa kuluvaan energiaan nähden. Näin ollen primäärienergiankulutusta ei voida vähentää korvaamalla fossiilisia polttoaineita biopolttoaineilla, mutta sen sijaan raakaöljyn kulutusta voidaan vähentää merkittävästi, sillä vain murto-osa biopolttoaineiden tuotantoketjussa kulutetusta energiasta on tyypillisesti peräisin raakaöljystä.

Tarkasteltujen kaupallisten biopolttoainetekniikoiden – ohraetanolin, RME:n ja rypsi pohjaisen NExBTL:n – kokonaiskasvihuonekaasupäästöt (WTW = well-to-wheel) arvioitiin suuremmiksi kuin fossiilisten polttoaineiden kokonaispäästöt (WTW). Päästöarvioihin liittyy huomattavia epävarmuuksia, mutta kokonaisepävarmuus on jakautunut siten, että päästöt ovat todennäköisemmin suuremmat kuin pienemmät fossiilisiin vertailupolttoaineisiin nähden.

Tarkasteltujen toisen sukupolven biopolttoaineiden – hakkuutähde- ja ruokohelpipohjaisen F-T-dieselin ja hakkuutähdepohjaisen MTBE:n – kokonaiskasvihuonekaasupäästöt (WTW) arvioitiin, epävarmuuksista huolimatta, merkittävästi fossiilisia vertailupolttoaineita pienemmiksi. Näin ollen toisen sukupolven biopolttoaineiden tuotannolla ja käytöllä arvioitiin saavutettavan merkittäviä päästövähennyksiä fossiilisiin vertailupolttoaineisiin nähden. Sekä metsätähteiden että ruokohelven käyttö sähkön ja/tai lämmöntuotannossa turpeen korvaajana tuottaa kuitenkin suuremmat päästövähennykset kuin jalostaminen ja käyttö liikenteen polttoaineiksi.

Ohraetanolin tai RME:n tuotanto ja käyttö eivät välttämättä vähennä, vaan saattavat päinvastoin lisätä, kasvihuonekaasujen päästöjä suhteessa fossiilisiin vertailupolttoaineisiin, kun koko tuotanto- ja käyttöketju otetaan huomioon. Viljelemättömien peltojen käyttöönotto ohraetanolin tai rypsi biodieselin tuotantoon saattaa siis lisätä kasvihuonekaasujen absoluuttisia päästöjä, vaikka tuotetuilla polttoaineilla korvataankin fossiilisia polttoaineita. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, etteivätkö absoluuttiset päästöt voisi vähentyä nykytilanteesta, mikäli nykyisiä viljelyketjuja, joissa pelloilla joka tapauksessa viljellään jotain, optimoitaisiin kasvihuonekaasupäästöjen vähentämiseksi. Kasvihuonekaasupäästöt vähenisivät kuitenkin todennäköisesti enemmän, jos vähennettäisiin ylimääräistä viljelyä kuin jos pellot käytettäisiin ohraetanolin tai rypsi biodieselin valmistukseen.

Eräs keskeinen ohraetanolin ja rypsi biodieselin tuotannon kasvihuonekaasupäästöjä pienentävä tekijä voisi olla ohran oljen ja rypsin korren energiakäyttö korvaamaan päästöintensiivisempiä polttoaineita. Periaatteessa oljella ja korrella voitaisiin korvata turvetta sähkön ja/tai lämmön tuotannossa tai käyttää niitä pienemmässä mittakaavassa korvaamaan esim. lämmitysöljyä. Lisäksi olki voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää etanolin tuotannon raaka-aineena. Liian intensiivinen oljen korjuu voi kuitenkin pienentää maan hiilitasetta ja lisätä jonkin verran lannoitustarvetta, mikä voi osittain kompensoida oljen käytöllä saavutettavan hyödyn kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisessä. Oljen korjuun mahdollisuuksia ja vaikutuksia tulisikin selvittää tarkemmin.

Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto on nykyisellään 30–100 % kalliimpaa kuin fossiilisten polttoaineiden tuotanto, joten saavutettavien päästövähennysten hinta on korkea. Koska päästöjen vähennys on niukka tai jopa olematon viljapohjaisten polttoaineiden korvatussa fossiilisia vertailupolttoaineita, ei päästövähennykselle voitu määrittellä hintaa lainkaan tai se on hyvin korkea. Kehitteillä olevien toisen sukupolven biopolttoaineiden päästövähennyskustannukset liikkuvat nykyisen raakaöljyn hinnalla tasolla 30–100 euroa vähennettyä hiilidioksidiekvivalenttitonnia kohden, mm. saavutettavien päästövähennysten epävarmuuden sekä raaka-aineen ja sen hinnanvaihteluiden mukaan. Raakaöljyn hinnan noustessa päästövähennyskustannukset alenevat jyrkästi. Kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittaminen energiantuotannossa on kuitenkin liikennesektoria edullisempaa.

VTT on täydentämässä työtä arvioimalla muita kehitteillä olevia konsepteja, kuten turpeesta valmistettavaa Fischer-Tropsch-dieseliä, olki- ja ruokohelpietanolia sekä biomassasta valmistettavan synteettisen metaanin tai vedyn käyttöä öljynjalostamon raaka-aineena. Aloitettaessa projektia vuoden 2005 alussa rajattiin budjetti- ja resurssisysteistä ulkopuolelle eri biokaasukonseptit ja jättepohjaiset biopolttoaineet. Olisi perusteltua tehdä kokoava tarkastelu, jossa kaikkia keskeisiä teollisia biopolttoaineiden tuotanto- ja käyttöketjuja arvioitaisiin samoilla rajauksilla ja laskentaperusteilla.

Maaseudun kehittämisen näkökulmasta liikenteen biopolttoaineiden tuotanto toisi peltokasveille uusia käyttökohteita. Jos Suomessa tuotettaisiin biopolttoaineita kotimaisista peltokasveista, tuotanto vaikuttaisi maataloudessa osittaisena toimeentulolähteenä tai toimeentulon jatkumisena.

Ilmastonmuutoksen torjuntaa koskevassa päätöksenteossa keskeistä on, että suunnitellut ja täytäntöön pantavat toimenpiteet vähentävät kasvihuonekaasujen absoluuttisia päästöjä globaalisti. Huonosti suunnitellut toimenpiteet saattavat johtaa päästöjen näennäiseen vähenemiseen, jolloin päästöjen väheneminen tietyssä paikassa kompensoituu päästöjen kasvamisella toisessa paikassa (ns. hiilivuoto). Tästä syystä päätöksenteon tueksi tehtävien tarkastelujen rajojen tulee olla riittävän laajat. Suhteelliset päästövähennysvertailut ovat hyödyllisiä arvioitaessa, mitä keinoja voitaisiin ottaa käyttöön absoluuttisten päästöjen vähentämiseksi. Toisaalta voidaan myös kysyä, väheneekö fossiilisten polttoaineiden käyttö liikenteessä biopolttoaineiden käytön lisäämisellä.

Kaiken kaikkiaan kysymys kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä on hyvin moniulotteinen ja hankala. Erilaiset rajausongelmat ja oletukset suhteellisissa tarkasteluissa johtavat helposti siihen, että tarkasteltujen päästövähennyskeinojen vaikutusta absoluuttisiin päästöihin on vaikea todentaa. Lisäksi tarkasteltaviin keinoihin liittyy ilmastonmuutoksen torjunnan ohella myös monia muita keskeisiä kysymyksiä, jotka nostavat esiin erilaisia oikeudenmukaisuuden periaatteita. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi vallitseva nälänhätä, ruoan riittävyys, maaseudun autioituminen, työllisyys ja keinoihin liittyvät muut ympäristövaikutukset. Euroopan komissio on helmikuussa 2006 julkaisemansa biopolttoainestrategian mukaisesti luomassa kestävän kehityksen kriteeristöä liikenteen biopolttoaineille. Olisi tärkeää, että päätöksenteossa voitaisiin huomioida kaikki keskeiset tekijät riittävän tarkasti. Se on mahdollista vain toteuttamalla riittävän laaja-alaista ja kattavaa tutkimusta päätöksenteon tueksi.

Lähdeluettelo

- Aakko, P. & Nylund, N.-O. 2003a. IEA/AMF Annex XXII: Particle emissions at moderate and cold temperatures using different fuels. Projektiraportti PRO3/P5057/03. Espoo: VTT Prosessit.
- Aakko, P. & Nylund, N.-O. 2003b. Particle emissions at moderate and cold temperatures using different fuels. SAE technical paper 2003-01-3285. Espoo: VTT.
- AFDC. 2004. Alternative Fuels Data Center.
http://www.eere.energy.gov/cleancities/afdc/pdfs/biodiesel_chart.pdf.
- Bosch. 2002. Bosch Automotive Handbook. 6th Edition. Robert Bosch GmbH.
- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. VTT Tiedotteita 2045. Espoo: VTT. 172 s. + liitt. 17 s. Saatavilla:
<http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2045.pdf>.
- Alakukku, L., Mikkola, H. & Teräväinen, H. (toim.). 2004. Suorakylvöopas. ProAgria Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja 1003, Tieto tuottamaan 107. Vantaa: ProAgria Maaseutukeskusten Liitto. 91 s.
- Altia. 2006. <http://www.altia.fi>.
- Asikainen, A., Ranta, T., Laitila, J. & Hämäläinen, J. 2001. Hakkuutähdehakkeen kustannustekijät ja suurimittakaavainen hankinta. Tiedonantoja 131. Joensuu: Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta.
- Ball, B. C., Scott, A. & Parker, J. P. 1999. Field N₂O, CO₂ and CH₄ fluxes in relation to tillage, compaction and soil quality in Scotland. Soil & Tillage Research 53 (1999), s. 29–39.
- Bernesson, S., Nilsson, D. & Hansson, P.-A. 2006. A limited LCA comparing large- and small-scale production of ethanol for heavy engines under Swedish conditions. Biomass and Bioenergy 30 (2006), s. 46–57.
- Danfors, B. 1988. Bränsleförbrukning och avverkning vid olika system för jordberedning och sådd. Meddelande nr 420. Uppsala: Jordbrukstekniska Institutet. 85 s.
- Edwards, R., Griesemann, J.-C., Larivé, J.-F. & Mahieu, V. 2003a. Well-to-Wheels Analysis of Future automotive Fuels and Powertrains in the European Context. Jointly carried out by EUCAR, CONCAWE and JRC/IEA. Well-to-Tank Report Version 1, December 2003.

Edwards, R., Griesemann, J.-C., Larivé, J.-F. & Mahieu, V. 2003b. Well-to-Wheels Analysis of Future automotive Fuels and Powertrains in the European Context. Jointly carried out by EUCAR, CONCAWE and JRC/IEA. Tank-to-Wheels Report Version 1, December 2003.

Edwards, R., Griesemann, J.-C., Larivé, J.-F. & Mahieu, V. 2004. Well-to-Wheels Analysis of Future automotive Fuels and Powertrains in the European Context. Jointly carried out by EUCAR, CONCAWE and JRC/IEA. Well-to-Wheels Report Version 1b, January 2004.

Ekbohm, T., Lindblom, M., Berglin, N. & Ahlvik, P. 2003. Technical and commercial feasibility study of black-liquor gasification with methanol/DME production as motor fuels for automotive uses – BLGMF. Nykomb Synergetics AB, Sweden.

ElectroWatt-Ekono. 2005. Puupolttoaineiden kysyntä, tarjonta ja toimitusvarmuus päästökauppatilanteessa. Selvitysraportteja 60K04773.01-Q060-031. ElectroWatt-Ekono.

Elsayed, M. A., Matthews, R. & Mortimer, N. D. 2003. Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuel Options. 21/3 Final Report. Sheefield Hallam University, Resources Research Unit, United Kingdom. 341 s. Saatavilla: <http://www.shu.ac.uk/rru/projects/biofuels/biofuels.html>.

Enroth, A. 2005. Nettituottopehtoori. Päivitetty 14.3.2005. Saatavilla: <http://www.agronet.fi/cgi-bin/mkl/julk/>.

Euroheat & Power. 2002. Straw in Denmark. Esitteessä ”Renewables in District Heating and Cooling”. Saatavilla: [http://www.euroheat.org/documents/RenewablesBrochure\(web\).pdf](http://www.euroheat.org/documents/RenewablesBrochure(web).pdf).

Flyktman, M. & Paappanen, T. 2005. Ruokohelpin käyttökapasiteettiselvitys. VTT Projektiraportteja PRO2105/05. Espoo: VTT.

Franssila, E. (toim.). 2005. Öljykasvinviljelijän opas. Verkkoersio päivitetty 15.5.2006. Saatavilla: <http://www.agronet.fi/rypsi2000>.

Gust, S. 2006. Yksityinen tiedonanto: Steven Gust, Neste Oil Oyj. Steven.Gust@nesteoil.com, kesäkuu 2006.

Gustavsson, L., Karjalainen, T., Marland, G., Savolainen, I., Schlamandinger, B. & Apps, M. 2000. Project-based greenhouse-gas accounting: guiding principles with a focus on baselines and additionality. Energy Policy 28 (2000), s. 935–946.

Hamelinck, C. N. 2004. Outlook for advanced biofuels. Doctorate thesis. Utrecht: University of Utrecht.

HAMK. 2005. Etanoli- ja biokaasutehdas Hämeeseen – esiselvitys. ESLH-2004-08410. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu, bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelma.

Hansen, M. T. 2000. Bioenergy for district heating. Teoksessa: Danish Bioenergy solutions – reliable and efficient. The Centre for Biomass Technology. Pdf-files of the publication presented at the First World Conference and Exhibition on Biomass for Energy and Industry, June 5–9, 2000, Sevilla. S. 16–17. Saatavilla: http://www.videncenter.dk/exportcat/district_heating.pdf.

Harstela, P (toim.). 2004. Metsähake ja metsätalous. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 913. Helsinki: Metla, Suonenjoen tutkimusasema.

Hero, H. 2005. Kirjallinen tiedonanto lannoitteiden valmistuksen polttoaineen kulutuksesta, Kemira GrowHow.

Hillebrand, K. (toim.). 2004. Metsähakkeen tuotannon kehittäminen nuorista metsistä. Hankekokonaisuus 2001–2004, Osaprojektien loppuraportit. VTT Projektiraportti PRO2/P6021/05. Espoo: VTT.

Hillebrand, K., Paappanen, T., Frilander, P. & Nylund, M. 2004. Safe and as dust-free as possible fuel handling design for biomass-based fuels. VTT Project report PRO2/P6008/04. Espoo: VTT.

IPCC. 1996a. Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Great Britain. 572 s.

