

**LIIKENNEPOLTTOAINEEKSI TARKOITETTU
OHRAETANOLI, SUOMEN OHRAMARKKINAT JA
ILMASTONMUUTOS**

Maisterin tutkielma
Jaakko Rinne
Op. nro: 011751487
Helsingin yliopisto
Taloustieteen laitos
Ympäristöekonomia
Joulukuu 2007

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Laitos — Institution — Department	
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Taloustieteen laitos	
Tekijä — Författare — Author Jaakko Rinne			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Liikennepolttoaineeksi tarkoitettu ohraetanoli, Suomen ohramarkkinat ja ilmastonmuutos			
Oppiaine — Läroämne — Subject Ympäristöekonomia			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterin tutkielma		Aika — Datum — Month and year Joulukuu 2007	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 111 s.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Tutkielmassa tarkasteltiin ohran käyttöä liikennepolttoaineeksi tarkoitetun etanolin raaka-aineena ja tämän vaikutuksia Suomen ohramarkkinoihin. Tutkielmalla oli kaksi päätarkoitusta. Ensimmäiseksi tarkoituksena oli selvittää ohraetanolin yksityisesti ja yhteiskunnallisesti optimaalinen tuotannon taso. Yhteiskunnallisessa analyysissä huomioitiin ohraetanolin ilmastohyödyt, joiden katsottiin muodostuvan etanolin bensiiniä alhaisemmista hiilidioksidipäästöistä. Toinen päätavoite oli Suomen maataloustuotantoon etanolin tuotannon seurauksena kohdistuneiden muutosten analysointi. Tarkemmin sanottuna tarkoituksena oli tutkia sitä, kuinka ohran ja vehnän viljelyalat sekä kesannointiala muuttuvat, kun huomioidaan ohraetanolin tuotannon yksityisen ja yhteiskunnallisen optimin välinen muutos.</p> <p>Tutkielmaa varten konstruointiin analyttinen malli, jonka empiirisen vastineen tuottamiseksi käytettiin olemassa olevaa aineistoa etanolin tuotannosta ja ohran viljelystä. Mallissa tarkasteltiin ohran kysynnän ja tarjonnan tasapainoa ja sen muutoksia ohraetanolin tuotannon yksityisen ja yhteiskunnallisen optimin välillä. Ohran kysynnän katsottiin muodostuvan ohran etanolikysynnästä ja ohran eläinrehukäytön muodostamasta kysynnästä. Ohran tarjonta mallinnettiin heterogeenisen maan laadun mallin avulla. Tällä maataloustuotantoa kuvaavalla mallilla peltolohkojen kohdentamista eri viljelykasveille ja kesannolle on mahdollista tutkia maan laadun funktiona. Näin saatiin konstruointia malli, jonka avulla pystyttiin tarkastelemaan ohran ja kevätvehnän viljelyalojen sekä kesannointialan muutoksia, kun ohran kysyntä muuttuu. Samalla pystyttiin tarkastelemaan ohran hinnan muutoksia ohraetanolin tuotannon yksityisen ja yhteiskunnallisen optimin välillä.</p> <p>Empiiriseen aineistoon perustuneen analyysin tuloksena voitiin todeta, että yksityistaloudellisesti optimaalinen ohraetanolin tuotantomäärä Suomessa on 58 691 tonnia. Vastaavasti ohraetanolin ilmastohyödyt huomioivan yhteiskunnallisesti optimaalisen ohraetanolin tuotannon määrä oli 72 736 tonnia. Maataloustuotannossa ohraetanolin tuotannon ilmastohyötyjen huomioiminen kasvatti ohran viljelyalaa. Kokonaisviljelyalana otettiin huomioon kevätvehnän ja ohran viljelyalat sekä kesannointiala Etelä-Suomessa. Ohraetanolin tuotannon yksityistaloudellisessa optimissa ohran viljelyala oli 1/19 kokonaisviljelyalasta kun se yhteiskunnallisessa optimissa oli 7/19. Tutkielman tuloksista ilmeni, että ohran hinta nousi etanolin tuotannon ilmastohyödyt huomioimalla ainoastaan 1,8 %. Siten ohraetanolin tuotannon ilmastovaikutusten huomioiminen muutti ohran hintaa varsin vähän.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Ohramarkkinat, biopolttoaineet, ilmastonmuutos, maataloustuotanto, maatalousmaan allokaatio			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Viikin tiedekirjasto, Viikinkaari 11 A, (PL 62), 00014 Helsingin yliopisto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Economics and Management	
Tekijä — Författare — Author Jaakko Rinne			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Barley based bioethanol, Finnish barley markets and climate change			
Oppiaine — Läroämne — Subject Environmental economics			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year December 2007	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 111 pp.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>The aim of the thesis was to analyze the use of barley as an input for bioethanol production and the impacts the use has on the Finnish barley markets. Two main research questions were formulated. First, privately and socially optimal bioethanol production levels were examined. In the social optimum, the climate benefits of bioethanol production were considered. It was calculated that the production and use of bioethanol created smaller CO₂ -emissions when compared with the production and use of gasoline. Second, the impacts of bioethanol production on farmland allocation and agricultural production were analyzed. In more detail, the second aim was to analyze the farmland allocation between wheat and barley cultivation and green set aside in the private and social optimum.</p> <p>An analytical model was produced to analyze the barley markets in Finland. To provide an empirical counterpart to this model, existing research data on bioethanol production and barley cultivation was used. The aim of the model was to analyze the supply and the demand as well as market equilibrium of barley. Furthermore, the model provided a framework for analyzing the differences between the private optimum and social optimum of bioethanol production in Finland. The demand for barley consists of animal feed demand and bioethanol demand. On the supply side, a heterogeneous model of farmland quality was used. With this framework, it is possible to analyze farmland allocation between barley and wheat cultivation and green set aside and how the climate benefits of bioethanol production affects the allocation. Moreover, the relative changes in barley price between the private and social optimum were analyzed.</p> <p>Based on the empirical analysis, the private optimum for barley based bioethanol production is 58 691 metric tons. However, the social optimum for barley based bioethanol production is 72 736 metric tons. The portion of farmland that is allocated to barley cultivation is increased if the climate benefits of bioethanol production are considered. In the private optimum, 1/19 of the total farmland is allocated to barley cultivation whereas in social optimum the share increases to 7/19. Furthermore, the increase in barley price between private and social optimum is rather modest. Total increase in price is only about 1,8 percent.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Barley markets, biofuels, climate change, agricultural production, farmland allocation			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Viikki Science Library, Viikinkaari 11 A, (PL 62), 00014 Helsingin yliopisto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
1.1	TUTKIMUKSEN TAUSTAA	5
1.2	TUTKIMUKSEN TAVOITTEET.....	7
1.3	TUTKIMUKSEN MENETELMÄ JA RAJAUS	7
2	OHRAETANOLIN VALMISTUS JA KÄYTTÖ LIIKENNEPOLTTOAINEENA	11
2.1	OHRAN AGRONOMISET TUOTANTOTIEDOT	12
2.2	OHRAETANOLIN TUOTANTOPROSESSI	16
2.3	OHRAETANOLI LIIKENNEPOLTTOAINEENA	24
2.4	ENERGIATASE, KASVIHUONEKAASUVAIKUTUKSET JA KUSTANNUKSET.....	28
3	TEOREETTINEN VIITEKEHYS	37
3.1	OHRAN KYSYNTÄ.....	37
3.2	OHRAN TARJONTA.....	40
3.3	YKSITYISTALOUELLINEN OPTIMI.....	44
3.4	YHTEISKUNNALLINEN OPTIMI	45
3.5	OHJAUSKEINOVALIKOIMA	49
4	EMPIIRINEN AINEISTO	51
4.1	MALLIN PARAMETRISOINTI.....	51
4.2	HINTA- JA KUSTANNUSTIEDOT	53
4.3	MAATALOUDEN TUKITASOT	54
4.4	ILMASTOVAIKUTUKSET	55
5	EMPIIRINEN ANALYYSI	61
5.1	YKSITYISTALOUELLINEN OPTIMI.....	61
5.2	YHTEISKUNNALLINEN OPTIMI	65
5.3	OHJAUSKEINOVALIKOIMA	70
5.4	HERKKYYSTARKASTELU.....	72
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	79
	LÄHTEET	84
	LIITTEET	94

TAULUKOT

TAULUKKO 2.1 BIOPOLTTOAINEIDEN KASVIHUONEKAASUVAIKUTUKSIA	33
TAULUKKO 2.2 ETANOLIN TUOTANTO- JA PÄÄSTÖVÄHENNYSKUSTANNUKSET	35
TAULUKKO 4.1 POLTTOAINEIDEN VALMISTUKSEN JA KÄYTÖN CO ₂ -PÄÄSTÖT	58
TAULUKKO 5.1 YKSITYISTALOUELLINEN OPTIMI	63
TAULUKKO 5.2 MAATALOUSTUOTANTO YKSITYISTALOUELLISESSA OPTIMISSA.....	64
TAULUKKO 5.3 YHTEISKUNNALLINEN OPTIMI.....	67
TAULUKKO 5.4 MAATALOUSTUOTANTO YHTEISKUNNALLISESSA OPTIMISSA.....	68
TAULUKKO 5.5 YHTEISKUNNALLINEN HYVINVOINTI.....	70
TAULUKKO 5.6 HERKKYYSTARKASTELU, PÄÄSTÖOIKEUDEN HINTA.....	74
TAULUKKO 5.7 HERKKYYSTARKASTELU, ETANOLIN HINTA.....	76
TAULUKKO 5.8 HERKKYYSTARKASTELU, VEHNÄN HINTA.....	77

KUVAT

KUVA 2.1 OHRAETANOLIN TUOTANTOPROSESSI.....	17
KUVA 3.1 KASVIEN $i=1,2$ JA KESANNOINNIN VOITTO FUNKTIONA MAAN LAADUN SUHTEEN.....	43
KUVA 3.2 OHRAN MARKKINATASAPAINO	45
KUVA A10.1 OHRAN TARJONTAKÄYRÄ	110

Yksiköt ja lyhenteet

Yksiköt

J	joule (energiamäärän perusyksikkö)
Wh	wattitunti (energiantuotannon yksikkö)
toe	öljykvivalenttonni (öljytonnin sisältämä energiamäärä)
k kilo,	1 000
M mega,	1 000 000
G giga,	1 000 000 000
T tera,	1 000 000 000 000
1 Wh	3 600 J
1 toe	41,868 GJ

Lyhenteet

CO₂-ekv	hiilidioksidiekvivalentti
ETBE	etyyli-tert-butyylieetteri, bensiinin seoskomponentti
E5	5 tilavuus- % etanolia sisältävä polttoaine
E10	10 tilavuus- % etanolia sisältävä polttoaine
E85	85 tilavuus- % etanolia sisältävä polttoaine
FFV	flexible fuel vehicle; ajoneuvo, joka voi käyttää polttoaineena mitä tahansa bensiinin ja etanolin seosta 0 ja 85 tilavuus- % väliltä
MTBE	metyyli-tert-butyylieetteri, bensiinin seoskomponentti

1 JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen taustaa

Euroopan Unionin julkaisemassa vihreässä kirjassa (Vihreä kirja - Energia... 2000, 3) todetaan, että Euroopan Unionin riippuvuus tuontienergiasta kasvaa nykyisestä 50 prosentista 70 prosenttiin 20–30 vuodessa, jos mitään aktiivisia toimenpiteitä ei tehdä. Tämä vaikuttaa erityisesti hiilivedyistä riippuvaisiin toimialoihin, kuten liikenteeseen ja sähköntuotantoon. Liikenneala on öljystä erityisen riippuvainen, sillä 98 prosenttia sen käyttämästä energiasta tulee öljystä. (Vihreä kirja - Energia... 2000, 16–17.) Tämän lisäksi liikennealan energiantarve kasvaa voimakkaasti. Se on noussut 290 miljoonasta öljykvivalenttitonnista 350 miljoonaan öljykvivalenttitonniin vuosina 1994–2004 EU(25) alueella (EUROSTAT 2006). Öljyn käyttöön Euroopassa liittyy myös toinen ongelma. Jo tällä hetkellä suurin osa Euroopassa käytetystä öljystä tulee alueilta, joiden yhteiskunnallinen tilanne on hyvin epävakaa. Osuuden odotetaan kasvavan vuoteen 2030 mennessä. Näiden öljyn toimitusvarmuuteen liittyvien riskitekijöiden vuoksi uusien energianlähteiden löytäminen liikenteen käytettäväksi olisi toivottavaa. (Kertomus biopolttoaineiden... 2007, 2.)

Maailmanlaajuisesti öljyn kulutus kasvaa, mutta sen varannot hupenevat. Nykyiset tuotantomäärät eivät enää sanottavasti kasva, vaan kääntyvät pikemminkin laskuun. Tulevaisuudessa öljyä täytyy etsiä myös nykyistä vaikeammin hyödynnettävistä lähteistä ja sen jalostusta kivihielestä tulee harkita. Näiden tekijöiden yhteisvaikutuksesta öljyn hintaan kohdistuu nousupaineita jo tulevana vuosikymmeninä. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 2006, 14.) Kun nämä asiat otetaan huomioon, on öljylle vaihtoehtoisten polttoaineiden tutkimusta ja kehitystä edistettävä aktiivisesti.

Liikenteen osuus EU:n kasvihuonekaasupäästöistä on merkittävä. Vuonna 1998 liikenteen energiankulutuksen osuus kaikista kasvihuonekaasupäästöistä oli 28 prosenttia. Vuonna 1990 liikenteen päästöt olivat 739 miljoonaa hiilidioksiditonia ja ennusteiden mukaan, jos mitään ei tehdä näiden päästöjen vähentämiseksi, liikenteen hiilidioksidipäästöt lisääntyvät 50 prosentilla ollen 1 113 miljoonaa tonnia vuonna 2010. Tärkein päästölähde on maantieliikenne, sillä se edustaa 84 prosenttia kaikista liikenteen päästöistä. (Vihreä kirja - Energia... 2000, 50–51.) On myös ennustettu, että

verrattuna muihin toimialoihin, kasvihuonekaasupäästöt kasvavat liikennesektorilla kaikkein voimakkaimmin vuosina 2005–2020. Kasvua tulee ennusteen mukaan olemaan jopa 77 Mt CO₂-ekv vuotta kohden. (Kertomus biopolttoaineiden... 2007, 3.)

Euroopan Unioni on esittänyt tavoitteita biopolttoaineiden käytön lisäämiselle liikenteessä. Ehdotuksen mukaan vuoteen 2020 mennessä 10 prosenttia tavanomaisista polttoaineista korvataan vaihtoehtoisilla polttoaineilla (Kertomus biopolttoaineiden... 2007, 8). Lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä lupaavimmalta tavanomaisten polttoaineiden korvaajilta näyttävät biopolttoaineet, keskipitkällä aikavälillä maakaasu ja pitkällä aikavälillä vety. Vaihtoehtoisten polttoaineiden käytön tavoitteina on vähentää EU:n riippuvuutta tuontienergiasta, vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja monipuolistaa maatalouden tuotantovaihtoehtoja. Näihin tavoitteisiin pääsemiseksi komissio on laatinut biopolttoainedirektiivin¹ ja lisäksi se tulee edistämään biopolttoaineiden verotuskohtelun yhdenmukaistamista unionin jäsenmaissa. (Valkoinen kirja - Eurooppalainen... 2001, 86–87.)

Hallituksen esityksessä eduskunnalle laiksi biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä asetetaan sitova ja asteittain nouseva biopolttoainedirektiivin mukainen tavoite liikennepolttoaineiden bioenergiasisällölle. Vuonna 2008 bioenergian vähimmäisosuus liikennepolttoaineiden energiasisällöstä tulee olla 2 prosenttia, vuonna 2009 osuus tulee olla 4 prosenttia ja vuonna 2010 biopolttoainedirektiivin mukainen 5,75 prosenttia. (Hallituksen esitys... 2006, 7-8.) Lakiehdotus hyväksyttiin eduskunnassa 6.2.2007. Valtioneuvosto on selonteossaan eduskunnalle todennut että Suomen riittävä ja monipuolinen energiansaanti tulee varmistaa ja tämän tavoitteen täyttämiseksi kotimainen bioenergiantuotanto on keskeisessä roolissa.² Tästä syystä on tärkeä analysoida sitä, kuinka ohraetanolin tuotanto vaikuttaisi Suomen ohramarkkinoihin ja sitä kautta maataloustuotantoon.

¹ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/30/EY, annettu 8 päivänä toukokuuta 2003, liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä. Euroopan unionin virallinen lehti L 123/42. 17.5.2003.

² Lähiajan energia- ja ilmastopolitiikan linjauksia - kansallinen strategia Kioton pöytäkirjan toimeenpanemiseksi. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 24.11.2005.

1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkielman tarkoituksena on selvittää ohraetanolin teollisen tuotannon yksityisesti ja yhteiskunnallisesti optimaaliset tuotantomäärät. Yhteiskunnallisessa analyysissä huomioidaan etanolin tuotannon ilmastovaikutukset, joita yksityistaloudellisessa analyysissä ei käsitellä. Tällä tavoin on mahdollista vertailla yksityistaloudellisen optimin suhdetta yhteiskunnallisesti optimaaliseen etanolin tuotantoon. Jos etanolin tuotannon ja käytön ilmastovaikutuksia ei oteta huomioon, on mahdollista, että etanolia ei tuoteta eikä käytetä yhteiskunnan kannalta optimaalista määrää. Vertaamalla yksityistaloudellista optimia yhteiskunnalliseen optimiin on mahdollista arvioida yhteiskunnallisen optimin saavuttamiseksi tarvittavien taloudellisten ohjauskeinojen suuruusluokkaa.

Tutkielman toinen päätavoite on selvittää ohraetanolin valmistuksen vaikutukset maataloustuotantoon. Tarkoituksena on selvittää kuinka kesannoinnin, ohran ja kevätvehnän viljelyosuudet muuttuvat kun pyritään yhteiskunnallisesti optimaaliseen ohraetanolin tuotannon tasoon. Näin voidaan arvioida kotimaisen ohran tuotannon riittävyyttä ja ohran hinnan muutoksia, kun huomioidaan myös ohran etanolikäytön mahdollisuudet.

1.3 Tutkimuksen menetelmä ja rajaus

Tutkielma rajataan koskemaan etanolin tuotantoa ohrasta. Ohran viljely on mahdollista suurimmassa osassa Suomea ja sen viljelyalue ulottuu aina viidennen viljelyvyöhykkeen edullisimpiin osiin (kts. liite 1) (Vuorinen, Kangas, Jalli & Kortemaa 2006, 39; 42). Ohran käyttöä etanolin tuotantoon puoltaa myös sen suuri viljelyala Suomessa, 560 000 ha, ja merkittävä ylituotanto, joka vuonna 2006 oli arvioiden mukaan noin 300 000 tonnia (TIKE 2007a ja Partala 2007, 22–23).

Tutkimus rajataan siten, että tärkeimpinä tarkastelun kohteina ovat ohraetanolin tuotantoprosessin taloudellinen kuvaaminen ja etanolin tuotannon vaikutukset maataloustuotannon jakautumiseen ohran viljelyyn, kevätvehnän viljelyyn ja kesannoinnin välille. Yhteiskunnallisessa analyysissä keskitytään ohraetanolin tuotannon ja käytön ilmastovaikutusten analysointiin ja ohran viljelyn muut ympäristövaikutukset, kuten huuhtoumahaitat jätetään tässä tutkielmassa huomiotta. Lisäksi saatavilla olevasta

empiirisestä aineistosta johtuen tutkimus rajataan maataloustuotannon osalta Suomen maatalouden A-tukialueelle (kts. liite 2).

Tutkittavaa ilmiötä lähestytään empiirisen aineiston perusteella tehtävän ja analyttiseen malliin perustuvan analyysin avulla. Empiirinen aineisto muodostuu valmiista kotimaisista ja ulkomaisista lähteistä, jotka tarkastelevat maatalouden tuotantoa ja etanolin tuotantoprosessia. Teoreettisena viitekehyksenä tullaan käyttämään mikrotaloustieteeseen nojautuvaa markkinamallia, joka kuvaa ohran kysyntää ja tarjontaa.

Mallin tarkoituksena on yksinkertaistaa käsiteltävää asiaa siten, että siitä on mahdollisuus eristää tutkimuksen kannalta tärkeät yksityiskohdat. Ohran kysyntää ja tarjontaa kuvaavaan malliin sisältyy kaksi mikrotaloustieteellisen mallin perusolettamusta. Ensimmäisen oletuksen mukaan yksilöt pyrkivät maksimoimaan omaa hyötyään huomioiden samalla budjettirajoitteensa. Toisen oletuksen mukaan markkinat pyrkivät kohti tasapainoa, jossa tuotteen tasapainohinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan tasapainon kautta. (Varian 2002, 1-3.) Tämän tutkielman mallina on siis ohramarkkinamalli, jonka kehikossa tarkastellaan edellä esiteltyjen periaatteiden mukaan ohran kysyntää ja tarjontaa.

Kilpailullisista markkinoista on todettu, että kun oletetaan omaa hyvinvointiaan maksimoivat toimijat, jotka siis tekevät päätöksensä siten, että heidän hyvinvointinsa saavuttaa mahdollisimman korkean tason, niin myös yhteiskunnan hyvinvointi saa suurimman arvonsa. Tämän argumentin mukaan markkinoilla, joilla vallitsee täydellinen kilpailu ja joilla ei esiinny markkinaepäonnistumisia, yksityinen optimiratkaisu vastaa myös yhteiskunnallista optimiratkaisua. Toisaalta jos markkinoilla esiintyy epäonnistumisia, niin yksityinen optimiratkaisu ei välttämättä ole yhteiskunnan kannalta optimaalinen. Yksi markkinaepäonnistumisen muoto on niin kutsutut ulkoisvaikutukset. Tällöin yhden markkinoilla toimivan yksilön optimaalisesta ratkaisusta koituu hyötyä tai haittaa toiselle markkinoilla toimivalle yksilölle. Ensimmäinen yksilö ei kuitenkaan saa tai joudu maksamaan korvausta toiselle yksilölle koituneesta hyödystä tai haitasta. Tällaisessa tilanteessa markkinamekanismi ei huomioi tätä ulkoisvaikutusta ja siten myöskään yhteiskunnallinen hyvinvointi ei saavuta

suurinta arvoaan silloin, kun jokainen yksilö maksimoi omaa hyötyään. (Kahn 1998, 11–25.)

Ympäristötaloustieteen kannalta juuri ulkoisvaikutukset ovat keskeisessä asemassa. Tässä tutkielmassa tullaan keskittymään ohraetanolin tuotannon ilmastovaikutuksiin, joita markkinamekanismi ei huomioi. Kyse on siis ulkoisvaikutuksesta. Tämän ulkoisvaikutuksen vuoksi tutkielmassa tarkasteltavilla ohramarkkinoilla yksityinen optimiratkaisu ei tuota yhteiskunnan hyvinvoinnin maksimoivaa markkinatasapainoa. Ohraetanolin tuotannon ilmastovaikutukset on valittu tarkasteltavaksi ulkoisvaikutukseksi, koska biopolttoaineiden käytön edistämistä liikenteessä on perusteltu juuri niiden mahdollisuuksilla vähentää haitallisia kasvihuonekaasupäästöjä. Muut mahdolliset ulkoisvaikutukset, kuten esimerkiksi maatalouden ravinnehuuhtouma, on jätetty analyysin ulkopuolelle, jotta ohran markkinamallista ei tulisi liian laaja verrattuna tutkielmalle asetettuihin tavoitteisiin.

Markkinamallissa ohran tarjontaa tarkastellaan heterogeenisen maan laadun mallin kautta. Lankosken, Lichtenbergin ja Ollikaisen (2004, 3-4) mukaan maatalouden tuottamia positiivisia ja negatiivisia ulkoisvaikutuksia on tarpeellista tarkastella siten, että huomioidaan maatalousmaan laadun vaihtelut. Tämä johtuu siitä, että maatalouden tuottamat positiiviset ja negatiiviset ulkoisvaikutukset vaihtelevat maan laadun, peltolohkon sijainnin, ilmaston ja muiden luonnollisten tekijöiden vuoksi. Siten maan laadulla on merkitystä yhteiskunnallisesti optimaalisen maataloustuotannon kannalta. Heterogeenisestä maan laadusta johtuen tulisi myös ohjauskeinot erilaistaa siten, että ne huomioivat maatalousmaan eri laatuluokat. Tällä tavoin on mahdollista saavuttaa yhteiskunnallinen optimiratkaisu maataloustuotannon suhteen ja määrittää ne ohjauskeinot, joilla tähän optimiratkaisuun päästään. (Lankoski ym. 2004, 3-4.) Tästä syystä heterogeeninen maan laadun malli on valittu tämän tutkielman ohran tarjonnan kuvaajaksi. Sen avulla on mahdollista tarkastella maatalousmaan laatuluokkien jakautumista eri viljelykasvien ja kesannoinnin välille.

Maanviljelijän yksityistä optimia ratkaistaessa ei huomioida niitä mahdollisia maatalouden tukia, joita viljelijä todellisuudessa saisi. Toisin sanoen yksityisestä optimiratkaisusta rajataan pois kaikki relevantit yhteiskunnalliset ohjauskeinot. Näin yhteiskunnan vaikutus ohramarkkinoille saadaan minimoitua tutkielmassa käytettävässä

mallissa. Maatalouden tukien merkitys on kuitenkin merkittävä Suomen maataloudelle, joten tukipolitiikan vaikutusta tarkastellaan lyhyesti tulosten esittelyn yhteydessä.

Etanolin tuotannon yhteiskunnallista optimia selvitettäessä rajataan etanolin tuotannon ilmastovaikutukset nykyisen ilmastopolitiikan mukaan. Tämä tarkoittaa sitä, että etanolin hiilidioksidipäästöt lasketaan kansallisen päästöinventaarion periaatteiden mukaisesti, joissa biopohjaisista liikennepolttoaineista ei katsota aiheutuvan hiilidioksidipäästöjä niitä käytettäessä. Tätä voidaan perustella sillä, että biopolttoaineita käytettäessä vapautuva hiilidioksidi on sitoutunut polttoaineiden raaka-aineena käytettävään biomassaan kasvien kasvaessa (Kauppa- ja teollisuusministeriö 2006, 76). Globaalisti merkittäviä ovat kuitenkin biopolttoaineiden koko elinkaaren aikaiset kasvihuonekaasupäästöt. Näitä tarkastellaan tutkielman kirjallisuusosuudessa lyhyesti, mutta yksinkertaisuuden vuoksi ne sivuutetaan empiirisessä analyysissä.

Tutkielma jakaantuu kuuteen lukuun. Luvussa 2 esitellään ohran agronomiset tuotantotiedot, ohraetanolin valmistusprosessi ja ohraetanolin käyttö liikennepolttoaineena. Luvussa 3 esitellään analyyttinen malli ohran kysynnän ja tarjonnan muutosten analysoimiseksi. Luku 4 esittelee aineiston, johon luvun 5 empiirinen analyysi perustuu. Luvussa 6 muodostetaan johtopäätökset.

2 OHRAETANOLIN VALMISTUS JA KÄYTTÖ LIIKENNEPOLTTOAINEENA

Valtioneuvoston selonteossa eduskunnalle³ on huomioitu, että vaikka biopolttoaineiden liikennekäyttöä hankaloittavat korkeat kustannukset ja jakelujärjestelmään sekä käyttöön liittyvät kysymykset, niin Suomi aikoo aktiivisesti edistää kustannustehokkaiden biopolttoainemarkkinoiden syntyä Euroopassa. Kauppa- ja teollisuusministeriö (2006, 101) on selvityksessään todennut, että biopolttoaineiden käyttöä voidaan nopeimmin lisätä sellaisilla biokomponenteilla ja polttoaineilla, jotka voivat hyödyntää nykyistä jakelujärjestelmää ja jotka sopivat suoraan nykyiseen ajoneuvokalustoon. Suomessa ajoneuvokalusto uusiutuu varsin hitaasti, 15–20 vuodessa, joten kokonaan uuteen polttoaineeseen siirtyminen ei ole realistista biopolttoainedirektiivin vaatimassa aikataulussa. Tästä syystä biopolttoainedirektiivin määrittelemään 5,75 % polttoaineen bioenergiasisältöön vuonna 2010 päästäisiin joustavimmin sekoittamalla käytössä oleviin polttoaineisiin etanolia tai biodieseliä direktiivien ja standardien sallimissa rajoissa. EU:n arvion mukaan peltokasvipohjaisilla biopolttoaineilla ei nykyisellä tuotantoteknologialla ole mahdollista saavuttaa kuin 2-3 prosentin bio-osuus kokonaispolttoaineenkulutuksesta. Siten olisikin tärkeätä, että tutkimusta ja tuotekehitystä ohjataan toisen sukupolven biopolttoaineisiin, joista Suomen oloissa merkittävin olisi lignoselluloosapohjaisten raaka-aineiden käyttö etanolin tuotannossa. Tämä tarkoittaisi biopolttoaineiden valmistusta esimerkiksi puusta, oljesta tai ruokohelvestä. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 2006, 100–102.)

Suomessa oli keväällä 2007 meneillään kaksi merkittävää biopolttoaineiden tuotantoon tähtäävää projektia. Näistä projekteista on toteutunut Neste Oilin biodieseljalostamo, joka käyttää Nesteen kehittämää biodieselprosessia. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 2006, 55.) Tuotanto on alkanut kesällä 2007. Toinen merkittävä projekti oli Altia Oyj:n ohraetanolitehdas Etelä-Pohjanmaan Ilmajoella, joka on kuitenkin keskeytetty rakennuskustannusten nousun vuoksi. Tehtaassa oli tarkoitus valmistaa noin 75 miljoonaa litraa etanolia vuodessa (Pöyry 2006a, 30). Neste Oilin oli tarkoitus ostaa

³ Lähiajan energia- ja ilmastopolitiikan linjauksia - kansallinen strategia Kioton pöytäkirjan toimeenpanemiseksi. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 24.11.2005.

tämän tehtaan koko tuotanto ja käyttää se suoraan bensiinin seoskomponenttina tai jalostaa sitä edelleen etyyli-tert-butyylieetteriä (ETBE), joka on yksi mahdollisista bensiinin seoskomponenteista (Neste Oil 2006).

Moottoribensiinin kulutus Suomessa oli 1 862 000 tonnia vuonna 2006. Kulutus laski 0,7 % verrattuna vuoteen 2005. (Öljy- ja kaasualan keskusliitto 2006.) EU:n biopolttoainedirektiivissä asettama tavoite liikennepolttoaineiden bio-osuudeksi vuonna 2010 on 5,75 % polttoaineen energiasisällöstä. Tämä tarkoittaa noin 9 tilavuusprosentin bio-osuutta. Etanolin tai sen johdannaisten osuus liikennepolttoaineista Suomessa tulisi siten olla vuoden 2006 tiedoilla noin 180 000 tonnia. Arvio realistisesta bio-osuudesta vuonna 2010 on kolme prosenttia polttoaineen energiasisällöstä (Kauppa- ja teollisuusministeriö 2006, 105). Tämä tarkoittaisi noin 5 tilavuusprosentin eli noin 93 900 tonnin etanolimäärää. Laskennassa käytetyt arvot on esitelty liitteessä 3. Suomeen suunniteltujen bioetanolitehtaiden (Ilmajoki ja Punkaharju) kapasiteetti olisi tullut olemaan noin 75 000 kuutiota vuodessa (yhteensä 150 000 kuutiota vuodessa), joka vastaa noin 60 000 tonnin kapasiteettia vuodessa tehdasta kohden (Pöyry 2006a, 30 ja Pöyry 2006b, 10). Näitä arvoja käyttäen biopolttoainedirektiivin mukaisen 5,75 % etanolitarpeen Suomessa tyydyttäisi kolme etanolitehdasta, jos näiden tehtaiden koko tuotanto myös käytettäisiin täällä.

Aloitan etanolin valmistuksen tarkastelun raaka-aineen, eli ohran viljelystä. Tämän jälkeen siirryn tarkastelemaan ohraetanolin teollista tuotantoprosessia, etanolin käyttöä liikennepolttoaineena ja etanolin tuotannon kasvihuonekaasu- ja energiataseita.

2.1 Ohran agronomiset tuotantotiedot

Maa- ja metsätalousministeriön pellonkäytön tulevaisuutta pohtineen työryhmän tarkoituksena oli tarkastella Suomen pellonkäytön nykytilaa ja pohtia peltojen käyttöä tulevaisuudessa vuoteen 2012 asti. Työryhmän mukaan bioenergian tuotantoon olisi mahdollista ottaa tarvittaessa 500 000 hehtaaria Suomen 2,2 miljoonasta viljellystä peltohehtaarista jolloin myös kesantopellot olisivat bioenergian tuotannossa. Työryhmä myös esittää, että kun bioenergian ja liikenteen biopolttoaineiden käyttöä Suomessa kehitetään, tulisi käytön ensisijaisesti perustua kotimaisiin raaka-aineisiin ja tuotantoon. Samalla tulee kuitenkin huomioida myös kotimaisen elintarvike- ja rehuteollisuuden

raaka-aineen tarpeet. Kotimaisen peltobioenergian tulisi myös olla kilpailukykyistä ulkomaisten raaka-aineiden kanssa. (MMM 2005, 3; 43.)