IPCC. 1996b. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Houghton, J. T., Meira Filho, L. G., Lim, B., Treanton, K., Mamaty, I., Bonduki, Y., Griggs, D. J. & Callender, B. A. (toim.). IPCC/OECD/IEA. Bracknell: UK Meteorological Office. Saatavilla: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>.

IPCC. 2003. Good Practice Guidance for Land use, Land use change and Forestry. Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. & Wagner, F. (toim.). Ha yama: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Saatavilla: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/gpgaum.htm>.

IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Pre-publication Draft. Adopted and accepted at the 25th session of the IPCC in April, 2006. Saatavilla: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/ppd.htm>.

ISO 14040. 1997. Environmental management, Life cycle assessment, Principles and framework. Geneve: International Organization of Standardization. 12 s.

Jansson, H., Ylärinta, T. & Sillanpää, M. 1985. Macronutrient contents of different plant species grown side by side. *Annales agriculturae Fenniae* 24, 3: *Seria Agrogeologia et -chimica* 134, s. 139–148.

Kangas, A., Laine, A., Niskanen, M., Salo, Y., Vuorinen, M., Jauhiainen, L. & Nikander, H. 2004. Virallisten lajikekokeiden tulokset 1997–2004. MTT:n selvityksiä 83. Jokioinen: MTT. 195 s.

Kansallinen ilmastostrategia. 2001. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 27.3.2001. 96 s. Saatavilla: [http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/58DF3F554AE83273C2256A1C00240943/\\$file/selonteko_1503_lopullinen.pdf](http://ktm.elinar.fi/ktm_jur/ktmjur.nsf/All/58DF3F554AE83273C2256A1C00240943/$file/selonteko_1503_lopullinen.pdf).

Katajajuuri, J.-M., Loikkanen, T., Pahkala, K., Uusi-Kämpä, J., Voutilainen, P., Kurppa, S., Laitinen, P., Mikkola, H., Kivinen, T. & Salo, S. 2000. Ympäristöhallintaa tukevan tietopohjan kehittäminen osana maatalojen laatu järjestelmää: Case: Rehuohran elinkaariarviointi. VTT Tiedotteita 2034. Espoo: VTT. 134 s. + liitt. 4 s. Saatavilla: <http://www.inf.vtt.fi/pdf/tiedotteet/2000/T2034.pdf>.

Kirkinen, J., Minkkinen, K., Sievänen, R., Penttilä, R., Alm, J., Laine, J. & Savolainen I. 2006. Greenhouse impact due to peat fuel use – A lifecycle approach. *Hyväksytyt Boreal Environment Research -lehteen*. Vol. 11.

Kirkkari, A.-M. 2005. Viljan tuotanto Suomessa. Teoksessa: Palva, R. ym. (toim.). Viljasadon käsittely ja käyttö. *Tieto tuottamaan* 108. Vantaa ja Jokioinen: ProAgria Maa-seutukeskusten Liitto ja MTT. S. 10–14.

Koizumi, H., Usami, Y. & Satoh, M. 1992. Carbon dynamics and budgets in three upland double-cropping agro-ecosystems in Japan. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 43, s. 235–244.

Korhonen, R., Savolainen, I. & Sinisalo, J. 1993. Assessing the impact of CO₂ emission control scenarios in Finland on radiative forcing and greenhouse effect. *Environmental Management* Vol. 17, No. 6 (1993), s. 797–805.

KTM. 2006. Liikenteen biopolttoaineiden tuotannon ja käytön edistäminen Suomessa. Työryhmän mietintö. KTM Julkaisuja 11/2006. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö. Saatavilla: http://www.ktm.fi/files/16086/Mietinto_final_090306.pdf.

Kurkela, E. 2006. Synteesikaasun ja ultra-puhtaan polttokaasun valmistusteknologian kehitys. Ilmastonmuutoksen hillinnän liiketoimintamahdollisuudet, ClimBus-tekniologiaohjelman katsaus 2006. Toim. E. Alakangas & J. Jussila. Teknologia katsaus 193/2006. Helsinki: Tekes. Saatavilla: http://www.tekes.fi/julkaisut/ClimBus_ohjelmakatsaus_2006.pdf.

Känkänen, H. 2004. Sato siirtymäkauden aikana. Teoksessa: Alakukku, L., Mikkola, H. & Teräväinen, H. (toim.). Suorakylvöopas. ProAgria Maaseutukeskusten Liiton julkaisuja 1003: Tieto tuottamaan 107. Vantaa: ProAgria Maaseutukeskusten Liitto. S. 57–71.

Körbitz, W., Friedrich, St., Waginger, E. & Wörgetter, M. 2003. Worldwide review on biodiesel production.

Laitila, J. 2004. Pienpuun aineiston koostaminen Elektrowatt-Ekonolle. Joensuu: Metsätutkimuslaitos.

Lauronen, M. 2005. Energiankulutus maanparannuskalkin valmistuksessa. Henkilökohmainen tiedonanto 27.9.2005. mikko.lauronen@nordkalk.com.

Leinonen, A. & Hillebrand, K. 2000. Turpeen asema bioenergiana. Loppuraportti. Julkaisu 15. Jyväskylä: Finbio. 66 s. + liitt. 2 s.

LIISA. 2004. Tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmä. Espoo: VTT. Saatavilla: <http://lipasto.vtt.fi/lipasto/liisa/index.htm>.

Lindh, T., Kallio, E., Paappanen, T., Leinonen, A. & Kaipainen, H. 1998. Irtokorjuunetelmän kehittäminen korsibiomassan korjuuseen ja toimitukseen seospolttoaineeksi 1995–1997. VTT Tutkimusselostus ENE32/T0119/98. Espoo: VTT.

LIPASTO. 2004. Suomen liikenteen pakokaasupäästöjen ja energiankulutuksen laskentajärjestelmä. Espoo: VTT. Saatavilla: <http://lipasto.vtt.fi/>.

Maatilatilastollinen vuosikirja. 2001. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. 262 s.

Maatilatilastollinen vuosikirja. 2002. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. 266 s.

Maatilatilastollinen vuosikirja. 2004. (Yearbook of farm statistics 2004.) Suomen virallinen tilasto. Maa-, metsä- ja kalatalous 2004. 61 s. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. S. 106–118.

Maatilatilastollinen vuosikirja. 2005. (Yearbook of farm statistics 2005.) Suomen virallinen tilasto. Maa-, metsä- ja kalatalous 2005. 63 s. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. S. 106–118.

Martti, O.-P. 2005. Raisio Oyj. Suullinen tiedonanto.

Marttila, M. 2005. Altia Oyj. Suullinen tiedonanto.

Matilda. 2005. Maa- ja metsätalousministeriön Matilda-tietopalvelu. Saatavilla: <http://matilda.mmm.fi>.

Mattila, I. 2006. MTK. Biopolttoaineet maaseudulta. KTM:n keskustelutilaisuus liikenteen biopolttoaineista. 27.9.2006.

McKeough, P. & Kurkela, E. 2005. Comparison of the performances and costs of alternative applications of biosyngas. Paper presented at 14th European Biomass Conference, Paris, 17–21 October, 2005.

Metsä vastaa -verkkopalvelu. 2006. Saatavilla: <http://www.metsavastaa.net/>.

Minkkinen, K. & Laine, J. 2001. Turpeen käytön kasvihuonevaikutusten lisätutkimuskartoitus. Raportti, Drnro 5/464/2001. Helsinki: Kauppa- ja teollisuusministeriö. 56 s.

MMM. 2005. Peltoviljelyn tulevaisuuden linjaukset Suomessa, työryhmämuistio 2005:15. Helsinki 2005. Luovutettu maa- ja metsätalousministeriölle. Saatavilla: http://www.mmm.fi/tiedoteliitteet/trm2005_15.pdf.

Monni, S., Korhonen, R. & Savolainen, I. 2003. Radiative forcing due to anthropogenic greenhouse gas emissions from Finland: Methods for estimating forcing of a country or an activity. Environmental Management Vol. 31, No. 3, s. 401–411.

Monni, S., Perälä, P. & Regina, K. 2005. Uncertainty in agricultural CH₄ and N₂O emissions from Finland – possibilities to increase accuracy in emission estimates. Teoksessa: Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. Painossa. 34 s.

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

Mäkelä, K. 2005. Yksikköpäästöt, tavaraliikenne. Päivitetty 1.12.2003. Saatavilla: <http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/tukkirekkakeskim.htm>.

Mäkelä, O. & Ahokas, J. 1983. Kotimainen polttoaine viljankuivauksessa. Tutkimusse-
lostus 32. Vihti: Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos. 71 s.

Mäkelä, K., Laurikko, J. & Kanner, H. 2005. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt –
LIISA 2004 -laskentajärjestelmä. VTT, tutkimusraportti RTE 2881/05. Saatavilla:
<http://lipasto.vtt.fi/lipasto/liisa/liisa2004raportti.pdf>.

Nagy, B., Faust, D., Balló, B., Szabó, J., Stampel, J. & Bártfai, Z. 1994. Report about
the application technological testing of the combine. Gödöllő, Unkari. Sampo-
Rosenlew Oy:n sisäinen raportti.

Nylund, N.-O., Kytö, M., Ikonen, M., Rautiola, A. & Kokko, J. 1992. Uusien oksyge-
naattien käyttö bensiinikomponentteina. VTT Tiedotteita 1364. Espoo: VTT. 88 s.

Nylund, N.-O., Erkkiä, K., Lappi, M. & Ikonen, M. 2004. Transit Bus Emission Study:
Comparison of Emissions from Diesel and Natural Gas Buses. Research report:
PRO3/P5150/04. Saatavilla:
<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2004/TransitBusEmission.pdf>.

Opas kannonnostoon. Keski-Suomen metsäenergia II -projekti. 2005. Jyväskylä:
Jyväskylä Science Park.

OPET. 2001. Fuels – bioenergy in Denmark. Saatavilla:
<http://www.opet.dk/biosector/fuel-bio.htm>.

Paappanen, T., Kallio, E., Kirjalainen, T. & Lindh, T. 2006. Jahtavisnevan tuottajaren-
kaan toiminnan kehittäminen ruokohelven tuotannossa, väliraportti I. Projektiraportti
PRO2/2063/05. Espoo: VTT Prosessit.

Pahkala, K., Mela, T. & Laamanen, L. 1994. Agrokuidun tuotanto- ja käyttömahdolli-
suudet Suomessa: alustavan tutkimuksen loppuraportti 1990–1992. Tiedote (1994):
12/94. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. 55 s.

Pahkala, K., Iso-lahti, M., Partala, A., Suokannas, A., Kirkkari, A.-M., Peltonen, M.,
Sahramaa, M., Lindh, T., Paappanen, T., Kallio, E. & Flyktman, M. 2005. Ruokohelven
viljely ja korjuu energian tuotantoa varten – 2. korjattu painos. Maa- ja elintarviketalou-
s, kasvintuotanto. Jokioinen: MTT.

- Palonen, J. & Oksanen, E. H. 1993. Labour, machinery and energy data bases in plant production. Työtehoseuran julkaisuja 330. Helsinki: Työtehoseura. 106 s.
- Palosuo, T. & Wihersaari, M. 2000. Puuenergia ja kasvihuonekaasut. Osa 2: Hakkuutahteiden energiakäytön vaikutus metsien maaperän hiilitaseeseen. VTT Energian raportteja 9/2000. Espoo: VTT.
- Paustian, K., Cole, C.V., Sauerbeck, D., Sampson, N. 1998. CO₂ Mitigation by Agriculture: An Overview. Climatic Change 40, pp. 135–162. 1998.
- Peltonen, S. 2002. Peltokasvien kasvinsuojelu. Maaseutukeskusten liiton julkaisuja 978: 10–16. Vantaa: ProAgria Maaseutukeskusten Liitto.
- Peltonen-Sainio, P. ym. (toim.). 2003. Laatusiemenen tuotanto. Tieto tuottamaan 100. Vantaa ja Jokioinen: ProAgria Maaseutukeskusten Liitto ja MTT. S. 5–8.
- Pingoud, K., Pohjola, J., Valsta, L. & Karttunen, K. 2006. Tapaustarkastelu: Metsien ja puutuotteiden yhdistetty vaikutus. Luku 4 julkaisussa: Valsta, L., Ahtikoski, A., Horne, P., Karttunen, K., Kokko, K., Melkas, E., Mononen, J., Pingoud, K., Pohjola, J. & Uusivuori, J. Puu ilmastonmuutoksen hillitsijänä. Tutkimusraportteja 39. Helsinki: Helsingin yliopisto, metsäekonomian laitos. Saatavilla:
<http://honeybee.helsinki.fi/%7Evalsta/carbon/hiililoppuraportti-final.pdf>.
- Pipatti, R., Tuhkanen, S., Mälkiä, P. & Pietilä, R. 2000. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt sekä päästöjen vähentämisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus. VTT Julkaisu 841. Espoo: VTT. 72 s. Saatavilla:
<http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/julkaisut/2000/J841.pdf>.
- Pokki, J. 1982. Rehuviljan ilmatiivis varastointi. Työtehoseuran julkaisuja 240. Helsinki: Työtehoseura. 75 s.
- Raisio Group. 2005. <http://www.raisiogroup.com>. 19.5.2005.
- Ranta, T. 2004. Metsähakkeen tarjontaa liittyvät laskelmat yhteistyössä Elektrowatt-Ekonon kanssa. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto.
- Rantanen, L., Linnaila, R., Aakko, P. & Harju, T. 2005. NExtBTL – biodiesel fuel of the second generation. Society of Automotive Engineers, SAE Technical Paper 2005-01-3771.
- Rehutaulukot ja ruokintasuositukset. 2004. MTT:n selvityksiä 86. Jokioinen: MTT. 84 s.

- Riepponen, L. 2003. Maidon ja viljan tuotantokustannukset Suomen kirjanpito-tiloilla vuosina 1998–2000. Maa- ja elintarviketalous 19. Jokioinen: MTT. 32 s.
- Rinaldi, M., Erzinger, S. & Stark, R. 2005. Treibstoffverbrauch und Emissionen von Traktoren bei landwirtschaftlichen Arbeiten. FAT-Schriftenreihe Nr. 65. 92 s.
- Rinne, S. 2005. Ruokohelven kuljetuskustannukset, kirjallinen tiedonanto. Espoo: VTT Prosessit.
- Rinne, S., Kaipainen, H. & Tiihonen, I. 2005a. Hakkuutähteen autokuljetuksen kehittäminen tiivistävällä kuormaratkaisulla. VTT Projektiraportteja PRO2/P6015/05. Espoo: VTT.
- Rinne, S., Kallio, E. & Lindh, T. 2005b. Ruokohelven murskaus- ja silppuamiskokeet Seinäjoen voimalaitoksella 26.–28.10.2004. Projektiraportti PRO2/P6035/04. Espoo: VTT Prosessit.
- Sankari, H. & Pahkala, K. 1994. Öljykasvien kylvömäärien tarkentaminen. Koetoiminta ja käytäntö 51, 26.4.1994, s. 13.
- Savolainen, I., Hillebrand, K., Nousiainen, I. & Sinisalo, J. 1994a. Greenhouse Impacts of the use of peat and wood for energy. VTT Research Notes 1559. Espoo: VTT. 65 s. + liitt. 9 s.
- Savolainen, I., Hillebrand, K., Nousiainen, I. & Sinisalo, J. 1994b. Comparison of radiative forcing impacts of the use of wood, peat, and fossil fuels. World Resource Review 6(2), s. 248–262.
- Solio, J. 2005. Esitys ja keskustelut Etelä-Savon maakuntaliiton rahoittaman Biopohjaisten liikennepolttoaineiden kehittämisohjelma -hankkeen kokouksessa. Mikkeli 28.9.2005.
- Statistics Finland. 2006. Greenhouse Gas Emissions in Finland 1990–2004. National Inventory Report to the European Union, 15 January 2006. Saatavilla: http://tilastokeskus.fi/tup/khkinv/fin_nir_2006.pdf.
- Suomi, P., Lötjönen, T., Mikkola, H., Kirkkari A.-M. & Palva, R. 2003. Viljan korjuu ja varastointi laajenevalla viljatilalla. Maa- ja elintarviketalous 31. Jokioinen: MTT. 100 s.
- Tilastokeskus. 2005a. Energiatilastot 2004. Tilastokeskus. Suomen virallinen tilasto. Helsinki: Tilastokeskus. Saatavilla: <http://www.stat.fi/energia>.

Tilastokeskus. 2005b. National Inventory Report. Saatavilla:
http://www.stat.fi/tup/khkinv/khkaasut_raportointi.html.

Tsupari, E., Tormonen, K., Monni, S., Vahlman, T., Kolsi, A. & Linna, V. 2006. Dityppioksidin (N₂O) ja metaanin (CH₄) päästökertoimia Suomen voimalaitoksille, lämpökeskuksille ja pienpoltolle. VTT Working Papers 43. Espoo: VTT. 94 s. + liitt. 7 s. Saatavilla: <http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W43.pdf>.

Tuunanen, L. 1993. Pellolla kasvatetun biomassan polttaminen. Työtehoseuran maataloustiedote 15 (437). Helsinki: Työtehoseura. 6 s.

Wahlroos, L. 1979. Kotimaiset polttoaineet ja keskuslämmityskattilat. Kokemäki: Energiakirjat. 340 s.

Vesterinen, R. 2003. Estimation of CO₂ emission factors for peat combustion on the basis of analyses of peat delivered to power plants. Research report PRO2/P6020/03. Espoo: VTT Processes, Energy Production. 25 s. + liitt. 5 s.

von Weymarn, N. 2005. Ohratärkkelysprosessin massataseet. VTT:n sisäinen muistio. 27.12.2005.

Wihersaari, M. 2005. Aspects on bioenergy as a technical measure to reduce energy related greenhouse gas emissions. VTT Publications 564. Espoo: VTT. 93 s. + liitt. 71 s. Saatavilla: <http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/publications/2005/P564.pdf>.

Wihersaari, M. & Palosuo, T. 2000. Puuenergia ja kasviuonekaasupäästöt. Osa 1: Päätehakkuun haketuotantoketjujen kasviuonekaasupäästöt. VTT Energian raportteja 8/2000. Espoo: VTT.

Villa, A. 2000. Hiili ja energia metsätaloudessa ja massanvalmistuksessa. Pro gradu -tutkielma. Joensuu: Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta.

Virtanen, K., Hänninen, P., Kallinen, R.-L., Vartiainen, S., Herranen, T. & Jokisaari, R. 2003. Suomen turvevarat 2000. Report of Investigation 156. Espoo: GTK. 101 s. + liitt. 7 s.

Vuorinen, M. ym. 2004. Ohra. Teoksessa: Kangas, A. & Teräväinen, H. (toim.). Pelto- kasvilajikkeet. Tieto tuottamaan 105. Vantaa ja Jokioinen: ProAgria Maaseutukeskusten Liitto ja MTT. S. 36–44.

Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung. 2005. Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs in der Land- und Forstwirtschaft. 5 s.

Liite A: Viljelymaan hiilitaselaskelmat

Muutokset viljelymaiden hiilitaseissa laskettiin IPCC:n (2003) raportointiohjeiden kaavalla 3.3.3:

$$dC_{CC_{\text{mineral}}} = [SOC_0 - SOC_{(0-T)} * A] / T$$

$$SOC = SOC_{\text{ref}} * F_{LU} * F_{MG} * F_I$$

where,

$dC_{CC_{\text{mineral}}}$ = annual change in carbon stocks in mineral soils (t C/a)

SOC_0 = soil organic carbon stock at the end of the period (t C/ha)

$SOC_{(0-T)}$ = soil organic carbon stock at the beginning of the period (t C/ha)

T = calculation period (a)

A = land area of each parcel (ha)

$SOC_{\text{(REF)}}$ = the reference carbon stock (t C/ha)

F_{LU} = stock change factor for land use or land-use change type (-)

F_{MG} = stock change factor for management regime (-)

F_I = soil organic carbon stock at the beginning of the period (-)

Laskentaparametrit valittiin IPCC:n (2003) ja Suomen virallisen kasvihuonekaasuinventaarin (Statistics Finland 2006) oletuskertoimien mukaan seuraavasti:

T = 20 a

$SOC_{\text{(REF)}}$ = 71 t C/ha

$F_{LU, (0-20)}$ = 0,82

$F_{MG, (0-20)}$ = 1,0

$F_{I, (0-20)}$ = 1,0

$F_{LU, (0)}$ = 0,71 (perinteiset viljelyketjut)

$F_{MG, (0)}$ = 1,0 (perinteiset viljelyketjut)

$F_{I, (0)}$ = 1,0 (perinteiset viljelyketjut)

$F_{LU, (0)}$ = 0,71 (suorakylvöketjut)

$F_{MG, (0)}$ = 1,16 (suorakylvöketjut)

$F_{I, (0)}$ = 1,0 (suorakylvöketjut)

Jolloin tuloksiksi saatiin:

$dC_{CC_{\text{mineral}}}$ = -0,3905 t C/ha, a (perinteiset viljelyketjut)

~ - **1,43183 t CO₂/ha, a**

$dC_{CC_{\text{mineral}}}$ = 0,01278 t C/ha, a (suorakylvöketjut)

~ **0,04686 t CO₂/ha, a**

Liite B: Ohran viljelyn lähtötiedot (keskimääräinen tuotantointensiteetti)

Ohran lähtötietotaulukko, keskimääräinen tuotantointensiteetti		Sato/ha (13 %-na)	3500 kg/ha (keskim. intensiteetti)	Koko sato	63000 kg		
TLALLA PELTOA KÄKKAAN		45 ha					
TÄRKKELYSOHRAA		18 ha					
TLALLA 2 TRAKTORIA		65 kW					
Traktori 1		50 kW					
Traktori 2							
Alia olevaan taulukkoon on listattu työvälineitä, joita on käytetty muodostettaessa erillaisiä ohran tuotantokertoja.							
Työväline	Koneet	Työvälineiden koko	Työvälineiden määrä	Yksikkö	Kulutus l/ha	Keskivaro l/ha	Kulutus koko alalla Polttoaine, sähkö, kWh
1) Kyntö	TR1 + 4-teräinen 16" sarka-aura	1,6	0,7	ha/tunti	25,1 ¹⁾	23,0 ²⁾	31,0 ³⁾
2) Sänkimuokaus (2 kertaa)	TR1 + kultivaattori	2,8	1,6	ha/tunti	20,0 ⁴⁾		20,0
3) Tasaustasaus	TR1 + levytyöväline, levytyö joka 5. vuosi	12,0	3,0	ha/tunti	2,5 ⁴⁾		0,5
4) Kyntömuokaus (2 kertaa)	TR2 + s-pölkkeä	3,8	1,6	ha/tunti	12,2 ¹⁾	7,6 ²⁾	9,2 ³⁾
5) Kyntömuokaus	TR2 + kyntömuokaus	2,5	1,0	ha/tunti	3,3 ¹⁾	4,0 ²⁾	3,7
6) Suorakylvö	TR1 + suorakylvökone	3,0	1,2	ha/tunti	6,2 ²⁾	9,0 ²⁾	7,6
7) Jyväys	TR2 + jyväys	4,0	1,6	ha/tunti	1,0 ¹⁾	1,6 ²⁾	3,5 ³⁾
8) Rikakasvien torjunta	TR2 + ruisku	12,0	4,2	ha/tunti	1,8 ¹⁾	0,6 ²⁾	2,0 ³⁾
9) Puhdistus	leikkuripuhuri	3,0	0,9	ha/tunti	13,1 ¹⁾	16,3 ²⁾	22,0 ³⁾
10) Kuljetus	TR2 + perävaunu	6 tn perävaunu	8,0	km/h	1,5 ¹⁾	1,0 ²⁾	1,3
11a) Lämmittimen käyttö	TR2 + perävaunu	0,167 ⁵⁾		l/ohjainmahd./vesikilo			12,14
11b) Lämmittimen käyttö	kuivuri puhalin + elevaattori	70h	16	kWh			1128
11c) Lämmittimen käyttö	Käyntilaita 8 tuntia/erä			kWh			1128
12) Varastointi	siirto elevaattori	0,35		kWh/ha/mhd./vesikilo			2544
13) Siirto ajoneuvoon	siirto elevaattori	0,08		kWh/tonni			5
	siirto elevaattori	0,08		kWh/tonni			5

1) Palonen, J. & Oksanen, E. H. 1993. Labour, machinery and energy data bases in plant production. Työohjeiden julkaisu 330. 106 p.
 2) Danfors, B. 1988. Bränsförbrukning och avverkning vid olika system för jordbruksmekaniska åsarbeten, meddelande nr 420. 85 p. (Kulutusluvut on kerrottu luvulla 1,2 päälle-ym. ajan huomioon otamiseksi.)
 3) Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs in der Land- und Forstwirtschaft 2005. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, 5 p.
 4) Rinaldi, M., Ezinger, S., & Stark, R. 2005. Treibstoffverbrauch und Emissionen von Traktoren bei landwirtschaftlichen Arbeiten. FA-T-Schriftenreihe Nr. 65. 92 p.
 5) Nagy, B., Fausst, D., Baló, B., Szabó, J., Stampel, J. & Benfai, Z. 1994. Report about the application technological testing of the combine. Gödöllő, Unkari. Sampo-Rosenlew Oy:n sisäinen raportti.
 6) Suomi, P., Lofgren, T., Mikola, H., Kirikari A-M. & Paiva, R. 2003. Viljan korjuu ja varastointi laajenevalla viljalla. Väe- ja elintarviketieteen tutkimuskeskus, 31. 100 s.
 7) Maatalouden työnormit, kasvituotannon yleiset työt. Työohjeiden maataloustieteiden osasto 14/1992 (421). 8 s.
 8) Kulituksen lähtökosteus 22 % ja loppukosteus 13 %.

VILJATILAN KULUTUKSET YHDEN VILJELLYKERRON AIKANA OHRAN VILJELLYN		Polttoaine, sähkö, kWh	Voiteluöljy, l
A	Perusmuokkauksena kyntö, tuotantoketjun työvälineet: 1a, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 11a, 12, 13	2287	1138
B	Perusmuokkauksena sänkimuokaus kahteen kertaan, tuotantoketjun työvälineet: 1b, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 11a, 12, 13	2180	1138
C	Perusmuokkauksena sänkimuokaus yhteen kertaan, tuotantoketjun työvälineet: 1b/2, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 11a, 12, 13	2000	1138
D	Suorakylvö + varastointi/kaistelynä lämmittimen käyttö, tuotantoketjun työvälineet: 2, 6, 8, 9, 10, 11a, 12, 13	1620	1025
E	Suorakylvö + varastointi/kaistelynä lämmittimen käyttö, tuotantoketjun työvälineet: 2, 6, 8, 9, 10, 12, 13	527	10
F	Perusmuokkauksena sänkimuokaus kahteen kertaan, kuivaus hakeämmöllä, tuotantoketjun työvälineet: 1b, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 11b, 12, 13	1017	1138
A	Vastaavat luvut tonnia kohden	36	18
B	(Majan kosteus 13 %)	35	18
C		32	18
D		26	16
E		8	0
F		16	18

Liite C: Ohran lähtötiedot (korkea tuotantointensiteetti)

Ohran lähtötietotaulukko, korkea tuotantointensiteetti		Sato/ha (13 %:na)	4200 kg/ha (korkea intensiteetti)	Koko sato	75600 kg
TLALLA PELTOA KÄKKAAN	45 ha				
TÄRKKELYSOHRAA	18 ha				
TLALLA 2 TRAKTORIA					
	Traktori 1	65 kW	18 litraa/h		
	Traktori 2	50 kW	14 litraa/h		

Alla olevaan taulukkoon on listattu työvälineitä, joita on käytetty muodostettaessa erillaisia ohran tuotantoketjuja.