Ohra on Suomen yleisimmin viljelty viljakasvi. Viljelyalat ovat vaihdelleet noin 520 000 hehtaarin ja 595 000 hehtaarin välillä vuosina 1999–2005. Tämä on noin 25 prosenttia koko Suomen viljelystä peltoalasta. Vuosina 1990–2005 ohran keskimääräinen hehtaarisato on vaihdellut 2390 kilon ja 3680 kilon välillä ollen keskimäärin 3280 kiloa hehtaarilta. Ohran kokonaissato vuonna 2004 oli 1724,7 miljoonaa kiloa ja vuonna 2005 sato oli 2102,9 miljoonaa kiloa. (TIKE 2006a, 106; 113; 115; 117.) Ohraa viljellään panimoteollisuuden raaka-aineeksi, jolloin puhutaan mallasohrasta ja rehuksi, jolloin puhutaan rehu- tai tärkkelysohrasta. Vuonna 2005 rehuohraa, jota siis käytetään myös etanoliteollisuuden raaka-aineena, viljeltiin 434 800 hehtaarilla ja mallasohraa 159 400 hehtaarilla. Siten rehuohran viljelyosuus oli noin 73 prosenttia kaikesta viljelystä ohrasta. (TIKE 2005a.)

Ohra viljelykasvina

Ohran kasvualue ylettyy aina V viljelyvyöhykkeen (kts. liite 1) eteläisimpiin osiin asti (Hyttiäinen, Hedman-Partanen & Hiltunen 1995, 62). Ohran kasvukausi onkin muita viljoja lyhyempi, vaihdellen 80 ja 96 päivän välillä lajikkeesta riippuen (Kangas ym. 2006a, 45–48). Ohran lajikevalintaan maatilatasolla vaikuttavat sekä kasvuvyöhyke, että ohran käyttötarkoitus. Ohrat voidaan jakaa mallas-, rehu- ja tärkkelysohriin. Mallasohrien tärkeimmät ominaisuudet ovat valkuaisainepitoisuus, jonka tulisi olla alle 11,5 prosenttia ja hyvä itävyys, kun taas rehuohralla on tärkeää korkea hehtolitraino ja valkuaisainepitoisuus. (Kangas, Laine, Niskanen, Salo & Vuorinen 2006b, 9-10.) Etanolin valmistus ohrasta edellyttää korkeaa tärkkelyspitoisuutta. Altian Koskenkorvan etanolitehdas, joka valmistaa etanolia alkoholiteollisuuden tarpeisiin, käyttää raaka-aineena pääasiassa niin sanottua sopimusviljaa, jonka hehtolitrainolle ja lajikkeelle on asetettu kriteerit. Sopimuslajikkeisiin kuuluu tällä hetkellä Voitto, Maaren, Edel, Erkki, Kunnari, Tolar, Saana, Tofta, Viskosa. Hehtolitrainon tulee olla vähintään 62 kiloa ja kosteuden alle 14 prosenttia. Lisähintaa Altia maksaa yli 60 prosentin tärkkelyspitoisuudesta. Sopimusviljelyn tulee tapahtua EU:n ympäristötuen ehtojen mukaan. Kyseisiä ehtoja oli tarkoitus soveltaa myös liikennepolttoaineena käytettävän etanolin valmistuksessa. (Altia Oyj 2007.)

Satoisuudeltaan sopimuslajikkeet ovat suhteellisen hyviä. Virallisissa lajikekokeissa vuosina 1999–2006 saadut sadot ovat näillä lajikkeilla olleet Saanaa ja Erkkiä lukuun ottamatta yli 5000 kiloa hehtaarilta. Erkin sato on ollut 4987 kiloa hehtaarilta ja Saanan 4668 kiloa hehtaarilta. Lajikkeiden välillä on eroa myös kasvuajassa, korren pituudessa, lakootumisessa ja taudinsiedossa. (Kangas ym. 2006a, 45–48.) Ohralajikkeita jalostetaan jatkuvasti. Vuosina 2004–2005 lajikeluetteloon hyväksyttiin 13 uutta lajiketta (Vuorinen & Kangas 2005).

Pellon muokkaus ja kylvö

Oikean kylvöajankohdan valitseminen on hyvin tärkeää ohran sadonmuodostuksen kannalta. Käytännössä kylvää voidaan silloin, kun maa on ehtinyt kuivua tarpeeksi, jotta se kantaa kylvökoneita. (Hyytiäinen ym. 1995, 62–63.) Ohra kylvetään Etelä-Suomessa keskimäärin toukokuun puolessa välissä (Seuri 1987, 18). Tikkurilassa vuosina 1970–1979 tehtyjen kokeiden mukaan kylvöajankohta vaikuttaa ohran satotasoon. Optimikylvöaika oli tutkimuksessa 5.-9. toukokuuta. Satomäärä aleni varsin selvästi, jos kylvö myöhästyi tästä. Samoin viljan laatu heikkeni kylvön myöhästyessä. (Kivisaari & Larpes 1983, 38–40.)

Ohrapellon perusmuokkaus tehdään syksyllä, jolloin pelto joko kynnetään tai sänkimuokataan. Näistä kyntö on raskaampi toimenpide. Sänkimuokkaus tehdään yleensä kahteen kertaan. Pelto kannattaa myös kalkita, jotta pellon pH-arvo olisi otollinen ohran kasvulle. (Mäkinen, Soimakallio, Paappanen, Pahkala & Mikkola 2006, 46.) Ohralle agronomisesti edullisin pH:n arvo on 6,0 ja 7,0 välillä. Ravinteiden saatavuus on parhaimmillaan pH-arvon ollessa 6,0 - 6,5 välillä. (Viljavuuspalvelu 2007.) Mäkisen ym. (2006, 46) tutkimusasetelman mukaan pellot kalkitaan joka viides vuosi. Keväällä, juuri ennen ohran kylvöä, pelto kylvömuokataan. Toimenpiteen tavoitteena on saada maan pintaan ohran itämisen kannalta otolliset olosuhteet, jotka hidastavat veden haihtumista. (Mäkinen ym. 2006, 46–47.)

Ohran kylvötiheys on 450–500 siementä neliometriä kohden. Tämä tarkoittaa siemenen painosta riippuen 180–265 kilon siemenmäärää hehtaarille. Sopiva kylvösyvyys riippuu maalajista, nopeasti kuivuvilla mailla se on noin 5 cm ja kivennäis-, multa- ja turvemailla noin 3 cm. Kylvössä siemen pitää saada kiinni kosteaan maahan, jotta se itäisi. (Hyytiäinen ym. 1995, 63.) Kylvö ja lannoitus tehdään yleensä yhdellä ajokerralla

käyttäen kylvö-lannoituskonetta. Kone sijoittaa siemenet 12,5 cm välein oleviin riveihin ja lannoitteen 25 cm välein oleviin riveihin. (Katajajuuri ym. 2000, 65.)

Lannoitus

Ravinteiden virtoja pellossa voidaan laskea ravinnetaseiden avulla. Ravinnetase kuvaa tietyn peltolohkon, maatilan, kunnan tai koko maan ravinteiden kiertoa. Alueelle lisätyistä ravinteista vähennetään sadon mukana poistuneet ravinteet ja näin saadaan tieto alueen ravinneylijäämästä ja -alijäämästä. Viljanviljelyssä tulee ottaa huomioon myös pellolle mahdollisesti jäävät, olkeen sidotut typpi- ja fosforimäärät. Toinen tärkeä ravinnetaseen laskennassa saatava tieto on ravinteiden hyödyntämisprosentti, joka kertoo kuinka suuren osan lisätyistä ravinteista kasvit ovat hyödyntäneet sadonmuodostuksen aikana. Peltoviljelyn tapauksessa hyödyntämisprosentti kertoo kuinka suuri osuus lisätystä lannoitteesta sisältyy satoon ja siten tavoitteena on mahdollisimman korkea hyödyntämisprosentti. (Wikman 1998, 95–96.)

Lannoitteista typpellä on suurin vaikutus tavallisten viljelykasvien satoon. Typen määrän lisääntyessä myös satotasot kasvavat, mutta toisaalta myös viljan korsien pituus kasvaa joka lisää lakoontumista. Optimaalinen typpilannoitustaso on sellainen, jolloin tapahtuu vähäistä, sadon määrään vaikuttamatonta lakoontumista. (Tuomaala 1987, 206; 209.) Vuoden 2005 viljatutkimuksessa ohran typpiravinnetase oli positiivinen, kun satotaso oli alle 4000 kiloa hehtaarilta. Yli 4000 kilon hehtaarisadoilla ravinnetase oli negatiivinen. Tällöin siis typpi on pääsääntöisesti sidottu kasvustoon ja se ei ole yhtä alttiina huuhtoutumille kuin alhaisilla satotasoilla. (Salopelto 2005, 13–14.) Typpilannoituksen määrään ohralla vaikuttavat mm. maaperä, multavuus, lajike, esikasvi, kasvuvyöhyke ja satotaso. Lannoitussuosituksen mukaan ohran sopiva typpilannoitusmäärä on 4000 kilon hehtaarisadolla lajikkeesta, maalajista ja kasvuvyöhykkeestä riippuen 40 - 110 kiloa hehtaarille. Jos ohran esikasvina on kasvatettu nurmea tai palkokasveja, typpilannoitustarve vähenee 10–40 kiloa hehtaarilta (Hyypiäinen ym. 1995, 64 ja Farmit.net 2005a.) Jos taas ohraa viljellään yksipuolisesti ja oljet kynnetään maahan, lisääntyy typen tarve 20 - 40 kiloa hehtaarille (Tuomaala 1987, 210).

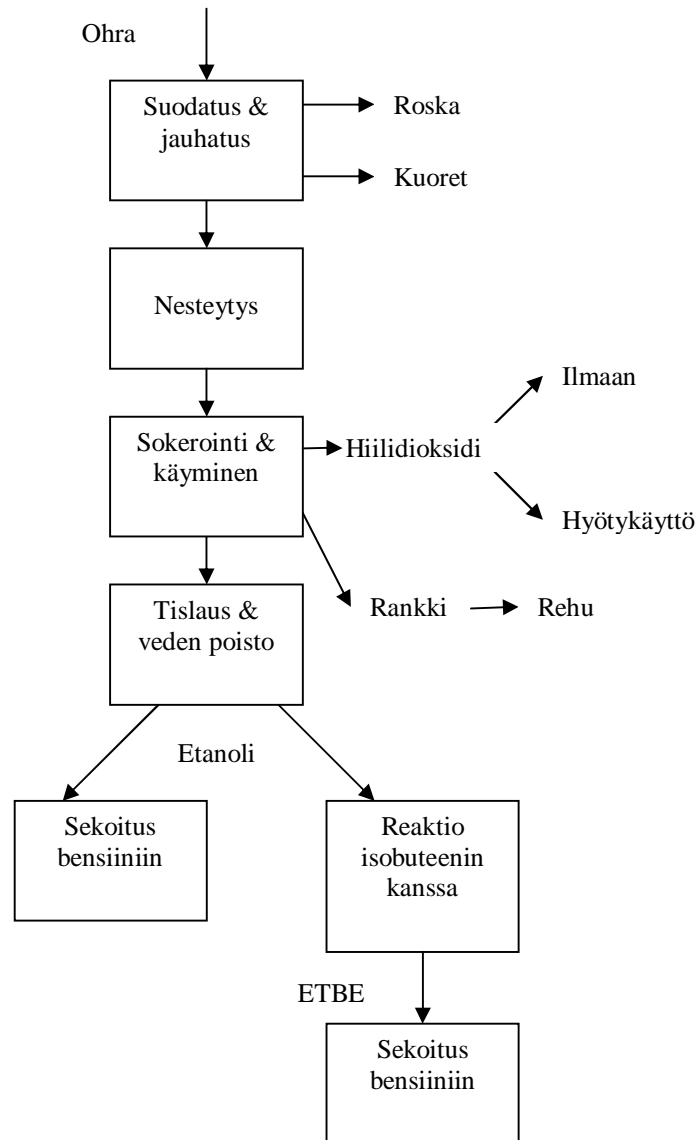
Korjuu ja kuivaus

Ohran korjuu alkaa noin viikon kuluttua keltatuleentumisesta. Keltatuleentumisvaiheessa ohran tärkkelyspitoisuus on suurimmillaan ja ohran jyvän kosteus on tällöin keskimäärin 22 prosenttia. Oikealla lajikevalinnalla ja viljelytekniikalla voidaan vaikuttaa ohran tuleentumiseen. Kasvuajaltaan ja korrenlujuudeltaan sopiva lajike tulee valita viljelyalueen mukaan. Näin varmistetaan että vilja ei lakoonnu ja korjuusää on viljan tuleentuessa vielä hyvä. Ohran puinnissa olkea saadaan yhtä paljon kuin jyviä ja oljet voidaan joko kerätä talteen tai silputa puinnin yhteydessä takaisin peltoon. (Hyytiäinen ym. 1995, 72 ja Mäkinen ym. 2006, 48.)

Puidun viljan jyvien kosteus on liian korkea varastointia ajatellen ja tästä syystä jyvät tulee kuivata puinnin jälkeen. Tärkkelysohran suurin sallittu kosteus on 14 prosenttia, mutta esimerkiksi Altia vaatii sopimusviljelijöiltään alle 14 prosentin kosteutta. Vilja voidaan kuivata joko kylmäilmakuivurilla, jossa ulkoilmaa puhalletaan viljan läpi sellaisenaan, tai lämminilmakuivurilla, jolloin on mahdollista valita sopiva kuivauslämpötila viljan kosteuden ja käyttötarkoituksen mukaan. Kylmäilmakuivaus on kustannuksiltaan edullisempaa kuin lämminilmakuivaus, mutta kuivaustulos riippuu viljan kosteudesta ja kuivauksen aikaisesta säästä. Lämminilmakuivaus taas kuluttaa enemmän energiaa kuin kylmäilmakuivaus, mutta se onnistuu viljan kosteudesta ja kuivausajankohdan säästä riippumatta. Viljan esipuhdistus voidaan tehdä lämminilmakuivauksen yhteydessä. Tällöin viljasta saadaan eroteltua pölyä, kevyitä roskia ja tyhjiä jyviä. Esipuhdistuksen ansiosta viljan laatu paranee ja kuivausaika lyhenee kosteutta sisältävien vihreiden jyvien ja rikkakasvien siementen poistumisen myötä. (Hyytiäinen ym. 1995, 73–75 ja Mäkinen ym. 2006, 48.)

2.2 Ohraetanolin tuotantoprosessi

Seuraavassa käsittelen ohraetanolin tuotantoprosessia, siinä muodostuvia sivutuotteita ja niiden jatkojalostusta, etanolin käyttöä liikennepolttoaineena ja näihin prosesseihin liittyviä massavirtoja, energiataseita ja päästölaskelmia. Tarkoitukseni on selvittää, kuinka ohrasta tuotetaan etanolia kaupallisessa mittakaavassa ja kuinka etanolia käytetään liikennepolttoaineiden seoskomponenttina. Kyseiseen prosessiin liittyviä kysymyksiä ovat esimerkiksi etanolin tuotannosta muodostuvan rankin



Kuva 2.1 Ohraetanolin tuotantoprosessi

hyötykäyttömahdollisuudet, ohranjyvien kuoren mahdollinen hyötykäyttö, etanolin tuotantoprosessin energiatase ja prosessista aiheutuvat ilmapäästöt sekä ohraetanolin käytön vaikutukset autojen päästöihin. Kuva 2.1 esittelee tuotantoketjun, jota jatkossa käsittelen. Ketju alkaa etanolitehtaan portilta, eli siitä, kun ohra saapuu tehtaalle. Tuotantoketju päättyy ajoneuvon polttoainetankkiin polttoaineena, josta tietty prosenttiosuus on etanolia tai sen johdannaisia. Erotan tästä tuotantoketjusta selvyiden vuoksi jo aiemmin mainitut kaksi prosessia, eli itse etanolin tuotannon ja etanolin lisäämisen liikennepolttoaineeseen. Tällä tavoin pystyn tarkemmin erittelemään prosessien ne komponentit, jotka tulee huomioida mallinnettaessa ohraetanolin tuotantoa taloudelliselta pohjalta. Toisin sanoen tarkastelen ohraetanolin

tuotantoprosessia ja prosessissa syntyviä tuotteita ja sivutuotteita, jotka ovat tärkeitä ohraetanolin tuotannon yksityisen ja yhteiskunnallisen analyysin kannalta.

Valmistettaessa etanolia ohrasta syntyy huomattava määrä ohrarankkia, josta voidaan valmistaa eläinrehua. Siten etanolin tuotantoprosessissa on huomioitava sekä itse etanolin tuotanto, että sivutuotteena muodostuvan rankin määrä (Mäkinen ym. 2006, 85). Tästä syystä käsittelen tässä prosessikuvauksessa erikseen etanolin tuotantoprosessin ja rehun tuotantoprosessin. Koska rankin energiasisältö on suhteellisen korkea, siitä voitaisiin mahdollisesti valmistaa rehun sijasta myös seospolttoainetta käytettäväksi esimerkiksi kivihiiltä polttavissa voimaloissa (Edwards, Larivé, Mahieu & Rouveirolles 2006a, 33).

Etanoliprosessi

Etanolia voidaan tuottaa useasta eri raaka-aineesta, kuten sokeriruo'osta, sokerijuurikkaasta, perunasta ja eri viljalajeista. Tärkkelyspitoisten raaka-aineiden, kuten perunan ja viljan tärkkelys on ensiksi muutettava sokeriksi. Suomessa viljeltävistä viljakasveista parhaiten etanolin tuotantoon soveltuvat vehnä ja ohra. Ohra on näistä kahdesta parempi vaihtoehto Suomen kannalta, koska sen käsittelyosaaminen on Suomessa hyvällä tasolla ja lisäksi sen viljelyvarmuus on vehnää parempi. Etanolin valmistus ohrasta on kaupallista ja tunnettua teknologiaa. Käytännössä etanolin valmistus ohrasta tapahtuu fermentoimalla sokereita mikro-organismien avulla alkoholiksi. (Mäkinen ym. 2006, 85.)

Ohra tuodaan etanolitehtaalle jyvänä, joka on valmiiksi kuivattu käsittelykosteuteen (13 %) ohran tuottajalla. Ensiksi ohra jauhetaan ja siitä erotetaan roskat, kuten kivet ja metallinpalat. Tässä vaiheessa on mahdollista myös erottaa jyvien kuoret ja käyttää ne esimerkiksi energiantuotantoon. Vaihtoehtoisesti kuoret voivat kulkea mukana läpi etanolin tuotantoprosessin, jolloin ne kulkeutuvat osaksi rehujakeita. (Mäkinen ym. 2006, 85.) Kun etanolia tehdään viljasta, kuten ohrasta, suurta osaa itse kasvista ei käytetä hyödyksi. Sekä viljan oljet että jyvien kuoret ovat ohran viljelyn ja etanolin tuotannon sivutuotteita. Kummatkin sisältävät paljon selluloosaa, joka on mahdollista muuntaa ensiksi tärkkelykseksi ja sitten sokereiksi ja näin olisi mahdollista lisätä etanolin saantia viljasta. Tosin tämä ei ole vielä kaupallista teknologiaa. (International Energy Agency 2004, 36–37.) Toinen vaihtoehto olisi käyttää jyvien kuoret ja oljet

polttoaineena energiantuotannossa (Mäkinen ym. 2006, 85). Olkien ottaminen talteen pelloilta lisää tarvittavan lannoituksen määrää ja muuttaa pellon vesitasapainoa, joten asiaa täytyy arvioida myös tältä kannalta (Edwards, Larivé, Mahieu & Rouveirolles 2006b, 36). Tässä tutkielmassa keskitytään kuitenkin ainoastaan etanolin valmistamiseen ohran jyvistä.

Jauhatuksen jälkeen seuraa nesteytys, jossa jauhettuun viljaan lisätään vettä, entsyymejä ja muita kemikaaleja. Prosessivetenä voidaan käyttää tuotantoprosessin muissa vaiheissa, kuten tislauksessa, syntyviä vesivirtoja ja siten raakaveden käyttö voidaan minimoida. Tämän jälkeen tärkkelys muutetaan sokereiksi entsyymien avulla ja sokeri fermentoidaan etanoliksi. Alkoholin käyminen synnyttää huomattavan määrän hiilidioksidia, joka tyypillisesti päästetään puhdistuksen jälkeen ilmakehään. Toinen vaihtoehto on hiilidioksidin talteenotto ja sen puhdistaminen myyntiin. (Mäkinen ym. 2006, 86.)

Käymisprosessin jälkeen etanoli tulee tislata ja väkevöidä, jotta sitä voitaisiin käyttää liikennepolttoaineen seoskomponenttina. Etanolin tislaus- ja väkevöintiprosessit kuluttavat paljon energiaa. (Edwards ym. 2006a, 32.) Lopputuotteena on dehydratoitua, 99,8 tilavuusprosenttista etanolia (Mäkinen ym. 2006, 86).

Rehuprosessi

Kutsun rehuprosessiksi sitä kokonaisuutta, jossa etanolin tuotannosta syntyvästä rankista valmistetaan eläinten rehua. Tämä prosessi on kokonaisuuden kannalta merkittävä, sillä rankkia prosessissa syntyy huomattava määrä. Mäkinen ym. (2006, 86–87) esimerkin mukaan laitoksen, joka valmistaa 47 000 tonnia etanolia vuodessa, rehun tuotanto on yhteensä 78 000 tonnia, josta märkärehua on 42 000 tonnia ja kuivarehua 36 000 tonnia. Etanolin tuotantoprosessissa rankkia muodostuu etanolin käymisprosessin sivutuotteena. Rankista valmistetaan kuitu- ja valkuaispitoisia rehuja, jotka voidaan yhdistää tai myydä erikseen. Nämä rehut voidaan valmistaa joko märkärehuna tai sitten ne voidaan pelletöidä kuivarehuiksi. (Mäkinen ym. 2006, 86.) Märkärehun ongelmana on sen lyhyt säilyvyys, noin 1 viikko, mutta jos etanolitehtaan läheisyydestä löytyy markkinoita märkärehulle, on se energiataseeltaan edullisempaa kuin kuivarehun valmistus, jossa kuivatukseen tarvitaan energiaa (Laihiainen ym. 2006, 45).

Itse rehun valmistus tapahtuu ohraetanolin tuotantoprosessissa syntyneestä ohrarankista, josta voidaan valmistaa kahden tyyppistä rehua, rankkiliemirehua ja ohrarankkia. Aluksi itse rankki johdetaan linkoihin, joissa siitä erotetaan kiintoaines ja rankkivesi. Rankkiliemirehun valmistus tapahtuu rankinkäsittelyssä saatavasta kiintoaineksesta ja itse rankista sekoittamalla. Saatavasta rankkiliemirehusta voidaan jalostaa edelleen esimerkiksi sioille sopivaa rankkiliemirehua. Ohrarankki taas valmistetaan ainoastaan rankin käsittelyssä saatavasta kiintoaineksesta. Kiintoaines kuivataan ja kuivasta aineesta valmistetaan rakeita. Saatavaa rehua kutsutaan ohrarehuksi. (Pöyry 2006a, 33.)

Prosessissa syntyvää valkuaispitoista rankkiliemirehua voidaan käyttää korvaamaan EU:ssa valkuaisrehuna pääasiallisesti käytettävää soijarehua. Soijarehu tuodaan yleensä USA:sta. Tässä tulee kuitenkin huomioida, että soijarehun raakavalkuaispitoisuus on suurempi kuin ohrarehun, joten ohrarehua joudutaan käyttämään enemmän kuin soijarehua. (Mäkinen ym. 2006, 102.)

Prosessissa syntyvällä kuivalla rehujakeella, eli ohrarehulla voidaan korvata viljan käyttöä eläinten ruokinnassa (MMM 2005, 35). Ohrarehussa on viljaan verrattuna enemmän kuitua ja vähemmän tärkkelystä ja sitä käytetään tyypillisesti sekä lypsylehmien että lihanautojen ruokinnassa. Lihanautojen tapauksessa on tutkimusten mukaan mahdollista korvata ainakin puolet viljarehusta ohrarehulla. (Huuskonen, Lunki & Rantanen 2005.)

Suomessa käytetään eläinten ruokintaan noin 400 000 tonnia täydennysvalkuaisista vuodessa. Täydennysvalkuaisomavaraisuus on noin 15 prosenttia, joten kasvupotentiaalia kotimaiselle valkuaisutuotannolle on olemassa. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 2006, 81–82.) Jos Suomessa tuotettaisiin EU:n komission esittämä 5,75 prosentin osuus biopolttoaineista kotimaisilla raaka-aineilla (esimerkiksi rypsi, ohra, sokerijuurikas), niin tässä tuotannossa sivutuotteena saatava valkuaisrehu nostaisi Suomen valkuaisrehuomavaraisuutta yli 50 prosentin. Tällaisen kokoluokan valkuaisrehutuotantoon sisältyy kuitenkin monenlaisia ongelmia, joiden ratkaisemiseksi tarvitaan usean vuoden kestäviä tutkimus- ja kehitystoimia. Maa- ja metsätalousministeriön pellonkäytön työryhmän mukaan valkuaisrehuomavaraisuuden kasvattaminen on kuitenkin suotavaa. (MMM 2005, 34–35.) Jos etanolin tuotantoprosessissa syntyy rankkia jalostettua rehua enemmän kuin Suomessa on mahdollista käyttää, on rankilla myös muita hyötykäyttötapoja. Siitä voidaan

mahdollisesti valmistaa seospolttoainetta, jota voitaisiin käyttää esimerkiksi kivihiiiltä polttavassa voimalaitoksessa ja siten rankki edistäisi kivihiiiltä käytettävien voimalaitosten uusiutuvien energianlähteiden käyttöä. (Edwards ym. 2006b, 37).

Ohraetanolin tuotantoprosessin massavirrat

Jotta etanolin edellä kuvatusta tuotantoprosessista olisi mahdollista saada selkeä kuva, on vielä keskityttävä prosessiin käytettävien raaka-aineiden ja saatavien lopputuotteiden ja sivutuotteiden määriin. Seuraavaksi tarkastelen sitä, mitä yhdelle tonnille ohraa tapahtuu, kun siitä valmistetaan liikennepolttoaineena käytettävää etanolia.

Mäkinen ym. (2006, 86–87) laskelmien mukaan yhdestä tonnista ohraa syntyy noin 260 kg etanolia, 250 kg hiilidioksidia ja 430 kg rehua. Altian Koskenkorvan tehtaan etanoliprosessin laajennushankkeen ympäristövaikutusten arviointimenettelyn yhteydessä laskettiin, että yhdestä tonnista ohraa saadaan noin 260 kg etanolia, 260 kg hiilidioksidia ja 370 kg rehua kuiva-aineena (Pöyry 2006a, 30). Luvut vastaavat toisiaan hyvin tarkasti, ainoastaan rehun tuotannossa on selvä ero. Kyseinen ero johtuu kuiva-aineen määrästä rehussa. Altian ympäristövaikutusten arviointiselostuksessa rehun määrä on arvioitu kuiva-aineena kun taas Mäkinen ym. (2006) ovat käyttäneet tuotetun rehun kokonaismäärää, joka siten sisältää vain tietyn prosenttiosuuden kuiva-ainetta.

Kauppa- ja teollisuusministeriö (2006, 62–63) on taas arvioinut, että teoreettisesti yhdestä tonnista ohraa saadaan noin 309 kg etanolia ja noin 340 kg rehua. Tässä arviossa etanolin saanto on noin 35 prosenttia suurempi kuin kahdessa edellisessä arviossa. Kauppa- ja teollisuusministeriön (2006) mietinnöstä ei tarkemmin selviä, kuinka arvot on laskettu, joten esimerkiksi Altian Koskenkorvan tehtaan ympäristövaikutusten arviointiselostuksessa laskettu etanolin saanto vaikuttaa käytännössä perustellummalta, koska voidaan olettaa, että markkinoilla toimivan Altian olisi järkevintä tuottaa ohrasta taloudellisesti optimaalinen määrä etanolia. Täten voidaan myös olettaa, että Altian kannattaa kuvata etanolin tuotantoprosessi siten, että etanolin saanto on parhaalla käytettävissä olevalla tekniikalla taloudellisesti optimaalinen. Tämän lisäksi sekä Mäkisen ym. (2006) raportin että Altian ympäristövaikutusten arviointiselostuksen (Pöyry 2006a) voidaan olettaa perustuvan käytännön kokemukseen ja tietoihin kun taas Kauppa- ja teollisuusministeriön (2006) mietinnössä etanolin saantoa on saatettu arvioida yläkanttiin teoreettiselta pohjalta.

Täten 260 kg etanolin saanto tonnista ohraa vaikuttaa perustellummalta kuin 309 kg saanto. Luvussa 4 esiteltävä etanolin parametrinen tuotantofunktio on kalibroitu vastaamaan noin 260 kg:n etanolin saantoa tonnista ohraa.

Ohraetanolin tuotantoprosessin energiantarve

Etanolin tuotanto on suhteellisen energiaintensiivistä tekniikkaa, joten prosessiin tarvittava energiamäärä on syytä selvittää, jotta ohraetanolin koko tuotantoketjun energiatasetta voidaan tarkastella. Energiantuotantomuodolla on myös vaikutuksia etanolin tuotannon ilmapäästöihin. Jos tarkastellaan koko etanolin tuotanto- ja jakeluketjua, niin Mäkisen ym. (2006, 88) mukaan itse etanolin tuotanto kuluttaa suurimman määrän energiaa koko prosessissa. Toinen merkittävä energiankuluttaja on polttoaineen varastointi ja jakelu. Mäkinen ym. (2006, 86–87) arvioivat, että laitoksen, joka tuottaa 60 000 kuutiometriä (noin 47 000 tonnia) etanolia vuodessa, sähköntarve olisi 19 700 MWh / a ja höyryn tarve 500 000 GJ / a. Tähän sisältyy myös rehun kuivaukseen kuluva energia. Höyry on oletettu tuotettavan maakaasusta 88 prosentin hyötysuhteella. (Mäkinen ym. 2006, 86–87.) Näillä arvoilla on mahdollista laskea, että yhden etanolitonin tuottamiseen tarvitaan energiaa kyseisissä olosuhteissa noin 12,1 GJ.⁴ Höyryä etanolitehtaassa tarvitaan etanolin tislaukseen ja rehun kuivaukseen (Pöyry 2006a, 33). Mäkisen ym. (2006, 86–87) oletus maakaasun käytöstä etanolin tuotannossa ei ole kuitenkaan realistinen. Maakaasuverkko ulottuu Suomessa pohjoisimmillaan vain Tampereen seudulle, joten esimerkiksi Altian suunnittelema polttoaine-etanolitehdas, joka sijaitsee Ilmajoella, ei voi käyttää maakaasua polttoaineena. Käytännössä Altia olisi joutunut tuottamaan energian joko turpeesta tai raskaasta polttoöljystä, tulevaisuudessa mahdollisesti biomassasta (Pöyry 2006a).

Ohraetanolin valmistuksen sivutuotteet

Etanolin tuotannosta ja käytöstä liikennepolttoaineena aiheutuu massavirtoja, joita seuraavaksi tarkastelen lyhyesti. Tämän tarkastelun tarkoituksena on erottaa ohraetanolin koko tuotantoketjusta ne tekijät, jotka on sisällytettävä taloudelliseen

⁴ Etanolin tuotanto on esimerkin mukaan 47 000 tonnia vuodessa ja kyseisen etanolimäärän tuottamiseen tarvitaan energiaa yhteensä 570 920 GJ/a. (Sähkön tarve 19 700 MWh/a = 70 920 GJ/a ja höyryn tarve 500 000 GJ/a). Yhden etanolitonin tuotantoon tarvittava energiamäärä on siten noin 12,1 GJ. (570 920 GJ / 47 000 t)

malliin, joka esitellään luvussa 3. Tämän luvun alussa esiteltiin kaaviomuodossa ohraetanolin valmistusprosessi ja siihen vaikuttavat komponentit. Pääprosessi on ohran valmistus etanoliksi, mutta myös sivutuotteiden osuus on huomattava. Etanolin tuotannon taloudellisen kannattavuuden kannalta onkin merkittävää, kuinka näitä sivutuotteita käytetään hyväksi. Tärkein sivutuote, kuten on jo aikaisemmin todettu, on eläinten rehu, jota valmistetaan rankista. Kuitu- ja valkuaispitoiset rehujakeet korvaavat viljarehua ja ulkomailta tuotua soijarehua ja siten rankin avulla on mahdollista nostaa Suomen valkuaisrehuomavaraisuutta huomattavasti (MMM 2006a, 36).

Toinen sivutuote on jyvien kuoret, joista on tulevaisuudessa mahdollista valmistaa lignoselluloosapohjaista etanolia, mutta tämä prosessi on vasta kokeiluasteella ja sen kaupallisessa käyttöönotossa menee vielä vuosia (International Energy Agency 2004, 37–38). Jyvien kuoret voidaan myös polttaa energiantuotannon seospolttoaineena tai sitten ne voivat kulkea prosessin läpi osaksi valmistettavaa rehua (Mäkinen ym. 2006, 85).