Työväline	Koneet	Työaika, m	Työaikaus ⁷⁾ kulutus kWh/ha	Yksikkö	Kulutus /ha	Keskiv. l/ha	Kulutus koko alalla
1a) Kyntö	TR1 + 4-teräinen 16" sarka-aura	1,6	0,7	ha / tunti	25,1 ¹⁾	26,0	467
1b) Sänkimokkaus (2 kertaa)	TR1 + kullivaatori	2,8	1,6	ha / tunti	20,0 ²⁾	20,0	380
2) Kalkitus/urakointi/88 kW traktori	TR1 + levytyväänne, eväns jousi 5 v. vuosi	12	3	ha / tunti	2,5 ³⁾	0,5	9
3) Tasaustöytä	TR2 + tasauslaite	5	3	ha / tunti	4,5 ¹⁾	4,5	81
4) Kylvömuokaus (2 kertaa)	TR1 + s-pikiläite	3,8	1,6	ha / tunti	12,2 ¹⁾	9,2 ²⁾	174
5) Kylvö-lannoitus	TR2 + kyövälinnollin	2,5	1	ha / tunti	3,3 ¹⁾	3,7	66
6) Suorakylvö	TR1 + suorakylvökone	3	1,2	ha / tunti	6,2 ²⁾	9,0 ¹⁾	137
7) Jyväys	TR2 + jyvä	4	1,6	ha / tunti	1,0 ¹⁾	1,6 ²⁾	37
8) Rikakasvien ja taimien torjunta	TR2 + ruisku	12	4,2	ha / tunti	1,8 ¹⁾	0,6 ²⁾	53
9) Puhti	leikkuri	3	0,9	ha / tunti	13,1 ¹⁾	16,3 ²⁾	308
10) Kylvömuokaus ⁸⁾	6 tn perävaunu	8	0,167 ⁹⁾	km/h	1,5 ¹⁾	1,0 ²⁾	26
11a) Käynninmuokaus ⁸⁾	silokukurit	85 h	16	kWh/ha			1457
11b) Käynninmuokaus ⁸⁾	kuivuri	85 h	16	kWh/ha			1363
11c) Käynninmuokaus ⁸⁾	kuivuri	85 h	16	kWh/ha			3053
12) Varsaanti	siirto-elevaattori		0,08	kWh/tonni			6
13) Siirto alnauvoon	siirto-elevaattori		0,08	kWh/tonni			6

VILJATILAN KULUTUKSET YHDEN VILJELYKIERRON AIKANA OHRAN VILJELYYN	Polttoaine, Sähkö, kWh	Voiteluöljy, l
A) Perusmuokausena kyntö, tuotantoketjun työvälineet: 1a, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11a, 12, 13	2677	1365
B) Perusmuokausena sänkimokkaus kahteen kertaan, tuotantoketjun työvälineet: 1b, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11a, 12, 13	2570	1365
C) Perusmuokausena sänkimokkaus yhteen kertaan, tuotantoketjun työvälineet: 1b/2, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11a, 12, 13	2390	1365
D) Suorakylvö + varastointikäsittelyä lämmittämällä, tuotantoketjun työvälineet: 2, 6, 8, 9, 10, 11a, 12, 13	1868	1230
E) Suorakylvö + varastointikäsittelyä lämmittämällä, tuotantoketjun työvälineet: 2, 6, 8, 9, 10, 12, 13	557	12
F) Perusmuokausena sänkimokkaus kahteen kertaan, kuivaus hakeilamöllä, tuotantoketjun työvälineet: 1b, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11b, 12, 13	1175	1365
A)	35	18
B)	34	18
C)	32	18
D)	25	16
E)	7	0
F)	16	18

Vastaaet luvut tonnia kohden
(Majan kosteus 13 %)

¹⁾ Rabonen, J. & Oksanen, E. H. 1993. Labour, machinery and energy data bases in plant production. Työohjeuraan julkaisu 330, 106 p.
²⁾ Danfors, B. 1988. Bränsleförbrukning och avverkning vid olika system för jordberedning och sådd. Jordbruksvetenskapliga institutet, meddelande nr 420. 85 p. (Kulutukset on kerrottu luvulla 1,2 päälle-ym. alpn huomioon otamiseksi.)
³⁾ Ermittlung des Kraftstoffverbrauches in der Land- und Forstwirtschaft 2005. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, 5 p.
⁴⁾ Rinaldi, M., Ezinger, S., & Stark, R. 2005. Treibstoffverbrauch und Emissionen von Traktoren bei landwirtschaftlichen Arbeiten. FA-T-Schriftenreihe Nr. 65, 92 p.
⁵⁾ Nagy, B., Faust, D., Baló, B., Szabó, J., Stampai, J. & Benfai, Z. 1994. Report about the application technological testing of the combine. Gödöllő, Unkari. Sampo-Rosenlew Oy:n sisäinen raportti.
⁶⁾ Suoni, P., Lofjöhnen, T., Mikkola, H., Kirikari A-M. & Paiva, R. 2003. Viljan korjuu ja varastointi laajenevalla viljalla. Väe- ja elintarviketalous 31, 100 s.
⁷⁾ Meatalouden työnormit, kasvituotannon yleiset työt. Työohjeuraan maataloustiedote 14/1992 (421), 8 s.
⁸⁾ Kylvömuokaus lähtökosteus 22 %, ja loppukosteus 13 %.

Liite D: Rypsin viljelyn lähtötiedot

Rypsin lähtötietotaulukko		Sato/ha (9 %:na)	1600 kg/ha	Koko sato	22400	kg	
VILJATILAN - RYP SIN KONEK E T J U T							
TILALLA PELTOA KAIKKIAAN RYPSIÄ		56	ha				
		14	ha				
TILALLA 2 TRAKTORIA							
Traktori 1		65	KW				
Traktori 2		50	KW				
Maksimi kulutus 18 litraa/h							
Maksimi kulutus 14 litraa/h							
Alia olevaan taulukkoon on listattu työvälineitä, joita on käytetty muodostettaessa onlainsia ohran tuotantoketjuja.							
Työväline	Koneet	Työvälineiden m	Työsaavutus ⁷⁾ tai energiankulutus	Yksikkö	Kulutus l/ha	Keskivaro jina	Kulutus koko alalla
1) Kylväjä	TR1 + 4-teräinen 16" särkeäura	1,6	0,7	ha / tunti	25,1 ¹⁾	26,0	363
2) Sankimokkaus (2 kertaa)	TR1 + kullivaatori	2,8	1,6	ha / tunti	20,0 ²⁾	20,0	280
3) Kalkitus/lurakointi/88 kW traktori	TR + levitysvaunu, levitys pke 5. vuosi	12,0	3,0	ha / tunti	2,5 ³⁾	0,5	7
4) Tasaustasaus	TR1 + tasauslaite	5,0	3,0	ha / tunti	4,5 ⁴⁾	4,5	63
5) Laitteiden levitys	TR1 + 7 m ³ leveysvaunu, 34,5 tn siian leitetantaa	12,0	0,8	ha / tunti	7,0 ⁵⁾	7,7	134
6) Kylväjä-lannoitus	TR1 + s-pilkkilä	3,8	1,6	ha / tunti	12,2 ¹⁾	9,7	135
7) Suorakylvö	TR1 + suorakylvökone	2,5	1,0	ha / tunti	3,3 ¹⁾	3,7	51
8) Jyväys	TR2 + jyväys	4,0	1,6	ha / tunti	6,2 ²⁾	7,6	106
9) Rikkakasvien ja tuholaisten torjunta	TR2 + ruisku	12,0	4,2	ha / tunti	1,0 ¹⁾	2,0	28
10) Puuini	TR2 + ruisku	3,0	0,9	ha / tunti	1,8 ¹⁾	1,5	41
11) Kylväjä	TR2 + perävaunu	6 tn perävaunu	8,0	km/h	15,8 ¹⁾	17,1	252
12a) Lämmintilakäyttö	siirto eleevaatorilla	0,16 ⁶⁾	16	litraa / tunti	1,5 ¹⁾	1,3	6
12b) Lämmintilakäyttö	siirto eleevaatorilla	0,16 ⁶⁾	16	litraa / tunti	1,5 ¹⁾	1,3	6
13) Varastointi	siirto eleevaatorilla	0,08	0,35	litraa / tunti	1,0 ¹⁾	1,3	6
14) Siirto ajoneuvoon	siirto eleevaatorilla	0,08	0,08	litraa / tunti	1,0 ¹⁾	1,3	6
Kulutus koko alalla							
Polttoaine, l							
Sähk, kWh							
Voiteluöljy, l							
VILJATILAN KULUTUKSET YHDEN VILJELLYKSIÖN AIKANA RYP SIN VILJEL YN							
A	Perusmuokkauksena kylväjä, tuotantoketjun työvälineet: 1a, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12a, 13, 14	1572	453	12			
B	Perusmuokkauksena sähkimokkaus kahteen kertaan, tuotantoketjun työvälineet: 1b, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12a, 13, 14	1488	453	11			
C	Perusmuokkauksena sähkimokkaus yhteen kertaan, tuotantoketjun työvälineet: 1b/2, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11a, 12, 13	1348	453	10			
D	Suorakylvö + varastointikäsiteltyä lämmintilakäyttöä, tuotantoketjun työvälineet: 6, 8, 9, 10, 11a, 12, 13	974	408	5			
E	Perusmuokkauksena sähkimokkaus kahteen kertaan, lämmitys siian lietteellä, kylväjä hakevälineillä, tuotantoketjun työvälineet: 1b, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12b, 13, 14	891	453	11			
A	Vastatut tuotantoketjun osat	70	20	0,545			
B	Vastatut tuotantoketjun osat	66	20	0,476			
C	Vastatut tuotantoketjun osat	60	20	0,449			
D	Vastatut tuotantoketjun osat	43	16	0,214			
E	Vastatut tuotantoketjun osat	40	20	0,476			

1) Palonen, J. & Oksanen, E. H. 1993. Labour, machinery and energy data bases in plant production. Työtehoseuran julkaisuja 330, 106 p.
 2) Danfors, B. 1988. Bränsleförbrukning och avverkning vid olika system för jordberedning och sädd. Jordbruksvetenskapliga institutet, meddelande nr 420, 85 p. (Kulutusluvut on kerrottu luvulla 1,2 päälis- ym. ajon huomioon ottaen.)
 3) Ermittlung des Kraftstoffverbrauchs in der Land- und Forstwirtschaft 2005. Österreichisches Kuratorium für Landtechnik und Landentwicklung, 6 p.
 4) Rinaldi, M., Erzinger, S., & Stark, R. 2005. Treibstoffverbrauch und Emissionen von Traktoren bei landwirtschaftlichen Arbeiten. FAT-Schriftenreihe Nr. 65, 92 p.
 5) Nagy, B., Faust, D., Baló, B., Szabó, J., Stempel, J. & Bárfai Z. 1994. Report about the application technological testing of the combine. Gödöllő, Unkari. Sampo-Rosenlew Oy:n sisäinen raportti.
 6) Suomi, P., Löfjörn, T., Mikkola, H., Kirriar A-M. & Palva, R. 2003. Viljan korjuu ja varastointi laajenevalla viljalla. Maas- ja elintarviketieteiden tutkimuskeskus, 31, 100 s.
 7) Maatalouden työnormit, kasvintuotannon yleiset työt. Työtehoseuran maataloustieteiden tutkimuskeskus 14/1992 (421), 8 s.
 8) Kylväjänsäätö, 22 % ja loppukosteus 9 %.

Liite E: Ohraetanolin primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseet (standardi)

Ohraetanolin kasvihuonekaasutaseet

STANDARDISKENAARIO

Ohran siemensato
 Ohran siementen LHV-toimituskosteudessa
 Ohran siementen hiilisisältö kuiva-aineesa
 Ohran oksisato
 Ohran ojan LHV-toimituskosteudessa
 Etanoliaanto

3045 kg_karha
 17,1 MJ/kg_ka
 0,4 kg C/kg_ka
 1066 kg_karha
 17,1 MJ/kg_ka
 0,31 t_EIOh/t_ka_siemen

A: Perusmuok. kyntö (1a, 2, 5, 6, 9, 10, 11, 12a, 13, 14)
 B: Perusmuok. sänkimuokkaus, 2 kertaa (1b, 2, 5, 6, 9, 10, 11, 12a, 13, 14)
 C: Perusmuok. sänkimuokkaus, 1 kertaa (1b/2, 2, 5, 6, 9, 10, 11, 12a, 13, 14)
 D: Suorakylvö + lämminlaimakuvaus (2, 7, 9, 10, 11, 12a, 13, 14)
 E: Suorakylvö + limittävissäilöntä (2, 7, 9, 10, 11, 13, 14)
 F: Perusmuok. sänkimuokkaus, 2 kertaa, hakekuivaus (1b, 2, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12b, 13, 14)

Viljelystyyppi	A	B	C	D	E	F
Primäärienergiainput ja päästöt etanolinna kohden	Energia GJ /GJ_EIOh	Energia GJ /GJ_EIOh	Energia GJ /GJ_EIOh	Energia GJ /GJ_EIOh	Energia GJ /GJ_EIOh	Energia GJ /GJ_EIOh
	Päästöt t CO2-ekv.	Päästöt t CO2-ekv.	Päästöt t CO2-ekv.	Päästöt t CO2-ekv.	Päästöt t CO2-ekv.	Päästöt t CO2-ekv.
1a Kyntö	0,042	0,004	0,016	0,001	0,033	0,003
1b Sänkimuokkaus (2 kertaa)						
2 Kaikkilänsäntö/188 kW traktori						
- kaikin leivistys	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
- kaikin valmistus	0,015	0,001	0,015	0,001	0,016	0,001
- maaperän CO2-päästö	0,000	0,014	0,000	0,014	0,000	0,014
3 Tasaustästy						
4 Lielelännan leivitys						
5 Kylvömuokkaus (2 kertaa)	0,016	0,001	0,016	0,001	0,016	0,001
6a Kylvö-lannoitus						
- siementen tuotanto	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
- kylvö- ja lannoitus	0,006	0,001	0,006	0,001	0,006	0,001
- lannoitteiden valmistus	0,188	0,188	0,188	0,188	0,209	0,188
- maaperän suora ja epäsuora N2O-päästö	0,025	0,025	0,025	0,028	0,028	0,025
7 Suorakylvö						
8 Jyräys						
9 Rikkakasvien torjunta						
- torjuntatyö	0,002	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000
- torjunta-ainesten valmistus	0,014	0,014	0,014	0,001	0,014	0,001
- torjunta-ainesten valmistus (suorakylvöketturit)						
10 Puntti, 100 hv moottori	0,028	0,002	0,028	0,002	0,039	0,002
11 Kuljetus kuuvuriin	0,002	0,002	0,002	0,003	0,031	0,003
12a Lämminlaimakuvaus	0,111	0,111	0,111	0,111	0,002	0,000
12b Lämminlaimakuvaus haketta käyttäen						
12c Kylmäainakuvaus						
13 Varastointi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14 Siirto ajoneuvoon	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15 Kaukokuultetus	0,015	0,001	0,015	0,017	0,017	0,001
16 Etanolin prosessointi	0,627	0,033	0,627	0,033	0,627	0,033
17 Etanolin varastointi ja jakelu	0,030	0,002	0,030	0,002	0,030	0,002
18 Suostituuhihödyt						
a - oiki korvaa turvetta	0,013	-0,077	0,013	-0,077	0,013	-0,077
b - rehu korvaa turvetta	-0,274	-0,007	-0,274	-0,007	-0,274	-0,007
CASE 1 (MAX)	1,087	0,111	1,071	0,110	1,088	0,106
CASE 2 (DEF)	0,824	0,104	0,798	0,103	0,715	0,099
CASE 3 (MIN)	0,837	0,028	0,811	0,028	0,728	0,022
YHTEENSÄ (ei substituutiohydyt)						
YHTEENSÄ (substituutiohydyt, a)						
YHTEENSÄ (substituutiohydyt, b)						

Liite F: Ohraetanolin primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseet (teho)

Ohraetanolin kasvihuonekaasutaseet

TEHOSKENNÄRIÖ

3654 kg_ku/ha
 17,1 MJ/kg_ka
 0,4 kg_C/kg_ka
 1279 kg_kar/ha
 17,1 MJ/kg_ka
 0,31 t_EiOht_ka_siemen

A: Perusmuok, kyntö (1a, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12a, 13, 14)
 B: Perusmuok, sänkimuokkaus, 2 kertaa (1b, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12a, 13, 14)
 C: Perusmuok, sänkimuokkaus, 1 kertaa (1b2, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12a, 13, 14)
 D: Suorakylvö + lammimätkävy (2, 7, 9, 10, 11, 12a, 13, 14)
 E: Suorakylvö + lammimätkävy (2, 7, 9, 10, 11, 12a, 13, 14)
 F: Perusmuok, sänkimuokkaus, 2 kertaa, iete+hake (1b, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12b, 13, 14)

Viljelty	A	B	C	D	E	F
Primäärienergiainput ja päästöt etanolintuotannon kohden	Energia tCO2-ekv. /GJ_EiOh	Energia tCO2-ekv. /GJ_EiOh	Energia tCO2-ekv. /GJ_EiOh	Energia tCO2-ekv. /GJ_EiOh	Energia tCO2-ekv. /GJ_EiOh	Energia tCO2-ekv. /GJ_EiOh
18 Kyntö	0,035	0,003	0,014	0,001	0,027	0,002
1b Sänkimuokkaus (2 kertaa)	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
2 Kalkitusurakointi/88KW traktori	0,012	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
- kaikin leivisyö	0,000	0,012	0,001	0,014	0,001	0,012
- kaikin valmistus	0,000	0,011	0,000	0,000	0,001	0,000
- masperan CO2-päästö	0,006	0,001	0,006	0,000	0,013	0,000
3 Tasaustö	0,013	0,001	0,013	0,001	0,013	0,001
4 Luetelmaan leivisy	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
5 Kyntömuokkaus (2 kertaa)	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
6a Kyntö-lannoitus	0,005	0,005	0,005	0,000	0,005	0,000
- siemenien tuotanto	0,196	0,196	0,196	0,217	0,021	0,196
- kyntö- ja lannoitusyö	0,026	0,026	0,026	0,029	0,029	0,026
- lannoitteiden valmistus	0,003	0,003	0,003	0,000	0,003	0,000
- masperan suora ja epäsuora NZO-päästö	0,002	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000
7 Suorakylvö	0,011	0,011	0,011	0,002	0,011	0,001
8 Jyräys	0,023	0,023	0,023	0,032	0,032	0,023
9 Rikkakasvien torjunta	0,002	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000
- torjuntayö	0,011	0,011	0,011	0,032	0,032	0,011
- torjunta-ainesten valmistus	0,002	0,002	0,002	0,026	0,026	0,002
- torjunta-ainesten valmistus (suorakylvökäyttö)	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
10 Purinti, 100 hv moottori	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000
11 Kdjetta kuurini	0,093	0,093	0,093	0,093	0,093	0,000
12a Lämmintuotanto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
12b Lämmintuotanto haketta käyttäen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
13 Varastointi	0,013	0,013	0,013	0,015	0,013	0,000
14 Siirto aponeuvon	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,000
15 Kaukokuultelu	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,001
16 Etanolin prosessointi	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,033
17 Etanolin varastointi ja jakelu	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,002
18 Substituutioyödyt	-0,274	-0,274	-0,274	-0,274	-0,274	-0,274
a - Oike korvaa turvetta	1,072	1,064	1,051	1,072	0,986	1,081
b - rouhe korvaa soijaa	0,799	0,790	0,777	0,798	0,712	0,807
YHTEENSÄ (ei substituutioydyä)	0,811	0,803	0,790	0,811	0,725	0,820
YHTEENSÄ (substituutioydyt: a, b)						
CASE 1 (MAX)						
CASE 2 (DEF)						
CASE 3 (MIN)						

Liite G: RME:n primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseet

Rypsihajaisen biodieselin (RME) kasvihuonekaasutaseet

Rypsin siemensato	1456 kg_ka/ha	A: Perusmuok. kyntö (1a, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12a, 13, 14)
Rypsin toimituskosteus	9 %	B: Perusmuok. sänkimuok. (2x) (1b, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12a, 13, 14)
Rypsin siementen LHV toimituskosteudessa	26,2 MJ/kg_ka	C: Perusmuok. sänkimuok. (1x) (1b/2, 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12a, 13, 14)
Rypsin siementen hiilisisältö kuiva-aineessa	0,59 kg C/kg_ka	
Rypsin olkisato	1019 kg_ka/ha	D: Suorakylvö + lämminilmakuivaus (2, 7, 9, 10, 11, 12a, 13, 14)
Rypsin oljen LHV toimituskosteudessa	19,5 MJ/kg_ka	E: Perusmuok. sänkimuok. (2x), hakekuivaus (1b, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12b,
Biodiesel-saanto	0,38 t_RME/t_ka_siemen	

Viljelyketju Primaarienergiainput ja päästöt RME:n energiasisältöä kohden	Energia		Päästöt		Energia		Päästöt		Energia		Päästöt	
	GJ	t CO2-ekv.	GJ	t CO2-ekv.	GJ	t CO2-ekv.	GJ	t CO2-ekv.	GJ	t CO2-ekv.	GJ	t CO2-ekv.
	/GJ RME	/GJ RME	/GJ RME	/GJ RME	/GJ RME	/GJ RME	/GJ RME	/GJ RME	/GJ RME	/GJ RME	/GJ RME	/GJ RME
1a Kyntö	0,052	0,004										
1b Sänkimuokaus (2 kertaa)			0,040	0,003	0,020	0,002			0,040	0,003		
2 Kalkitus/urakointi/88 kW traktori												
- kalkin levitystyö	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
- kalkin valmistus	0,018	0,001	0,018	0,001	0,018	0,001	0,020	0,001	0,018	0,001	0,018	0,001
- maaperän CO2-päästö	0,000	0,017	0,000	0,017	0,000	0,017	0,000	0,017	0,000	0,017	0,000	0,017
3 Tasaustaestys	0,009	0,001	0,009	0,001	0,009	0,001			0,009	0,001		
4 Lietelannan levitys												
5 Kylvömuokaus (2 kertaa)	0,019	0,002	0,019	0,002	0,019	0,002			0,019	0,002		
6 Kylvö-lannoitus												
- siementen tuotanto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
- kylvö- ja lannoitustyö	0,007	0,001	0,007	0,001	0,007	0,001			0,007	0,001		
- lannoitteiden valmistus	0,275	0,027	0,275	0,027	0,275	0,027	0,305	0,030	0,275	0,027	0,305	0,030
- maaperän suora ja epäsuora N2O-päästö		0,038		0,038		0,038		0,043		0,043		0,038
7 Suorakylvö							0,017	0,001				
8 Jyräys	0,004	0,000	0,004	0,000	0,004	0,000						
9 Rikkakasvien ja tuholaisten torjunta												
- torjuntatyö	0,006	0,000	0,006	0,000	0,006	0,000	0,007	0,001	0,006	0,000	0,007	0,001
- torjunta-aineiden valmistus	0,028	0,002	0,028	0,002	0,028	0,002	0,060	0,004	0,028	0,002	0,060	0,004
10 Puinti, 100 hv moottori	0,036	0,003	0,036	0,003	0,036	0,003	0,040	0,003	0,036	0,003	0,040	0,003
11 Kuljetus kuivuriin	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
12a Lämminilmakuivaus	0,090	0,008	0,090	0,008	0,090	0,008	0,090	0,008	0,106	0,001	0,106	0,001
12b Lämminilmakuivaus haketta käyttäen												
12c Kylmäilmakuivaus												
13 Varastointi	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
14 Siirto ajoneuvoon	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
15 Siementen kaukokuljetus	0,008	0,001	0,008	0,001	0,008	0,001	0,009	0,001	0,008	0,001	0,009	0,001
16 Öljyn erotus	0,128	0,006	0,128	0,006	0,128	0,006	0,128	0,006	0,128	0,006	0,128	0,006
17 Öljyn raffiointi	0,013	0,001	0,013	0,001	0,013	0,001	0,013	0,001	0,013	0,001	0,013	0,001
18 Rouheen käsittely	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
19 Esterointi	0,127	0,003	0,127	0,003	0,127	0,003	0,127	0,003	0,127	0,003	0,127	0,003
20 RME:n varastointi ja jakelu	0,016	0,001	0,016	0,001	0,016	0,001	0,016	0,001	0,016	0,001	0,016	0,001
21 Substituutiohyödyt												
a - olki korvaa turvetta	0,017	-0,103	0,017	-0,103	0,017	-0,103	0,017	-0,103	0,017	-0,103	0,017	-0,103
b - rouhe korvaa soijarehua	-0,344	-0,008	-0,344	-0,008	-0,344	-0,008	-0,344	-0,008	-0,344	-0,008	-0,344	-0,008
c - glyseroli korvaa turvetta	-0,001	-0,006	-0,001	-0,006	-0,001	-0,006	-0,001	-0,006	-0,001	-0,006	-0,001	-0,006
CASE 1 (MAX) YHTEENSÄ (ei substituutiohyödyjä)	0,838	0,115	0,827	0,114	0,807	0,113	0,834	0,121	0,839	0,107	0,839	0,107
CASE 2 (DEF) YHTEENSÄ (substituutiohyödyt: b, c)	0,493	0,101	0,482	0,100	0,462	0,099	0,489	0,107	0,494	0,093	0,494	0,093
CASE 3 (MIN) YHTEENSÄ (substituutiohyödyt: a, b, c)	0,511	-0,002	0,499	-0,003	0,479	-0,004	0,506	0,004	0,511	-0,010	0,511	-0,010

Liite H: Tärkkelysohran tuotantokustannukset

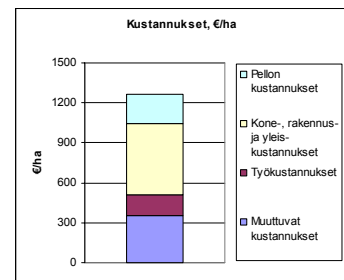
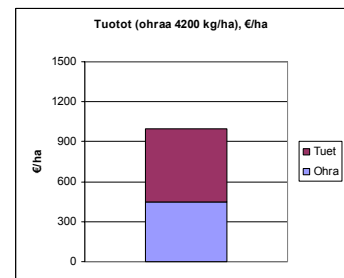
TÄRKKELYSOHRAN TUOTANTOKUSTANNUS, Vuosi 2005

Mukailtu Ari Enrothin Nettituototepehtoorissa 14.3.2005 esittämistä ohran tuotantokustannuslaskelmista

Alue C1

Tuotot/ha	Yks.	Sato 3500 kg/ha		Sato 4200 kg/ha		
		á	Määrä	Eur	Määrä	Eur
Tärkkelysohraa ¹⁾	kg	0,106	3500	371	4200	445
CAP-hehtaarituki ²⁾	ha	221	1	221	1	221
Kansalliset tuet ³⁾	ha	0	1	0	1	0
Ympäristötuki ³⁾	ha	117	1	117	1	117
LFA-tuki ⁴⁾	ha	218	1	218	1	218
Tuotot yhteensä				927		1001
Muuttuvat kustannukset						
Oma siemen ⁵⁾	kg	0,22	174	38	164	36
Ostosiemen ⁶⁾	kg	0,37	31	11	41	15
Kevätviljan Y 3 -lannos ⁷⁾	kg	0,24	400	96	450	108
Kalkitus, 4 000 kg joka viides vuosi	tn	35	0,8	28	0,8	28
Rikkakasvien torjunta-aine ⁸⁾	yks	6,50	1	6,50	1	6,50
Kasvitautien torjunta-aine ⁹⁾	yks	26,00			1	26,00
Traktorityö ⁹⁾	h	3,65	7,5	27	8	29
Leikkuupuinti ⁹⁾	h	3,65	1,2	4	1,4	5
Kuivatus ⁹⁾	kg	0,01	3500	35	4200	42
Rahti- ja välityspalkkiot	kg	0,013	3326	43	4036	52
Liikepääoman määrä (30 %)	eur	0,3	429		474	
Liikepääoman korko (5 %)	eur	0,05	129	6	142	7
Muuttuvat kustannukset yhteensä ¹⁰⁾				295		355
Katetuotto A				632		646
Katetuotto A ilman pinta-alatukia				76		90
Työkustannukset	h	12,7	11	140	12	152
Katetuotto B				492		494
Katetuotto B ilman pinta-alatukia				-64		-62
Kone-, rakennus- ja yleiskustannukset ¹¹⁾						
Traktori	h	9,6	7,5	72	8	77
Leikkuupumuri	h	72	1,2	86	1,4	101
Kuivurin koneet	ha	47	1	47	1	47
Muut koneet	ha	144	1	144	1	144
Konekustannukset yhteensä				349		369
Kuivurirakennus ¹²⁾	ha	1	68	68	72	72
Konehalli	ha	37	1	37	1	37
Rakennuskustannukset yhteensä				105		109
Yleiskustannukset				60		60
Kone-, rakennus- ja yleiskustannukset yhteensä				514		538
Katetuotto C				-22		-44
Pellon kustannukset						
Pellon korko	ha	0,05	2100	105	2100	105
Salaajituksen kustannukset	ha	113	1	113	1	113
Pellon kustannukset yhteensä				218		218
Nettovoitto/tappio				-240		-262

Tuotot	€/ha
Ohra	445
Tuet	556
Kustannukset	€/ha
Muuttuvat kustannukset	355
Työkustannukset	152
Kone-, rakennus- ja yleis-kustannukset	538
Pellon kustannukset	218
1263	



Tärkkelysohran tuotantokustannus	Yht.	Eur/kg	Yht.	Eur/kg
Tuettu tuotantokustannus (tuet vähennetty kustannuksista)	1167	0,33	1263	0,30
	611	0,17	707	0,17

Laskelmat on tehty arvonnäytteenottohinnoin.

¹⁾ Tärkkelysohran hinta tammikuussa 2005.

²⁾ CAP-hinnanarvonnäytteenotto 63 euroa/tn + kuivastutuki 24 euroa/tn = B-alueella 243,60 euroa/ha (iask.sato 2,8 tn/ha). Vuonna 2003 CAP-tukiala ylittyi 4,576 % ja vuonna 2004 ylitys oli 6,67 % (= vuoden 2005 oletuksena 6,67 %). Lisäksi on otettu huomioon 3 % CAP-tukileikkaus, joka koskee 5000 euron ylittävää osan tilan CAP-tukien yhteismäärästä => ennakoitu vuoden 2005 CAP-tuki on noin 222 euroa/ha.