Kolmas etanolin tuotantoprosessin merkittävä sivutuote on hiilidioksidi. Kuten aiemmin todettiin, hiilidioksidia muodostuu prosessissa suunnilleen yhtä paljon kuin etanolia. Hiilidioksidi voidaan päästää suoraan ilmakehään tai sitten se voidaan ottaa talteen ja puhdistaa myyntiin (Mäkinen ym. 2006, 86). Altia Oyj:n Koskenkorvan tehtaalla ympäristövaikutusten arviointiselostuksessa on arvioitu, että vuosittain tehtaalla muodostuvaksi arvioidusta 77 000 hiilidioksiditonista on mahdollista ottaa talteen 72 000 tonnia ja myydä tämä määrä eteenpäin (Pöyry 2006a, 65). Varsinaista taloudellista kannustinta etanolitehtailla ei hiilidioksidin talteen ottamiseksi ole, sillä etanolin tuotantoprosessissa syntyvä hiilidioksidi ei kuulu päästökaupan piiriin ja siten päästämisestä ilmakehään ei aiheudu kustannuksia etanolin tuottajalle (Energiamarkkinavirasto 2002).⁵

⁵ Katso myös esimerkiksi: Energiamarkkinavirasto. Päätös Dnro 594/311/2004. Päästökauppalain (683/2004) 2 luvun 7 §:n mukainen kasvihuonekaasujen päästölupa. Saatavilla osoitteessa: <http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/594_311_2004_lupa.pdf>

Kuvan 2.1 (sivu 17) prosessikaavion perusteella tärkeimmät taloudellisessa mallissa huomioon otettavat etanolin tuotantoprosessin sivutuotteet ovat rankki, josta voidaan valmistaa eläinten rehua ja hiilidioksidi, jota voidaan käyttää esimerkiksi kasvihuoneiden hiilidioksidilannoitukseen, juomien hiilihapotukseen tai palonsammutukseen (Aga Oy 2007). Jyvien kuorien määrä ei ole niin merkittävä, että sen huomioiminen mallissa olisi tarpeellista. Ainoastaan silloin kun ohran puinnissa syntyneitä olkia kerätään pellolta ja hyödynnetään, on jyvien kuorten hyötykäyttö olkien käytön yhteydessä mahdollista. Maa- ja metsätalousministeriön teettämän selvityksen mukaan rajoittavaksi tekijäksi kotimaisessa ohraetanolin tuotannossa ei loppujen lopuksi muodostu etanolin kotimainen kysyntä, vaan lähinnä valkuaisrehun kysyntä ja lopputuotteiden hintakilpailukyky ulkomaisten raaka-aineiden kanssa (MMM 2006a, 36). Siten teoreettisessa mallissa tullaan huomioimaan ainoastaan rehun tuotanto. Ohraetanolia valmistavan tehtaan on mahdollista päästää hiilidioksidi takaisin ilmaan, jolloin siitä ei aiheudu tehtaalle kustannuserää. Tästä syystä hiilidioksidin talteenottoa ei tässä tutkielmassa huomioida.

2.3 Ohraetanolin liikennepolttoaineena

Kun ohrasta on jalostettu etanolia edellä kuvatulla tavalla, täytyy vielä päättää, kuinka sitä käytetään liikennepolttoaineena. Seuraavassa tarkastelen lyhyesti liikennepolttoaineita koskevaa lainsäädäntöä joka ohjaa sitä, kuinka polttoainesiin voidaan sekoittaa biokomponentteja, kuten etanolia. Tämän jälkeen tarkastelen etanolin seostamista liikennepolttoaineiden kanssa ja kunkin seostamistavan hyötyjä ja haittoja. Tarkoituksena on selvittää tämän tutkielman kannalta tärkeimmät mahdollisuudet etanolin käyttöön liikennepolttoaineena.

Euroopan Unionissa liikennepolttoaineiden laatua säädellään liikennepolttoainedirektiivillä⁶ ja sen täydennysdirektiivillä.⁷ Suomen lainsäädäntöön nämä direktiivit ovat siirretty valtioneuvoston asetuksella (1271/2000)

⁶ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 98/70/EY, annettu 13 päivänä lokakuuta 1998, bensiinin ja dieselpolttoaineiden laadusta ja neuvoston direktiivin 93/12/ETY muuttamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti L 350. 28.12.1998.

⁷ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2003/17/EY, annettu 3 päivänä maaliskuuta 2003, bensiinin ja dieselpolttoaineiden laadusta annetun direktiivin 98/70/EY muuttamisesta. Euroopan unionin virallinen lehti L 76/10. 22.3.2003.

moottoribensiinin ja dieselpolttoaineen laatuvaatimuksista.⁸ Näiden lisäksi biopolttoaineita koskevat Euroopan standardoimisjärjestön standardit EN228 bensiinille ja EN590 dieselille. Liikennepolttoainedirektiivissä ja standardissa EN228 määritellään maksimipitoisuudet polttoaineen lisäkomponenteille. Alkoholeille, kuten etanolille, tämä osuus on enintään 5 tilavuusprosenttia ja eettereille enintään 15 tilavuusprosenttia. Viiden tilavuusprosentin etanoliosuus tarkoittaa käytännössä 3 prosentin osuutta polttoaineen sisältämästä energiasta, koska etanolin energiasisältö on pienempi kuin bensiinin. Direktiivin muuttamisesta ollaan käymässä keskusteluja, jotta EU:n asettamaan 5,75 prosentin energiaosuustavoitteeseen voitaisiin päästä vuonna 2010. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 2006, 37–38.)

Etanolia voidaan käyttää siis suoraan bensiinin seoskomponenttina tai se voidaan jatkojalostaa etyyli-tert-butyylieetteriksi eli ETBE:ksi. Etyyli-tert-butyylieetteriä valmistetaan etanolista ja isobuteenista, jota saadaan normaalin bensiininvalmistuksen sivutuotteena (Edwards 2006b, 38). Koska ETBE:n valmistusprosessissa käytetään isobuteenia, joka on fossiilista alkuperää, ETBE:n bio-osuus on 47 prosenttia sen kokonaistilavuudesta (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2003). Eettereitä käytetään bensiinin seoskomponentteina ja niiden tarkoitus on nostaa bensiinin oktaanilukua. Tähän asti käytetyin eetteri on ollut metanolista valmistettava metyyli-tert-butyylieetteri eli MTBE. (Laurikko 2005, 68.) Sen on kuitenkin huomattu saastuttavan pohjavesiä herkemmin kuin esimerkiksi ETBE (Kharoune, Pauss & Lebeault 2001, 1670–1672). Tästä syystä erityisesti Yhdysvalloissa ollaan siirtymässä ETBE:n käyttöön MTBE:n sijasta (Laurikko 2005, 68).

Toinen vaihtoehto on käyttää etanolia suoraan bensiinin seoskomponenttina. Ongelmaksi muodostuu silloin bensiinin huono vedensietokyky. Alkoholit sekoittuvat veteen, ja jos vettä pääsee bensiinin sekaan vähäisiäkin määriä, erottuu polttoaineesta kaksi faasia, joista veden ja alkoholin seos laskeutuu raskaampana pohjalle. Tällöin polttoaine on käyttökeltovotonta. Lisäksi alkoholit saattavat aiheuttaa korroosiota moottoreissa. Jos etanolia käytetään aikaisemmin mainittujen direktiivien tai standardien rajoissa, sen käytölle ei ole teknisiä esteitä. Etanolin sisältämä happi alentaa

⁸ Valtioneuvoston asetus moottoribensiinin ja dieselöljyn laatuvaatimuksista. 1271/2000. Annettu Helsingissä 28 päivänä joulukuuta 2000.

autojen hiilimonoksidi- ja hiilivety päästöjä. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 2006, 39–40.) Yleisesti ottaen polttoaineteollisuus suosii eettereitä puhtaiden alkoholien sijaan, koska eetterit eivät haurastuta kumia ja muovia kuten alkoholit, koska eettereillä on alhaisempi höyrypaine kuin alkoholeilla ja koska vesi ei sekoitu eettereiden kanssa yhtä hyvin kuin alkoholien kanssa (Mikkonen 2007).

Kolmas vaihtoehto on käyttää puhdasta etanolia autojen polttoaineena bensiinin sijasta. Brasiliassa tällaisia autoja on käytetty vuosia. Puhdasta etanolia käyttävien moottorien tulee kestää korroosiota, joka nostaa moottorien valmistuskustannuksia, mutta käytettäessä puhdasta etanolia polttoaineena sitä ei tarvitse dehydratoida, eli etanoli voi olla 96 tilavuusprosenttista ja sisältää 4 tilavuusprosenttia vettä. Tällöin etanolin tuotantokustannukset alenevat. (International Energy Agency 2004, 106.) Suomen talviolosuhteissa auton käynnistyvyys puhtaalla alkoholilla on heikko alkoholin alhaisen höyrypaineen ja korkean kiehumislämpötilan vuoksi. Lisäksi kylmäkäynnistyspäästöt voivat olla huomattavat. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 2006, 40–41.)

Etanolia sisältävien liikennepolttoaineiden vahvuuksia ja heikkouksia

Kuten edellä on esitelty, etanolista voidaan valmistaa useita erityyppisiä liikennepolttoaineita. Tällä hetkellä keskustellaan etanolin sekoittamisesta bensiiniin noin 5 tilavuusprosentin verran, jolloin puhutaan E5-polttoaineesta. Muita vaihtoehtoja ovat jo aikaisemmin mainittu etanolin jatkojalostaminen ETBE:si, puhtaan etanolin käyttö polttoaineena ja flexible fuel vehicles (FFV) käyttö, jolloin puhutaan polttoaineista, jotka voivat sisältää etanolia 0 ja 85 tilavuusprosentin välillä (E85). FFV ovat siis autoja, joiden moottori on erilainen tavallisiin ottomoottoreihin verrattuna ja ne voivat käyttää polttoaineena mitä tahansa bensiinin ja etanolin seosta 0 ja 85 tilavuusprosentin välillä. (Mikkonen 2007.)

Selvimmät hyödyt etanolin liikennepolttoainekäyttöön liittyvät tarvittavaan jakeluinfrastruktuuriin ja nykyiseen autokantaan jos etanolia verrataan esimerkiksi biokaasuun ajoneuvojen polttoaineena. Etanolin seostaminen bensiinin kanssa alle 10 tilavuusprosentin suhteessa ei vaadi nykyiseltä jakelujärjestelmältä minkäänlaisia muutoksia ja myös nykyinen autokanta pystyy käyttämään tällaista polttoainetta ilman mainittavia muutoksia. Täten etanolin lisääminen liikennepolttoaineisiin ei aiheuta kohtuuttomia kustannuksia yhteiskunnalle eikä kuluttajille. Myös FFV käyttö on

huomattavasti edullisempaa kuin siirtyminen käyttämään kaasulla käyviä ajoneuvoja. (Edwards ym. 2006a, 31.)

Mikkonen (2007) kuitenkin huomauttaa, että etanoli seostetaan polttoaineeseen tyypillisesti jakeluterminaaleissa, jolloin näihin terminaaleihin tarvitaan säiliöt etanolille, kun taas ETBE seostetaan bensiinin kanssa jo jalostamoilla, jolloin jakeluterminaaleihin ei tarvita erillisiä tankkeja. Täten ETBE olisi jakeluinfrastruktuurin kannalta edullisempi vaihtoehto kuin etanoli. Lisäksi tulee ottaa huomioon se, että nykyinen autokanta uusiutuu hyvin hitaasti, joten vain nykyisiin autoihin sopivilla polttoaineilla on mahdollisuus kasvattaa markkinaosuuttaan lyhyellä tähtäimellä. Täten siis E5-polttoaine tai ETBE:ä sisältävä polttoaine, joita voidaan käyttää nykyisissä autoissa ilman muutoksia ja joiden jakeluun kelpaa pääosin nykyinen jakelujärjestelmä, ovat kustannuksiltaan alhaisimmat, kun niitä verrataan esimerkiksi FFV:iin tai puhtaalla etanolilla käyviin autoihin. Siten etanolin tai ETBE:in seostaminen bensiiniin pienissä suhteissa on ainakin biopolttoaineiden alkuvaiheen käytössä yhteiskunnan kannalta edullisin ratkaisu. (Mikkonen 2007.)

Biopohjaisten liikennepolttoaineiden vaikutukset autojen pakokaasupäästöihin

Liikenteen pakokaasupäästöjen tarkastelun kannalta on tärkeää erottaa kasvihuonekaasupäästöt muista haitallisista päästöistä. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen edistää ilmaston lämpenemisen hillitsemistä, mutta ei vaikuta suoraan ihmisten terveyteen. Muut haitalliset päästöt taas vaikuttavat yleensä taajama-alueilla ja siten niillä on suurempi vaikutus ihmisten terveyteen. (Myllynen, Aarnio, Koskentalo & Malkki 2006, 12–14.)

Pakokaasujen kasvihuonekaasupäästöjä ovat arvioineet esimerkiksi Mäkinen ym. (2006) ja Edwards, Larivé, Mahieu, ja Rouveïrolles (2006c). He eivät tutkineet liikenteen muita haitallisia päästöjä ja heidän tulokset perustuivat lähinnä laskennallisille arvioille liikenteen kasvihuonekaasupäästöistä. Mäkinen ym. (2006, 42–43) tulosten mukaan E5-polttoaineella saavutettu laskennallinen kasvihuonekaasupäästövähennys olisi noin 3 prosenttia ja Edwards ym. (2006c, 14–16) mukaan vähennys olisi 0-10 % riippuen auton moottoritekniikasta ja etanolin sekoitussuhteesta bensiiniin. Biopolttoaineilla saavutetut kasvihuonekaasupäästövähennykset ovat näiden tutkimusten perusteella lähinnä

marginaaliset, kun tarkastellaan ainoastaan liikennesektorilla saavutettuja pakokaasujen kasvihuonekaasupäästöjen vähennyksiä. Tästä syystä biopolttoaineiden ilmastovaikutuksia on syytä tutkia koko tuotantoketjun näkökulmasta, jotta saadaan tarkempi kuva kokonaiskasvihuonekaasupäästöistä ja jotta biopolttoaineiden tuotantoa voidaan verrata konventionaalisten moottoripolttoaineiden tuotantoon.

Etanolin polttoainekäytössä on tämän tutkielman kannalta huomioitava se, käytetäänkö etanoli suoraan bensiinin seoskomponenttina vai jalostetaanko se ETBE:ksi. Edellä käsiteltyjen syiden perusteella on luontevaa tarkastella ainoastaan E5-polttoainetta ja etanolin jatkojalostusta ETBE:ksi ja tämän sekoittamista bensiiniin. Tällä hetkellä muut etanolin käyttömuodot vaatisivat kustannuksiltaan suhteellisen kalliita muutoksia sekä jakeluinfraktruuriin että autojen moottoreihin. Siten lyhyellä tähtämellä E5-polttoaine ja ETBE ovat teknisten ratkaisujen perusteella suositeltavimmat vaihtoehdot. Tutkielma rajataan yksinkertaisuuden vuoksi siten, että tarkastelun kohteena on ainoastaan etanolin sekoittaminen suoraan bensiiniin. Näin etanolin jalostusprosessia ETBE:ksi ei tarvitse huomioida mallissa, kun arvioidaan etanolin tuotannon ilmastovaikutuksia.

2.4 Energiatase, kasvihuonekaasuvaikutukset ja kustannukset

Seuraavaksi tarkastelen etanolin tuotantoon liittyviä taloudellisia ja ilmastollisia tunnuslukuja. Näiden lukujen perusteella on mahdollista tarkastella etanolin tuotannon lisäämisen puolesta käytettyjen argumenttien pitävyyttä todellisuudessa. Tärkeimmät näistä argumenteista ovat ilmaston lämpenemisen hillitseminen, öljyriippuvuuden vähentäminen ja maatalouden tuotantomuotojen laajentaminen (esim. International Energy Agency 2004, 11; Mäkinen ym. 2006, 15; Hallituksen esitys... 2006, 8). Lisäksi Suomen oloissa on katsottu, että kotimaisella ohraetanolin tuotannolla voidaan osaltaan purkaa kotimaista ohran ylituotantoa (Kyytsönen 2006).

Etanolin tuotantoketjun energiatase

Etanolin tuotannon energiatasetta voidaan tarkastella useilla eri mittareilla. Tässä olen keskittynyt kolmeen eri tutkimukseen (Mäkinen ym. 2006, Edwards ym. 2006b, Malça & Freire 2006). Näiden tutkimusten avulla haluan esittää, että bioenergiaketjun kokonaisenergiataseita on mahdollista laskea usealla eri tavalla ja että ketjun määrittelyissä tehdyillä rajauksilla on huomattava vaikutus biopolttoaineiden

energiataseeseen. Merkittävä vaikutus on allokointiperusteella, joka kuvaa sitä, miten ohraetanolin tuotantoprosessissa syntyvien sivutuotteiden energia huomioidaan energiatasetelaskelmissa. Mahdollisia vaihtoehtoja on fyysisiin suureisiin, kuten massaan tai energiasisältöön perustuva allokointi tai hintaperusteinen allokointi. Fyysisiin suureisiin perustuvan allokointitavan heikkoutena on se, että energiapanoksia saatetaan kohdistaa tuotteille, joilla ei ole käyttöarvoa. Hintaperusteisen allokoinnin heikkoutena taas ovat hinnoissa tapahtuvat muutokset, jolloin myös allokointiperusteet muuttuvat. (Edwards ym. 2006b, 10; Malça & Freire 2006, 3368–3369; Mäkinen ym. 2006, 24–25.)

Malça ja Freire (2006) tarkastelevat biopolttoaineiden elinkaaren aikaista primäärienergian tarvetta suhteessa polttoaineella tuotettuun energiamäärään. Tämän lisäksi he laskivat uusiutuvan energian osuuksia biopolttoaineiden sisältämästä kokonaisenergiasta. Tutkimuksen mukaan vehnäetanolin valmistuksen tarvitsema primäärienergia on 1,21 kertainen verrattuna sen energiasisältöön jos ei oteta huomioon etanolin tuotannon sivutuotteita. Jos taas sivutuotteet huomioidaan, riippuu vehnäetanolin energiatasete sivutuotteiden energiatarpeen allokointiperusteesta. Massaperusteisessa allokoinnissa tuotannossa tarvittava energia jaetaan etanolin ja sivutuotteiden välillä tuotteiden massojen perusteella. Tällöin vehnäetanolin energiatasete on 0,517. Muita mahdollisia allokointiperusteita ovat tuotteiden energiasisältö, markkinahinta ja korvaavuus ja niiden vastaavat etanolin energiataseteet ovat 0,691, 0,540 ja 1,104. Myös uusiutuvan energian osuus biopolttoaineiden sisältämästä energiasta vaihteli valitun allokointitavan mukaan. Massaperusteisen allokoinnin tapauksessa uusiutuvan energian osuus oli 48 prosenttia, joka tarkoittaa että lähes puolet etanolin energiasisällöstä on uudistuvista energialähteistä tuotettua. Lopuksi Malça ja Freire (2006) toteavat, että vertailtaessa etanolia 5 prosenttia sisältävää bensiiniä ja ETBE:ä 15 prosenttia sisältävää bensiiniä tavalliseen bensiiniin, fossiilisten primäärienergiapanosten käyttö vähenee, kun allokointiperusteena on massa. E5 polttoaineen tapauksessa säästää jokaista polttoaineen energiasisällön megajoulea kohden syntyy 0,02 MJ ja ETBE:n tapauksessa 0,03 MJ verrattuna tavalliseen bensiiniin. Täten E5 polttoaineen ja ETBE:n käyttö polttoaineena vähentää fossiilisten polttoaineiden käyttöä ja kasvattaa liikennepolttoaineiden huoltovarmuutta. (Malça & Freire 2006.)

Edwards ym. (2006b, 10; 59; 68–70) mukaan etanolin tuotannon energiatase riippuu useasta tekijästä, kuten rankin hyötykäyttötavasta ja etanolin tuotannon tarvitseman energian tuotantotavasta. Heidän mukaansa sivutuotteiden energiantarpeen arvioinnissa tulisi tarkastella sitä, mitä tuotteita kyseiset etanolin tuotannon sivutuotteet korvaavat. Siten etanolin tuotannossa syntyvälle ohrarehulle tulisi allokoida tuotantoprosessissa käytettävää energiaa sen mukaan, kuinka paljon energiaa vastaavan rehun valmistaminen rehuteollisuudessa kuluttaisi. Toisin sanoen Edwards ym. (2006b, 10) käyttävät sivutuotteiden allokointiperusteena korvaavuutta. He esittävät polttoaineiden energiataseet käytetyn primäärienergian, josta on vähennetty lopputuotteen energiasisältö, suhteena lopputuotteesta poltettaessa saatavaan energiaan. (Edwards ym. 2006b, 59; 68–70.)

Tutkimuksessa verrataan myös biopolttoaineketjujen fossiilisten polttoaineiden tarvetta, jolloin tulokset esitetään tuotannossa käytetyn fossiilisen energian suhteena lopputuotteen energiasisältöön. Heidän tutkimuksessaan tavallisen bensiinin energiatase oli noin 0,14 joka tarkoittaa, että bensiinin valmistukseen tarvitaan 14 prosenttia lopputuotteen sisältämästä energiasta. Vastaavasti vehnäetanolin energiatase vaihteli noin 1,0 ja lähes 1,8 välillä. Vehnäetanolin valmistukseen tarvittiin enemmän energiaa kuin lopputuote sisälsi. Fossiilisen energian tarve suhteessa lopputuotteen energiamäärään oli tosin pienempi, arvojen vaihdella 0,2 ja 0,8 välillä. Tutkimuksen mukaan siis etanolin sisältämästä energiasta 20–80 prosenttia on fossiilista alkuperää. Täten Edwards ym. (2006b) mukaan vehnäetanolin käyttö liikennepolttoaineena vähentää riippuvuutta fossiilisista energianlähteistä mutta lisää energiankäyttöä kokonaisuudessaan, koska vehnäetanolin valmistukseen kuluu suhteellisesti enemmän energiaa kuin tavallisen bensiinin valmistukseen. (Edwards ym. 2006b, 59; 68–70.)

Mäkisen ym. (2006, 103–105) tulosten mukaan ohraetanolin tuotannossa primäärienergiapanokset ovat lopputuotteen energiasisältöä pienemmät, energiataseen ollessa noin 0,8 luokkaa, kun otetaan huomioon rankin käyttö rehuna. Tämä siis tarkoittaa, että ohraetanolin valmistamiseen tarvitaan 80 prosenttia lopputuotteen sisältämästä energiasta. Allokointiperusteena energiatasetarkastelussaan Mäkinen ym. (2006, 25) käyttävät korvausmenetelmää, jota myös Edwards ym. (2006, 10) käyttävät. Jos ohraetanolin energiataseen arvoa verrataan Mäkisen ym. (2006, 96) käyttämään ja Edwards ym. (2006b, 60) estimoimaan bensiinin energiataseen arvoon, 0,14 on

ohraetanolin tuotannon energiantarve huomattavasti suurempi kuin tavallisen polttoaineen. Mäkinen ym. (2006, 104) kuitenkin huomauttavat, että etanolin tuotannossa käytettävästä fossiilisesta polttoaineesta vain pieni osa on raakaöljyä, joten etanolin tuotannolla on mahdollista vähentää raakaöljypohjaisen energian kulutusta.

Kun Mäkisen ym. (2006) tuloksia verrataan Edwards ym. (2006b) sekä Malçan ja Freiren (2006) tuloksiin, voidaan todeta, että tulokset ovat osittain samansuuntaisia. Kaikkien tutkimusten tuloksena oli, että fossiilisen primäärienergian tarve vähenee korvattaessa bensiiniä etanolilla. Mäkisen ym. (2006) ja Edwards ym. (2006b) mukaan etanolin tuotantoon tarvitaan enemmän energiaa polttoaineen energiayksikköä kohden kuin bensiinin tuotantoon. Eroa näiden kahden tutkimuksen välille syntyy primäärienergian ja lopputuotteen energiasisällön suhteesta. Mäkisen ym. (2006) mukaan etanolin energiatase on pienempi kuin yksi, eli lopputuote sisältää enemmän energiaa kuin sen valmistukseen tarvitaan. Edwards ym. (2006b) tulos on päinvastainen. Malçan ja Freiren (2006) vastaava tulos riippuu valitusta allokointimenetelmästä ja se saattaa olla pienempi tai suurempi kuin yksi. Mäkisen ym. (2006, 24–25) ja Edwards ym. (2006b, 10) mukaan suositeltavin allokointiperiaate on korvausperiaate, jolloin myös Malçan ja Freiren (2006) etanolin energiatase on suurempi kuin yksi. Toisin sanoen etanolilla on mahdollista vähentää liikennesektorin öljyriippuvuutta, koska fossiilisen primäärienergian tarve vähenee etanolia käytettäessä. Toisaalta tutkimukset antavat viitteitä siitä, että kokonaisenergiankulutus kasvaa etanolin liikennepolttoainekäytön seurauksena. Tämä tulos on tosin epävarma ja etanolin energiatase riippuu tutkimuksissa käytetyistä primäärienergian allokointiperusteista etanolille ja etanolin tuotannon sivutuotteille sekä etanolin tuotantoketjun rakenteesta ja rajauksista. Siten polttoaine-etanolin energiataseen yleistäminen koskemaan kaikkia mahdollisia etanolin tuotantoketjuja on hankalaa ja mahdollisia eri biopolttoaineiden tuotantoketjuja tulisikin tarkastella kutakin erikseen.

Etanolin tuotantoketjun kasvihuonekaasuvaikutukset

Yksi biopolttoaineiden käyttöön kannustavista tekijöistä on katsottu olevan niiden mahdollisuudet vähentää liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä (Hallituksen esitys... 2006, 3). Biopolttoaineiden vaikutus ajoneuvojen pakokaasujen kasvihuonekaasupäästöihin on kuitenkin tietyiltä osin epävarma. Periaatteessa biopohjaisista raaka-aineista tuotettu polttoaine ei kasvata ilmakehän

hiilidioksidipitoisuutta, koska kasvit ovat sitoneet polttoainetta poltettaessa vapautuvan hiilen ilmakehästä. Biopolttoaineiden hiilidioksidipäästöt ovat siis osa hiilen suljettua kiertoa. (International Energy Agency 2004, 51.) Näin myös oletetaan laskettaessa kansallisia päästöinventaarioita, joissa polttoaineen bio-osuuden ei katsota lisäävän liikennesektorin hiilidioksidipäästöjä (Kauppa- ja teollisuusministeriö 2006, 76).

Biopolttoaineiden kasvihuonekaasupäästöjen arvioinnissa tulee pitää erillään kansallisen päästöinventaarion mukaiset kasvihuonekaasupäästöt ja biopolttoaineketjujen kokonaiskasvihuonekaasupäästöt. Kansallisessa päästöinventaariorissa liikenteessä käytettyjen biopolttoaineiden ei katsota aiheuttavan kasvihuonekaasupäästöjä, koska biopolttoaineista vapautuva hiilidioksidi on sitoutunut biomassaan kasvien kasvaessa. Täten esimerkiksi 5 prosentin bioenergiaosuus liikennepolttoaineessa vähentää liikenteen kasvihuonekaasupäästöjä vastaavan määrän. Biopolttoaineketjujen kasvihuonekaasutaseita arvioivissa tutkimuksissa taas keskitytään yleensä biopolttoaineiden koko tuotantoketjujen kasvihuonekaasupäästöjen arviointiin ja niiden vertailuun öljypohjaisten polttoaineiden tuotantoketjuihin. Biopolttoaineketjun kasvihuonekaasupäästöt jakautuvat epätasaisesti tuotantoketjun eri prosesseille, kuten raaka-aineen viljelylle ja polttoaineen tuotannolle, jotka voivat sijaita eri maassa kuin missä biopolttoainetta käytetään. Tällöin yhden maan kasvihuonekaasupäästöt kasvavat ja toisen vähenevät. Päästöinventaarioissa ja ketjukohtaisissa tutkimuksissa tarkastelujen erona on päästövähennemien kohdentuminen. Kioton tavoitteiden kannalta päästöinventaarioiden mukaisten kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen on merkittävää. Globaalisti ilmastonmuutoksen kannalta merkittäviä ovat taas biopolttoaineiden tuotantoketjujen todelliset kasvihuonekaasupäästöt suhteessa öljypohjaisten polttoaineiden tuotantoketjujen kasvihuonekaasupäästöihin. (Kauppa- ja teollisuusministeriö 2006, 76–77.)

Etanolin koko tuotantoketjun aiheuttamia kasvihuonekaasupäästöjä tulee verrata bensiinin tuotantoketjun kasvihuonekaasupäästöihin, jotta voidaan selvittää, saavutetaanko etanolilla todellisia päästövähennyksiä. Päästövähennykset riippuvat käytetyistä tuotantoteknologioista ja raaka-aineista. Kaikilla biopolttoaineilla kasvihuonekaasutase ei välttämättä ole negatiivinen. (International Energy Agency 2004, 51–52.) Vertailen seuraavassa kolmea selvitystä, joissa on käsitelty biopolttoaineiden kasvihuonekaasujen vähennyspotentiaalia. International Energy

Agencyn (2004) selvityksessä tarkasteltiin useita eri tutkimuksia ja siten sen voidaan katsoa edustavan suhteellisen laajaa näkemystä biopolttoaineiden kasvihuonekaasujen vähennyspotentiaalista. Toinen tutkimus, jota tarkastelen lähemmin, on Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen tutkimus liikenteen biopolttoaineiden tuotannosta ja käytöstä Suomessa (Mäkinen ym. 2006). Kolmas vertailtava tutkimus on jo aikaisemmin mainittu laaja "Well-to-Wheels" -tutkimus liikenteen biopolttoaineketjuista (Edwards ym. 2006a).

Edwards ym. (2006a, 5) mukaan etanolin tuotantoprosessin mahdolliset vähennykset kasvihuonekaasupäästöissä verrattuna tavallisen bensiinin valmistuksen kasvihuonekaasupäästöihin riippuvat tuotantotekniikasta ja sivutuotteiden käytöstä. Myös esimerkiksi Mäkinen ym. (2006) tutkimuksen mukaan bioenergian raaka-aineen viljelytekniikka vaikuttaa huomattavasti siitä valmistettavan biopolttoaineen kasvihuonekaasutaseeseen. Taulukko 2.1 esittelee kunkin tutkimuksen päätulokset etanolin tuotantoketjun kasvihuonekaasujen vähentämispotentiaalista, kun vertailukohtana on bensiinin tuotantoketju.

Taulukko 2.1 Biopolttoaineiden kasvihuonekaasuvaikutuksia

Tutkimus ja etanolin raaka-aine	Etanolin CO₂-ekv. vaikutus
International Energy Agency (2004, 53)	
Vehnä	-19 % ... -47 %
Maissi	+30 % ... -38 %
Edwards ym. (2006a, 35)	
Vehnä	n. -30 % ... -80 %
Mäkinen ym. (2006, 108)	
Ohra	n. +25 %

Taulukosta 2.1 nähdään, että arvioiden vaihteluväli on suuri riippuen tuotantotekniikoista ja tehdyistä alkuoletuksista. Mäkinen ym. (2006) tuloksen mukaan etanolin tuotanto ohrasta Suomen oloissa lisää kasvihuonekaasupäästöjä verrattuna bensiinin tuotantoon. Vaikka Mäkisen ym. (2006, 107) tulosten epävarmuusväli on suuri, se on vinoutunut siten, että todennäköisemmin etanolin tuotanto ohrasta lisää kasvihuonekaasupäästöjä kuin vähentää niitä. Epävarmuusväliin vaikuttaa lähinnä maaperän N₂O-päästöjen arvioinnin vaikeus ja pellon muokkausmenetelmän vaikutus N₂O-päästöihin. Mäkisen ym. (2006, 106) mukaan ohraetanolin tuotannon suurimmat kasvihuonekaasupäästöt syntyvät juuri raaka-aineen tuotannossa. Kyseisen tutkimuksen

tuloksia on kuitenkin kritisoitu väärän vertailukohdan valinnasta ohran viljelyssä. Mäkinen ym. (2006, 23) vertaavat ohran viljelystä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä tilanteeseen, jossa pelto olisi viherkesantona. Antto Vihman (Kyytsönen 2006) mukaan peltobioenergiakasvit korvaavat todellisuudessa rehuohran viljelystä, jolloin realistinen vertailukohta viherkesannoinnin sijaan olisi rehuohran tuotanto. Jos vertailutilanteeksi olisi valittu rehuohra, aiheutuisi viljelystä joka tapauksessa kasvihuonekaasupäästöjä ja näin kesannointiin verrattuna lisääntyvät kasvihuonekaasupäästöt eivät tulisi jyvitettyiksi bioenergian tuotannolle. (Kyytsönen 2006.)

International Energy Agencyn (2004, 57) selvityksessä on todettu, että mitä uudempaa tutkimusta tarkastellaan, sitä suurempia estimoituja kasvihuonekaasuvähennyksiä on saavutettu. Tämä viittaa siihen että prosessiteknologian ja viljelytekniikoiden kehittyessä biopolttoaineilla on mahdollista saavuttaa suurempia kasvihuonekaasujen päästövähennyksiä kuin tällä hetkellä. (International Energy Agency 2004, 57.) Yleisesti taulukon 2.1 (sivu 33) perusteella voidaan todeta, että etanolin käyttö liikennepolttoaineena vähentää kasvihuonekaasupäästöjä jonkin verran ja etanolin tuotantoa voidaan ainakin tietyiltä osin perustella myönteisillä ilmastovaikutuksilla.

Tuotantokustannukset ja kasvihuonekaasujen vähennyskustannukset

Etanolin tuotantokustannukset vaihtelevat merkittävästi maittain. Kustannusten vaihteluun vaikuttavat raaka-aineena käytetty biomassa, maatalousteknologia, tuotannontekijäkustannukset, tehtaiden kokoluokat, käytetty prosessiteknologia ja poliittiset ohjauskeinot. Etanolille ei ole vielä muodostunut maailmanlaajuisia markkinoita, joten myös etanolin hinta vaihtelee maittain. (International Energy Agency 2004, 68.) Jotta etanolin tuotannon kannattavuutta suhteessa bensiinin tuotantoon olisi mahdollista verrata, tulisi etanolin tuotantokustannuksia kuitenkin arvioida. Kustannusten arviointi mahdollistaa myös päästövähennyskustannusten laskemisen hiilidioksiditonille, jolloin etanolin kannattavuutta voi verrata muihin biopolttoaineisiin. Tämän vertailun perusteella hallitusten on mahdollista valita kustannustehokkain päästövähennyspolitiikka. Taulukko 2.2 (sivu 35) esittelee neljä tutkimusta, joissa on tarkasteltu joko CO₂-ekv vähennyskustannuksia, etanolin tuotantokustannuksia tai molempia.