³⁾ Viljojen ympäristötuki (kasvitilja): perustuki 93,34 euroa/ha + lisätoimenpide 13,46 - 23,55 euroa/ha = 66,80 - 16,89 euroa/ha.

⁴⁾ LFA-tuki C1-alueella 200 euroa/ha + LFA-lisäosa kasvitilialla 16 ja kotieläintilialla 92 e/ha.

⁵⁾ 85/80 oma siemen, ennakoitu hinta huhtikuussa 2005 noin 11 snt/kg + kotikunnonstusisä 6 snt/kg + peittäys 10 snt/kg. Lisäksi tietyillä uusilla lajikkeilla oman siemenen käyttömaksu 3,36 euroa/ha, jota ei ole tässä laskelmassa otettu huomioon.

⁶⁾ 15/20/25 % ostosiemen, ennakoitu hinta huhtikuussa 2005, peitattu, sisältäen rahtikulua 3 snt/kg.

⁷⁾ Savimaa (250 mg KI, 10 mg P/l). Huhtikuun 2005 hinta + rahti 12 snt/kg.

⁸⁾ Rikkakasvien torjunta-ainetta Viljan Rikkaneite 90TM (Kemira GrowHow) 13 l/ha, tehoaine MCPA 750 g/l, aineen alvito n hinta 50 €/l, hehtaarikustannus 6,50 €/ha. Suuremmalla selotasoilla oletetaan käytettävän kasvivaikuttajan torjunta-ainetta, Viljan Tauliaine30TM (Kemira GrowHow) 0,5 l/ha, tehoaine atoksistobroliini 250 g/l, aineen alvito n hinta 260 €/l, hehtaarikustannus 26 €/ha.

⁹⁾ Traktorityö ja leikkuupuinti sisältää poltto- ja voiteluainetta. Kuivatus sisältää polttoainetta ja sähköä.

¹⁰⁾ Ympäristötuon ehtojen täyttämisen kustannuksia ja tuonmenetyksiä ei ole otettu erikseen huomioon, koska merkitys vaihtelee olennaisesti tilakohtaisesti esimerkiksi peltojen maatalojen sijainnin sekä tilan kotieläintuotannon mukaan.

¹¹⁾ Traktorin/leikkuupumurin poltto, korko, vakuutus ja kunnossapitokustannukset 600/100 tunnin vuotuisen käytön mukaan. Kuivurin, muiden koneiden ja rakennusten kustannukset sisältävät 60 hehtaarin tilamallin mukaan lasketut kustannukset.

¹²⁾ Kuivurirakennuksen kustannuksissa on otettu huomioon erot varastotilan tarpeessa.

Liite I: Kevätrypsin tuotantokustannukset

KEVÄTRYPSIN TUOTANTOKUSTANNUS, Vuosi 2005

Mukailtu Ari Enrothin Nettituottopehtoorissa 14.3.2005 esittämistä rypsin tuotantokustannuslaskelmista

Alue A

Tuotot/ha	Yks.	Sato 1600		
		á	Määrä	EUR
Päätuote ¹⁾	kg	0,186	1600	298
CAP-hehtaarituki ²⁾	ha	268	1	268
Kansalliset tuet ³⁾	ha	97	1	97
Ympäristötuki ⁴⁾	ha	117	1	117
LFA-tuki ⁵⁾	ha	168	1	168

Tuotot yhteensä **948**

Muuttuvat kustannukset				
Siemen	kg	4,4	9	40
Kevätviljan Y 2 -lannoitus ⁶⁾	kg	0,24	435	104
Kalkitus, 4 000 kg joka viides vuosi	tn	35	0,8	28
Torjunta-aineet ⁷⁾	yks	36,03	1	36,03
Traktorityö ⁸⁾	h	3,65	7,5	27
Leikkuupuinti ⁹⁾	h	3,65	1,8	7
Kuivatus ⁹⁾	kg	0,01	1600	16
Rahti ja välityspalkkiot	kg	0,015	1600	24
Liikepääoman määrä (30 %)	eur	0,3	422	
Liikepääoman korko (5 %)	eur	0,05	127	6

Muuttuvat kustannukset yhteensä ⁹⁾ **289**

Katetuotto A **659**

Katetuotto A ilman pinta-alamuksia **9**

Työkustannukset h 12,7 11 140

Katetuotto B **519**

Katetuotto B ilman pinta-alamuksia **-131**

Kone-, rakennus- ja yleiskustannukset ¹⁰⁾

Traktori	h	9,6	7,5	72
Leikkuupuumuri	h	72	1,8	130
Kuivurin koneet	ha	47	1	47
Muut koneet	ha	144	1	144
Konekustannukset yhteensä				393
Kuivurirakennus ¹¹⁾	ha	1	62	62
Konehalli	ha	37	1	37
Rakennuskustannukset yhteensä				99
Yleiskustannukset				60
Kone-, rakennus- ja yleiskustannukset yht.				552

Katetuotto C **-33**

Pellon kustannukset

Pellon korko ha 0,05 2100 105

Salaojituksen kustannukset ha 113 1 113

Pellon kustannukset yhteensä **218**

Nettovoitto/tappio **-251**

Kevätrypsin tuotantokustannus **1199** **0,75**
Tuettu tuotantokustannus (tuet vähennetty kustannuksista) **549** **0,34**

Laskelmat on tehty arvovolisäverottomin hinnoin.

1) Rypsin ennakoitu hinta marraskuussa 2005 (hinta oli 186,48 e/tn vuonna 2004 ja 252,08 e/tn vuonna 2003).

2) CAP-hinnanalennuskorvaus 63 euroa/tn + kuivaustuki 24 euroa/tn = A-alueella 295,80 euroa/ha (lesk.sato 3,4 tn/ha). Vuonna 2003 CAP-tukiala ylittyi 4,576 % ja vuonna 2004 ylitys oli 6,67 % (= vuoden 2005 oletuksena 6,67 %). Lisäksi on otettu huomioon 3 %n CAP-tukileikkaus, joka koskee 5000 euroa ylittävää osan tilan CAP-tukien yhteismäärästä => ennakoitu vuoden 2005 CAP-tuki on noin 268 euroa/ha.

3) Kansallisena tukena maksetaan ympäristötuen lisäksi 92 % ympäristötuen määrästä A- ja B-alueella ja ennakoitu tukileikkaus on 10 % (esim. 90 % * 92 % * 16,89 e/ha = 96,78 e/ha).

4) Viljojen ympäristötuki (kasvittia): perustuki 93,34 euroa/ha + lisätoimenpide 13,46 - 23,55 euroa/ha = 106,80 - 16,89 euroa/ha.

5) LFA-tuki A-alueella 160 euroa/ha + LFA-Isäosa kasvittialalla 16 ja kotieläintilalla 92 e/ha.

6) Savimaa (250 mg/Kl, 10 mg P/l). Huhtikuun 2004 hinta +rahti 12 snt/kg.

7) Rikkakasvien torjuntaan SuperTreflan 2,0 l/ha a' 16,16 (ALV 0 %), tuholaisten torjuntaan Karate 0,2 l/ha a' 28,52 (ALV 0 %).

8) Traktorityö ja leikkuupuinti sisältää poltto- ja voiteluaineen. Kuivatus sisältää polttoaineen ja sähkön.

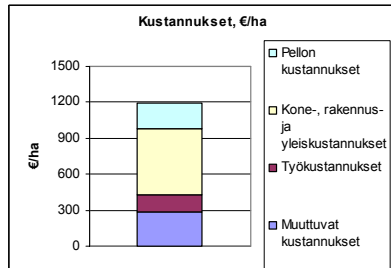
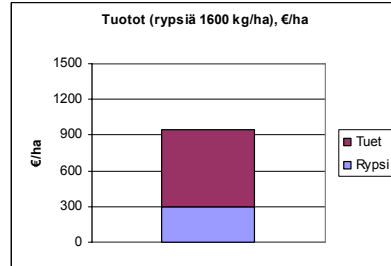
9) Ympäristötuen ehtojen täyttämisen kustannuksia ja tulonmenetyksiä ei ole otettu erikseen huomioon, koska merkitys vaihtelee olennaisesti tilakohtaisesti esimerkiksi peltojen maalaajan ja sijainnin sekä tilan kotieläintuotannon mukaan.

10) Traktorin/leikkuupuumurin poisto, korko, vakuutus ja kunnossapitokustannukset 600/100 tunnin vuotuisen käytön mukaan. Kuivurin, muiden koneiden ja rakennusten kustannukset sisältävät 50 hehtaarin tilamallin mukaan lasketut kustannukset.

11) Kuivurirakennuksen kustannuksissa on otettu huomioon erot varastotilan tarpeissa.

Tuotot	€/ha
Rypsi	298
Tuet	650
Yhteensä	948

Kustannukset	€/ha
Muuttuvat kustannukset	289
Työkustannukset	140
Kone-, rakennus- ja yleiskustannukset	552
Pellon kustannukset	218
Yhteensä	1199



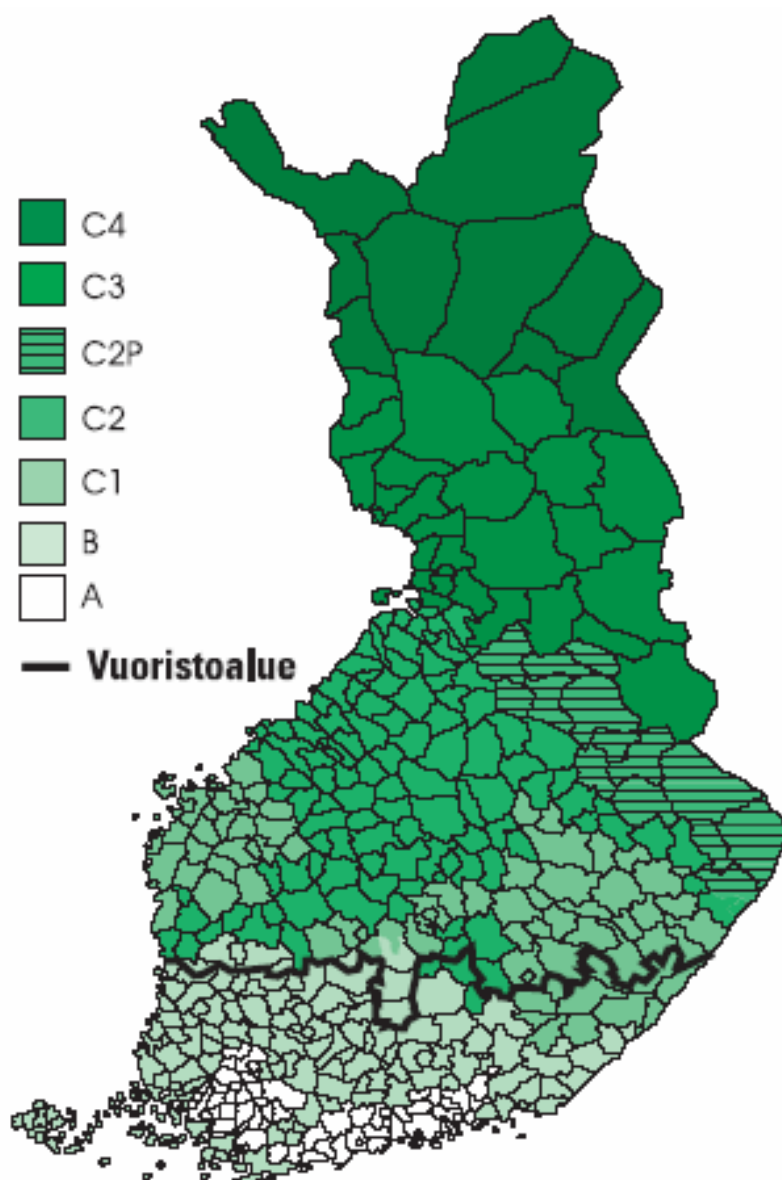
Liite J: Ruokohelven viljelyn, korjuun ja käyttöpaikalle kuljetuksen moottoripolttoaineen kulutus

	Irtokorjuu				Paalaus			
Perustaminen	h/ha	kW	l/ha	l/h	Samat kuin irtokorjuulle			
- Kyntö, 4-ter.	1,43	65	26,0	18,2				
- Äestys, 3,8 m	0,63	65	9,7	15,5				
- Kylvö, 2,5 m	1,00	50	3,7	3,7				
- Jyräys	0,63	50	2,0	3,2				
- Kalkitus (joka 5.s vuosi)	0,33	88	2,5	7,5				
- Kasvuston hävittäminen	0,24	50	1,5	6,3				
- Lannoitteen käsittely	0,06	50	0,2	3,0				
Vuosilannoitus	h/ha	kW	l/ha	l/h	Samat kuin irtokorjuulle			
- Keskipakolevitys	0,19	50	3,0	15				
Korjuu	h/ha	kW	l/ha	l/h	h/ha	kW	l/ha	l/h
- Niitto, 2,8 m	0,50	50	6,2	12,4	0,50	50	6,2	12,4
- Sippur. tai paalaus ¹⁾	1,18	80	12,0	10,0	1,34	80	10,5	8,6
- Siirto varastoon ²⁾	0,29	50	2,7	9,0	0,36	55	2,7	9,0
Kaukokuljetus, 70 km	h/ha		l/h	l/ha	h/ha		l/ha	l/h
- Lastaus ³⁾	0,27	Kkone	9,0	2,4	0,28	Rekka	2,5	9,0
- Kuljetus ⁴⁾		Rekka				Rekka		
Paalien murskaus, risutukkien kanssa					h/ha		l/ha	l/h
- syöttö ja murskaus ⁵⁾					0,66 (9,1 t _{ka} /h)	Morbark 1200 XL 550	27,5	41,8
Satotiedot	Sato 6000 kg _{ka} /ha, toimituskosteus 20 %, sato 7500 kg/ha, 28,3 MWh/ha							
Lannoitteiden valmistus	Perustamislannoitus: Syysviljan Y-1, 40 kg typpeä/ha, 300 kg/ha, valmistuksen energia 7,81 GJ/t, yhteensä 2,28 GJ/ha, 10 satovuotta kohti 0,228 GJ/ha/a, 2,24 kWh/helpi-MWh Hoitolannoitus: Kevätviljan Y-3, 65 kg-N/ha, 325 kg/ha, valmistuksen energia 11,7 GJ/t, yhteensä 3,8 GJ/ha, 37,3 kWh/helpi-MWh. Lannoitus yhteensä satovuotta kohti 39,5 kWh/helpi-MWh							
¹⁾ Silppuaminen traktorivetoisella tarkkuussilppurilla, paalaus pyöröpaalaimella ²⁾ Silpun siirto rehuperävaunulla korjuun yhteydessä, paalien siirto traktorilla, jossa etukuormaaja ja paalipiikki ³⁾ Silpun lastaus kaivinkoneella, paalien lastaus risurekan kuormaajalla ⁴⁾ Silpun siirto turvereralla ja paalien risurekalla, kulutus tyhjänä 42,6 l/100km, täydellä kuormalla 61,4 l/100km ⁵⁾ Murskaus Morbark:n kaukalomurskaimella yhdessä risutukkien kanssa, murskauksen kapasiteetti yhteensä 113 MWh/h, josta ruokohelpeä 43 MWh/h, murskaimen polttoaineen kulutus yhteensä 110 l/h								

Liite K: Ruokohelven tuotannon primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseet

RUOKOHELPIKETJUT		IR TOKORJUJU			PAALAU S		
Oletukset							
Ruokohelpisato	t_ka/ha	6,0			6,0		
Ruokohelven kosteus	%	20 %			20 %		
Ruokohelpisato toimituskosteudessa	t/ha	7,5			7,5		
Ruokohelven kuiva-aineen LHV	MJ/kg_ka	17,6			17,6		
Ruokohelven LHV toimituskosteudessa	MJ/kg	13,6			13,6		
Ruokohelven energiasaanto toimituskosteudessa	MWh/ha	28,3			28,3		
Hiilipitoisuus kuiva-aineessa	kg C/kg_ka	0,46			0,46		
Satovuosia	a	10			10		
Perustamislannoitus (Syysviljan Y1)	kg/ha	300			300		
Vuosilannoitus (Kevätviljan Y3)	kg/ha	325			325		
Kalkin käyttö	kg/ha, a	800			800		
KORJUUKETJU		Irtokorjuu			Paalaus		
Työvaiheet (ruokohelppi)		Polttoaine	Energia	Päästöt	Polttoaine	Energia	Päästöt
		l	MWh_prim	t CO2-ekv.	l	MWh_prim	t CO2-ekv.
		/MWh_rh	/MWh_rh	/MWh_rh	/MWh_rh	/MWh_rh	/MWh_rh
1 Kyntö (4-teräinen)		0,092	0,001	0,000	0,092	0,001	0,000
2 Äestys, 3,8 m		0,034	0,000	0,000	0,034	0,000	0,000
3 Kylvä, 2,5 m		0,013	0,000	0,000	0,013	0,000	0,000
4 Perustamislannoitus							
- lannoitustyö		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
- lannoitteiden valmistus			0,002	0,001		0,002	0,001
- maaperän suora ja epäsuora N2O-päästö				0,001			0,001
5 Jyräys, 4 m		0,007	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000
6 Kalkitus, joka 5.vuosi							
- kalkin levitystyö		0,018	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000
- kalkin valmistus ja kuljetus			0,004	0,001		0,004	0,001
- maaperän CO2-päästö				0,012			0,012
7 Vuosilannoitus							
- lannoitustyö		0,106	0,001	0,000	0,106	0,001	0,000
- lannoitteiden valmistus ja kuljetus			0,038	0,013		0,038	0,013
- maaperän suora ja epäsuora N2O-päästö				0,018			0,018
8 Niitto		0,219	0,003	0,001	0,219	0,003	0,001
9 Silppuaminen / paalaus		0,424	0,005	0,001	0,371	0,004	0,001
10 Siirto varastoon		0,094	0,001	0,000	0,114	0,001	0,000
11 Lastaus		0,085	0,001	0,000	0,090	0,001	0,000
12 Kaukokuljetus		1,856	0,021	0,006	0,891	0,010	0,003
13 Paalien murskaus		0,000	0,000	0,000	0,971	0,011	0,003
14 Kasvuston hävittäminen		0,005	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000
YHTEENSÄ		2,953	0,078	0,056	2,930	0,077	0,056

Liite L: Maataloustukien tukialueet



Liite M: Oljen korjuun ja käyttöpaikalle kuljetuksen moottoripolttoaineen kulutus

	Irtokorjuu				Paalaus			
	h/ha	kW	l/ha	l/h	h/ha	kW	l/ha	l/h
Korjuu - Karheaminen ¹⁾ - Sippur. tai paalaus ²⁾ - Siirto varastoon ³⁾	0,16 0,49 0,10	50 80 50	1,8 5,0 0,9	11,6 10,1 9,0	0,16 0,51 0,12	50 80 55	1,8 4,4 1,1	11,6 8,6 9,0
Kaukokuljetus, 70 km - Lastaus ⁴⁾ - Kuljetus ⁵⁾ (42,6 l/100 km tyhjänä) (61,5 l/100 km täysi krm)	0,09	Kkone Rekka	0,8	9,0	0,09	Rekka Rekka	0,8	9,0
Paalien murskaus, risutukkien kanssa - syöttö ja murskaus ⁶⁾					h/ha 0,22 (9,1 t _{ka} /h)	Morbark 1200 XL 550	l/ha 9,2	l/h 41,8
Satotiedot	Sato 2000 kg _{ka} /ha, toimituskosteus 20 %, sato 2500 kg/ha, 9,4 MWh/ha							
¹⁾ Karheaminen, työleveys 7,6 m ²⁾ Silppuaminen traktorivetoisella tarkkuussilppurilla, paalaus pyöröpaalaimella ³⁾ Silpun siirto rehuperävaunulla korjuun yhteydessä, paalien siirto traktorilla, jossa etukuormaaja ja paalipiikki ⁴⁾ Silpun lastaus kaivinkoneella, paalien lastaus risurekan kuormaajalla ⁵⁾ Silpun siirto turvereralla ja paalien risurekalla, kulutus tyhjänä 42,6 l/100km, täydellä kuormalla 61,4 l/100km ⁶⁾ Murskaus Morbark:n kaukalomurskaimella yhdessä risutukkien kanssa, murskauksen kapasiteetti yhteensä 113 MWh/h, josta ruokohelpeä 43 MWh/h, murskaimen polttoaineen kulutus yhteensä 110 l/h								

Liite N: Oljen korjuun ja kuljetuksen primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseet

VILJAN OLKIKETJUT							
Olkisato	t_ka/ha	2,0			2,0		
Oljen kosteus	%	20 %			20 %		
Olkisato toimituskosteudessa	t/ha	2,5			2,5		
Oljen kuiva-aineen LHV	MJ/kg_ka	17,6			17,6		
Oljen LHV toimituskosteudessa	MJ/kg	13,6			13,6		
Oljen energiasaanto toimituskosteudessa	MWh/ha	9,4			9,4		
Työvaiheet (olki)		Polttoaine l /MWh_olki	Energia MWh_prim /MWh_olki	Päästöt t CO2-ekv. /MWh_olki	Polttoaine l /MWh_olki	Energia MWh_prim /MWh_olki	Päästöt t CO2-ekv. /MWh_olki
1 Karheaminen / niitto		0,191	0,002	0,001	0,191	0,002	0,001
2 Silppuaminen		0,529	0,006	0,002	0,461	0,005	0,002
3 Siirto varastoon		0,094	0,001	0,000	0,114	0,001	0,000
4 Lastaus		0,085	0,001	0,000	0,090	0,001	0,000
5 Kaukokuljetus		1,856	0,021	0,006	0,891	0,010	0,003
6 Paalien murskaus		0,000	0,000	0,000	0,971	0,011	0,003
YHTEENSÄ		2,754	0,032	0,010	2,717	0,031	0,009

Liite O: Metsähakkeen korjuun ja käyttöpaikalle kuljetuksen moottoripolttoaineen ja sähkön kulutus sekä pienpuun harvennustuki Kemera-kohteissa

A: m ³ /h B: l/h	Hakkuutähde, välivarasto- haketus	Hakkuutähde, risutukki	Irtorisu, käyttöpaikka- haketus	Kannot, käyttöpaikka- haketus	Pienpuu, välivarasto- haketus	Pienpuu, käyttöpaikka- haketus
Hakkuu, koneellinen ¹⁾					A: 6,4 B: 12	A: 6,4 B: 12
Kantojen nosto, kaivinkone ²⁾				A: 7,8 B: 13		
Paalaus, hakkuutähdepaal. ³⁾		A: 10,0 B: 13				
Metsäkuljetus, metsätraktori ⁴⁾	A: 9,0 B: 9	A: 19,0 B: 9	A: 9,0 B: 9	A: 9,0 B: 9	A: 12,0 B: 9	A: 12,0 B: 9
Haketus ⁵⁾ - syöttö - haketus	A: 24,1 B: 30,1 haket. B: 9 syöttö	A: 136,5 syöttö A: 136,5 haket. B: 9 syöttö B: 4,2 kWh/t _{ka} haketus	A: 105,9 syöttö A: 105,9 haket. B: 9 syöttö B: 2,25 kWh/t _{ka} haketus	A: 105,9 syöttö A: 105,9 haket. B: 9 syöttö B: 2,25 kWh/t _{ka} haketus	A: 37,5 B: 46,9 haket. B: 9 syöttö	A: 94,1 syöttö A: 94,1 haket. B: 9 syöttö B: 4,9 kWh/t _{ka} haketus
Kaukokuljetus, 60 km, ^{6), 7)} - lastaus - purku - 43 l/100 km tyhjä, 63 l/100 km kuorm.	78 MWh/krm 27,8 t/krm 35 min/krm	80 MWh/krm 27,3 t/krm 53 min/krm 51 min/krm	55 MWh/krm 19,6 t/krm 66 min/krm 66 min/krm	67 MWh/krm 21,1 t/krm 66 min/krm 66 min/krm	78 MWh/krm 19,6 t/krm 35 min/krm	55 MWh/krm 19,6 t/krm 66 min/krm 66 min/krm
Koneiden siirrot	- Hakkuukoneen, metsätraktorin, hakkuutähdepaalaimen ja kaivinkoneen siirrot - Siirtomatka yhtä konetta kohti 95 km, 35 l/100 km - Keskimääräinen leimikko 300 hake-m ³ , 250 MWh					
Käyttökosteus, % t _{ka} /k-m ³	42,8 0,43	40,8 0,43	42,8 0,43	36,8 0,43	42,8 0,43	42,8 0,43

¹⁾ Hillebrand 2004. ²⁾ Opas kantojen nostoon. ³⁾ Metsätehon katsaus nro7 6/2004. ⁴⁾ Villa 2000. ⁵⁾ Hillebrand et al. 2004. ⁶⁾ Rinne et al. 2005a. ⁷⁾ Mäkelä 2005.

Pienpuun harvennustuki Kemera-kohteissa

	Vyöhyke €/ha		
	1	2	3
Kun metsänomistaja tekee työn itse	135 (108)	162 (135)	189 (162)
Kun työn tekee palkattu ulkopuolinen työvoima	210,5 (168,4)	252,6 (210,5)	294,7 (252,6)
	Todellisista kustannuksista		
Kun teetetaan työllisyytyönä	60 %	70 %	80 %

Suluissa tuki metsäsuunnitelman puuttuessa.



Liite P: Metsähakkeen tuotannon primääriener- gia- ja kasvihuonekaasutaseet

Hakkuutähdehakkeen kasvihuonekaasutaseet

tähteen saanto	29	t_kahna	45 %	45 %
hakkeen toimituskosteus	17,7	MJ/kg_ka	17,7	MJ/kg_ka
hakkeen LHV toimituskosteudessa	0,5	kg C/kg_ka	0,5	kg C/kg_ka

	HT - vv.		HT - rt.		HT - ir.		KANNOT		PIENPUU	
	Energia GJ /GJ	Päästöt kg CO2-ekv. /GJ	Energia GJ /GJ	Päästöt kg CO2-ekv. /GJ	Energia GJ /GJ	Päästöt kg CO2-ekv. /GJ	Energia GJ /GJ	Päästöt kg CO2-ekv. /GJ	Energia GJ /GJ	Päästöt kg CO2-ekv. /GJ
Energianpanos ja kasvihuonekaasupäästöt energiasisältöä kohden										
1 hakkuu	-	-	-	-	-	-	-	-	0,010	0,842
2 paalaus	-	-	0,007	0,599	-	-	-	-	-	-
3 nosto	-	-	-	-	-	-	0,012	1,009	-	-
4 metsäkujjetus	0,005	0,460	0,003	0,218	0,005	0,460	0,005	0,460	0,004	0,337
5 haketus	0,009	0,748	0,000	0,031	0,000	0,039	0,000	0,039	0,008	0,669
6 kaukokujjetus	0,010	0,819	0,011	0,927	0,016	1,369	0,016	1,369	0,010	0,819
7 koneiden siirrot	0,003	0,258	0,003	0,258	0,002	0,129	0,003	0,258	0,005	0,387
8 murskaus (sähkö)	-	-	0,002	0,059	0,001	0,031	0,001	0,031	-	-
TOTAL	0,027	2,285	0,026	2,092	0,025	2,028	0,038	3,167	0,036	3,054

Liite Q: Metanolin ja F-T-dieselin primäärienergia- ja kasvihuonekaasutaseet

Metanolin (hakkuutähdehakeesta) kasvihuonekaasutaseet

tähteen saanto	29	t_ka/ha				
metanolin saanto	0,68	t_methanol/t_ka_hake				
hakkeen toimituskosteus	45 %		45 %		45 %	
hakkeen LHV toimituskosteudessa	17,7	MJ/kg_ka	17,8	MJ/kg_ka	17,7	MJ/kg_ka
metanolin lämpöarvo	19,7	MJ/kg				

Hakkuutähdeketju	Välivarasto		Risutukki		Irtorisu	
	Energia	Päästöt	Energia	Päästöt	Energia	Päästöt
	GJ	t CO2-ekv.	GJ	t CO2-ekv.	GJ	t CO2-ekv.
Primaarienergiainput ja päästöt metanolitonnin kohden	/GJ_metanoli	/GJ_metanoli	/GJ_metanoli	/GJ_metanoli	/GJ_metanoli	/GJ_metanoli
1 Paalaus	0,000	0,000	0,007	0,001	0,000	0,000
2 Nosto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3 Metsäkuljetus	0,005	0,000	0,003	0,000	0,005	0,000
4 Haketus	0,009	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
5 Kaukokuljetus	0,010	0,001	0,011	0,001	0,016	0,001
6 Siirrot	0,003	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000
7 Murskaus (sähkö)	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000
8 Jalostus	0,164	0,005	0,164	0,005	0,164	0,005
9 metanolin varastointi ja jakelu	0,030	0,002	0,030	0,002	0,030	0,002
YHTEENSÄ	0,221	0,009	0,220	0,009	0,219	0,009