Taulukko 2.2 Etanolin tuotanto- ja päästövähennyskustannukset

Tutkimus	Raaka-aine	Etanolin tuotantokustannus		CO ₂ -ekv vähennyskustannus €/ t CO ₂ -ekv
		€/ l bensiini-ekv	€/ GJ	
Mäkinen ym. (2006)	Ohra	0,81	26	>700
International Energy Agency (2004)	Vilja	0,39–0,71	11–20	300–650
OECD (2006)	Vehnä	0,65	18	-
Edwards ym. (2006a)	Vehnä	-	-	67–360

Bensiinin tuotantokustannusten on arvioitu olevan noin 0,315 €/litralla (noin 9,5 €/ GJ), johon sisältyvät raakaöljy- ja jalostuskustannukset (Öljy- ja kaasualan keskusliitto 2007). Näin taulukon 2.2 mukaan etanolin valmistus ei ole kannattavaa verrattuna bensiinin valmistukseen. Tulee kuitenkin huomioida, että raakaöljyn hinta vaikuttaa huomattavasti bensiinin tuotantokustannuksiin ja öljyn hinnan heilahtelut heijastuvat siten myös etanolin tuotannon suhteelliseen kannattavuuteen. Tätä kannattavuutta on tosin vaikea arvioida, koska etanolin tuotannossa raaka-ainekustannukset ovat yli 50 prosenttia tuotannon kokonaiskustannuksista ja etanolin raaka-aineen tuotantokustannuksiin vaikuttaa myös öljyn hinta. Siten öljyn hinnalla on kahdensuuntainen vaikutus etanolin kannattavuuteen. Yhtäältä etanolin tuotannon suhteellinen kannattavuus paranee, koska kohonnut öljyn hinta nostaa bensiinin hintaa, jota etanolilla on mahdollista korvata. Toisaalta etanolin tuotantokustannukset nousevat, koska maanviljelyssä käytetään fossiilisia polttoaineita maanmuokkaustöissä ja viljan kuivauksessa ja kohonnut polttoaineen hinta nostaa myös etanolin raaka-aineen tuotantokustannuksia. (OECD 2006, 14; 24.)

Kun vielä tarkastellaan etanolin tuotannon CO₂-ekv tonnin vähennyskustannusta, joka on laskettu etanolin tuotantokustannusten ja CO₂-vähennysten avulla, voidaan etanolin todeta olevan suhteellisen kallis tapa vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Jos näitä vähennyskustannuksia verrataan esimerkiksi päästöoikeuden hintaan, jonka arvioidaan sijoittuvan vuonna 2008 alkavalla päästökauppaudella 20 – 30 €/ t CO₂-ekv välille, niin etanolin tuotannon kasvihuonekaasujen vähennyskustannukset ovat moninkertaiset. Siten etanolin tuotanto ei ole yhteiskunnan kannalta kustannustehokas tapa vähentää kasvihuonekaasupäästöjä. Biopolttoaineiden käytön on kuitenkin katsottu olevan lähes ainoa tapa vähentää liikennesektorin kasvihuonekaasupäästöjä nykyisin käytössä

olevilla tekniikoilla. Jos siis tarkastellaan ainoastaan liikennesektorin sisäisiä päästövähennyskustannuksia, on mielekästä valita se biopolttoaineiden tuotantomuoto, jonka vähennyskustannukset ovat kaikista pienimmät. Jos taas asiaa tarkastellaan koko yhteiskunnan kannalta, kasviuonekaasupäästöjen vähentäminen biopolttoaineilla ei ole kustannustehokas ratkaisu. Yhteiskunnan resurssien kohdentaminen niille toiminnoille, joiden päästövähennyskustannukset ovat pienimmät, johtaa suurempaan absoluuttiseen vähenemään kasviuonekaasupäästöissä kuin resurssien kohdistaminen liikenteen biopolttoaineille.

3 TEOREETTINEN VIITEKEHYS

Tässä luvussa esittelen teoreettisen viitekehysten, jonka avulla voidaan määrittellä ohran ja ohraetanolin tuotannon yksityinen ja yhteiskunnallinen optimi. Malli rakentuu ohramarkkinoiden ympärille siten, että ohran kysyntä johdetaan etanolitehtaiden kysynnästä ja ohran rehukäytön kysynnästä. Ohran tarjonta johdetaan maataloustuottajien ohran tarjonnasta. Ensiksi tarkastellaan tilannetta, jossa ohran etanolikäytön yhteiskunnallisia ilmastovaikutuksia ei huomioida eikä yhteiskunta muutenkaan puutu markkinoihin. Tätä kutsutaan ohran tuotannon yksityistaloudelliseksi optimiksi. Tämän jälkeen malliin liitetään ohraetanolin tuotannosta ja käytöstä yhteiskunnalle koituvat ilmastovaikutukset. Tätä tilannetta kutsutaan ohran tuotannon yhteiskunnalliseksi optimiksi. Mallin avulla on mahdollista tarkastella ohraetanolin tuotannon yksityisen ja yhteiskunnallisen optimin suhdetta ja yhteiskunnallisen optimin saavuttamiseksi tarkoitettuja ohjauskeinoja. Mallin avulla pystytään tarkastelemaan myös maataloustuotannossa tapahtuvia muutoksia yksityisen ja yhteiskunnallisen optimin välillä.

Ylä- ja alaindeksijä käytetään siten, että yläindeksi määrittelee sen, mistä muuttujasta on kysymys. Esimerkiksi merkintä p^e tarkoittaa etanolin hintaa ja merkintä π^e etanolin tuottajan voittoja. Alaindeksillä taas merkitään osittaisderivaattaa, esimerkiksi merkintä π_h^e merkitsee etanolin tuottajan voittofunktion derivaattaa ohran käytön \hat{h} suhteen.

3.1 Ohran kysyntä

Mallissa ohran kokonaiskysynnän muodostavat etanoliteollisuuden ohran kysyntä ja muu kaupallinen ohran kysyntä, joka on pääasiassa ohran rehukysyntää. Ohran tarjonnan katsotaan puolestaan muodostuvan kotimaisesta ohran viljelystä. Tarkastelen aluksi ohran kokonaiskysynnän muodostumista yleisellä tasolla jonka jälkeen siirryn tarkastelemaan ohran tarjonnan muodostumista.

Ohran etanolikysyntä

Etanolin tuottaja käyttää ohraa raaka-aineena etanolin valmistuksessa. Toinen merkittävä tuotantopanoks on energia, jota tarvitaan sekä etanolin tuotannossa että

sivutuotteena valmistettavan rehun kuivauksessa. Etanolin tuottajan voiton maksimointiongelma voidaan kirjoittaa seuraavasti:

$$\max_{\hat{h}, E} \pi^e = p^e z(\hat{h}, E) + p^r a(\hat{h}) - p^1 \hat{h} - \tilde{w} E \quad (1)$$

Yhtälössä (1) p^e on etanolin hinta, $z(\hat{h}, E)$ etanolin tuotantofunktio, jossa tuotantopanoksina ovat \hat{h} ohra ja E energia. Tuotantofunktio oletetaan jatkuvaksi ja konkaaviksi, eli $z_{\hat{h}} > 0$, $z_E > 0$, $z_{\hat{h}\hat{h}} < 0$, $z_{EE} < 0$ ja $z_{\hat{h}E} = z_{E\hat{h}} > 0$. Oletus $z_{\hat{h}E} = z_{E\hat{h}} > 0$ tarkoittaa, että tuotantopanokset ovat toistensa komplementteja. Termi p^r on etanolin tuotannossa muodostuvasta rankista valmistettavasta rehusta maksettu hinta ja $a(\hat{h})$ on rehun tuotantofunktio, joka riippuu etanolin tuotannossa käytettävän ohran \hat{h} määrästä. Lopuksi p^1 on ohran hinta ja \tilde{w} energian hinta.

Energia on valittu etanolin toiseksi tuotantopanokseksi kahdesta syystä. Ensiksi, etanolin tuotanto on energiaintensiivistä tekniikkaa, joten energian hinnalla on merkittävä paino etanolin tuotannon kannattavuutta tarkasteltaessa. Toiseksi, energian valintaa tuotantopanokseksi puoltaa se, että biopolttoaineiden yhtenä heikkoutena on katsottu olevan niiden valmistukseen käytetyn energian suhde lopputuotteesta saatavaan energiaan. Siten energian ottaminen tuotantopanokseksi voi mahdollisissa jatkotutkimuksissa antaa tuloksia myös etanolin tuotannon energiatehokkuudesta.

Etanolin tuottajan energiankäyttö huomioidaan mallissa kokonaisuudessaan eikä sitä tulla jakamaan erikseen etanolin tuotannon ja rehun tuotannon välille. Tätä voidaan perustella sillä, että tuotettu rehun määrä on suoraan riippuvainen etanolin tuotannossa käytetystä ohran määrästä ja siten myös rehun tuotannossa käytetty energia on suoraan riippuvainen etanolin tuotannosta. Tämän lisäksi oletetaan, että etanolin tuottaja valmistaa ainoastaan kuivarehua. Kuivarehun säilytysaika on pidempi kuin märkärehun, joten tällöin voidaan olettaa, että kaikki rehu saadaan varmasti myydyksi markkinoilla eikä varastotappioita synny. Etanolin tuottajan voiton maksimoinnin ensimmäisen kertaluvun ehdot saadaan derivoimalla yhtälöä (1) \hat{h} :n ja E :n suhteen.

$$\pi_h^e = p^e z_h(\hat{h}, E) + p^r a_h(\hat{h}) - p^1 = 0 \quad (2)$$

$$\pi_E^e = p^e z_E(\hat{h}, E) - \tilde{w} = 0 \quad (3)$$

Yhtälön (2) perusteella voidaan todeta, että yksityisessä optimissa etanolin tuottaja kasvattaa tuotantoaan siihen pisteeseen, jossa viimeisen ohrakilon antaman tuotannon lisäyksen arvo on yhtä suuri kuin siitä tuottajalle koitua kustannus. Yhtälö (3) taas kertoo, että etanolin tuottaja kasvattaa energian käyttöönsä siihen pisteeseen, jossa yhden energiayksikön antama tuotannon lisäyksen arvo vastaa energiayksiköstä tuottajalle koituvaa kustannusta. Ensimmäisen kertaluvun ehdoista (2) ja (3) voidaan määrittää implisiittisesti etanolin tuotannosta johtuva ohran kysyntäkäyrä. Tätä kysyntäkäyrää merkitään notaatiolla $\hat{h} = D^e(p^1, p^e, p^r, \tilde{w})$. Ohran etanolikysyntä riippuu siten ohran hinnasta p^1 , etanolin hinnasta p^e , rehun hinnasta p^r ja energian hinnasta \tilde{w} . Komparatiivisen statiikan mukaan (kts. liite 4) tuotantopanosten hintojen \tilde{w} ja p^1 noustessa ohran etanolikysyntä laskee ja hintojen p^e ja p^r noustessa ohran etanolikysyntä nousee.

Ohran rehukysyntä

Toinen merkittävä ohran käyttökohde on kotieläinten ruokinta. Ohran rehukäytön muodostumista ei tässä tutkielmassa tarkastella lähemmin, mutta käytön merkittävyyden vuoksi se sisällytetään malliin. Rehun tuottajan voiton maksimointiongelma voidaan kirjoittaa seuraavasti:

$$\max_{\bar{h}} \pi^r = p^r y(\bar{h}) - p^1 \bar{h} \quad (4)$$

jossa $y(\bar{h})$ on rehun tuotantofunktio, joka oletetaan jatkuvaksi ja konkaaviksi, eli $y_{\bar{h}} > 0$ ja $y_{\bar{h}\bar{h}} < 0$. Derivoimalla yhtälöä (4) ohran käytön \bar{h} suhteen, saadaan ensimmäisen kertaluvun ehto

$$\pi_h^r = p^r y_h(\bar{h}) - p^1 = 0, \quad (5)$$

Ehdon (5) mukaan rehun tuottaja kasvattaa ohran käyttöön siihen pisteeseen, jossa yhdellä ohrakilolla saavutettu tuotannon lisäyksen arvo on yhtä suuri kuin sen käytöstä aiheutuva kustannus. Ensimmäisen kertaluvun ehdosta voidaan implisiittisesti johtaa ohran rehukysyntä, joka oletetaan jatkuvaksi ja konkaaviksi ja sitä merkitään notaatiolla $\bar{h} = D^r(p^l, p^r)$. Komparatiivisen statiikan mukaan (kts. liite 5) ohran hinnan p^l nousu laskee ohran rehukysyntää ja rehun hinnan p^r nousu nostaa ohran rehukysyntää.

Ohran kokonaiskysyntä

Markkinoiden kysyntäkäyrä muodostuu yhdistämällä ohran etanolikysyntäkäyrä ja rehukysyntäkäyrä. Näin saadaan muodostettua ohran kokonaiskysyntäkäyrä $h^* = \bar{D}(p^l, p^e, p^r, \tilde{w}) = D^e(p^l, p^e, p^r, \tilde{w}) + D^r(p^l, p^r)$, jossa h^* on markkinoilla kysytty ohran määrä. Ohran kokonaiskysyntä muodostuu kahdesta komponentista, etanolituotannon muodostamasta kysynnästä ja rehuotuotannon muodostamasta kysynnästä. Ohran kokonaiskysyntä nousee, kun etanolin tai rehun hinta nousee ja se laskee, kun ohran tai energian hinta nousee.

3.2 Ohran tarjonta

Ohran tarjonnan muodostumista tarkastellaan olettamalla heterogeeninen maan laatu, joka perustuu Lichtenbergin (1989, 187–188) kehittämään ja Lankosken ja Ollikaisen (2003, 53) käyttämään malliin. Oletetaan, että maatalousmaa jakaantuu yhden hehtaarin kokoihin peltolohkoihin. Yhden lohkon sisäinen maan laatu on vakio, mutta maan laatu vaihtelee lohkojen välillä. Maan laatuun vaikuttavat erilaiset biologiset ja kemialliset tekijät, kuten esimerkiksi maan multavuus, pH ja hivenravinteiden määrä. Maan laatua kuvataan skalaarilla q , joka käsittelyn helpottamiseksi saa arvoja 0 ja 1 väliltä siten, että huonolaatuisin maa saa arvon nolla ja paras maa arvon yksi. Maatalousmaan kokonaismäärää kuvataan funktiolla $G(q)$, joka kuvaa koko maatalousmaan kumulatiivista jakautumaa maan laadun funktiona ja joka oletetaan jatkuvaksi ja differentioituvaksi. $G'(q) = g(q)$ ilmoittaa sen maatalousmaan määrän, jonka laatu on korkeintaan q . Siten maatalousmaan kokonaismäärä, joka oletetaan kiinteäksi, voidaan ilmoittaa seuraavasti:

$$G = \int_0^1 g(q) dq \quad (6)$$

Oletetaan, että viljelijä voi valita kahden vaihtoehdoisen viljelykasvin ja pellon kesannolle jättämisen väliltä. Merkitään kasveja notaatiolla $i=1,2$. Kaikista heikkolaatuisin maatalousmaa jätetään kesannolle ja tätä osuutta merkitään notaatiolla L^k . Kasvi 1 viihtyy heikkolaatuisemmalla maalla kuin kasvi 2. Kasvin 1 viljelyosuus on L^1 ja kasvin 2 viljelyosuus on L^2 . Siten kasvin 1 viljelyosuus voidaan ilmoittaa myös notaatiolla $L^1 = (1 - L^k - L^2)$. Yksittäisen viljelykasvin tuotannon voittofunktio on $\pi^i(p^i, c, q)$. Kasvin i viljelystä saatavat voitot riippuvat siitä maksetusta hinnasta p^i , lannoitteen hinnasta c , ja maan laadusta q . Kesantopellosta saatava voitto π^k oletetaan vakioksi $\pi^k = R$ maan laadun q suhteen.

Yksittäisen viljelijän optimi ratkaistaan rekursiivisesti määrittämällä ensiksi kummankin kasvin lannoiteintensiteetti kaikille viljelijän omistamille peltolohkoille. Optimaalinen lannoitus $l^{i*} = l^i(p^i, c, q)$ määritetään viljelijän voiton maksimointiongelman kautta. Viljelijä valitsee jokaiselle lohkolle kullekin viljelykasville optimaalisen lannoitustason ja tämän jälkeen hän kohdistaa lohkot sille kasville, joka tuottaa suurimmat lohko-kohtaiset voitot:

$$\max_{l^i} \pi^i = p^i f^i(l^i, q) - cl^i + \hat{K}. \quad (7)$$

Yhtälössä (7) parametri \hat{K} sisältää maatalouden muut kustannukset ja tuet. Jos $\hat{K} > 0$, niin tuet ovat suuremmat kuin muut kustannukset. Derivoimalla yhtälöä (7) lannoiteintensiteettien l^i suhteen, saadaan ensimmäisen kertaluvun ehdot

$$\pi_{l^i}^i = p^i f_{l^i}^i(l^i, q) - c = 0. \quad (8)$$

Yhtälön (8) mukaan viljelijän kannattaa lisätä lannoitusta siihen pisteeseen asti, josta yhden lannoiteyksikön lisäämisen antama tuotannon lisäyksen arvo on yhtä suuri kuin siitä aiheutuva kustannus. Tämän jälkeen lohkot kohdistetaan joko kasvien 1 tai 2

viljelylle tai kesannoinnille sen mukaan, mikä käyttötapa tuottaa suurimmat voitot. Viljelijän kokonaisvoitot voidaan kirjoittaa seuraavasti

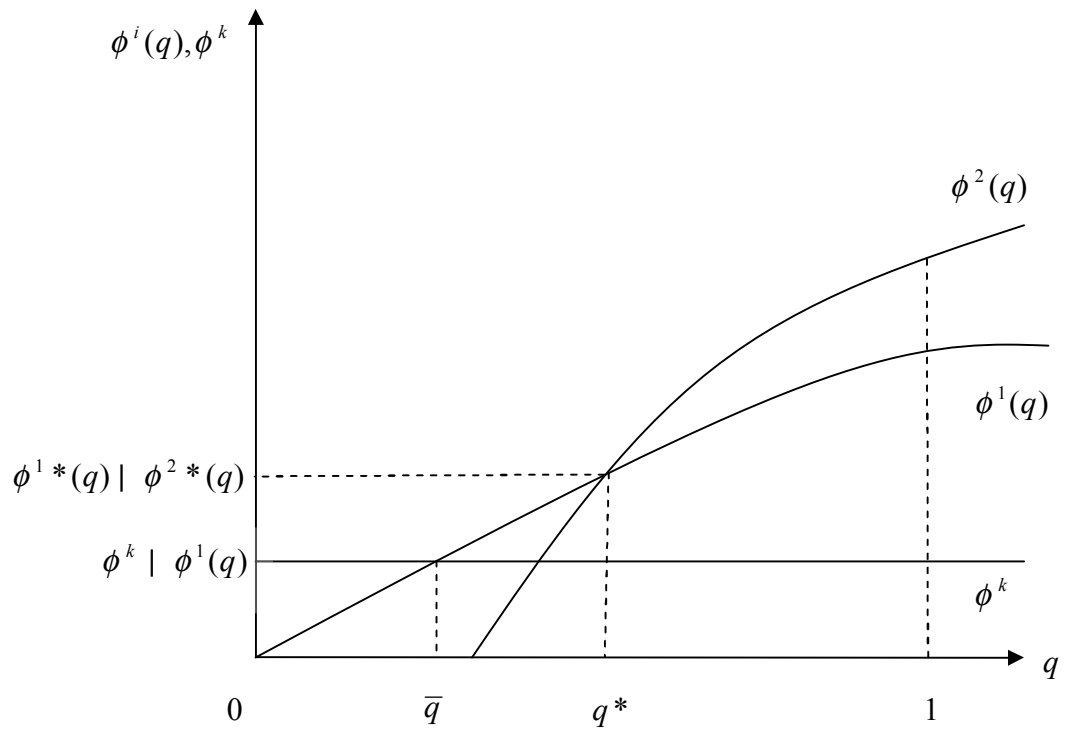
$$\max_{L^k, L^2} PV = \int_0^1 [\pi^k L^k + \pi^1 * (p^1, c, q)(1 - L^k - L^2) + \pi^2 * (p^2, c, q)L^2] g(q) dq \quad (9)$$

Derivoimalla viljelijän voittofunktiota (9) kesannointiosuuden L^k ja kasvin 2 viljelyosuuden L^2 suhteen saadaan ensimmäisen kertaluvun ehdot

$$\frac{\partial PV}{\partial L^k} = \pi^k - \pi^1 * (p^1, c, \bar{q}) = 0 \quad (10a)$$

$$\frac{\partial PV}{\partial L^2} = \pi^2 * (p^2, c, q^*) - \pi^1 * (p^1, c, q^*) = 0 \quad (10b)$$

Kummankin kasvin tuotantofunktiot oletetaan konkaaveiksi maan laadun suhteen. Yhtälöistä (10a) ja (10b) voidaan ratkaista kriittiset maan laadut $\bar{q} : \pi^k = \pi^1 * (p^1, c, \bar{q})$ ja $q^* : \pi^2 * (p^2, c, q^*) = \pi^1 * (p^1, c, q^*)$. Sisäpisteratkaisun saavuttamiseksi muistetaan, että kesannoinnin voitot määritettiin vakioksi $\pi^k = R$ maan laadun suhteen. Kun maan laatu on $0 \leq q \leq \bar{q}$, kannattaa pelto jättää kesannolle. Maan laadun ollessa $\bar{q} < q < q^*$ kannattaa viljellä kasvia 1. Kun taas maan laatu on $q^* \leq q \leq 1$, on kannattavaa viljellä kasvia 2. Samaa asiaa havainnollistetaan kuvassa 3.1 (sivu 43).



Kuva 3.1 Kasvien $i=1,2$ ja kesannoinnin voitto funktiona maan laadun suhteen

Siten kesannointiosuudeksi ja kasvin 1 viljelyosuudeksi muodostuu

$$L^k \mid \int_0^{\bar{q}} g(q) dq \mid G(\bar{q}) \quad (11a)$$

$$L^1 \mid \int_{\bar{q}}^{q^*} g(q) dq \mid G(q^*) \quad (11b)$$

$$L^2 \mid \int_{q^*}^1 g(q) dq \mid G(1) - G(q^*) - G(\bar{q}) \quad (11c)$$

Tämä on siis yhden viljelijän optimaalinen valinta kasvien 1 ja 2 viljelyosuuksien ja kesannoinnin suhteen omilla tiluksillaan.

Jotta olisi mahdollista analysoida ohran tuotantoa koko maan tasolla, voidaan edellinen heterogeenisen maan laadun malli laajentaa koskemaan koko maata. Yhden viljelijän tapauksessa $G(1)$, eli maatalousmaan kokonaismäärä, vastasi viljelijän tiluksien kokoa. Jos oletetaan, että viljelijät voivat valita kahden viljelykasvin, ohran ja vehnän sekä

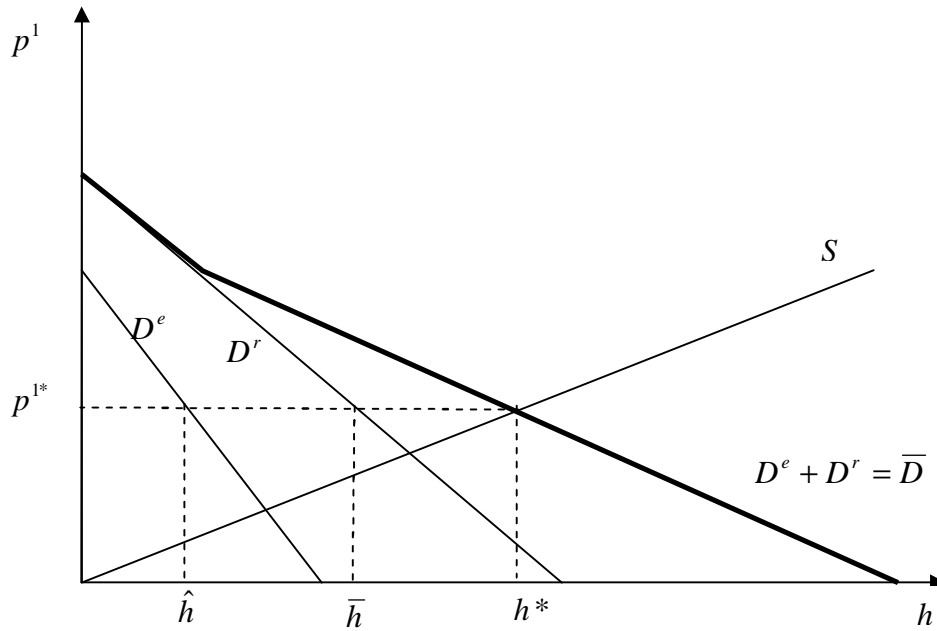
kesannoinnin väliltä, voidaan kasvia 1 pitää ohrana, koska se ei ole yhtä vaativa maan laadun suhteen kuin vehnä. Ohran optimaalinen viljelyala koko maan tasolla määräytyy ehdon $\bar{L}^* = L^1(p^1, p^2, c, R)$ mukaan, jos maatalousmaan kokonaismäärän $G(1)$ katsotaan vastaavan Suomen ohran ja vehnän viljelyalojen ja kesannointialan määrää. Mallissa maatalousmaan kokonaismäärä oletetaan vakioksi, eli metsien raivaamista pelloiksi tai peltojen metsitystä ei käsitellä. Ohran tarjontaa kuvaa yhtälö

$$S = f^1(l^1, q) \bar{L}^1(p^1, p^2, c, R) \quad (12)$$

jossa $f^1(l^1, q)$ on ohran typpiresponssifunktio lannoiteintensiteetin ja maan laadun suhteen. Ohran kokonaistarjonnan S komparatiivisen statiikan tulokset on esitetty liitteessä 6. Ohran tarjonta kasvaa, jos ohran hinta p^1 nousee. Jos vaihtoehtoisen viljelykasvin, eli vehnän, hinta p^2 tai kesannoinnista saatava voitto R nousevat, laskee ohran tarjonta. Lannoitteen hinnan c nousun vaikutusta ohran tarjontaan ei voida selvittää, sillä yhtäältä lannoitteen hinnan noustessa ohran tarjonta lisääntyy, koska vehnän lannoitusintensiteetti on ohraa voimakkaampi ja viljelijöiden on lannoitteen hinnan noustessa kannattavampaa siirtyä viljelemään kasvia, jolla on alhaisempi lannoitusintensiteetti. Toisaalta lannoitteen hinnan nousu parantaa kesannoinnin kannattavuutta suhteessa ohran viljelyyn, jolloin ohran viljelyala pienenee ja kesannointiala vastaavasti kasvaa.

3.3 Yksityistaloudellinen optimi

Ohran yksityistaloudellinen tasapainohinta ja tuotantomäärä löytyvät asettamalla ohran kokonaiskysyntä ja ohran tarjonta yhtä suuriksi. Tällöin ei huomioida ohran etanolikäytöstä aiheutuvia ilmastovaikutuksia. Kuvassa 3.2 on yksinkertaistettu graafinen esitys ohran markkinatasapainosta. Esityksen yksinkertaistamiseksi ohran kysyntä- ja tarjontakäyrät on piirretty lineaarisina. Kuvassa ohran etanoli- ja rehukysyntäkäyrät esitetään toisistaan poikkeavina, koska voidaan olettaa, että ohran etanolikysyntä ja rehukysyntä poikkeavat toisistaan niin omien hintojensa herkkyyden kuin myös ohran hintaherkkyiden suhteen.



Kuva 3.2 Ohran markkinatasapaino

Kuvasta 3.2 nähdään, että ohran tuotantomäärä on tasapainossa h^* ja tasapainohinta on p^{1*} . Ohran käyttömäärä etanoliteollisuudessa on \hat{h} ja rehuteollisuudessa \bar{h} . Tasapainossa

$$\begin{aligned} [D^e(p^1, p^e, p^r, \tilde{w}) + D^r(p^1, p^r)] &= S \\ \Rightarrow \bar{D}(p^1, p^e, p^r, \tilde{w}) &= f^1(l^{1*}, q)\bar{L}^1(p^1, p^2, c, R) + \theta \end{aligned} \quad (13)$$

Markkinatasapainossa siis ohran yhteenlaskettu rehukysyntä ja etanolikysyntä ovat yhtä suuret kuin ohran tarjonta S .

3.4 Yhteiskunnallinen optimi

Seuraavaksi siirrytään analysoimaan yhteiskunnallista optimia, jossa etanolin tuotannon ilmastovaikutukset otetaan huomioon. Yhteiskunnallisesta näkökulmasta katsottuna etanolin tuotantoa ei tarkastella ainoastaan etanolin tuottajan voiton maksimoinnin kannalta, vaan huomioon tulee ottaa myös yhteiskunnalle etanolin liikennepolttoainekäytöstä koituvat ilmastovaikutukset. Yhteiskunnan kannalta tärkeä kysymys on se, kuinka paljon etanolia tulisi tuottaa, kun sen tuotannon ja käytön ilmastovaikutukset huomioidaan. Yhteiskunnan hyvinvointifunktion muodostamiseksi

tulee määrittää ohran etanolikäytöstä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöjen vähenemät, kun etanolia verrataan konventionaalisiin fossiilisiin liikennepolttoaineisiin, kuten bensiiniin.

Ilmastovaikutukset

Kuten aikaisemmin on todettu, voidaan etanolilla korvata fossiilisia polttoaineita liikennekäytössä. Kasvihuonekaasujen vähenemisen etanolin käytön seurauksena voidaan katsoa johtuvan kolmesta seikasta. Biopohjaisten polttoaineiden liikennekäytön ei katsota lisäävän ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta, koska käytössä vapautuva hiilidioksidi on sitoutunut biomassaan sen kasvuvaiheessa. Tätä kutsutaan hiilen suljetuksi kierroksi. Täten etanolin liikennepolttoainekäytön ei kansallisissa kasvihuonekaasuinventaarioissa katsota aiheuttavan lainkaan kasvihuonekaasupäästöjä. Toisaalta etanolin tuotantoa täytyy myös verrata bensiinin tuotantoon ja sen aiheuttamiin kasvihuonekaasupäästöihin. Näin voidaan tarkastella etanolin käytöllä saavutettuja kasvihuonekaasupäästövähenemisiä. Lopuksi kasvihuonekaasupäästöt saattavat muuttua myös maataloudessa, jos ohran viljely korvaa vehnän viljelyä tai kesannointia.

Etanolin liikennepolttoainekäytön mahdollinen CO₂-hyöty voidaan määrittellä etanolin tuotannon kautta. $Q = z(\hat{h}, E)$ kuvaa yhteiskunnassa tuotettua etanolimäärää, joka käytetään liikennepolttoaineena. Kerroin ε määrittää kuinka paljon hiilidioksidipäästöjä etanolin tuotanto ja liikennepolttoainekäyttö korvaa verrattuna bensiinin tuotantoon ja liikennepolttoainekäyttöön. Näiden parametrien perusteella voidaan muodostaa funktio etanolin käytöllä korvatusta hiilidioksidista, $\varepsilon Q = \varepsilon z(\hat{h}, E)$. Tämän funktion perusteella on mahdollista määrittää yhteiskunnalle etanolin tuotannosta koituvat ilmastovaikutukset yleisenä arvostusfunktiona.

$$b = b(\varepsilon z(\hat{h}, E)) \tag{14}$$

Yhtälössä b kuvaa yhteiskunnan arvostusta hiilidioksidipäästöjen alenemisesta. Funktio oletetaan konkaaviksi, $b' > 0$ ja $b'' < 0$, jolloin yhteiskunnan arvostus hiilidioksidipäästöjen vähenemisestä on positiivinen, mutta vähenevä.

Ohraetanolin tuotannon yhteiskunnallinen optimi

Oletetaan, että on olemassa yhteiskunnan suunnittelija, joka pyrkii maksimoimaan yhteiskunnan kokonaishyvinvointia. Kokonaishyvinvointi määritellään kaikkien kuluttajien ja tuottajien ylijäämien summana. Yhteiskunnallinen hyvinvointifunktio kuvaa tätä yhteiskunnan jäsenten yhteenlaskettua hyvinvointia. Tässä tutkielmassa tarkastellaan ainoastaan kokonaishyvinvoinnin osittaisratkaisua, koska tutkielmaan sisältyy toimijoita ainoastaan ohramarkkinoilta. Rajoitetaan hyvinvointitarkastelu siten etanolin tuottajan, maanviljelijän ja rehun tuottajan hyvinvointien tarkasteluun. Oletetaan, että näiden toimijoiden hyötytasot määräytyvät heidän voittojensa tason kautta. Mitä enemmän voittoa he tekevät, sitä korkeammalle hyötytasolle he pääsevät. Lisäksi oletetaan, että yhteiskunnan kaikki toimijat hyötyvät etanolin ilmastovaikutuksista yhtälön (14) $b = b(\varepsilon z(\hat{h}, E))$ mukaisesti. Yhteiskunnallinen hyvinvointifunktio määritellään toimijoiden voittojen summana täydennettynä etanolin tuotannon ilmastovaikutuksilla. Yhteiskunnan suunnittelijan hyvinvoinnin maksimointiongelma voidaan esittää yhteiskunnan hyvinvointifunktion avulla:

$$\begin{aligned} \max_{\hat{h}, \bar{h}, E, L^1, L^k, L^2} SW &= \pi^e + \pi^r + PV + b \\ &= \left[p^e z(\hat{h}, E) + p^r a(\hat{h}) - p^1 \hat{h} - \tilde{w}E \right] + \left[p^r z(\bar{h}) - p^1 \bar{h} \right] \\ &+ \left\{ \int_0^1 \left[\pi^k L^k + \pi^1 (p^1, c, q)(1 - L^k - L^2) + \pi^2 (p^2, c, q)L^2 \right] g(q) dq \right\} + b(\varepsilon z(\hat{h}, E)) \end{aligned} \quad (15)$$

Derivoimalla yhtälöä (15) muuttujien \hat{h}, E, \bar{h} suhteen, saadaan etanolin ja rehun tuotannon yhteiskunnallisen optimin ensimmäisen kertaluvun ehdot

$$SW_{\hat{h}} = p^e z_{\hat{h}}(\hat{h}, E) + p^r a_{\hat{h}}(\hat{h}) - (p^1 + p_{\hat{h}}^1 \hat{h}) + b_Q(\cdot) \varepsilon z_{\hat{h}}(\hat{h}, E) = 0 \quad (15a)$$

$$SW_E = p^e z_E(\hat{h}, E) - \tilde{w} + b_Q(\cdot) \varepsilon z_E(\hat{h}, E) = 0 \quad (15b)$$

$$SW_{\bar{h}} = p^r z_{\bar{h}}(\bar{h}) - (p^1 + p_{\bar{h}}^1 \bar{h}) = 0 \quad (15c)$$

Oletuksen mukaan yhteiskunnan suunnittelija ymmärtää ohran kysynnän muutoksen vaikutukset ohran hintaan, joka ilmenee yhtälön (15a) termistä $-(p^1 + p_{\hat{h}}^1 \hat{h})$ ja yhtälön

(15c) termistä $-(p^1 + p_h^1 \bar{h})$. Näistä termeistä nähdään, että ohran hinta p^1 muuttuu ohran kysynnän muutoksen seurauksena. Yhtälöt (15a) - (15c) esittävät ohran kysynnän yhteiskunnallisia ensimmäisen kertaluvun ehtoja. Yhtälöstä (15a) nähdään, että yhteiskunnallisesti optimaalinen ohran etanolikäyttö määräytyy ehdosta, jonka mukaan yhden ohrakilon antaman etanolin tuotannon lisäyksen arvon tulee olla yhtä suuri kuin yhden ohrakilon käytöstä aiheutuneet kustannukset, joista on vähennetty yhden ohrakilon etanolikäytöstä yhteiskunnalle koitua ilmastovaikutus. Yhtälö (15b) määrittää vastaavan ehdon energian käytölle ja yhtälö (15c) ohran rehukäytölle. Yhtälöistä (15a) ja (15b) on mahdollista johtaa ohran yhteiskunnallisesti optimaalinen etanolikysyntä $\hat{h}^{SW} = D^{e^{SW}}$. Yhtälöstä (15c) voidaan johtaa ohran yhteiskunnallisesti optimaalinen ohran rehukysyntä $\bar{h}^{SW} = D^{r^{SW}}$. Tämä on kuitenkin yhtä suuri kuin yksityistaloudellinen ohran rehukysyntä, sillä ilmastovaikutusten huomioiminen ei vaikuta ohran rehukysyntään, eli $SW_{\bar{h}} = \pi_{\bar{h}}^r$. Ohran yhteiskunnallisesti määräytynyt kokonaiskysyntä on siten $\bar{D}^{SW} = D^{e^{SW}} + D^{r^{SW}}$. Jotta etanolintuotannon yhteiskunnallinen optimi olisi mahdollista saavuttaa, tulee etanolin tuotantoa ohjata yhteiskunnan taholta siten, että yhtälöt (2) ja (15a) sekä (3) ja (15b) ovat yhtä suuret, toisin sanoen $SW_{\hat{h}} = \pi_{\hat{h}}^e$ ja $SW_E = \pi_E^e$. Mahdollisia ohjauskeinoja tarkastellaan seuraavassa alaluvussa.

Derivoimalla yhtälöä (15) ohran ja kevätvehnän lannoiteintensiteettien l^i ja viljelyosuuksien L^k ja L^2 suhteen saadaan maataloustuotannon yhteiskunnalliset ensimmäisen kertaluvun ehdot

$$SW_{l^1} = p^1 f_{l^1}^1(l^1, q) + p_{l^1}^1 f^1(l^1, q) - c = 0 \quad (15d)$$

$$SW_{l^2} = p^2 f_{l^2}^2(l^2, q) - c = 0 \quad (15e)$$

$$SW_{L^k} = \pi^k - \pi^1 * (p^1, c, \bar{q}) = 0 \quad (15f)$$

$$SW_{L^2} = \pi^2 * (p^2, c, q^*) - \pi^1 * (p^1, c, q^*) = 0 \quad (15g)$$

Yhtälö (15d) määrittää ohran tuotannon yhteiskunnallisen optimin. Ohran tuotantoon etanolin ilmastovaikutusten huomioiminen heijastuu muuttuneen ohran hinnan p^1 kautta. Muuten ehto (15d) on vastaava kuin ohran yksityistaloudellisen tuotannon

optimiehto. Ehto (15e) määrittää vehnän tuotannon yhteiskunnallisen optimin. Ohraetanolin liikennepolttoainekäytön ilmastovaikutusten huomioiminen heijastuu myös vehnän tuotantoon muuttuneen ohran hinnan välityksellä. Tämä ei tosin näy yhtälössä (15e), koska vaikutus on välillinen ja siten se näkyy optimaalisen maan allokaatioehtojen (15f) ja (15g) kautta, joissa on huomioitu yhteiskunnallisen optimin mukainen ohran hinta. Etanolin ilmastovaikutusten huomioiminen heijastuu viljelyaloihin ainoastaan muuttuneen ohran hinnan välityksellä. Itse ilmastovaikutusten arvostusta kuvaava funktio b ei esiinny suoraan maataloustuotannon yhteiskunnallisen optimin ensimmäisen kertaluvun ehdoissa.

3.5 Ohjauskeinovalikoima

Yhteiskunnallisesti optimaalisen etanolin tuotannon tason saavuttamiseksi, tulee yhteiskunnan tukea etanolin tuotantoa siten, että $SW_{\hat{h}} = \pi_{\hat{h}}^e$ ja $SW_E = \pi_E^e$. Tarkasteltaviksi ohjausinstrumenteiksi valitaan etanolin hintatuki s ja hintatuki ohralle etanolin tuotannon tuotantopanoksena u jotka johdetaan eksogeenisille hinnoille. Etanolin hintatuen oloissa etanolin tuottajan valinnaksi tulee ensimmäisen kertaluvun ehtojen perusteella

$$\pi_{\hat{h}}^e = (1+s)p^e z_{\hat{h}}(\hat{h}, E) + p^r a_{\hat{h}}(\hat{h}) - p^1 = 0 \quad (16)$$

Optimaalisen tukiaisen suuruus voidaan ratkaista asettamalla (16) yhtä suureksi yhteiskunnallisen optimiehdon (15a) kanssa

$$\begin{aligned} & p^e z_{\hat{h}}(\hat{h}, E) + p^r a_{\hat{h}}(\hat{h}) - (p^1 + p_{\hat{h}}^1 \hat{h}) + b_Q(\cdot) \varepsilon z_{\hat{h}}(\hat{h}, E) \\ & = (1+s)p^e z_{\hat{h}}(\hat{h}, E) + p^r a_{\hat{h}}(\hat{h}) - p^1 \end{aligned} \quad (17)$$

josta seuraa

$$s^* = \frac{b_Q(\cdot) \varepsilon - p_{\hat{h}}^1 \hat{h}}{p^e}. \quad (18)$$

Ohran hintatuki maksetaan ohran käytölle etanolin tuotannon tuotantopanoksena. Tällöin etanolin tuottaja maksaa käyttämästään ohrasta ohran markkinahintaa vähemmän. Ohran hintatuen oloissa etanolin tuottajan ensimmäisen kertaluvun ehtojen perusteella

$$\pi_{\hat{h}}^e = p^e z_{\hat{h}}(\hat{h}, E) + p^r a_{\hat{h}}(\hat{h}) - (1-u)p^1 = 0 \quad (19)$$

Asetetaan etanolin tuotannon yksityinen optimi yhtä suureksi yhteiskunnallisen optimin kanssa.

$$\begin{aligned} p^e z_{\hat{h}}(\hat{h}, E) + p^r a_{\hat{h}}(\hat{h}) - (p^1 + p_{\hat{h}}^1 \hat{h}) + b_Q(\cdot) \varepsilon z_{\hat{h}}(\hat{h}, E) \\ = p^e z_{\hat{h}}(\hat{h}, E) + p^r a_{\hat{h}}(\hat{h}) - (1-u)p^1 \end{aligned} \quad (20)$$

josta seuraa

$$u^* = \frac{b_Q(\cdot) \varepsilon z_{\hat{h}}(\hat{h}, E) - p_{\hat{h}}^1 \hat{h}}{p^1}. \quad (21)$$

Erotuksena etanolin hintatukeen, ohran hintatukeen vaikuttaa myös ohran etanolikäytön rajatuotanto $z_{\hat{h}}(\hat{h}, E)$. Siten optimaalinen ohran hintatuki vaihtelee etanolin tuotannossa tapahtuvien muutosten seurauksena.

4 EMPIIRINEN AINEISTO

Tässä luvussa esitellään analyttisen mallin soveltamiseksi tarvittava empiirinen aineisto. Tähän aineistoon perustuu myös luvun 5 empiirinen analyysi. Aineisto koostuu hinta- ja kustannustiedoista, tukitasoista ja ilmastovaikutuksien määrittämiseksi tarvittavista päästötiedoista. Aineisto-osio alkaa etanolin tuotantofunktion parametrisoinnilla ja viljelykasvien responsifunktioiden tarkastelulla maan laadun suhteen.

4.1 Mallin parametrisointi

Jotta mallin avulla voisi tarkastella ohran markkinatasapainoa ja ilmastovaikutusten vaikutusta siihen, tulee ohran responsifunktiolle ja etanolin tuotantofunktiolle määrittää parametrisoidut muodot. Lisäksi ohran ja vehnän responsifunktioita tulee tarkastella maan laadun suhteen, jotta olisi mahdollista määrittää kriittiset maan laadut \bar{q} ja q^* ja jotta ohran kokonaistarjonnan määrittäminen olisi mahdollista.

Etanolin tuotantofunktio

Etanolin tuotantofunktioksi kalibroidaan Cobb-Douglas muotoinen funktio $z(\hat{h}, E) = A\hat{h}^\alpha E^\beta$ jossa A on tuotannon skaalakerroin ja parametrit α ja β määrittävät sen, kuinka tuotannon määrä muuttuu tuotantopanosten määrän muutosten suhteen. Parametrit saavat arvot $A = 1500$, $\alpha = 0,45$ ja $\beta = 0,09$. Nämä arvot on kalibroitu käyttäen etanolin teknisiä tuotantotietoja ja selvityksiä kokoluokaltaan erilaisten etanolitehtaiden energian ja ohran kulutuksesta. Etanolin tuotannon sivutuotteena syntyvän rehun tuotantofunktioksi asetetaan $a(\hat{h}) = \phi\hat{h}$, jossa ϕ on tekninen vakio. Siten funktio $a(\hat{h})$ ilmoittaa tuotetun rehun määrän etanolin tuotannossa käytetyn ohran määrän funktiona. Etanolin tuottajan parametrisoitu voittofunktio on

$$\pi^e = p^e A \hat{h}^\alpha E^\beta + p^r \phi \hat{h} - p^1 \hat{h} - \tilde{w}E \quad (22)$$

Yhtälöstä (22) voidaan johtaa etanolin tuotannon aikaansaama ohran kysyntä D^e .

Ohran rehukysyntä

Ohran rehukysynnän oletetaan olevan eksogeeninen muuttuja ja siihen vaikuttavat esimerkiksi ohran hinta, vaihtoehtoisten rehujen hinta ja ohrarehusta maksettava hinta. Ohran vuosittaiseksi rehukysynnäksi asetetaan 278 290 tonnia, joka vastaa vuoden 2004 ohran kaupallista rehukysyntää (TIKE 2005b, 20).

Ohran ja vehnän responsifunktiot

Ohran ($i=1$) ja vehnän ($i=2$) tyypiresponsifunktioina käytetään Mitscherlich-funktiota, joka on muotoa $f(l^i, q) = m^i (1 - \gamma^i e^{-\rho^i l^i})$. Maan laatu liittyy tähän lineaarisesti parametrin m^i kautta siten, että $m^i = \mu_0^i + \mu_1^i q$. Responsifunktio ilmoittaa kutakin lannoitemäärää vastaavan hehtaarikohtaisen sadon, kun maan laatu on q . Ohran viljelyala ja ohran tarjonta voidaan johtaa ohran parametrisoidusta tyypiresponsifunktiosta ja yhtälön (7) ensimmäisen kertaluvun ehdoista, jotka määrittävät kriittiset maan laadut \bar{q} ja q^* . (Guyomard, Lankoski & Ollikainen 2006, 20.) Responsifunktiot on kalibroitu Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksessa vastaamaan Suomen maataloustukien A-tukialueen olosuhteita.

Käytettävissä oleva maatalousmaa ja maatalouden tuotanto

Koska maatalouden tuotantoa kuvaava aineisto on kalibroitu koskemaan maatalouden A-tukialueen olosuhteita, tarkastellaan tässä tutkielmassa ainoastaan kyseisen tukialueen maataloustuotantoa ja maatalousmaata. A-tukialue sijoittuu lähes kokonaan Uudenmaan ja Varsinais-Suomen TE-keskusten alueella, joissa kevätvehnän, ohran ja kesannon yhteenlaskettu viljelypinta-ala oli vuonna 2004 yhteensä 272 600 ha, joka vastaa tässä tutkielmassa käytettävää maatalousmaan kokonaismäärää (TIKE 2006a, 107; 110). Ohran tuotanto muualla kuin A-tukialueella on eksogeeninen muuttuja ja se saa arvon 1 298 700 tonnia. Tämä vastaa ohran tuotantoa Suomessa muualla kuin A-tukialueella vuonna 2004. Tulee myös huomata, että 60 % ohran kokonaistuotannosta käytetään suoraan maatiloilla eikä se niin ollen päädy kaupalliseen käyttöön. Siten empiirisessä analyysissä huomioitava eksogeeninen kaupallinen ohran tuotanto θ on 519 480 tonnia.

4.2 Hinta- ja kustannustiedot

Mallin empiiristä soveltamista varten tulee vielä määrittää mallissa tarvittavat hinta- ja kustannustiedot. Seuraavassa selvitetään mistä ja millä tavoin kyseiset tiedot on saatu.

Etanolin hinta, ohrarehun hinta, energian hinta ja viljojen hinnat

Etanolin hintana p^e tullaan käyttämään Euroopan markkinoilla myytävän Euroopassa tuotetun etanolin hintaa. Tätä hintaa seuraa mm. ICIS - yhtiö⁹, jonka mukaan eurooppalaisen polttoaine-etanolin hinta 11.4.2007 oli 727,38 - 759,00 euroa tonnilta (T. Proshkina, henkilökohtainen tiedonanto 18.4.2007). Etanolin hintatiedot pidemmältä aikaväliltä ovat maksullisia, joten tämän tutkielman puitteissa tyydytään käyttämään kyseistä tietoa. Tutkielmassa käytetään hinnan keskiarvoa, joka kilohintana ilmoitettuna on 0,74319 €/ kg.

Rehun hinta on saatu A-Rehulta, joka myy Feedmix Oy:n Koskenkorvan tehtaalla valmistamaa Tähkä-Ohrarehua. Kyseinen kuivarehu valmistetaan Altian Koskenkorvan etanolitehtaan rankista ja sen hinta on 112 €/ t (A-Rehu, 2007). Tämä ilmoitetaan kilohintana 0,112 €/ kg.

Koska etanolitehtaalla käytettävän energian määrä E sisältää sähkön ja lämmön yhteiskulutuksen, tulee etanolitehtaan käyttämän energian hinta \tilde{w} määrittää siten, että se ottaa huomioon sähkön ja höyryn eriävät hinnat. Höyry on katsottu tuotettavan tehtaan omassa voimalaitoksessa turpeella, jolloin höyryn hinnan on tässä tutkielmassa katsottu määräytyvän turpeen ostohinnan perusteella. Etanolitehtaan käyttämän sähkön hinta taas on saatu suoraan sähkön markkinahinnasta suurille teollisuuslaitoksille. Näiden hintojen kautta on laskettu sähkön ja höyryn käytön osuuksien mukaisesti painotettu keskiarvo energian hinnalle, joka on 0,00412 €/ MJ. Tarkempi laskelma on esitetty liitteessä 7.

⁹ ICIS on osa Englantilaista Reed Business Information Limited - yhtiötä joka seuraa useiden eri kemikaalien hintoja Euroopassa ja maailmalla. ICIS internetsivut osoitteessa: www.icis.com ja www.icispricing.com

Vehnän hinnaksi asetetaan 126,28 €/tonnilta, joka vastaa satovuoden 2004/2005 vehnän keskimääräistä hintaa (TIKE 2005b, 14). Parametrisessä mallissa hinta käsitellään kilohintana, jolloin vehnän hinta on 0,12628 €/ kg.

Lannoitteen hinnat ja maatalouden muut kustannukset

Tutkielmassa tarkastellaan optimilannoitustasoa typelle, jolloin lannoitteen hinnaksi tulee asettaa ainoastaan lannoitteen typen osuuden hinta. Typpilannoitteen hinta johdetaan yhdistetystä Y-lannoitteesta ja sen arvoksi annetaan 1,15 €/ kg.

Ohran ja vehnän viljelyn sekä kesannoinnin muut kustannukset esitetään tarkemmin liitteessä 8. Kyseiset arvot on saatu Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksesta ja ne ovat vuodelta 2004 (J. Lankoski, henkilökohtainen tiedonanto 10.8.2007). Liitteessä 8 on näiden arvojen lisäksi yhteenveto kaikista mallissa käytettävistä parametreista.

4.3 Maatalouden tukitasot

On katsottu, että peltobioenergian hyödyntämisen kannattavuuden kannalta maatalouspoliittisilla tukitoimilla on keskeinen asema. Siten maataloustuet parantavat maataloustuotannon ja peltobioenergian käytön kannattavuutta. (MMM 2005, 16.) Maatalouden nykyinen tukijärjestelmä käsittää tilatuen, energiakasvituen, non-food tukijärjestelmän, maatalouden ympäristötuen, luonnonhaittakorvauksen (LFA) ja kansalliset tuet. Näistä kokonaan EU:n rahoittamia ovat tilatuki ja energiakasvituki kun taas ympäristötuki ja luonnonhaittakorvaus ovat EU:n osittain rahoittamia. Tukijärjestelmää ohjataan erilaisten asetusten ja EU:n komission hyväksymien tukiratkaisujen kautta. Näiden lisäksi kullekin tuelle määritellään erinäiset ohjelmakaudet, jotka säätelevät kunkin tukijärjestelmän toimintaa. (MMM 2006b, 21–23.) Suomen maatalouden tukialueet on esitelty liitteessä 2. Tutkielmaan sisällytetään ainoastaan CAP-tilatuki ja luonnonhaittakorvaus. Energiakasvituen ongelmana tämän tutkielman kannalta on rehuohran ja etanoliohran erottaminen toisistaan. Toisin sanoen ohran tarjonnassa, johon kyseinen tukimuoto vaikuttaisi, ei tämän tutkielman puitteissa ole mahdollista eritellä sitä, käytetäänkö tuotettu ohra energiantuotantoon vai rehuksi. Siten myöskään energiakasvitukea ei huomioida. Myöskään ympäristötukea ei ole sisällytetty malliin, sillä siinä täytyy huomioida ympäristötuen perusosan tukiehdot, joihin sisältyy esimerkiksi lannoitusrajoite, suojakaistat ja pientareet (J. Lankoski, henkilökohtainen tiedonanto 1.10.2007). Näitä ei tässä tutkielmassa käsitellä. Tukitasot

ovat vuodelta 2004 ja ne on esitetty liitteessä 8. Tämän vuoden valintaa puoltaa se, että silloin EU:ssa ei ollut vielä siirrytty varsinaiseen tilatukijärjestelmään, johon sisältyy täydentäviä ympäristöllisiä ehtoja (J. Lankoski, henkilökohtainen tiedonanto 1.10.2007). Näiden ehtojen tarkasteleminen tämän tutkielman puitteissa ei ole mahdollista.

4.4 Ilmastovaikutukset

Jotta ilmastovaikutuksia olisi mahdollista tarkastella empiirisesti, tulee yhtälössä (14) esiintyvä kerroin ε määritellä. Se vertaa fossiilisen polttoaineen (benssiinin) yhden energiayksikön valmistuksen ja käytön tuottamaa hiilidioksidimäärää etanolienergiayksikön valmistuksen ja käytön tuottamaan hiilidioksidimäärään. Tarkastelussa tuotantoketju rajataan tutkielman luvun 2 mukaan ohran viljelyn ilmastovaikutuksiin, etanolin tuotannon ilmastovaikutuksiin ja etanolin liikennepolttoainekäytön ilmastovaikutuksiin. Näitä etanolin tuotannon ja käytön hiilidioksidipäästöjä verrataan bensiinin tuotannon ja käytön hiilidioksidipäästöihin. Etanoliuhran viljelyn oletetaan vastaavan täysin rehuuhran viljelyä, jolloin ilmastovaikutuksia ei ole siirryttäessä rehuuhran viljelystä etanoliuhran viljelyyn. Maatalouden kokonaiskasvihuonekaasupäästöt saattavat kuitenkin muuttua siirryttäessä kesannoinnista tai vehnän viljelystä ohran viljelyyn. Tarkastelen aluksi maatalouden ilmastovaikutuksia ja tämän jälkeen siirryn tarkastelemaan etanolin tuotannon ja liikennepolttoainekäytön ilmastovaikutuksia.

Maatalouden ilmastovaikutukset

Viljelyn aiheuttamat ilmapäästöt ovat lähtöisin lannoitteiden valmistuksesta ja käytöstä ja maaperän kasvihuonekaasupäästöistä (Mäkinen ym. 2006, 34–39). Jos oletetaan, että etanolin polttoainetuotanto ei nosta ohran hintaa, ei maatalouden tuotantomääriin tule muutoksia. Toisin sanoen, jos ohran hinta pysyy muuttumattomana etanoliteollisuuden kysynnästä huolimatta, ei maatalouden sisälläkään tapahdu siirtymiä toisen viljelykasvin, esimerkiksi vehnän, viljelystä ohran viljelyyn. Jos taas etanolin tuotanto nostaa ohran hintaa, muuttuu peltokasvien viljelyn suhteellinen kannattavuus. Jos siis ohran hinta nousee, tulee se houkuttelevammaksi viljelykasviksi suhteessa muihin peltokasveihin ja kesannointiin. Siten voidaan olettaa, että ohra korvaa ainakin osan muiden peltokasvien ja kesannoinnin viljelyalasta. Tällä muutoksella on vaikutuksia maatalouden kasvihuonekaasujen kokonaispäästöihin, jolloin näiden päästöjen

muutokset tulisi sisällyttää empiiriseen analyysiin, jos ne osoittautuvat merkittäviksi. Tarkastelen ensiksi maatalouden aiheuttamia kasviuonekaasupäästöjä yleisellä tasolla jonka jälkeen siirryn tarkastelemaan kasviuonekaasupäästöjen muutoksia, jos ohran viljely valtaa alaa vehnän viljelyltä ja kesannoinnilta.

Lannoitteiden valmistuksesta aiheutuu pääasiassa typpioksiduulipäästöjä (N_2O), jota syntyy lannoitteen typen valmistuksessa käytetystä typpihaposta. Mitä enemmän typpeä lannoite sisältää, sitä enemmän sen valmistuksesta myös muodostuu typpioksiduulipäästöjä. On arvioitu, että esimerkiksi Kemiran tiettyjen lannoitteiden valmistuksesta aiheutuu 1 394 - 2 143 kg:n CO_2 -ekv päästöt valmistettua lannoitetonnia kohden. (H. Hero 2005, kirjallinen tiedonanto, Mäkisen ym. 2006, 36 mukaan.)

Lannoitteiden käytön seurauksena maaperästä vapautuvan typpioksiduulin määrää on vaikea arvioida pitävästi. Muodostuvan typpioksiduulin määrään vaikuttaa se, kuinka suuri osa lannoitteen sisältämästä tpeestä muodostaa typpioksiduulia. Tähän taas vaikuttavat sääolosuhteet, maaperä, viljelykasvi ja maan muokkaustapa. Paitsi lannoitteiden levityksestä, typpioksiduulia vapautuu myös eloperäisen aineksen hajotessa maassa mikrobien toiminnan seurauksena. Tämän prosessin voimakkuuteen ja vapautuneen typpioksiduulin määrään vaikuttavat useat tekijät, kuten typen määrä ja kemiallinen olomuoto, pH, kosteus, lämpötila ja maan happitila. (Mäkinen ym. 2006, 34–35.)

Ilmapäästöjä aiheutuu myös peltojen kalkituksesta. Kalkkia käytetään parantamaan maan pH-arvoa. Hiilidioksidipäästöjä muodostuu kalkin sisältämän karbonaatin reagoidessa maaperässä ja päästöjen määrään vaikuttavat käytetyn kalkin määrä ja laatu sekä maaperän ominaisuudet. (Mäkinen ym. 2006, 38.)

Kuten aikaisemmin todettiin, ohraetanolin tuotannon aiheuttaman ohran kysynnän kasvun vaikutuksesta ohran hinta saattaa nousta ja siten muuttaa peltokasvien suhteellisia hintoja. Tällöin voidaan ajatella, että ohran viljely korvaisi esimerkiksi vehnän viljelyä tai kesannointia ja aiheuttaisi siten muutoksia Suomen maatalouden kokonaiskasviuonekaasupäästöihin. Tästä syystä onkin tarpeellista tarkastella ohran ja vehnän viljelyn suhteellisia kasviuonekaasupäästöjä. Tärkein ero ohran viljelyn, vehnän viljelyn ja kesannoinnin välillä on lannoitusintensiivisyys. Mäkinen ym. (2006,

34–35) mukaan peltojen lannoittaminen aiheuttaa suuren osan maatalouden typpioksiduulipäästöistä. Suomen neljännessä maaraportissa Ilmastopöytäkirjalle (Kosonen ym. 2006, 223) ilmoitetaan maatalouden kokonaiskasviuonekaasupäästöiksi 5742,27 Gg CO₂-ekv ja kokonaistyyppioksiduulipäästöiksi 3324,80 Gg CO₂-ekv.¹⁰

Jos oletetaan, että ohran hinnan nousun seurauksena, ceteris paribus, eteläisen Suomen koko syys- ja kevätvehnän viljelypinta-ala korvautuu ohralla, Suomen maatalouden kokonaiskasviuonekaasupäästöt vähenisivät noin 0,31 %. Tämä jakautuu siten, että maatalouden lannoituksesta aiheutuvat typpioksiduulipäästöt vähenevät 0,18 % ja lannoitteen valmistuksen päästöt 0,13 % suhteutettuna maatalouden kokonaiskasviuonekaasupäästöihin. Jos lisäksi oletetaan, että ohran hinnan nousun seurauksena koko eteläisen Suomen kesantoala korvautuisi ohralla, nousisivat maatalouden kokonaispäästöt tämän seurauksena 1,15 %, josta 0,70 % on maatalouden typpioksiduulipäästöistä aiheutuvaa ja 0,45 % lannoitteiden käytön lisäyksestä aiheutuvaa muutosta. Laskelmissa on tarkasteltu viljojen viljelyä ja kesannointia viljelyvyöhykkeillä 1 ja 2 ja lannoitusintensiteettien on oletettu määräytyvän lannoitussuosituksissa annettujen muuttujien, kuten lajikkeen ja maalajin mukaan. Keskimääräisten lannoiteintensiteettien laskennassa on käytetty lajikkeiden ja maalajien yleisyyden mukaan painotettua keskiarvoa. Tarkemmat laskelmat on esitetty liitteessä 9.

Näiden karkeiden arvioiden perusteella voidaan todeta, että siirtyminen vehnän viljelystä ohran viljelyyn ei merkittävästi vaikuta maatalouden kokonaiskasviuonekaasupäästöihin. Jos koko eteläisen Suomen kevätvehnän viljelyala ja kesantoala korvattaisiin ohralla, kasviuonekaasupäästöt lisääntyisivät 0,87 % (1,18 % - 0,31 %). Oletus, että ohra korvaisi vehnän koko viljelyalan ja kesannointialan ei kuitenkaan ole perusteltu. Kanadassa on arvioitu, että liikennepolttoaineena käytettävän ohraetanolin valmistus nostaisi ohran maailmanmarkkinahintaa noin 5 % (Flick 2007, 24). Hinnan nousu on suhteellisen pieni, jos sitä verrataan esimerkiksi ohran hinnan kausittaisiin heilahteluihin. Vuonna 2006 ohran hinta vaihteli noin 100 ja 115 euron välillä tonnilta (TIKE 2007b, 2). Tämä vastaa 15 % hinnanvaihtelua. On myös arvioitu, että vehnän maailmanmarkkinahintaan kohdistuisi nousupaineita etanolin tuotannon

¹⁰ Typpioksiduulin päästökerroin (Global warming potential GWP) on 298. (esim. Mäkinen ym. 2006, 31.)

seurauksena. Samaisessa kanadalaisessa tutkimuksessa arvioitiin, että vehnän hinta tulisi nousemaan suunnilleen yhtä paljon kuin ohran hinta (Flick 2007, 24). Samoin OECD:n tuottamassa tutkimuksessa (OECD 2006, 31) arvioitiin, että viljojen maailmanmarkkinahinnat voisivat nousta noin 4 % biopohjaisten liikennepolttoaineiden käytön seurauksena. Siten siis ohran ja vehnän suhteellinen hinta ei juuri muuttuisi etanolin valmistuksen seurauksena. Näiden argumenttien perusteella voidaan todeta, että vaikka ohra tulisi Suomessa korvaamaan vehnän viljelyä, ei odotettu hintojen muutos tule vaikuttamaan maatalouden tuotantorakenteisiin niin voimakkaasti, että sillä olisi merkittävää vaikutusta maatalouden kokonaiskasvihuonekaasupäästöjen määrään. Täten ohran mahdollisten hinnan- ja viljelyalojen muutosten vaikutukset maatalouden kasvihuonekaasupäästöihin sivuutetaan tässä tutkielmassa kokonaisuuden kannalta merkityksettömänä.

Etanolin tuotanto ja liikennepolttoainekäyttö

Etanolin teollista tuotantoa ja liikennepolttoainekäyttöä tulee verrata etanolilla korvattavaan fossiilisen polttoaineen, eli bensiinin, tuotantoon ja liikennepolttoainekäyttöön. Edwards ym. (2006a) ovat arvioineet, että bensiinin tuotannossa aiheutuu kasvihuonekaasupäästöjä 11,727 g CO₂-ekv / MJ. Lisäksi bensiinin käytöstä liikennepolttoaineena aiheutuu kasvihuonekaasupäästöjä. Liikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmän (Mäkelä, Laurikko & Kanner 2006, 27) mukaan yhden bensiinilitran polttaminen tuottaa 2400 g CO₂-ekv päästöjä joka vastaa 74,303 g CO₂-ekv / MJ. Siten bensiinin aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt ovat yhteensä 86,037 g CO₂-ekv / MJ (saatu summana: 11,727 g CO₂-ekv / MJ + 74,303 g CO₂-ekv / MJ). Sama on esitetty taulukossa 4.1.

Taulukko 4.1 Polttoaineiden valmistuksen ja käytön CO₂-päästöt

CO ₂ -päästöt	Polttoaine	
	Bensiini	Etanoli
Valmistus (g CO ₂ -ekv/MJ)	11,727	54,531
Käyttö (g CO ₂ -ekv/MJ)	74,303	0
Yhteensä (g CO₂-ekv/MJ)	86,037	54,531

Etanoli on biopohjainen liikennepolttoaine, eikä sen katsota aiheuttavan poltettaessa kasvihuonekaasupäästöjä, koska etanoliiin sitoutunut hiili on osa hiilen suljettua kiertoa. Näin etanolin kasvihuonekaasupäästöjä arvioitaessa tulee huomioida ainoastaan etanolin

tuotannon kasvihuonekaasupäästöt. Tarkastelun alkuarvot on otettu Mäkinen ym. (2006) tutkimuksesta. Sen mukaan etanolitehtaan, joka tuottaa 47 400 tonnia etanolia vuodessa, sähkön tarve on 19 700 MWh / a (70 920 GJ / a) ja höyryn tarve 500 000 GJ / a. Esimerkiksi Altian Ilmajoen suunnitteilla ollut etanolitehdas sijaitsee alueella, jossa sekä sähkö että höyry tuotetaan turpeella. Vaskiluodon Voiman mukaan sen Seinäjoella sijaitseva voimalaitos tuottaa sähkön pääasiassa turpeella, ainoastaan 7 % sen käyttämästä polttoaineesta on biopohjaista (Vaskiluodon Voima Oy 2005). Siten turpeella tuotetun sähkön osuus on 65 955 GJ / a (70 920 * (1-0,07)) Altian Koskenkorvan tehtaan käyttämästä sähköstä. 47 400 tonnin etanolituotantoon tarvitaan turvepohjaista energiaa yhteensä 565 955 GJ / a (500 000 GJ / a + 65 955 GJ / a). Turpeen energiatuotannon hyötysuhteen voidaan olettaa olevan 87,5 % (Flyktman & Helynen, 2004), jolloin tarvittavan turpeen kokonaisenergiasisällön tulee olla 646 806 GJ / a (565 955 / 0,875). Kun tämä jaetaan etanolin vuosituotannolla, saadaan yhden etanolitonin valmistamiseksi tarvittava turpeen energiasisältö, joka on 13,646 GJ / t (646 806 / 47 400). Turpeen ominaispäästökerroin on 105,9 g CO₂ / MJ. Tästä on mahdollista laskea, että yhden megajoulen energiaa sisältävän etanolimäärän valmistaminen tuottaa 54,531 g CO₂-ekv päästöjä. Tämä on esitetty taulukossa 4.1.