Fischer-Tropsch dieselin (hakkuutähdehakeesta) kasvihuonekaasutaseet

tähteen saanto	29	t_ka/ha				
F-T-dieselin saanto	0,40	t_F-T/t_ka_hake				
hakkeen toimituskosteus	45 %		45 %		45 %	
hakkeen LHV toimituskosteudessa	17,7	MJ/kg_ka	17,8	MJ/kg_ka	17,7	MJ/kg_ka
F-T-dieselin lämpöarvo	44	MJ/kg				

Hakkuutähdeketju	Välivarasto		Risutukki		Irtorisu	
	Energia	Päästöt	Energia	Päästöt	Energia	Päästöt
	GJ	t CO2-ekv.	GJ	t CO2-ekv.	GJ	t CO2-ekv.
F-T-dieselin energiasisältöä kohden	/GJ_F-T	/GJ_F-T	/GJ_F-T	/GJ_F-T	/GJ_F-T	/GJ_F-T
1 Paalaus	0,000	0,000	0,007	0,001	0,000	0,000
2 Nosto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3 Metsäkuljetus	0,005	0,000	0,003	0,000	0,005	0,000
4 Haketus	0,009	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
5 Kaukokuljetus	0,010	0,001	0,011	0,001	0,016	0,001
6 Siirrot	0,003	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000
7 Murskaus (sähkö)	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000
8 Jalostus	0,458	0,013	0,458	0,013	0,458	0,013
9 F-T-dieselin varastointi ja jakelu	0,016	0,001	0,016	0,001	0,016	0,001
YHTEENSÄ	0,501	0,017	0,500	0,016	0,499	0,016

Fischer-Tropsch dieselin (ruokohelvestä) kasviuonekaasutaseet

ruokohelven saanto	6	t_ka/ha
F-T-dieselien saanto	0,39	t_F-T/t_ka_rh
ruokohelven toimituskosteus	20 %	
ruokohelven LHV toimituskosteudessa	17,0	MJ/kg_ka
F-T-dieselien lämpöarvo	44	MJ/kg

Ruokohelpiketju	Irtokorjuu		Paalaus	
	Energia GJ /GJ_F-T	Päästöt t CO2-ekv. /GJ_F-T	Energia GJ /GJ_F-T	Päästöt t CO2-ekv. /GJ_F-T
Primaarienergiainput ja päästöt F-T-dieselien energiasältöä kohden				
1 Kyntö (4-teräinen)	0,001	0,000	0,001	0,000
2 Äestys, 3,8 m	0,000	0,000	0,000	0,000
3 Kylvä, 2,5 m	0,000	0,000	0,000	0,000
4 Perustamislannoitus				
- lannoitustyö	0,000	0,000	0,000	0,000
- lannoitteiden valmistus	0,002	0,000	0,002	0,000
- maaperän suora ja epäsuora N2O-päästö		0,000		0,000
5 Jyräys, 4 m	0,000	0,000	0,000	0,000
6 Kalkitus, joka 5.vuosi				
- kalkin levitystyö	0,000	0,000	0,000	0,000
- kalkin valmistus ja kuljetus	0,004	0,000	0,004	0,000
- maaperän CO2-päästö	0,000	0,003	0,000	0,003
7 Vuosilannoitus				
- lannoitustyö	0,001	0,000	0,001	0,000
- lannoitteiden valmistus	0,038	0,004	0,038	0,004
- maaperän suora ja epäsuora N2O-päästö		0,005		0,005
8 Niitto	0,003	0,000	0,003	0,000
9 Silppuaminen / paalaus	0,005	0,000	0,004	0,000
10 Siirto varastoon	0,001	0,000	0,001	0,000
11 Lastaus	0,001	0,000	0,001	0,000
12 Kaukokuljetus	0,021	0,002	0,010	0,001
13 Paalien murskaus	0,000	0,000	0,011	0,001
14 Kasvuston hävittäminen	0,000	0,000	0,000	0,000
15 Jalostus	0,477	0,014	0,477	0,014
16 F-T-dieselien varastointi ja jakelu	0,016	0,001	0,016	0,001
YHTEENSÄ	0,571	0,030	0,571	0,030

Liite R: Soijarehun tuotannon primäärienergia- ja kasvihuonekaasutase

Soijarehun khk-tase

	kg/kg	MJ_aux/kg	g CO2/kg	g CH4/kg	g N2O/kg	g CO2-ekv./kg
Viljely (kg soijapapua kohden)						
-K2O-lannoite	0,008	0,0728	4,07	0,0074	0	4,25
-P2O5-lannoite	0,004	0,0608	4,38	0,0042	0	4,49
-N-lannoite	0,002	0,0928	8,44	0,011	0	14,4
-torjunta-aineet	0,0005	0,1333	8,11	0,0096	0,0001	8,35
-diesel-öljy		3,5865	974,45	0	0	75,19
-maaperän päästöt					1,253	370,89
Yhteensä		3,9462	999,45	0,0322	1,2531	477,56
kuljetus (kg soijapapua kohden)						
-rekka, joki ja meri		1,2899	0,695			0,695
Soijapapujen murskaus (kg soijarehua kohden)						
-sähkö		0,75	31,2	0,08	0,0014	33,4
-höyry (maakaasusta 90 % eff.)		1,43	79,6	0,16	0	83,2
-heksaani		0,05	3,9	0	0	3,9
-soijapapuoiljyn saanto ja rapsiöljyn korv. hyöty	0,23	-2,81	-242,2	-0,32	-0,8696	-507,6
Yhteensä			-127,5	-0,09	-0,8682	-387,1
Kokonaistase (kg soijarehua kohden)		kWh/kg				
- viljely		1,67	123,4	0,04	1,5433	588,1
- kuljetus		1,59	0,9	0	0	0,9
- murskaus		-0,58	-89,8	-0,09	-0,8682	-358
Yhteensä		2,68	34,5	-0,05	0,6751	231
soijarehun raakavalkuaispitoisuus		490 g/kg_ka				
rypsirehun (00-lajike) raakavalkuaispitoisuus		379 g/kg_ka				
ohrarehun valkuaisainepitoisuus		380 g/kg_ka				
korvaavuus: rypsirehu -> soijarehu		0,77 kg_soijarehua/kg_rypsirehua				
korvaavuus: ohrarehu -> soijarehu		0,78 kg_soijarehua/kg_ohrarehua				

Lähteet: Edwards ym. (2003a), Anon (2004).

Tekijä(t) Mäkinen, Tuula, Soimakallio, Sampo, Paappanen, Teuvo, Pahkala, Katri & Mikkola, Hannu			
Nimeke Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit			
Tiivistelmä Työn tavoitteena oli laskea energia- ja kasvihuonekaasutaseet ja vältetyn CO ₂ -ekvivalenttitonnin hinta vertailupolttoaineisiin nähden liikenteen biopolttoaineiden tuotannolle ja käytölle sekä pelto- ja metsäbiomassan tuotannolle ja käytölle yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa. Tulosten perusteella esitettiin uusia liiketoimintamahdollisuuksia. Työssä arvioitiin sekä kaupallisia että kehitteillä olevia tekniikoita. Tarkasteluun valittiin Suomen olosuhteisiin sopivimpia, laajamittaiseen tuotantoon soveltuvia vaihtoehtoja. Hankkeessa tarkasteltiin sekä pelto- että metsäbiomassapohjaisia ketjuja. Tarkasteltaviksi peltobiopolttoaineketjuiksi valittiin ohraetanoli, rypsi-pohjainen biodiesel sekä ruokohelpipohjainen Fischer-Tropsch-diesel (F-T-diesel). Metsäbiopolttoaineketjuina tarkasteltiin hakkuutähdepohjaista F-T-dieseliä ja metanolia. Tämän lisäksi tarkasteltiin hakkuutähteiden ja ruokohelven käyttöä yhdistetyssä sähkön ja lämmön tuotannossa. Tarkastelussa huomioitiin koko tuotanto- ja käyttöketju. Kaikkien tarkasteltujen biopolttoaineiden energiatase on positiivinen, eli niiden raaka-aineiden tuotannossa ja valmistuksessa kuluu kokonaisuudessaan vähemmän energiaa kuin mitä lopputuote sisältää. Energiankulutus polttoaineen energiasisältöä kohden on kuitenkin 3–5-kertainen fossiilisten polttoaineiden tuotannossa kuluvaan energiaan nähden. Ohraetanolin tai RME:n tuotanto ja käyttö eivät välttämättä vähennä, vaan saattavat päinvastoin lisätä, kasvihuonekaasujen päästöjä suhteessa fossiilisiin vertailupolttoaineisiin, kun koko tuotanto- ja käyttöketju otetaan huomioon. Toisen sukupolven metsätähd- ja ruokohelpipohjaiset biopolttoaineet ovat huomattavasti kaupallisia peltobiomassapohjaisia polttoaineketjuja suotuisampia kasvihuonekaasupäästöjen kannalta fossiilisiin polttoaineisiin verrattuna, mikä johtuu erityisesti huomattavasti pienemmästä lannoitustarpeesta raaka-aineiden energiasisältöä kohden. Päästöarvioihin sisältyy huomattavia epävarmuuksia. Liikenteen biopolttoaineiden tuotanto on nykyisellään 30–100 % kalliimpaa kuin fossiilisten polttoaineiden tuotanto. Kehitteillä olevien toisen sukupolven biopolttoaineiden päästövähennyskustannukset liikkuvat nykyisellä raakaöljyn hinnalla tasolla 30–100 euroa vähennettyä hiilidioksidiekvivalenttitonnia kohden, riippuen mm. saavutettavien päästövähennysten epävarmuudesta sekä raaka-aineesta ja sen hinnan vaihteluista. Raakaöljyn hinnan noustessa päästövähennyskustannukset alenevat jyrkästi. Kasvihuonekaasujen päästöjen rajoittaminen energiantuotannossa on kuitenkin liikennesektoria edullisempaa.			
Avainsanat transportation, combined heat and power, greenhouse gases, emission reduction, biomass, biofuels, ethanol, biodiesel, reed canary grass, straw, RME, Fischer-Tropsch-diesel, MTBE			
ISBN 951-38-6825-7 (nid.) 951-38-6826-5 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			Projektinumero 303
Julkaisuaika Lokakuu 2006	Kieli suomi, engl. abstr.	Sivuja 134 s. + liitt. 19 s.	Hinta D
Projektin nimi BIOGHG		Toimeksiantaja(t) Tekes, VTT, MTT, KTM, Vapo, Pohjolan Voima, Neste Oil	
Yhteystiedot VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. vaihde 020 722 111 Faksi 020 722 7048		Myynti: VTT PL 1000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

Author(s) Mäkinen, Tuula, Soimakallio, Sampo, Paappanen, Teuvo, Pahkala, Katri & Mikkola, Hannu			
Title Greenhouse gas balances and new business opportunities for biomass-based transportation fuels and agrobiomass in Finland			
Abstract The aim of the project was to assess energy and greenhouse gas balances as well as greenhouse gas emission reduction costs for biomass-based fuels used in transportation and combined heat and power production (CHP) compared to reference fuels. New business opportunities were identified based on the results. Both commercial technologies and technologies under development were assessed. The most suitable large-scale technologies for Finnish conditions were selected for the evaluation. Technologies utilising field crops and forest biomass as raw materials were evaluated. The main options were barley-based ethanol, biodiesel (RME) from turnip rape, forest residue and reed canary grass-derived synthetic fuels, and forest residues and reed canary grass as a fuel for CHP production. The whole utilisation chain from fuel production to end-use was evaluated. The overall energy input per output ratio was less than one for all assessed transportation biofuel chains, which means that more energy is produced than consumed. This energy consumption per energy content of the fuels was, however, 3 to 5 fold compared to fossil fuel chains. The results indicated that the production and use of barley-based ethanol or biodiesel from turnip rape does not necessarily reduce greenhouse gas emissions, but can on the contrary increase the greenhouse gas emissions compared to fossil-based reference fuels, when the whole production and utilisation chain is considered. The second generation biofuels produced using forestry residues or reed canary grass as raw materials seem to be significantly more favourable as regards to greenhouse gas emissions, which results mainly from significantly lower fertilization levels of particular raw materials expressed in terms of energy. Significant uncertainties are involved in the emission estimates. Production of transportation biofuels is currently 30–100% more expensive than production of fossil fuels. The emission reduction costs for the second generation biofuels under development were assessed to vary from 30 to 100 €/t CO ₂ -eq with current crude oil price level. An increase in the crude oil price results in a strong decrease in emission reduction costs. However, mitigation of greenhouse gases in the energy sector can be implemented more cost-effectively than in transportation sector.			
Keywords transportation, combined heat and power, greenhouse gases, emission reduction, biomass, biofuels, ethanol, biodiesel, reed canary grass, straw, RME, Fischer-Tropsch-diesel, MTBE			
ISBN 951-38-6825-7 (soft back ed.) 951-38-6826-5 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/publications/index.jsp)			Project number 303
Date October 2006	Language Finnish, English abstr.	Pages 134 p. + app. 19 p.	Price D
Name of project BIOGHG		Commissioned by Tekes, VTT, MTT, Ministry of Trade and Industry, Vapo, Pohjolan Voima, Neste Oil	
Contact VTT Technical Research Centre of Finland P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 111 Fax +358 20 722 7048		Sold by VTT Technical Research Centre of Finland P.O.Box 1000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

Laajamittaisella liikenteen biopolttoaineiden käytöllä pyritään EU:ssa turvaamaan energiansaanti ja vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä. Lisäksi peltobioenergian hyödyntäminen tuo maataloudelle uusia tuotantovaihtoehtoja. Ei ole kuitenkaan yksiselitteisen selvää, että kasvihuonekaasupäästöt vähentyisivät, kun liikenteen biopolttoaineiden tuotantoa ja käyttöä lisätään. Kaiken kaikkiaan kysymys kasvihuonekaasupäästöjen vähentämisestä on hyvin moniulotteinen ja hankala, ja siihen liittyy epävarmuustekijöitä.

Julkaisussa esitetään energia- ja kasvihuonekaasutaseet ja vältetyn CO₂-ekvivalenttitonin hinta vertailupolttoaineisiin nähden eri liikenteen biopolttoaineiden tuotannolle ja käytölle sekä pelto- ja metsäbiomassan tuotannolle ja käytölle sähkön ja lämmön tuotannossa. Tarkasteluun valittiin Suomen olosuhteisiin sopivimpia, laajamittaiseen tuotantoon soveltuvia vaihtoehtoja. Hankkeessa tarkasteltiin sekä pelto- että metsäbiomassapohjaisia ketjuja.

Tätä julkaisua myy	Denna publikation säljs av	This publication is available from
VTT PL 1000 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	VTT PB 1000 02044 VTT Tel. 020 722 4404 Fax 020 722 4374	VTT P.O. Box 1000 FI-02044 VTT, Finland Phone internat. + 358 20 722 4404 Fax + 358 20 722 4374