Yhtä etanolitonnia vastaavan energiamäärän valmistus ja käyttö bensiininä tuottaa yhteensä 2280 kg CO₂-ekv päästöt (26,5 GJ / t * 86,037 kg CO₂ / GJ). Jos taas etanolitonnia vastaava energiamäärä tuotetaan ja käytetään etanolina, hiilidioksidipäästöt ovat 1445 kg CO₂-ekv (26,5 GJ / t * 54,531 kg CO₂ / GJ). Valmistettaessa ja käytettäessä yhtä etanolitonnia vastaava energiamäärä bensiiniä, ovat hiilidioksidipäästöt 835 kg suuremmat kuin etanolin valmistuksen ja käytön päästöt. ϵ -kerroin saa siten arvon 0,835. Kun bensiinistä siirrytään etanoliin, vähenevät hiilidioksidipäästöt 0,835 tonnia jokaista tuotettua etanolitonnia kohti.

Yhteiskunnan arvostusta hiilidioksidipäästöjen vähentämisestä voidaan mitata Euroopan Unionin sisäisen päästökaupan päästöoikeuden hinnalla. Vuoden 2008 alkavan uuden päästökauppajakson päästöoikeuden hintaa voidaan tarkastella EUA-08 forwardin¹¹ avulla. Tämän päästökauppainstrumentin hinta on ollut noin 20 € / t CO₂. Yhtä

¹¹EUA = European Union Allowances (1 EUA = 1 t CO₂). EUADEC-08 markkinainstrumentilla käydään kauppaa vuoden 2008 päästöoikeuksista. Katso esimerkiksi www.nordpool.com.

etanolitonna energiasisällöltään vastaavan bensiinimäärän korvaaminen etanolilla tuottaa siten 16,70 € säästöt yhteiskunnalle ($20 \text{ €} / \text{t CO}_2 * 0,835$). Päästöoikeuden hinnan käyttöön tulee kuitenkin suhtautua tietyllä varauksella. Koska kysymyksessä on Euroopan Unionin laajuinen päästökauppa, on mahdollista että päästöoikeuden hinta ei kuvaa tarkasti kasviuonekaasujen päästövähennämisen arvostusta Suomessa. Toisin sanoen yhteiskunnan arvostus kasviuonekaasupäästöjen vähentämisestä Suomessa voi poiketa koko Euroopan Unionin vastaavasta arvostuksesta, jota päästöoikeuden hinta kuvaa. Päästöoikeuden hinta on kuitenkin helposti saatavilla ja se on markkinamekanismin luoma, joten sen käyttö on tämän tutkielman puitteissa perusteltua.

5 EMPIIRINEN ANALYYSI

Tässä luvussa sovelletaan luvussa 4 esiteltyä empiiristä aineistoa luvun 3 teoreettiseen viitekehykseen. Aluksi tarkastelen etanolin- ja ohran tuotannon yksityistaloudellista optimia ja markkinatasapainoa. Tämän jälkeen siirryn tarkastelemaan etanolin tuotannon yhteiskunnallista optimia ja ohran yhteiskunnallista markkinatasapainoa. Lopuksi keskityn vielä etanolin tuotannon yhteiskunnallisen optimin saavuttamiseksi vaadittaviin ohjauskeinoihin.

5.1 Yksityistaloudellinen optimi

Ohran kysyntä

Ohran etanolikysynnän selvittämiseksi sijoitetaan luvussa 4 esitellyt etanolin ja rehun parametriset tuotantofunktiot yksityistaloudellisiin optimiehtoihin (2) ja (3). Tällöin parametriset ensimmäisen kertaluvun ehdot ovat muotoa

$$\pi_h^e = p^e \alpha A \hat{h}^{\alpha-1} E^\beta + p^r \phi - p^1 = 0 \quad (23)$$

$$\pi_E^e = p^e \beta A \hat{h}^\alpha E^{\beta-1} - \tilde{w} = 0 \quad (24)$$

Yhtälöistä (23) ja (24) on mahdollista ratkaista ohran yksityistaloudellisesti optimaalinen etanolikysyntä, joka on muotoa

$$D^e = \hat{h} = A^{\left(\frac{1}{1-\alpha-\beta}\right)} \left(\frac{\alpha p^e}{p^1 - p^r \phi}\right)^{\left(\frac{1-\beta}{1-\alpha-\beta}\right)} \left(\frac{\beta p^e}{\tilde{w}}\right)^{\left(\frac{\beta}{1-\alpha-\beta}\right)} \quad (25)$$

Kuten jo aikaisemmin todettiin, ohran rehukysynnän katsotaan olevan eksogeeninen muuttuja, joka sai arvon 278 290 tonnia. Siten ohran kokonaiskysyntäkäyräksi saadaan

$$\bar{D} = A^{\left(\frac{1}{1-\alpha-\beta}\right)} \left(\frac{\alpha p^e}{p^1 - p^r \phi}\right)^{\left(\frac{1-\beta}{1-\alpha-\beta}\right)} \left(\frac{\beta p^e}{\tilde{w}}\right)^{\left(\frac{\beta}{1-\alpha-\beta}\right)} + 278290000 \quad (26)$$

Yhtälössä (26) ohran rehukysynnän arvo on muutettu kiloiksi, koska kaikki hinnat on myös ilmoitettu kilohintoina.

Ohran tarjonta

Ohran tarjontaa tarkasteltaessa huomiota kiinnitetään ainoastaan A-tukialueen ohran tarjontaan. Muu tarjonta katsotaan eksogeeniseksi, koska käytettävä aineisto on kalibroitu vastaamaan Etelä-Suomen A-tukialueen olosuhteita. Ohran tarjonta siis perustuu maataloustuotantoa kuvaavaan aineistoon, jossa viljojen satotasot riippuvat lannoitemääristä ja maan laadusta. Empiirisessä analyysissä tarkastellaan ainoastaan viljelijän yksityistaloudellista optimiratkaisua, jossa maatalouden tukia ei oteta huomioon. Aineistosta johtuen ohran tarjontakäyrä muodostuu portaittaiseksi ja on mahdollista, että yksityis- tai yhteiskunnallista optimia ratkaistaessa päädytään tilanteeseen, jossa ohran kysyntä ja tarjonta eivät ole tasapainossa. Toisin sanoen yksikäsitteistä markkinatasapainoa ei löydy. Tästä syystä ohran tarjontakäyränä tullaan käyttämään lineaarista approksimaatiota varsinaisesta portaittaisesta ohran tarjontakäyrästä. Tarjontakäyrän konstruointia esitetään liitteessä 10. Empiirisessä analyysissä käytettävä ohran tarjontakäyrä on muotoa

$$S : h = \frac{(p^1 - 0,1053)}{1,49450 \cdot 10^{-11}} + \theta, \quad (27)$$

jossa yhtälön ensimmäinen termi kuvaa ohran tarjontaa A-tukialueella kun taas jälkimmäinen termi θ on ohran eksogeeninen tarjonta muualla Suomessa. Eksogeenisen tarjonnan suuruus määriteltiin luvussa 4.

Markkinatasapaino

Ohran yksityistaloudellisen markkinatasapainon ratkaisemiseksi ja ohran hinnan selvittämiseksi asetetaan yhtälöt (26) ja (27) yhtä suuriksi. Näin saadaan ratkaistua ohran tasapainohinta p^1* ja sitä kautta myös maataloustuotantomäärät ja etanolin tuotantomäärät.

Taulukko 5.1 Yksityistaloudellinen optimi

	Yksityistaloudellinen optimi
Kysyntä	
Ohran hinta p^{1*} (€/kg)	0,10553
Etanolin tuotanto	
Etanolin tuotanto(t)	58 691
Rehun tuotanto (t)	66 786
Energian kysyntä (GJ)	952 835
Ohran kysyntä (t)	256 868
Rehun tuotanto	
Ohran kysyntä (t)	278 290
Kokonaiskysyntä	535 158
Tarjonta	
Maataloustuotanto A-tukialueella	
Viljelyosuudet K:O:V	5:1:13
Lannoitus (kg/ha)	98,44
Sato (kg/ha)	3 446
Ohran viljelyala (ha)	14 347
Ohran tarjonta (t)	19 776
Ohran tarjonta, lineaarinen (t)	15 678
Muu Suomi	
Ohran eksogeeninen tarjonta (t)	519 480
Kokonaistarjonta	535 158

Taulukossa 5.1 esitetään etanolin tuotannon ja ohran maataloustuotannon yksityistaloudellisesti optimaaliset määrät. Yksityistaloudellisessa optimiratkaisussa ohran kysyntä ja tarjonta ovat yhtä suuret saaden arvon 535 158 tonnia. Tällöin ohran hinnaksi muodostuu 105,53 euroa tonnilta. Ohran tarjonnassa tulee huomioida se, että lineaarisen approksimaation tuottama ohran tarjonta on 15 678 tonnia kun taas maataloutta kuvaavan aineiston tuottama ohran tarjonta samalla ohran hinnalla on 19 776 tonnia. Ohrasta on siis ylitarjontaa 4 098 tonnia. Tässä tulee kuitenkin muistaa, että maataloustuotantoa tarkasteltaessa mielenkiinto kohdistuu ohran hinnan muutoksiin yksityisen ja yhteiskunnallisen optimin välillä, eikä ohran kokonaistarjonnan tarkastelu ole analyysin tärkein tulos.

Etanolin tuotannosta voidaan todeta, että 58 691 tonnin etanolin tuotantomäärä vastaa suunnilleen esimerkiksi Ilmajoelle suunnitella olleen ohraetanolitehtaan vuosittaista kapasiteettia (Pöyry 2006a). Myös Mäkisen ym. (2006, 86) mukaan Suomessa käynnissä olleet laitoshankkeet vastaavat kapasiteettiltaan tämän kokoluokan laitoksia. Jos etanolin tuotantoluvuista tarkastellaan tuotetun etanolin ja käytetyn ohran suhdetta,

nähdään että yhdestä tonnista ohraa saadaan noin 232 kg etanolia. Tämä vastaa riittävällä tarkkuudella luvussa 2.2 (sivut 21–22) esiteltyä etanolin tuotannon massatasetta. Vastaavasti tarkasteltaessa tuotannossa käytetyn ohran suhdetta käytettyyn energiaan, nähdään että yhden ohratonnin prosessointi kuluttaa energiaa noin 3763 GJ. Kirjallisuudessa esitetyt arviot vaihtelevat noin 3100 GJ ja 4260 GJ välillä (esim. Mäkinen 2006, 86–87 ja Pöyry 2006b), joten myös tämä arvo vastaa todellisuutta riittävällä tarkkuudella. Kuten jo aikaisemmin todettiin, ohrarankista valmistettava eläinten rehu on merkittävä sivutuote etanolin tuotantoprosessissa. Yksityistaloudellisissa optimissa etanolitehdas tuottaa rehua 64 924 tonnia jonka se oletuksen mukaan saa myytyä markkinoilla vakiohinnalla.

Taulukko 5.2 Maataloustuotanto yksityistaloudellisissa optimissa

	Kesanto	Ohra	Kevätvehnä
Viljelyosuus	5/19	1/19	13/19
Viljelyala (ha)	71 737	14 347	186 516
Lannoitus (kg/ha)¹	0	98,44	137,47 (131,13 - 143,56)
Sato (kg/ha)¹	0	3 446	3 927 (3 617 - 4 237)
Voitot, ilman tukia (€/ha)^{1,2}	-34,80	-32,46	12,24 (-26,67 - 51,15)
Voitot, tuilla (€/ha)^{1,3}	319,20	386,54	431,24 (392,33 - 470,15)

¹) Taulukossa ilmoitetut arvot ovat keskiarvoja ja suluissa ilmoitetaan vaihteluväli maan laatuluokkien kesken.

²) Voitot ilman tukia on laskettu yhtälöstä (7) siten, että parametriin \hat{K} ei ole sisällytetty maatalouden tukia.

³) Voitot ilman tukia on laskettu yhtälöstä (7) siten, että parametriin \hat{K} sisältyvät maatalouden tuet.

Taulukosta 5.2 tarkastellaan lähemmin maataloustuotantoa A-tukialueella. Yksityistaloudellisissa optimissa kesannoinnin osuus on 5/19, ohran viljelyn 1/19 ja kevätvehnän viljelyn 13/19. Täten siis suurin osa peltoalasta on kevätvehnää. Lannoitus- ja satotasot sekä voitot on laskettu keskiarvoina kunkin viljakasvin kaikkien viljelyosuuksien vastaavista tiedoista. Koska ohran viljelyyn jää ainoastaan yksi osuus, vastaavat lannoitus- ja satotaso sekä hehtaarikohtainen voitto juuri tuon osuuden vastaavia lukuja. Ohran taloudellisesti optimaalisesta lannoitemäärästä voidaan todeta,

että se on jonkin verran korkeampi kuin ympäristötuen ehtojen mukainen 90 kg / ha lannoitemäärä karkeille kivennäismaille. Toisaalta taloudellisesti optimaalinen lannoitus on alempi, kuin ympäristötuen sallima 100 kg / ha lannoitus savi- ja hiesumaille. Kevätvehnän kohdalla vastaavat ympäristötuen mukaiset korkeimmat sallitut lannoitemäärät ovat 110 kg / ha karkeille kivennäismaille ja 120 kg / ha savi- ja hiesumaille. Siten taloudellisesti optimaalinen kevätvehnän lannoitus on huomattavasti korkeampi kuin ympäristötuen ehtojen sallima lannoitemäärä.

Ohran viljelyn voiton negatiivisuus kertoo, että ilman maatalouden tukia maanviljelijän ei kannattaisi viljellä ohraa. Toisaalta maatalouden tukien lisääminen malliin nostaa hehtaarikohtaiset voitot positiivisiksi. Kesannoinnin kohdalla voitot ovat vakiot kullakin maan laadulla. Siten kesannoinnin voitot ilman tukia ja tukien kanssa ovat yhtä suuret kullakin viidellä peltolohkolla, jotka jätetään kesannolle. Kevätvehnä on ainoa pellonkäyttömuoto, joka tuottaa positiiviset voitot myös ilman maatalouden tukia. Voitot tosin vaihtelevat lohko kohtaisesti -26,67 €/ha ja 51,15 €/ha välillä keskiarvon ollessa 12,24 €/ha. Jos maatalouden tuet huomioidaan, nousevat kevätvehnän hehtaarikohtaiset voitot yli 430 euron. Kun vertaillaan kevätvehnän ja ohran lannoitustasoa nähdään, että kevätvehnälle on optimaalista lisätä typpilannoitetta lähes 40 kg/ha enemmän kuin ohralle. Tämän voi olettaa aiheuttavan huuhtoumahaittoja, jotka oli kuitenkin rajattu tämän tutkielman ulkopuolelle eivätkä ne siten vaikuta tutkielman tuloksiin.

5.2 Yhteiskunnallinen optimi

Ohran kysyntä

Yhteiskunnallisessa optimissa huomioidaan myös etanolin tuotannon ilmastovaikutukset yhtälössä (14) $b = b(\varepsilon(\hat{h}, E))$ esitetyn yleisen arvostusfunktion mukaisesti. Yhdistetään luvussa 4 esitetty etanolin parametrinen tuotantofunktio yhteiskunnallista optimia kuvaaviin ensimmäisen kertaluvun ehtoihin (15a) ja (15b)

$$SW_{\hat{h}} = p^e \alpha A \hat{h}^{\alpha-1} E^{\beta} + p^r \phi - p^1 + b \varepsilon \alpha A \hat{h}^{\alpha-1} E^{\beta} = 0 \quad (28)$$

$$SW_E = p^e \beta A \hat{h}^{\alpha} E^{\beta-1} - \tilde{w} + b \varepsilon \beta A \hat{h}^{\alpha} E^{\beta-1} = 0 \quad (29)$$

Yhtälöistä (28) ja (29) on mahdollista ratkaista yhteiskunnan kannalta optimaalinen ohran käyttömäärä etanolateollisuudessa. Tästä saadaan myös yhteiskunnallinen ohran etanolikysyntä, joka on muotoa

$$D^{e^{sw}} = \hat{h}^{sw} = A \left(\frac{1}{1-\alpha-\beta} \right) \left(\frac{\alpha(p^e + b\varepsilon)}{p^1 - p^r \phi} \right)^{\left(\frac{1-\beta}{1-\alpha-\beta} \right)} \left(\frac{\beta(p^e + b\varepsilon)}{\tilde{w}} \right)^{\left(\frac{\beta}{1-\alpha-\beta} \right)} \quad (30)$$

Jos yhtälöä (30) verrataan yksityistaloudelliseen optimiin (25) nähdään, että erona on ainoastaan termi $b\varepsilon$, joka kuvaa yhden etanoliyksikön valmistuksen ja käytön ilmastovaikutusten arvostusta. Arvostuksen b nousu kasvattaa siten yhteiskunnallisesti optimaalista ohran etanolikysyntää.

Ohran rehukysynnässä ei tapahdu muutoksia etanolituotannon ilmastovaikutusten huomioimisen seurauksena, jolloin ohran yhteiskunnallisesti optimaalinen kokonaiskysyntä voidaan kirjoittaa muodossa

$$\bar{D}^{sw} = A \left(\frac{1}{1-\alpha-\beta} \right) \left(\frac{\alpha(p^e + b\varepsilon)}{p^1 - p^r \phi} \right)^{\left(\frac{1-\beta}{1-\alpha-\beta} \right)} \left(\frac{\beta(p^e + b\varepsilon)}{\tilde{w}} \right)^{\left(\frac{\beta}{1-\alpha-\beta} \right)} + 278290000 \quad (31)$$

Ohran tarjonta

Ohran etanolikäytön ilmastovaikutusten huomioiminen ei vaikuta suoraan ohran tarjontakäyrän muotoon. Toisin sanoen ohran tarjontakäyrä ei muutu yksityistaloudelliseen optimiratkaisuun verrattuna. Ainoastaan ohran tarjonnan taso muuttuu, koska ohran etanolikäytön ilmastovaikutusten huomioimisen vaikutuksesta ohran etanolikysynnän taso muuttuu. Ohran tarjontaa kuvaa siis edelleen yhtälö (27)

$$S : h = \frac{(p^1 - 0,1053)}{1,49450 \cdot 10^{-11}} + \theta.$$

Yhteiskunnallinen optimi

Ohran yhteiskunnallisen kysynnän ja tarjonnan tasapainon selvittämiseksi asetetaan yhtälöt (31) ja (27) yhtä suuriksi. Näin saadaan selvitettyä ohran tasapainohinta,

etanolin tuotantotiedot ja maataloustuotannon muutokset verrattuna yksityistaloudelliseen optimiin. Kyseiset tiedot on esitetty taulukossa 5.3.

Taulukko 5.3 Yhteiskunnallinen optimi

	Yksityistaloudellinen optimi	Yhteiskunnallinen optimi
Kysyntä		
Ohran hinta (€/kg)	0,10553	0,10738
Etanolin tuotanto		
Etanolin tuotanto(t)	58 691	72 736
Rehun tuotanto (t)	66 786	98 970
Energian kysyntä (GJ)	952 835	1 446 201
<i>Ohran kysyntä (t)</i>	<i>256 868</i>	<i>380 665</i>
Rehun tuotanto		
<i>Ohran kysyntä (t)</i>	<i>278 290</i>	<i>278 290</i>
Kokonaiskysyntä	535 158	658 945
Tarjonta		
Maataloustuotanto A-tukialueella		
Viljelyosuudet K:O:V	5:1:13	4:7:8
Lannoitus (kg/ha)	98,44	100,83
Sato (kg/ha)	3 446	3 552
Ohran viljelyala (ha)	14 347	100 432
<i>Ohran tarjonta (t)</i>	<i>19 776</i>	<i>142 706</i>
<i>Ohran tarjonta, lineaarinen (t)</i>	<i>15 678</i>	<i>139 465</i>
Muu Suomi		
<i>Ohran eksogeeninen tarjonta (t)</i>	<i>519 480</i>	<i>519 480</i>
Kokonaistarjonta	535 158	658 945

Taulukosta 5.3 selviää, että oletusten mukaisesti ohran kysynnän kasvaessa myös ohran hinta nousee. Yhteiskunnallisesti optimaalinen ohran hinta on 107,38 €/ t, joka on lähes 2 euroa tonnilta enemmän kuin yksityistaloudellisessa optimissa. Prosentuaalisesti hinnan nousu on noin 1,8 %. Siten tämän tutkielman mukaan ohran hinnan nousu olisi maltillisempaa, kuin luvussa 4.4 tarkastellun tutkimuksen (Flick 2007) 5 % ohran hinnan nousu. Tähän eroon vaikuttaa osaltaan se, että tässä tutkielmassa ohran rehukysynnän on katsottu olevan eksogeeninen komponentti, jolloin sen määrä ei muutu ohran hinnan muutoksen seurauksena. Siten rehukysynnällä ei ole suoranaista vaikutusta ohran hintaan. Lisäksi tulee huomioida, että myös vehnän hinta on eksogeeninen komponentti tässä tutkielmassa. Yhteiskunnallisessa optimissa, jossa vehnän tarjonta vähenee verrattuna yksityiseen optimiin, vehnän hintaan kohdistuu nousupaineita, joita tässä tutkielmassa ei tarkastella. Vehnän hinnan nousu saattaisi

nostaa myös ohran hintaa yhteiskunnallisessa optimissa, jolloin ohran hinta nousisi enemmän kuin 1,8 %.

Yhteiskunnallisessa optimissa etanolin tuotantomäärä on suurempi kuin yksityistaloudellisessa optimissa, kasvua on lähes 15 000 tonnia. Vastaavasti myös rehun tuotanto kasvaa ja energian sekä ohran käytöt etanolin raaka-aineena lisääntyvät. Kokonaisuudessaan yhteiskunnallisessa optimissa ohran kysyntä on 658 945 tonnia kun se yksityistaloudellisessa optimissa oli 535 158 tonnia. Siten ohraetanolin valmistuksen ja käytön ilmastovaikutusten huomioiminen kasvattaa ohran kysyntää noin 23,1 prosenttia. Yhteiskunnallisessa optimiratkaisussa oletetaan, että kasvaneen etanolintuotannon aiheuttama rehun tuotannon lisäys saadaan myytyä markkinoilla vakiohinnalla eikä muu rehun tuotanto supistu ohrarehun tuotannon lisäyksen vaikutuksesta.

Taulukko 5.4 Maataloustuotanto yhteiskunnallisessa optimissa

	Kesanto	Ohra	Kevätvehnä
Viljelyosuus	4/19	7/19	8/19
Viljelyala (ha)	57 389	100 432	114 779
Lannoitus (kg/ha)¹	0	100,83 (98,78 - 102,84)	140,07 (136,50 - 143,56)
Sato (kg/ha)¹	0	3 552 (3 409 - 3 695)	4 056 (3 875 - 4 237)
Voitot, ilman tukia (€/ha)^{1,2}	-34,80	-15,95 (-31,20 - -0,70)	28,45 (5,76 - 51,15)
Voitot, tuilla (€/ha)^{1,3}	319,20	403,05 (387,80 - 418,30)	447,45 (424,76 - 470,15)

¹⁾ Taulukossa ilmoitetut arvot ovat keskiarvoja ja suluissa ilmoitetaan vaihteluväli maan laatuluokkien kesken.

²⁾ Voitot ilman tukia on laskettu yhtälöstä (15) siten, että parametriin \hat{K} ei ole sisällytetty maatalouden tukia.

³⁾ Voitot ilman tukia on laskettu yhtälöstä (15) siten, että parametriin \hat{K} sisältyvät maatalouden tuet.

Taulukossa 5.4 tarkastellaan maataloustuotantoa yhteiskunnallisen optimin oloissa. Yksityistaloudelliseen optimiin verrattuna ohran viljelyosuus on noussut yhdestä peltolohkosta seitsemään peltolohkoon. Vastaavasti kesannointiala on kaventunut yhden peltolohkon verran ja kevätvehnän viljelyala viiden lohkon verran. Mallissa vehnän

hinta oletettiin eksogeeniseksi muuttujaksi, jolloin se ei muutu vaikka vehnän tarjonta supistuu. Todellisuudessa vehnän hinta muuttuisi supistuneen tarjonnan vaikutuksesta ja tällä olisi vaikutusta maataloustuotantoon. Vehnän hinnan muutoksia ei kuitenkaan tarkastella tämän mallin kehikossa, sillä se tekisi mallista ainakin jossain määrin monimutkaisemman ja saattaisi heikentää mallin havainnollisuutta.

Hehtaarikohtaiset viljelyalat muuttuvat viljelyosuuksien muutoksia vastaavasti A-tukialueella. Yhteiskunnallisessa optimissa kevätevehnällä on siis edelleen eniten viljelyosuuksia. Jos taas tarkastellaan lannoitusmääriä, ohran optimaalinen lannoitus on noussut yli 2 kiloa yksityiseen optimiin nähden. Vastaavasti vehnän lannoitus nousee lähes 3 kiloa. Vehnän kohdalla hehtaarikohtaisen lannoitusmäärän nousu johtuu siitä, että kevätevehnältä ohralle siirtyneet peltolohkot ovat laadultaan huonoimpia, joilla vehnää on viljelty ja joiden optimaaliset lannoitusmäärät ovat olleet vähäisimmät. Vastaavasti ohran lannoitusmäärien nousu johtuu siitä, että viisi ohran viljelyyn siirtyneistä kuudesta peltolohkosta ovat laadultaan parempia kuin yksityistaloudellisen optimin ainoa ohralle jäänyt peltolohko, jolloin niitä on myös optimaalista lannoittaa enemmän. Ohran optimaalista lannoitustasoa yhteiskunnallisessa optimissa nostaa myös ohran kohonnut hinta.

Ohran ja kevätevehnän satotasojen kohdalla tilanne on sama kuin lannoitusintensiiteettien tapauksessa. Keskimääräinen satotaso vehnällä nousee verrattuna yksityistaloudelliseen optimiin, koska laadultaan huonoimmat peltolohkot siirtyvät ohran viljelyyn. Ohran kohdalla taas keskimääräinen satotaso nousee, koska sen viljelyyn siirtyvät peltolohkot ovat yksityistaloudellisen optimin peltolohkoa parempilaatuisia.

Yhteiskunnallisessa optimissa ainoastaan kevätevehnästä saatavat hehtaarikohtaiset voitot ovat positiivisia. Kevätevehnän kohdalla keskimääräinen hehtaarikohtainen voitto on kasvanut yli 100 prosenttia yksityistaloudelliseen optimiin verrattuna. Tämä on seurausta samoista asioista kuin lannoitusmäärien ja satotason kohdalla. Ohran viljely ilman maatalouden tukia on edelleen kannattamatonta, samoin kesannointi. Jos tähän tutkielmaan sisällytetyt maatalouden CAP-tilatuki ja luonnonhaittakorvaus huomioidaan tuloksissa, ovat kevätevehnän hehtaarikohtaiset voitot noin 14 € suuremmat kuin yksityistaloudellisessa optimissa. Vastaavasti ohran hehtaarikohtaiset voitot ovat noin 16 € suuremmat kuin yksityistaloudellisessa optimissa. Lopuksi voidaan todeta, että

ohran suhteellisen vähäinen hinnan nousu 105,53 eurosta 107,38 euroon tonnilta kasvatti ohran viljelyosuutta suhteellisen paljon ja samalla se pienensi kevätvehnän viljelyalaa. Voidaankin todeta, että maataloustuotantoa kuvaava aineisto on suhteellisen herkkää ohran hinnan muutoksille.

Yhtälön (15) mukainen hyvinvointitaso yhteiskunnallisessa optimissa on -136 107 € Hyvinvointitason negatiivisuus johtuu maataloustuotannon tappiollisuudesta ilman maatalouden tukia. Yksityisessä optimissa hyvinvointitaso on -319 483 € ja myös tässä negatiivisuus johtuu maataloustuotannon tappiollisuudesta. Yksityinen hyvinvointi on laskettu summana etanolin tuottajien ja maataloustuottajien yksityisen optimin mukaisista voitoista. Yhteiskunnallisen hyvinvoinnin muodostuminen on esitetty tarkemmin taulukossa 5.5.

Taulukko 5.5 Yhteiskunnallinen hyvinvointi

	Yksityinen optimi €	Yhteiskunnallinen optimi €	Muutos %
Etanolin tuottaja (π^e)	20 065	18 307	-8,76 %
Maanviljelijät (PV)	-339 548	-166 560	50,95 %
Ilmastohyödyt (b)	0	12 147	
Yhteensä	-319 483	-136 107	57,40 %

Hyvinvointitasoista voidaan todeta, että etanolin tuottajan voitot ovat pienemmät yhteiskunnallisessa optimissa kuin yksityisessä optimissa. Toisaalta taas maataloustuottajien voittojen negatiivisuus on huomattavasti pienempi, kun yhteiskunnallista optimia verrataan yksityiseen optimiin. Siten suurin osa yhteiskunnallisen optimin korkeammasta hyvinvointitasosta johtuu juuri maataloustuotannon kannattavuuden parantumisesta eikä niinkään etanolin ilmastohyötyjen huomioimisesta. Hyvinvointitasoja tarkasteltaessa hyvinvointitasojen absoluuttiset arvot eivät ole tärkeimmät tarkasteltavat asiat vaan huomiota tulee kiinnittää tasojen suhteellisiin muutoksiin. Rehun tuottajan voittoja ei ole tässä tarkasteltu, koska rehun tuotannon on katsottu olevan eksogeeninen muuttuja eikä rehun tuottajan voittojen muodostumista ole tässä tutkielmassa tarkemmin analysoitu.

5.3 Ohjauskeinovalikoima

Seuraavassa tarkastellaan tukipolitiikkavaihtoehtoja, joilla etanolin tuotantoa olisi mahdollista ohjata kohti yhteiskunnallisesti optimaalista tuotannon tasoa. Tarkoituksena

on selvittää tukien tasot, joilla yhteiskunnallisesti optimaalinen tilanne saavutettaisiin. Toisaalta tarkoituksena on myös arvioida sitä, pystyttäisiinkö kyseisillä ohjauskeinoilla saavuttamaan biopolttoainedirektiivin vaatima 5,75 prosentin bioenergiaosuus liikennepolttoaineista. Etanolin tapauksessa tarkastellaan siis moottoribensiiniä. Kuten luvussa 2 todettiin, tavoitteen saavuttamiseksi kokonaan kotimaisella etanolilla, tulisi tuotantomäärän olla 180 000 tonnia etanolia vuodessa. Tämä etanolin tuotannon taso on huomattavasti korkeampi kuin yhteiskunnallisesti optimaalinen 72 736 tonnin etanolin tuotanto.

Luvun 3 teoreettisessa osuudessa ohjauskeinoiksi valittiin hintatuki etanolille, s , ja hintatuki ohralle etanolin tuotantopanoksena, u . Sekä etanolin hintatuki että ohran hintatuki ratkaistaan asettamalla tukikomponentti etanolin tuottajan voiton maksimoinnin ensimmäisen kertaluvun ehtoon. Näistä ehdoista voidaan todeta, että etanolin hintatuki nostaa prosentuaalisesti etanolista maksettavaa hintaa ja vastaavasti ohran hintatuki alentaa prosentuaalisesti ohran hintaa etanolin tuotannon tuotantopanoksena. Toisin sanoen tukiainen on kerroin. Kummassakin tapauksessa tukiaisen suuruus voidaan määrittää sijoittamalla yksityistaloudellisen optimin ensimmäisen kertaluvun ehtoon yhteiskunnallisesti optimaaliset tuotantopanostukset ja ohran hinta ja ratkaisemalla yhtälöistä tuntemattomat tekijät s ja u .

Optimaalinen etanolin hintatuki s saa arvon 0,2247 ja ohran hintatuki u saa arvon 0,1594. Tuet on ilmoitettu prosentteina, eli etanolin hintatuen tulisi nostaa etanolin hintaa 22,47 prosenttia ja vastaavasti ohran hintatuen laskea ohran hintaa etanolin tuotannon tuotantopanoksena 15,94 prosenttia. Yhteiskunnan päättäjän kannalta on myös tärkeää pohtia tukiaisen kustannuksia yhteiskunnalle, sillä käytännössä maksettavat tuet tulee kattaa verovaroin tai muulla julkisella rahoituksella. Siten yhteiskunnan päättäjän kannalta tukimuodoista on parempi se, jolla yhteiskunnallisesti optimi saavutetaan mahdollisimman alhaisin kustannuksin. Etanolin hintatuen kohdalla tuen laskennallinen määrä on 12,147 miljoonaa euroa kun taas ohran hintatuen kustannus on 6,804 miljoonaa euroa. Siten näistä kahdesta tukipolitiikkavaihtoehdosta yhteiskunnan kannalta kustannustehokkaampi on ohran hintatuki.

Tarkastellaan vielä tukien vaikutusta ohran hintaan ja sitä kautta maataloustuotantoon. Etanolin hintatuen vaikutuksesta ohran hinta nousee yhtä suureksi kuin

yhteiskunnallisessa optimissa, jolloin myös maataloustuotanto vastaa yhteiskunnallista optimia. Ohran hintatuen tapauksessa taas etanolin tuottaja käyttää suhteellisesti enemmän ohraa etanolin tuotantoon ja vähentää energian käyttöään. Tämä voidaan selittää sillä, että hintatuen myötä ohran hinta etanolin tuottajalle on laskenut, jolloin sen käyttö etanolin tuotannon raaka-aineena on suhteellisesti kannattavampaa kuin energian, jonka hinta säilyy ennallaan. Koska etanolin tuottaja käyttää ohraa enemmän etanolin tuotantoon kuin etanolin hintatuen tapauksessa, kasvaa myös ohran kokonaiskysyntä ja siten ohran hinta. Ohran hinnaksi muodostuukin 107,62 euroa tonnilta kun se etanolin hintatuen tapauksessa oli 107,38 euroa tonnilta. Myös ohran kokonaiskysyntä nousee 658 945 tonnista 674 913 tonniin. Voidaankin todeta, että vaikka ohran hintatuki on yhteiskunnan kannalta edullisempi tukimuoto, se johtaa tehottomampaan ohran hyödyntämiseen etanolin tuotannon raaka-aineena. Lisäksi ohran hintatuen vaikutuksesta kohonnut ohran hinta saattaa vaikuttaa myös rehuteollisuuden kannattavuuteen, rehun hintaan ja sitä kautta elintarviketeollisuuteen.

Jos tavoitteena on saavuttaa biopolttoainedirektiivin mukainen 180 000 tonnin etanolin tuotanto Suomessa, tulisi etanolin hintatuen arvon olla noin 2,23, eli tukea pitäisi maksaa 223 prosenttia. Vastaavasti ohran hintatuen pitäisi olla noin 0,603, eli tuen osuus olisi 60,3 prosenttia ohran hinnasta. Nämä arvot ovat suhteellisen korkeita, eikä tutkielmassa käytettyä mallia ei ole kalibroitu toimimaan vastaavilla hintatasoilla, jolloin mitään varmoja johtopäätöksiä ei tukitasoista voida tehdä. Jos tarvittavat todelliset tukitasot vastaavat edellä esitettyjä, koituisi yhteiskunnalle huomattavia kustannuksia biopolttoainedirektiivin tavoitteiden saavuttamisesta. Myös ohran kysynnän voidaan olettaa kasvavan huomattavasti, jos 180 000 tonnia etanolia valmistettaisiin ohrasta. Tällä olisi luultavasti vaikutuksia myös kotimaisen ohran hintaan. Valitettavasti kyseisiä vaikutuksia ei ole mahdollista analysoida tämän mallin puitteissa sen kalibroinnista johtuen.

5.4 Herkkyystarkastelu

Herkkyysanalyysin tarkoituksena on näyttää, kuinka ohran markkinatasapaino ja hinta muuttuvat, kun laskennassa käytettävien parametrien arvot muuttuvat. Herkkyystarkastelussa muutetaan yksittäisen parametrin arvoa haluttuun suuntaan muiden arvojen pysyessä ennallaan. Näin saadaan eristettyä yhden parametrin arvon vaikutus analyysin lopputuloksiin. Herkkyysanalyysiin olen valinnut tarkasteltavaksi

kolme eri parametriä. Ensimmäiseksi tarkastelen päästöoikeuden hinnan nousua ja laskua. Tämä heijastuu malliin ilmastovaikutusten yleisen arvostusfunktion kautta siten, että parametri b saa arvot $b = 0,100$ ja $b = 0,300$. Toisin sanoen tarkastelen tilannetta, jossa päästöoikeuden hinta laskee 50 % arvoon 10 €/ t CO₂-ekv ja toisaalta myös tilannetta, jossa päästöoikeuden hinta nousee 50 % arvoon 30 €/ t CO₂-ekv. Näiden arvojen valintaa voidaan perustella vuoden 2008 alusta alkavan uuden päästökauppajakson päästöoikeuden hinnan epävarmuudella, jolloin tutkielmassa käytetyn mallin tuloksia on syytä tarkastella odotettavissa olevan päästöoikeuden hinnan vaihteluvälin ääripäillä. Kahden muun parametrin tapauksessa tarkastellaan ainoastaan 20 % muutoksia, sillä näiden parametrien osalta 50 % muutos johtaisi siihen, että mallissa kalibroitu ohraetanolin tuotantofunktio ei enää tuottaisi teknisesti todellisuutta vastaavia tuloksia.

Päästöoikeuden hinnan lisäksi tarkastellaan etanolin hintaa p^e ja vehnän hintaa p^2 . Liikennepolttoaineeksi tarkoitettun etanolin kysynnän voidaan olettaa kasvavan seuraavien vuosien aikana esimerkiksi EU:n biopolttoainedirektiivin tavoitteiden vuoksi. Siten voidaan myös olettaa, että etanolin hintaan kohdistuu nousupaineita ja tästä syystä tarkastelen tilannetta, jossa etanolista maksettava hinta nousee 20 % arvoon 891,83 €/ t. Tämä ilmoitetaan kilohintana, jolloin $p^e = 0,89183$. Lopuksi tarkastelen vielä vehnän hinnan p^2 nousun vaikutusta analyysin lopputuloksiin. Vehnän hintaan on kohdistunut huomattavia nousupaineita vuoden 2007 loppupuolella vehnän huonon satovuoden vuoksi. Lisäksi lisääntyvän bioenergian kysyntä saattaa nostaa vehnän hintaa. Tästä syystä tarkastelen tilannetta, jossa vehnän hinta nousee 20 % arvoon 151,54 €/ t. Tämä ilmoitetaan kilohintana, jolloin $p^2 = 0,15154$. Herkkyystarkastelussa keskityn pääasiassa ohramarkkinoiden ja niihin vaikuttavien tekijöiden analyysiin. Vaikutukset maataloustuotantoon on esitelty liitteessä 11.

Taulukko 5.6 Herkkyystarkastelu, päästöoikeuden hinta

	Yhteiskunnallinen optimi <i>b=0,100 €/kg</i>	Yhteiskunnallinen optimi <i>b=0,300 €/kg</i>
Kysyntä		
Ohran hinta €/kg	0,10642	0,10841
Etanolin tuotanto		
Etanolin tuotanto(t)	65 756	79 614
Rehun tuotanto (t)	82 273	116 743
Energian kysyntä (GJ)	1 187 475	1 728 168
<i>Ohran kysyntä (t)</i>	<i>316 436</i>	<i>449 011</i>
Rehun tuotanto		
<i>Ohran kysyntä (t)</i>	<i>278 290</i>	<i>278 290</i>
Kokonaiskysyntä	594 726	727 301
Tarjonta		
Maataloustuotanto A-tukialueella		
Viljelyosuudet K:O:V	4:4:11	3:10:6
Lannoitus (kg/ha)	99,28	101,71
Sato (kg/ha)	3 475	3 582
Ohran viljelyala (ha)	57 389	143 474
<i>Ohran tarjonta (t)</i>	<i>79 775</i>	<i>205 577</i>
<i>Ohran tarjonta, lineaarinen (t)</i>	<i>75 246</i>	<i>207 821</i>
Muu Suomi		
<i>Ohran eksogeeninen tarjonta (t)</i>	<i>519 480</i>	<i>519 480</i>
Kokonaistarjonta	594 726	727 301

Taulukossa 5.6 esitetään päästöoikeuden hinnan muutosten vaikutus ohramarkkinoiden yhteiskunnalliseen optimiin. Päästöoikeuden hinnan muutoksella ei ole vaikutusta yksityistaloudelliseen optimiin. Päästöoikeuden hinnan laskiessa 10 euroon tonnilta, pienenee myös yhteiskunnallisesti optimaalinen etanolin tuotantomäärä. Yhteiskunnallisesti optimaalinen tuotantomäärä vähenee 9,6 %, eli vaikka päästöoikeuden hinta laskee 50 %, ei vaikutus etanolin tuotantomäärään ole yhtä suuri. Vastaavasti päästöoikeuden hinnan noustessa 50 %, etanolin tuotanto lisääntyy 9,5 %. Vaikutus on lähes sama, mutta erisuuntainen, kuin päästöoikeuden hinnan laskiessa. Ohran hintaan päästöoikeuden hinnan muutoksella on suhteellisen vähäinen vaikutus. Päästöoikeuden hinnan laskiessa 50 %, ohran hinta laskee alkuperäiseen yhteiskunnalliseen ohran markkinahintaan verrattuna ainoastaan 0,89 %. Vastaavasti päästöoikeuden hinnan noustessa ohran hinta nousee 1,03 %. Voidaan todeta, että päästöoikeuden hinnalla on suhteellisen vähäinen vaikutus sekä etanolin yhteiskunnallisesti optimaalisiin tuotantomääriin että ohran hintaan.

Maataloustuotantoon päästöoikeuden hinnan muutos heijastuu muuttuneen ohran hinnan kautta. Päästöoikeuden hinnan laskiessa 20 eurosta 10 euroon tonnilta ohran yhteiskunnallisesti optimaalinen viljelyosuus laskee 7/19 osasta 4/19 osaan. Samoin ohran kokonaiskysyntä ja -tarjonta laskevat 658 945 tonnista 594 726 tonniin. Muutoksen suuruus prosentteina on 9,75 %. Vastaavasti päästöoikeuden hinnan noustessa ohran viljelyosuuksien määrä nousee 7/19 osasta 10/19 osaan. Ohran viljely valtaa alaa sekä kesannoinnilta että vehnän viljelyltä. Ohran kokonaistarjonnan nousu on tässä tapauksessa 10,37 %. Tarkemmat maataloustuotannon muutokset esitetään liitteessä 11, jossa käsitellään eri parametrien herkkyystarkastelun vaikutuksia maataloustuotantoon.

Muuttunut päästöoikeuden hinta vaikuttaa myös ohjauskeinoihin. Kun päästöoikeuden hinta laskee, pienenevät tarvittavat ohjauskeinot. Tässä tapauksessa etanolin hintatuen määrän tulee olla 11,24 % etanolin hinnasta ja ohran hintatuen 8,76 % ohran hinnasta, jotta yhteiskunnallinen optimi olisi mahdollista saavuttaa. Ohjauskeinojen kustannukset yhteiskunnalle alenevat, mutta ohran hintatuki säilyy edelleen kustannustehokkaampana vaihtoehtona. Päästöoikeuden hinnan noustessa tarvittava etanolin hintatuen määrä on 33,71 % etanolin hinnasta ja ohran hintatuen määrä on 22,00 % ohran hinnasta. Tämä nostaa ohjauskeinojen yhteiskunnallisia kustannuksia, mutta säilyttää edelleen asetelman, jossa ohran hintatuki on yhteiskunnan kannalta edullisempi vaihtoehto.

Taulukko 5.7 Herkkyystarkastelu, etanolin hinta

	Yksityistaloudellinen optimi	Yhteiskunnallinen optimi
<i>Etanolin hinta +20% (arvosta 0,74319 arvoon 0,89183)</i>		
Kysyntä		
Ohran hinta €/kg	0,10717	0,10924
Etanolin tuotanto		
Etanolin tuotanto(t)	71 210	84 900
Rehun tuotanto (t)	95 202	131 273
Energian kysyntä (GJ)	1 387 289	1 963 724
<i>Ohran kysyntä (t)</i>	<i>366 163</i>	<i>504 895</i>
Rehun tuotanto		
<i>Ohran kysyntä (t)</i>	<i>278 290</i>	<i>278 290</i>
Kokonaiskysyntä	644 453	783 185
Tarjonta		
Maataloustuotanto A-tukialueella		
Viljelyosuudet K:O:V	4:6:9	3:13:3
Lannoitus (kg/ha)	100,37	103,15
Sato (kg/ha)	3 527	3 658
Ohran viljelyala (ha)	86 084	186 516
<i>Ohran tarjonta (t)</i>	<i>121 455</i>	<i>272 938</i>
<i>Ohran tarjonta, lineaarinen (t)</i>	<i>124 973</i>	<i>263 705</i>
Muu Suomi		
<i>Ohran eksogeeninen tarjonta (t)</i>	<i>519 480</i>	<i>519 480</i>
Kokonaistarjonta	644 453	783 185

Kuten taulukosta 5.7 nähdään, etanolin hinnan nousu 20 prosentilla muuttaa etanolin tuotannon yksityistä ja yhteiskunnallista optimia. Tämän seurauksena ohran kysyntä muuttuu ja siten myös ohran hinta muuttuu. Etanolin hinnan nousu heijastuu maataloustuotantoon nousseen ohran hinnan kautta. Kun etanolin hinta nousee 20 prosenttia, muuttuu ohran yksityistaloudellinen tasapainohinta 105,53 eurosta 107,17 euroon kilolta. Ohran hinta nousee 1,6 %. Yhteiskunnallinen tasapainohinta taas nousee 107,38 eurosta 109,24 euroon tonnilta. Prosentuaalisesti muutos on 1,7 %. Siten etanolin hinnan 20 prosentin nousulla on suurempi vaikutus yhteiskunnalliseen tasapainohintaan kuin päästöoikeuden hinnan 50 prosentin nousulla oli.

Etanolin hinnan 20 prosentin nousu nostaa etanolin yksityistaloudellisesti optimaalisen tuotantomäärän lähes samaksi kuin etanolin tuotannon yhteiskunnallinen optimi oli alkuperäisillä arvoilla. Vastaavasti etanolin yhteiskunnallisesti optimaalinen tuotantomäärä nousee 72 736 tonnista 84 900 tonniin. Kasvua on 16,72 prosenttia.

Taulukko 5.8 Herkkyystarkastelu, vehnän hinta

	Yksityistaloudellinen optimi	Yhteiskunnallinen optimi
<i>Vehnän hinta +20% (arvosta 0,12628 arvoon 0,15154)</i>		
Kysyntä		
Ohran hinta €/kg	0,12745	0,12898
Etanolin tuotanto		
Etanolin tuotanto(t)	45 862	57 309
Rehun tuotanto (t)	40 557	61 114
Energian kysyntä (GJ)	744 555	1 139 455
<i>Ohran kysyntä (t)</i>	<i>155 987</i>	<i>235 054</i>
Rehun tuotanto		
<i>Ohran kysyntä (t)</i>	<i>278 290</i>	<i>278 290</i>
Kokonaiskysyntä	434 277	513 344
Tarjonta		
Maataloustuotanto A-tukialueella		
Viljelyosuudet K:O:V	0:0:19	0:0:19
Lannoitus (kg/ha)	0,00	0,00
Sato (kg/ha)	0	0
Ohran viljelyala (ha)	0	0
<i>Ohran tarjonta (t)</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>Ohran tarjonta, lineaarinen (t)</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
Muu Suomi		
<i>Ohran eksogeeninen tarjonta (t)</i>	<i>519 480</i>	<i>519 480</i>
Kokonaistarjonta	519 480	519 480

Taulukosta 5.8 nähdään 20 % nousseen vehnän hinnan vaikutus analyysin tuloksiin. Aluksi tulee huomata, että toisin kuin kahden aikaisemman muuttujan kohdalla, kohonnut vehnän hinta vaikuttaa ohran tarjontakäyrään siten, että ohran tarjonta vähenee nolnaan, kun ohran hinta on 129,10 euroa tonnilta. Alkuperäisessä tarjontakäyrässä vastaava arvo oli 105,30 euroa tonnilta. Tämän lisäksi tarjontakäyrän kulmakerroin muuttuu arvosta $1,49450 \cdot 10^{-11}$ arvoon $1,93933 \cdot 10^{-11}$. Tämä muutos johtuu siitä, että kohonnut vehnän hinta nostaa sen viljelyn kannattavuutta, jolloin suurempi osa peltolohkoista kannattaa siirtää vehnän viljelyyn. Tämän seurauksena myös ohran viljelyn kannattavuus muuttuu siten, että sen viljely kannattaa aloittaa vasta kun sen hinta nousee yli 129,10 euroon tonnilta.

Vehnän hinnan 20 % nousu johtaa siihen, että ohraa ei kannata viljellä A-tukialueella edes yhteiskunnallisen optimin oloissa. Noussut ohran hinta vähentää etanolin optimaalista tuotantomäärää niin paljon, että ohran kokonaiskysyntä on mahdollista

tyydyttää muun Suomen ohran eksogeenisella tarjonnalla. Yksityistaloudellisessa optimissa tulee myös huomata, että ohran ylituotanto on huomattava. Kun ohran kokonaiskysyntä on 434 277 tonnia, niin ohran tarjonta on yhtä suuri kuin ohran eksogeeninen tarjonta, eli 519 480 tonnia. Yhteiskunnallisessa optimissa ohran ylituotanto ei ole yhtä merkittävää, mutta kuitenkin ohran kokonaistarjonta on kysyntää suurempaa.

Etanolin tuotantomääriä tarkasteltaessa huomataan, että kohonnut vehnän hinta laskee etanolin optimaalista yksityistaloudellista tuotantomäärää yli 10 000 tonnia. Vastaavasti uusi etanolin yhteiskunnallisesti optimaalinen tuotantomäärää on samaa kokoluokkaa kuin alkuperäinen yksityistaloudellinen optimi. Kohonnut vehnän hinta myös muuttaa maataloustuotannon rakennetta A-tukialueella huomattavasti. Vehnän viljelyn kannattavuus paranee niin paljon, että kaikilla peltolohkoilla kannattaa viljellä vehnää. Siten voidaan todeta, että analyysin tulokset ovat suhteellisen herkkiä vehnän hinnan vaihteluille.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkielman tarkoituksena oli tarkastella ohraetanolin tuotantoa Suomessa, sen yksityistä ja yhteiskunnallista optimia ja ohraetanolin tuotannon vaikutuksia maataloustuotannon jakautumiseen eri viljelykasvien ja kesannoinnin välillä. Tärkeimpinä tavoitteina oli analyttisen mallin kehittäminen, jolla ohraetanolin tuotantoa ja sen vaikutuksia maataloustuotantoon voitiin analysoida sekä empiirisen aineiston soveltaminen kyseiseen malliin.

Analyttisessä mallissa ohran kysyntä muodostui ohran etanoli- ja rehukysynnästä. Ohran tarjontaa ja maataloustuotannon muutoksia tarkasteltiin heterogeenisen maan laadun mallin avulla. Yhteiskunnallisessa analyysissä keskityttiin etanolin tuotannon ilmastovaikutusten analysointiin ja niiden merkitykseen etanolin optimaaliseen tuotantomäärään ja maataloustuotantoon. Lisäksi tutkielmassa tarkasteltiin kahta vaihtoehtoista ohjauskeinoa, joilla etanolin tuotannon yhteiskunnallinen optimi olisi mahdollista saavuttaa.

Empiirisen analyysin tulokset osoittivat, että etanolin ilmastovaikutusten huomioiminen nostaa odotetusti etanolin optimaalista tuotantomäärää. Hiilidioksidipäästöjen vähennykset eivät tosin ole kovin suuret verrattuna bensiinin tuotantoon, joten yhteiskunnallisesti optimaalinen etanolin tuotantomäärän kasvu oli suhteellisen vähäinen esimerkiksi verrattuna Euroopassa sijaitsevien etanolitehtaiden kapasiteetteihin. Etanolin yksityistaloudellisesti optimaalinen tuotantomäärä vastaa yhden, suhteellisen pienen etanolitehtaan vuosittaista kapasiteettia kun taas yhteiskunnallisesti optimaalinen etanolin tuotantomäärä vastaa yhden suurehkon etanolitehtaan vuosittaista kapasiteettia. Näin ollen tutkielman tulosten perusteella Suomeen olisi edullisempaa perustaa yksi suuri ohraetanolitehdas kuin kaksi tai useampia pienempiä ohraetanolitehtaita jos tarkastellaan ainoastaan tehtaiden kapasiteetteja.

Maataloustuotantoa tarkasteltaessa etanolin positiivisten ilmastovaikutusten huomioiminen nosti ohran tasapainohintaa suhteellisen vähän. Tällä vähäisellä ohran hinnan nousulla oli kuitenkin suhteellisen merkittävä vaikutus maataloustuotannon

jakautumiseen kesannoinnin, ohran viljelyn ja kevätvehnän viljelyn välillä. Yksityistaloudellisessa optimissa ainoastaan kevätvehnän viljely oli kannattavaa ilman maatalouden tukia. Yhteiskunnallisessa optimissa ohran tuotannon kannattavuus parani, mutta se pysyi kuitenkin tappiollisena. Siten etanolin tuotannon ilmastovaikutusten huomioiminen ei paranna ohran viljelyn kannattavuutta niin merkittävästi, että viljely olisi voitollista ilman maatalouden tukia. Maatalouden tuet ovat siis edelleen välttämättömiä maataloustuotannon jatkuvuuden varmistamiseksi.

Tutkielmassa tarkastelluista ohjauskeinoista yhteiskunnan kannalta paremmaksi vaihtoehdoksi osoittautui ohran hintatuki etanolin tuotannossa. Kyseisen tukimuodon kustannukset yhteiskunnalle olivat pienemmät kuin etanolin hintatuen. Toisaalta ohran hintatuen käyttö johti ohran tehottomampaan käyttöön etanoliteollisuudessa, jolloin ohran kokonaiskysyntä kasvoi verrattuna etanolin hintatuen käyttöön. Tässä tutkielmassa tällä tehottomuudella ei kuitenkaan ollut tulosten kannalta merkitystä. Toisaalta, jos esimerkiksi maatalouden vesistövaikutukset olisi huomioitu, tulos saattaisi olla toinen.

Yleisesti ottaen tutkimuksen tuloksiin tulee kuitenkin suhtautua varauksella ja mallin määrittelyssä tehdyt rajoitukset on syytä pitää mielessä tuloksia tulkittaessa. Monia malliin liittyviä tekijöitä on yksinkertaistettu tai jätetty kokonaan mallin ulkopuolelle, jotta mallilla pystyttäisiin tuottamaan havainnollisia tuloksia tutkittavasta ilmiöstä. Kenties tärkein yksinkertaistus on vehnän hinta, joka on mallissa eksogeeninen muuttuja. Kun vehnän viljelyala yhteiskunnallisessa optimissa pienenee, vähenee myös vehnän tarjonta. Tämän voidaan olettaa nostavan vehnän hintaa joka vastaavasti vaikuttaa myös ohran viljelyalaan ja kesannointiin. Näin voidaan olettaa, että mallin tulokset ohran viljelyalasta eivät täysin vastaa todellisuutta ja niihin on syytä suhtautua varauksella.

Toinen merkittävä rajoitus on ohran rehukysynnän eksogeenisuus ja etanolin tuotannon sivutuotteena syntyvän rehun huomioiminen rehumarkkinoilla. Mallissa oletettiin, että etanolin tuotannon lisääntyminen yksityisen ja yhteiskunnallisen optimin välillä ei vaikuta rehumarkkinoihin, mutta todellisuudessa rehun tuotannon lisäys on suhteellisen merkittävä ja se tulisi huomioida mallissa. Siten mallin tulosten voidaan olettaa muuttuvan, jos siihen lisättäisiin myös rehumarkkinoiden tarkastelu.

Kolmas rajoittava tekijä on yhteiskunnallisen hyvinvointifunktion muoto. Tutkielmassa huomioitiin ainoastaan etanolin tuotannon ilmastovaikutukset ja nekin ainoastaan etanolin tuotannon ja käytön kannalta. Tästä syystä olisi tärkeää tehdä tarkempi analyysi myös maataloustuotannon ilmastovaikutuksista ja mahdollisesti liittää se tutkielmaan. Lisäksi voidaan olettaa, että maataloustuotannon muutoksilla on vaikutusta maatalouden vesistö päästöihin. Toisin sanoen esimerkiksi kesannoinnin korvautuessa ohran viljelyllä lannoiteintensiteetti kasvaa ja myös vesistöhuuhtouma lisääntyy. Siksi yhteiskunnallisessa analyysissä olisikin perusteltua tarkastella myös maatalouden vesistövaikutuksia.

Edellä mainittujen rajoitusten lisäksi myös käytettyyn aineistoon liittyy tiettyjä heikkouksia. Maataloustuotantoa kuvaava aineisto oli kalibroitu koskemaan ainoastaan Etelä-Suomen A-tukialuetta, jolloin muun Suomen ohran tuotanto oli otettava malliin eksogeenisenä muuttujana. Tästä johtuen mallilla pystyttiin tarkastelemaan ainoastaan A-tukialueen maataloustuotantoa. Lisäksi empiirisen analyysin yhteydessä kävi ilmi, että maataloustuotantoa kuvaava aineisto on suhteellisen herkkää ohran hinnan muutoksille. Toisaalta aineiston vahvuutena voidaan pitää sen yksinkertaisuutta, jolloin etanolin tuotannon muutosten tarkastelu pysyi riittävän yksinkertaisena ohran markkinamallissa. Monimutkaisemman ja laajemman maataloustuotantoa kuvaavan aineiston käyttö olisi saattanut johtaa empiirisen analyysin tulosten tulkinnan vaikeutumiseen tai mallin teoreettisen osan konstruoinnin monimutkaistumiseen.

Mahdollisia jatkotutkimusaiheita on useita ja ne liittyvät edellä esitettyihin tutkielman tulosten rajoituksiin. Tutkielmassa esiteltyä teoreettista mallia on mahdollista laajentaa monin tavoin. Yksi vaihtoehto on uusien markkinoiden liittäminen malliin. Taloudellisesti merkittävin ja mallin maataloustuotannon kannalta ilmeisesti yksi tärkeimmistä osa-alueista olisi vehnämarkkinoiden taloudellinen analysointi. Toisaalta olisi mahdollista myös rehumarkkinoiden avaaminen siten, että ohran rehukysyntää ei otettaisi enää eksogeenisenä muuttujana vaan se määräytyisi esimerkiksi ohran hinnan ja muiden tarvittavien muuttujien kautta.

Jatkotutkimusta voidaan tehdä myös laajentamalla empiiristä analyysiä tai muuttamalla sen painopistettä. Tällöin voitaisiin analysoida esimerkiksi etanolin tuotantoa viljan

oljista, joka mielestäni olisi myös mielekästä, kun ajatellaan viljan polttoainekäytön eettistä puolta. Toisin sanoen mielestäni yksi vaikeimmista ongelmista viljan polttoainekäytössä on nälänhätä tietyissä maissa ja viljan ylituotanto toisissa. Toinen perustelu olkien käytölle etanolin tuotannon raaka-aineena on EU:n komission aikomus rajata biopolttoainedirektiiviään siten, että siinä ei huomioitaisi biopolttoaineita, jotka ovat valmistettu viljasta. Tätä perustellaan sillä, että uusimpien tutkimustulosten mukaan viljapohjaisten biopolttoaineiden elinkaaren aikainen energiatase on negatiivinen. Toisin sanoen kyseisten biopolttoaineiden tuotantoon tarvitaan enemmän energiaa kuin lopputuotteesta saadaan. Viljan oljet ovat sivutuote, jonka hyödyntäminen voisi olla perusteltua, sillä niille ei juuri muuta käyttöä löydy. Näin myös saataisiin suurempi osa viljakasvista hyödynnettyä. Oljista valmistettavan etanolin tarkastelu tässä tutkielmassa esitellyn mallin kehikossa muuttaisi kuitenkin sen painopistettä huomattavasti ja vaatisi maataloustuotannon mallintamista uudella tavalla.

Toinen vaihtoehto empiirisen analyysin laajentamiseksi olisi maatalouspuolen aineiston kerääminen esimerkiksi koko Suomesta pelkän A-tukialueen sijaan. Tällöin ohran tarjonta olisi mahdollista mallintaa koko Suomen tasolla eikä ohran eksogeenistä tarjontaa enää tarvittaisi.

Lopuksi voidaan tarkastella vielä empiirisen analyysin tuloksia EU:n biopolttoainedirektiivin ja Suomen lainsäädännön näkökulmasta. EU:n biopolttoainepolitiikka perustuu lainsäädännöllisten sitovien käyttömäärien asettamiselle eikä esimerkiksi kannustaville taloudelliselle ohjaukselle. Tästä johtuen myös Suomen on ollut käytännössä katsoen pakko hyväksyä biopolttoainedirektiivin mukaiset käyttövelvoitteet. Suomen hallituksen tavoitteena on ollut edistää kotimaista biopolttoainetuotantoa. Tutkielmani valossa 5,75 % bioenergiaosuuden saavuttaminen kotimaisella ohralla ja edellä käsitellyillä ohjauksenoilla olisi hyvin hankalaa, ellei mahdotonta. Biopolttoainedirektiivin mukaisen tavoitteen saavuttaminen vaatisi 180 000 tonnin vuosittaista etanolin tuotantoa Suomessa, kun empiirisen analyysin tulosten mukaan yhteiskunnallisesti optimaalinen etanolin tuotantomäärä olisi 72 736 tonnia. Siten mielestäni ei ole tarkoituksenmukaista pyrkiä täyttämään biopolttoainedirektiivin tavoitetta kotimaisella etanolin tuotannolla, vaan edellä mainittujen määrien erotus olisi katettava etanolin tuonnilla.

Lisääntyneen etanolin tuotannon vaikutus Etelä-Suomen maataloustuotantoon on myös huomioitava yhteiskunnallisia vaikutuksia tarkasteltaessa. Ohran viljelyn lisääntyminen kaventaa vehnän viljelyalaa, jonka voi olettaa nostavan vehnän hintaa, vaikka sitä ei tällä tutkielmalla ollut tarkoitus tutkia. Riippuen vehnän hinnan nousun suuruusluokasta, voi sillä olla vaikutusta esimerkiksi kotimaiseen elintarviketuotantoon ja sitä kautta jopa ruuan hintaan. Maataloustuotannossa on lisäksi useita tämän tutkielman ulkopuolelle jääneitä vaikutuksia, joihin olisi syytä perehtyä jatkotutkimuksissa.

Jos taas etanolin tuotantoa ja käyttöä tarkastelee liikennesektorin energian käytön näkökulmasta, voidaan todeta, että ainakaan tämän tutkielman valossa etanolin tuotannolla ei merkittävästi pystytä vaikuttamaan energiaomavaraisuuteen. Etanolin yhteiskunnallisesti optimaalinen tuotantomäärä on niin pieni verrattuna Suomen liikennesektorin kokonaisenergiankulutukseen, että sillä ei ole käytännön vaikutusta öljyn korvaajana. Näin ollen ainakin tässä vaiheessa on turhan aikaista perustella etanolin tuotantoa energiaomavaraisuusargumenteilla. Tulevaisuudessa tilanne saattaa kuitenkin olla toinen, jos etanolin raaka-aineena pystytään käyttämään esimerkiksi lignoselluloosapohjaisia raaka-aineita.

LÄHTEET

Aga Oy. 2007. Hiilidioksidi. Saatavilla osoitteessa: <http://www.aga.fi/international/web/lg/fi/like/gagafi.nsf/docbyalias/prod_Hiilidioksidi_kaytto> (Luettu 23.2.2007).

Altia Oyj. 2007. Tärkkelysohjan sopimusviljely. Saatavilla osoitteessa: <<http://www.altiacorporation.com/altia/altiacorp.nsf/sivut/AltiaProduction?OpenDocument&cid=Sopimusviljely>> (Luettu 27.3.2007).

A-Rehu. 2007. Tarjoukset. Ohrarehulla voidaan korvata viljaa nautojen ruokinnassa. Päivitetty 3.5.2007. Saatavilla osoitteessa: <<http://www.a-rehu.fi/default.asp?toc=20#19>> (Luettu 16.7.2007).

Edwards, R., Larivé, J-F., Mahieu, V. & Rouveiolles, P. 2006a. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. Well-to-Wheels Report. Version 2b. EUCAR, CONCAWE & JRC/IES. Saatavilla osoitteessa: <http://www.senternovem.nl/mmfiles/Well_to_Wheels_Report_EU_tcm24-195172.pdf> (Luettu 12.2.2007).

Edwards, R., Larivé, J-F., Mahieu, V. & Rouveiolles, P. 2006b. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. Well-to-Tank Report. Version 2b. EUCAR, CONCAWE & JRC/IES. Saatavilla osoitteessa: <http://www.senternovem.nl/mmfiles/Well_to_Tank_Report_EU_tcm24-195171.pdf> (Luettu: 14.2.2007).

Edwards, R., Larivé, J-F., Mahieu, V. & Rouveiolles, P. 2006c. Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context. Tank-to-Wheels Report. Version 2b. EUCAR, CONCAWE & JRC/IES. Saatavilla osoitteessa: <http://www.senternovem.nl/mmfiles/Tank_to_Wheels_Report_EU_tcm24-195173.pdf> (Luettu 19.2.2007).

Energiamarkkinavirasto. 2002. Yleistä päästökaupasta. Saatavilla osoitteessa: <<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/select.asp?gid=172&pgid=172>> (Luettu 28.2.2007).

Energiamarkkinavirasto. 2007. Sähkön hinnan kehitys. Päivitetty 1.6.2007. Saatavilla osoitteessa: <<http://www.energiamarkkinavirasto.fi/files/Kehitys0706.pdf>> (Luettu 12.7.2007).

Euroopan parlamentti ja neuvosto. 2003. Direktiivi liikenteen biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytön edistämisestä. 2003/30/EY.

EUROSTAT. 2006. Final energy consumption by transport. Päivitetty 10.10.2006. Saatavilla osoitteessa: <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=1996,39140985&_dad=portal&_schema=PORTAL&screen=detailref&language=en&product=Yearlies_new_environment_energy&root=Yearlies_new_environment_energy/H/H2/H24/ebc23824> (Luettu 23.3.2007).

Farmit.net. 2005a. Ohran lannoitussuositukset. Päivitetty 17.6.2005. Saatavilla osoitteessa: <http://www.farmit.net/farmit/fi/03_kasvinviljely/05_lannoitus/02_lannoitussuositukset/ohra_lannoitussuositus.pdf> (Luettu 7.3.2007).

Farmit.net. 2005b. Kevätvehnä, tarkennettu lannoitus. Päivitetty 27.7.2005. Saatavilla osoitteessa: <http://www.farmit.net/farmit/fi/03_kasvinviljely/05_lannoitus/02_lannoitussuositukset/02_lannoitussuositukset/Kevaetvehnae_lannoitussuositus.pdf> (Luettu 17.4.2007).

Farmit.net. 2005c. Syysvehnä ja ruis tarkennettu lannoitus. Päivitetty 27.7.2005. Saatavilla osoitteessa: <http://www.farmit.net/farmit/fi/03_kasvinviljely/05_lannoitus/02_lannoitussuositukset/02_lannoitussuositukset/Ruis_lannoitussuositus.pdf> (Luettu 3.7.2007)

Flick, R. 2007. The Economics of Bioenergy in Canada: A Summary of Recent Findings. OECD Workshop on Bioenergy, Sweden. 22.-23.1.2007.

Flyktman, M. & Helynen, S. 2004. Hyötysuhteiden määrittäminen päästökaupan alkujakoa varten. VTT. Tutkimusselostus. Saatavilla osoitteessa: <http://www.ktm.fi/files/13627/HyOtyosuhteiden_mAArittAminen_pAAstOkaupan_alkujakoa_varten.pdf> (Luettu 12.7.2007).

Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. Schulz and R. Van Dorland, 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Saatavilla osoitteessa: <http://ipcc-wg1.ucar.edu/wg1/Report/AR4WG1_Pub_Ch02.pdf> (Luettu 5.7.2007)

Guyomard, H., Lankoski, J. & Ollikainen, M. 2006. Impacts of Agri-Environmental Policies on Land Allocation and Land Prices. Helsingin Yliopisto, Taloustieteen laitos. Discussion papers 14. Ympäristöekonomia.

Hallituksen esitys Eduskunnalle laiksi biopolttoaineiden käytön edistämisestä liikenteessä. 2006. HE 231/2006. Saatavilla osoitteessa: <<http://www.finlex.fi/fi/esitykset/he/2006/20060231.pdf>> (Luettu 21.3.2007).

Huuskonen, A., Lunki, S. & Rantanen, A. 2005. Sonnit kasvavat hyvin ohrarehulla. Koetoiminta ja käytäntö. 19.12.2005. 62(4).

Hyttiäinen, T., Hedman-Partanen, R. & Hiltunen, S. 1995. Kasvintuotanto 2. Helsinki: Kirjayhtymä Oy.

International Energy Agency. 2004. Biofuels for transport. An international perspective. Pariisi: International Energy Agency.

Kahn, J. 1998. The Economic Approach to Environmental and Natural Resources. (2nd ed.). Fort Worth, TX: The Dryden Press.

Kangas, A, Laine, A, Niskanen, M., Salo, Y., Vuorinen, M., Jauhiainen, L. & Nikander, H. 2006a. Virallisten lajikekokeiden tulokset 1999-2006. MTT selvityksiä 132. Jokioinen. Saatavilla osoitteessa: <<http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts132.pdf>> (Luettu 2.3.2007).

Kangas, A, Laine, A, Niskanen, M., Salo, Y. & Vuorinen, M. 2006b. Peltokasvilajikkeiden viljely- ja käyttöarvon arviointiperusteet 2006. MTT:n selvityksiä 125. Jokioinen. Saatavilla osoitteessa: <<http://www.mtt.fi/mtts/pdf/mtts125.pdf>> (Luettu 5.3.2007).

Katajajuuri, J-M., Loikkanen, T., Pahkala, K., Uusi-Kämpä, J., Voutilainen, P., Kurppa, S., Laitinen, P., Mikkola, H., Kivinen, T. & Salo, S. 2000. Ympäristöhallintaa tukevan tietopohjan kehittäminen osana maatilojen laatu järjestelmää. Case: Rehuohran elinkaariarviointi. VTT Tiedotteita 2034. Espoo. Saatavilla osoitteessa: <<http://virtual.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2000/T2034.pdf>> (Luettu 2.3.2007).

Kauppa- ja Teollisuusministeriö. 2006. Liikenteen biopolttoaineiden tuotannon ja käytön edistäminen Suomessa. Työryhmän mietintö. KTM. Julkaisuja 11/2006.

Kertomus biopolttoaineiden ja muiden uusiutuvien polttoaineiden käytöstä Euroopan unionin jäsenvaltioissa saavutetusta edistymisestä. 2007. KOM(2006) 845 lopullinen. 10.1.2007 Bryssel. Saatavilla osoitteessa: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/fi/com/2006/com2006_0845fi01.pdf> (Luettu 27.2.2007).

Kharoune, M., Pauss, A. & Lebeault, J. 2001. Aerobic biodegradation of an oxygenates mixture: ETBE, MTBE and TAME in an upflow fixed-bed reactor. Water Research 35(7), 1665-74.

Kivisaari, S. & Larpes, G. 1983. Kylvöajankohdan vaikutus kevätvehnän, ohran ja kauran satoon 10-vuotiskautena 1970-1979 Tikkurilassa. MTTK - Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 13/83. Jokioinen.

de Klein, C., Novoa, R., Ogle, S., Smith, K., Rochette, P., Wirth, T., McConkey, B., Mosier, A. & Rypdal, K. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. Saatavilla osoitteessa: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.htm>> (Luettu 5.7.2007).

Kosonen, M., Pipatti, R., Koltola, L., Turkki, J., Saari, R., Granholm, H., Jylhä-Pyykönen, A., Estlander, A., Kuusi, J., Grandell, N., Lindblom, A., Skoglund, K. & Kuusisto, E. 2006. Suomen neljäs maaraaportti Ilmastopimukselle. Ilmastopimuksen ja Kioton pöytäkirjan toimeenpano. Tampere: Hämeen Kirjapaino Oy. Saatavilla osoitteessa: <http://www.tilastokeskus.fi/tup/khkinv/maaraaportti_julkaisu.pdf> (Luettu 23.4.2007).

Kyytsönen, J. 2006. Biopolttoaineiden hiilitaseen tutkimuksen vertailukohta väärä. Maaseudun Tulevaisuus 15.11.2006, 6.

Laihiainen, M., Ranta, T., Arpiainen, V., Mäkinen, T., Solantausta, Y. & McKeough, P. 2006. Biopohjaisten liikennepolttoaineiden kehittämissuunnitelma Etelä-Savossa. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Tutkimusraportti. Saatavilla osoitteessa: <http://www.lut.fi/fi/yliopisto_lyhyesti/alueyksikot/mikkelin_yksikko/bioenergiateknikka/EN%20B-171.pdf> (Luettu: 16.2.2007).

Lankoski, J., Lichtenberg, E. & Ollikainen, M. 2004. Performance of alternative policies in addressing environmental dimensions of multifunctionality. Helsingin Yliopisto. Taloustieteen laitos. Discussion papers 4. Ympäristöekonomia.

Lankoski, J. & Ollikainen, M. 2003. Agri-environmental externalities: a framework for designing targeted policies. European Review of Agricultural Economics 30(1), 51-75.

Laurikko, J. 2005. Ajoneuvokalusto ja tieliikenteen energianhuolto vuonna 2020: Käytännön toteutusvaihtoehdot Suomessa. VTT. Tutkimusselostus.

Lichtenberg, E. (1989) Land quality, irrigation development, and cropping patterns in the northern high plains. American Journal of Agricultural Economics 71(1), 187-194.

Malça, J. & Freire, F. 2006. Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bio-ethyl tertiary butyl ether (bioETBE): Assessing the implications of allocation. *Energy* 31(15), 3362-3380.

Mikkonen, S. 2007. Tulevaisuuden nestemäiset biopolttoaineet. Luento. Bioenergiaketjut-kurssi (Agtek 370). Helsingin Yliopisto. 5.2.2007. Luentomateriaali saatavilla osoitteessa: <http://www.mm.helsinki.fi/mmtek/opiskelu/kurssit/agtek370/Bioenergiaketjut_seppomikkonen050207.pdf> (Luettu 15.2.2007).

MMM. 2005. Peltoviljelyn tulevaisuuden linjaukset Suomessa. Työryhmämuistio 2005:15. Saatavilla osoitteessa: <http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2005/trm2005_15.pdf> (Luettu 26.2.2007).

MMM. 2006a. Peltobiomassa, liikenteen biopolttonesteet ja biokaasu - jaosto. Loppuraportti. Työryhmämuistio 2007:2. Saatavilla osoitteessa: <http://www.mmm.fi/attachments/51W4u4FIL/51YTgDdW9/Files/CurrentFile/trm2007_2.pdf> (Luettu 22.2.2007).

MMM. 2006b. Peltobiomassa, liikenteen biopolttoaineet ja biokaasu- jaosto. Toinen väliraportti. Työryhmämuistio 2006:1. Saatavilla osoitteessa: <http://wwwb.mmm.fi/julkaisut/tyoryhmamuistiot/2006/trm2006_1.pdf> (Luettu 29.3.2007).

Myllynen, M., Aarnio, P., Koskentalo, T. & Malkki, M. 2006. Ilmanlaatu pääkaupunkiseudulla 2005. YTV:n julkaisusarja. PJS B 2006:8. Saatavilla osoitteessa: <http://www.ytv.fi/NR/rdonlyres/D1C35294-65A8-4506-A892-6549700F1639/0/2006_8_ILMANLAATU_2005_netti.pdf> (Luettu 19.2.2007).

Mäkelä, K., Laurikko, J. & Kanner, H. 2006. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöt. LIISA 2005 laskentajärjestelmä. Espoo: VTT. Saatavilla osoitteessa: <<http://lipasto.vtt.fi/lipasto/liisa/liisa2005raportti.pdf>> (Luettu 16.4.2007).

Mäkinen, T., Soimakallio, S., Paappanen, T., Pahkala, K. & Mikkola, H. 2006. Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketoimintakonseptit. VTT. Tiedotteita 2357.

Neste Oil. 2006. Neste Oil ostaa Altialta etanolia biobensiinin raaka-aineeksi. Lehdistötiedote. 19.9.2006. Saatavilla osoitteessa: <<http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35;52;88;100;101;5150;6413>> (Luettu 20.2.2007).

OECD. 2006. Agricultural market impacts of future growth in the production of biofuels. OECD. Päivitetty 1.2.2006. Saatavilla osoitteessa: <<http://caliban.sourceoecd.org/vl=3496020/cl=13/nw=1/rpsv/cgi-bin/fulltextew.pl?prpsv=/ij/oecdjournals/16091914/v6n1/s1/p1.idx>> (Luettu 21.3.2007).

Partala, A. 2007. Viljatase. Teoksessa Koskinen, P. & Partala, A. (toim.) Viljaviesti 1/2007. Saatavilla osoitteessa: <http://www.fingrain.fi/pls/vilja/rpportal.matilda_julkaisut.showfile?docid=907&versio=1174054595&fileid=4240> (Luettu 21.3.2007).

Pöyry. 2006a. Altia Corporationin Koskenkorvan tehtaan laajennus. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Pöyry Oyj. Saatavilla osoitteessa: <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=58167&lan=FI>> (Luettu 9.2.2007).

Pöyry. 2006b. Suomen Bioetanoli Oy, Punkaharjun bioetanolitehdas. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Pöyry Oyj. Saatavilla osoitteessa: <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=61456&lan=FI>> (Luettu 22.3.2007).

Salopelto, J. 2005. Iso-vilja. Viljatutkimus 2005. Saatavilla osoitteessa: <http://www.farmit.net/farmit/fi/03_kasvinviljely/10_viljanlaatu/01_ISO-VILJA-teknologia/03_viljatutkimuksen_raportit/Viljatutkimus_2005.pdf> (Luettu 2.3.2007).

Seuri, P. 1987. Kasvien kasvu ja kehitys. Teoksessa E. Varis (toim.) Peltokasvien tuotannon perusteet. Helsingin yliopiston kasvinviljelytieteen laitoksen julkaisuja no. 15. Helsinki: Yliopistopaino.

TIKE. 2005a. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Viljelypinta-aloja lajikkeittain 2005. Saatavilla osoitteessa: <http://www.fingrain.fi/pls/portal30/rpportal.matilda_julkaisut.showfile?docid=757&version=1135161386&fileid=2014> (Luettu 1.3.2007).

TIKE. 2005b. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Tietokappa - Maataloustilastollinen kuukausikatsaus 7/2005. Saatavilla osoitteessa: <http://www.matilda.fi/pls/portal30/rpportal.matilda_julkaisut.showfile?docid=885&version=1170929166&fileid=3766> (Luettu 18.9.2007).

TIKE. 2006a. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Maatilatilastollinen vuosikirja 2005. Maa-, metsä-, ja kalatalous 2005: 63. Helsinki.

TIKE. 2006b. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Käytössä oleva maatalousmaa vuonna 2005 työvoima- ja elinkeinokeskuksittain. Saatavilla osoitteessa: <http://www.matilda.fi/pls/portal30/rpportal.matilda_julkaisut.showfile?docid=826&version=1174917421&fileid=3719> (Luettu 3.7.2007)

TIKE. 2007a. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Viljelykasvien sato vuonna 2006. Päivitetty 15.1.2007. Saatavilla osoitteessa: <http://www.matilda.fi/pls/portal30/rpportal.matilda_julkaisut.showfile?docid=826&version=1172653188&fileid=3876> (Luettu 21.3.2007).

TIKE. 2007b. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Hintapuntari. Maataloustuotteiden hintakatsaus 1/2007. Saatavilla osoitteessa: <http://www.matilda.fi/pls/portal30/rpportal.matilda_julkaisut.showfile?docid=1023&version=1174653339&fileid=4276> (Luettu 23.4.2007).

Tilastokeskus. 2007. Kivihiilen, maakaasun ja kotimaisten polttoaineiden käyttäjähinnat lämmöntuotannossa. Päivitetty 21.6.2007. Saatavilla osoitteessa: <http://www.tilastokeskus.fi/til/ehkh/2006/04/ehkh_2006_04_2007-03-14_tau_006.xls> (Luettu 12.7.2007).

Tuomaala, M. 1987. Kasvinravitsemuksen perusteita. Teoksessa E. Varis (toim.) Peltokasvien tuotannon perusteet. Helsingin yliopiston kasvinviljelytieteen laitoksen julkaisuja no. 15. Helsinki: Yliopistopaino.

Valkoinen kirja - Eurooppalainen liikennepolitiikka vuoteen 2010: valintojen aika. 2001. KOM(2001) 370 lopullinen. 12.9.2001. Luxemburg: Euroopan yhteisöjen virallisten julkaisujen toimisto. Saatavilla osoitteessa: <http://ec.europa.eu/transport/white_paper/documents/doc/lb_texte_complet_fi.pdf> (Luettu 20.2.2007).

Vaskiluodon Voima Oy. 2005. Kotimaisten polttoaineiden käyttö Seinäjoella. Saatavilla osoitteessa: <<http://www.vv.fi/Default.aspx?id=390929>> (Luettu 16.4.2007).

Varian, H. 2002. Intermediate Microeconomics - a Modern Approach. (6th ed.). New York, NY: W.W. Norton & Company Inc.

Vihreä kirja - Energiahuoltostrategia Euroopalle. 2000. KOM(2000) 769 lopullinen. 29.11.2000. Luxemburg: Euroopan yhteisöjen virallisten julkaisujen toimisto. Saatavilla osoitteessa: <http://ec.europa.eu/comm/energy_transport/doc-principal/pubfinal_fi.pdf> (Luettu 20.2.2007).

Viljavuuspalvelu. 2007. Tulkintaopas. Saatavilla osoitteessa: <http://www.fns.fi/viljavuuspalvelu/user_files/files/oppaat/tulkintaopas.pdf> (luettu 7.3.2007).

Vuorinen, M. & Kangas, A. 2005. Uusien rehuohralajikkeiden vyöry. Koetoiminta ja käytäntö. 62(1) s. 5. (21.3.2005)

Vuorinen, M., Kangas, A., Jalli, M. & Korttemaa, H. 2006. Ohra. Teoksessa Kangas, A & Teräväinen, H. (toim.) Peltokasvilajikkeet 2006. Tieto tuottamaan 113. ProAgria Maaseutukeskusten Liitto ja MTT. Keuruu: Otavan kirjapaino.

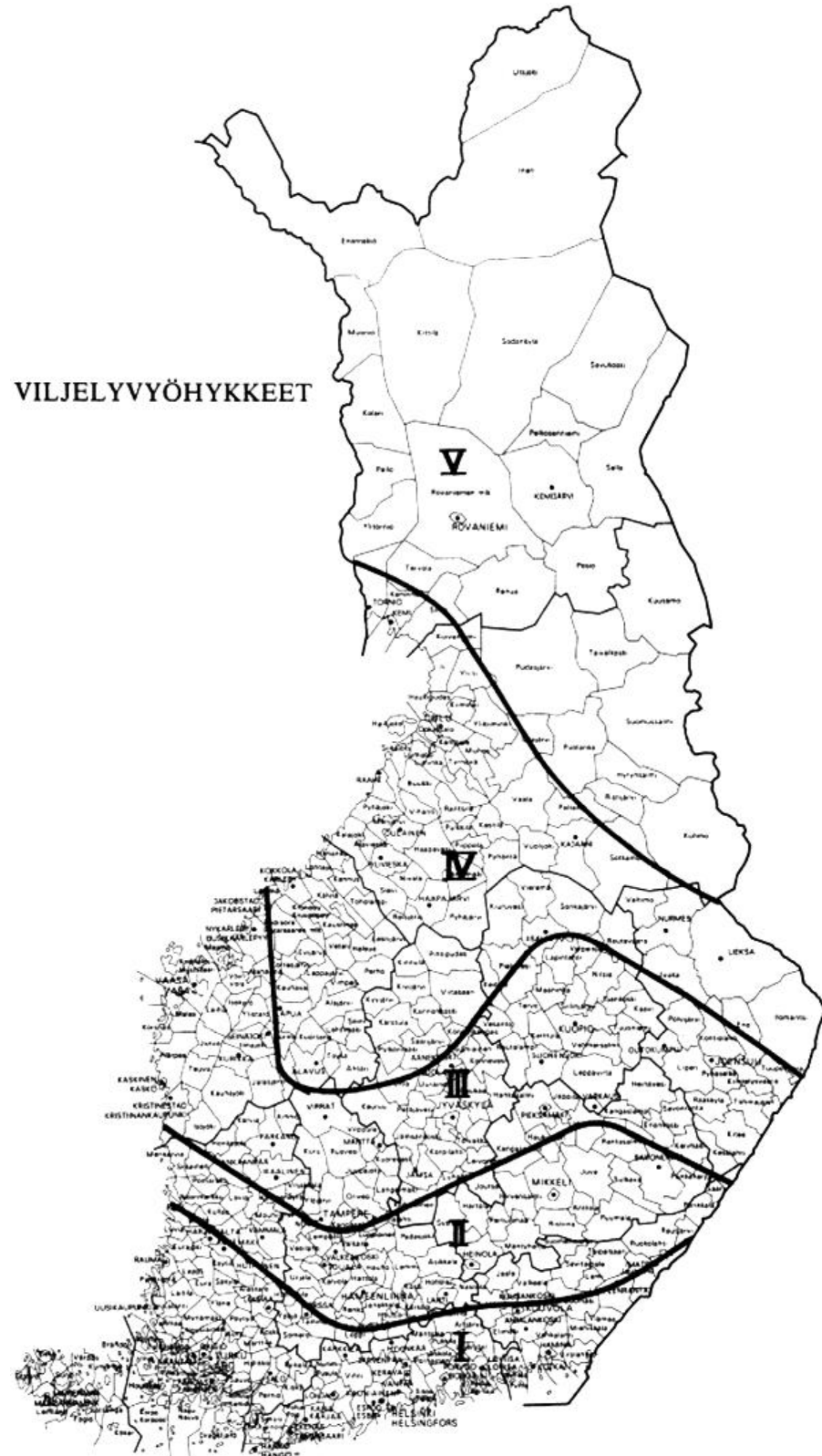
Wikman, U. 1998. Kasvinviljelyn ravinnetaseet. Teoksessa Salo, R. (toim.) Tutkimusta pohjoisella ulottuvuudella - MTT 100 vuotta. Tutkimusasemapäivät 25.7.-7.8.1998. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja. Sarja A 40. Saatavilla osoitteessa: <<http://www.mtt.fi/asarja/pdf/asarja40.pdf>> (Luettu 6.3.2007).

Öljy- ja kaasualan keskusliitto. 2006. Öljytuotteiden ja maakaasun myynti Suomessa 2006. Saatavilla osoitteessa: <http://www.oil-gas.fi/files/342_OljyjamaakaasuSuomessa.pdf> (Luettu 19.2.2007).

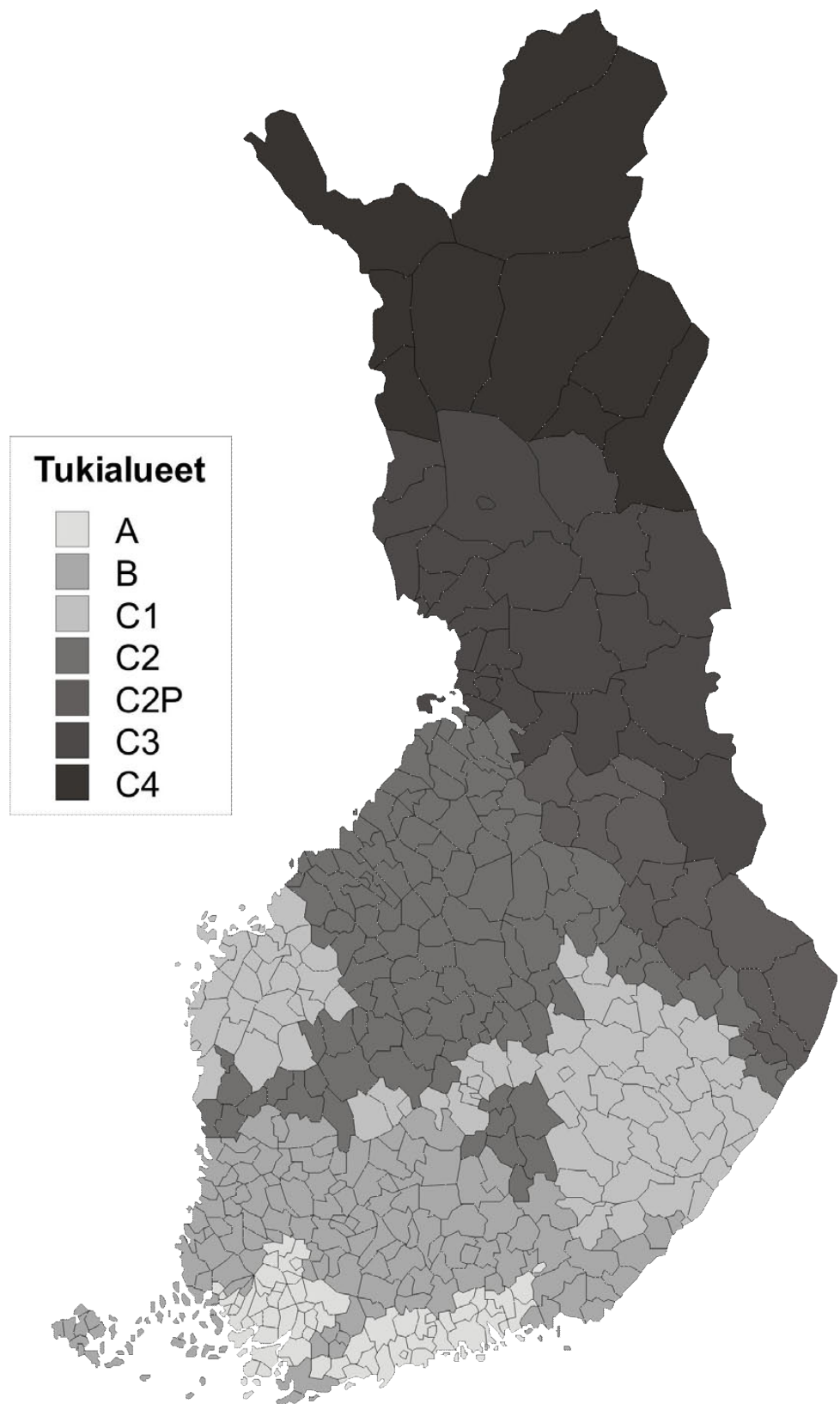
Öljy- ja kaasualan keskusliitto. 2007. Öljytuotteiden hinnanmuodostus 15.2.2007. Saatavilla osoitteessa: <http://www.oil-gas.fi/files/260_HinnatjaverotSuomessa.pdf> (Luettu 22.3.2007).

LIITTEET

LIITE 1 Suomen viljelyvyöhykkeet



LIITE 2 Suomen maatalouden tukialueet



LIITE 3 Polttoaineiden ominaisuuksia

Polttoaine	Lämpöarvo (MJ/l)	Tiheys (g/l)
Bensiini	32,3	725
Dieselöljy	35,7	830
ETBE	27,0	750
Etanoli	21,2	800

LIITE 4 Ohran etanolikysynnän komparatiivinen statiikka

Etanolin tuottajan ensimmäisen kertaluvun välttämättömät ehdot

$$\pi_{\hat{h}}^e = p^e z_{\hat{h}}(\hat{h}, E) + p^r a_{\hat{h}}(\hat{h}) - p^1 = 0 \quad (\text{A4.1})$$

$$\pi_E^e = p^e z_E(\hat{h}, E) - \tilde{w} = 0 \quad (\text{A4.2})$$

Toisen kertaluvun riittävät ehdot ovat

$$\pi_{\hat{h}\hat{h}}^e = p^e z_{\hat{h}\hat{h}}(\hat{h}, E) + p^r a_{\hat{h}\hat{h}}(\hat{h}) < 0 \quad (\text{A4.3})$$

$$\pi_{EE}^e = p^e z_{EE}(\hat{h}, E) < 0 \quad (\text{A4.4})$$

$$\pi_{\hat{h}E}^e = \pi_{E\hat{h}}^e = p^e z_{\hat{h}E}(\hat{h}, E) > 0 \quad (\text{A4.5})$$

kun etanolin tuotantofunktio oletetaan konkaaviksi $z_{\hat{h}} > 0$, $z_E > 0$, $z_{\hat{h}\hat{h}} < 0$, $z_{EE} < 0$,

$z_{\hat{h}E} = z_{E\hat{h}} > 0$. Ratkaistaan vielä Hessin matriisin determinantti

$$\Delta = \begin{vmatrix} \pi_{\hat{h}\hat{h}}^e & \pi_{\hat{h}E}^e \\ \pi_{E\hat{h}}^e & \pi_{EE}^e \end{vmatrix} = \pi_{\hat{h}\hat{h}}^e \pi_{EE}^e - \pi_{E\hat{h}}^e{}^2 > 0 \quad (\text{A4.6})$$

Toisen kertaluvun riittävät ehdot maksimille toteutuvat, koska yhtälön (A4.3) mukaan

$$\pi_{\hat{h}\hat{h}}^e < 0 \text{ ja yhtälön (A4.6) mukaan } \pi_{\hat{h}\hat{h}}^e \pi_{EE}^e - \pi_{E\hat{h}}^e{}^2 > 0.$$

Komparatiivisen statiikan tulokset hintojen suhteen saadaan ottamalla kokonaisdifferentiaalit ensimmäisen asteen ehdoista (A4.1) ja (A4.2) ja ratkaisemalla yhtälöryhmä Cramerin säännöllä:

$$\begin{bmatrix} \pi_{\hat{h}\hat{h}}^e & \pi_{\hat{h}E}^e \\ \pi_{E\hat{h}}^e & \pi_{EE}^e \end{bmatrix} \begin{vmatrix} d\hat{h} \\ dE \end{vmatrix} = \begin{bmatrix} -z_{\hat{h}} & -a_{\hat{h}} & 1 & 0 \\ -z_E & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{vmatrix} dp^e \\ dp^r \\ dp^1 \\ d\tilde{w} \end{vmatrix} \quad (\text{A4.7})$$

Yhtälöstä (A4.7) saadaan ratkaistua hintojen muutosten vaikutukset ohran etanolikysyntään, kun etanolin tuotantofunktio on määritelty konkaaviksi, $z_{\hat{h}} > 0$, $z_E > 0$, $z_{\hat{h}\hat{h}} < 0$, $z_{EE} < 0$, $z_{\hat{h}E} = z_{E\hat{h}} > 0$ ja rehun tuotantofunktio lineaariseksi ja nousevaksi $a_{\hat{h}} > 0$ ja $a_{\hat{h}\hat{h}} = 0$. Siten

$$\frac{d\hat{h}}{dp^e} = (-z_{\hat{h}}\pi_{EE}^e - (-z_E)\pi_{\hat{h}E}^e)\Delta^{-1} > 0 \quad (\text{A4.9})$$

Yhtälön (A4.9) mukaan etanolista maksettavan hinnan nousu lisää ohran etanolikysyntää.

$$\frac{d\hat{h}}{dp^r} = (-a_{\hat{h}}\pi_{EE}^e)\Delta^{-1} > 0 \quad (\text{A4.10})$$

Yhtälön (A4.10) mukaan etanolin sivutuotteena valmistettavan rehun hinnan nousu lisää ohran etanolikysyntää.

$$\frac{d\hat{h}}{dp^1} = \pi_{EE}^e\Delta^{-1} < 0 \quad (\text{A4.11})$$

Yhtälön (A4.11) mukaan ohran hinnan nousu vähentää ohran etanolikysyntää.

$$\frac{d\hat{h}}{d\tilde{w}} = -\pi_{\hat{h}E}^e\Delta^{-1} < 0 \quad (\text{A4.12})$$

Yhtälön (A4.12) mukaan energian hinnan nousu vähentää ohran etanolikysyntää.

LIITE 5 Ohran rehukysynnän komparatiivinen statiikka

Oletetaan rehun tuotantofunktion olevan konkaavi, eli $y_{\bar{h}} > 0$ ja $y_{\bar{h}\bar{h}} < 0$. Rehun tuottajan ensimmäisen kertaluvun välttämätön ehto

$$\pi_{\bar{h}}^r = p^r y_{\bar{h}}(\bar{h}) - p^1 = 0, \quad (\text{A5.1})$$

Toisen kertaluvun riittävä ehto maksimille

$$\pi_{\bar{h}\bar{h}}^r = p^r y_{\bar{h}\bar{h}}(\bar{h}) < 0 \quad (\text{A5.2})$$

Yhtälön (A5.2) negatiivisuus varmistaa, että kyseessä on maksimi. Ensimmäisen asteen ehdosta (A5.1) voidaan implisiittisesti ratkaista ohran rehukysyntä $\bar{h} = D^r(p^1, p^r)$. Komparatiivisen statiikan tulokset hintojen suhteen saadaan ottamalla kokonaisdifferentiaali yhtälöstä (A5.1)

$$p^r y_{\bar{h}\bar{h}}(\bar{h})d\bar{h} + y_{\bar{h}}(\bar{h})dp^r - dp^1 = 0 \quad (\text{A5.4})$$

Tästä voidaan ratkaista hintojen muutosten vaikutukset ohran rehukysyntään.

$$\frac{d\bar{h}}{dp^r} = -\frac{y_{\bar{h}}}{p^r y_{\bar{h}\bar{h}}} > 0 \quad (\text{A5.5})$$

Yhtälön (A5.5) mukaan rehun hinnan nousu kasvattaa ohran rehukysyntää.

$$\frac{d\bar{h}}{dp^1} = \frac{1}{p^r y_{\bar{h}\bar{h}}} < 0 \quad (\text{A5.6})$$

Yhtälön (A5.6) mukaan ohran hinnan nousu vähentää ohran rehukysyntää.

LIITE 6 Ohran tarjonnan komparatiivinen statiikka

Kriittinen maan laatu

Kasvia 1 (ohraa) viljellään heikkolaatuisemmalla maalla kuin kasvia 2 (vehnää). Kesannoksi jätetään kaikista heikkolaatuisin maa. Kesannointiosuus ja ohran viljelyosuus saadaan yhtälöistä

$$L^k = \int_0^{\bar{q}} g(q) dq = G(\bar{q}) \quad (\text{A6.1})$$

$$L^1 = \int_{\bar{q}}^{q^*} g(q) dq = G(q^*) \quad (\text{A6.2})$$

Kriittiset maan laadut q^* ja \bar{q} voidaan ratkaista yhtälöistä, jotka vastaavat yhtälöitä (10a) ja (10b)

$$\frac{\partial PV}{\partial L^k} = \pi^k - \pi^{1*}(p^1, c, \bar{q}) = 0 \quad (\text{A6.3})$$

$$\frac{\partial PV}{\partial L^2} = \pi^{1*}(p^1, c, q^*) - \pi^{2*}(p^2, c, q^*) = 0 \quad (\text{A6.4})$$

jossa $\pi^k = R$, $\pi^{1*} = p^1 f^1(l^{1*}, q) - cl^{1*}$ ja $\pi^{2*} = p^2 f^2(l^{2*}, q) - cl^{2*}$. Näissä yhtälöissä $f^i(l^i, q)$ on kasvin i responsifunktio lannoitusintensiteetin l^i ja maan laadun q suhteen. Responsifunktio oletettiin jatkuvaksi ja konkaaviksi lannoitusintensiteetin ja maan laadun suhteen. Kasvin 2 viljelyosuus on

$$L^2 = G(1) - G(q^*) - G(\bar{q}) \quad (\text{A6.5})$$

Otetaan kokonaisdifferentiaalit yhtälöistä (A6.3) ja (A6.4) joiden avulla voidaan selvittää parametrivektorin $\rho = (p^1, p^2, c, R)$ muuttujien muutosten vaikutukset kriittisiin maan laatuihin q^* ja \bar{q} . Toisin sanoen näin voidaan selvittää $\frac{\partial q^*}{\partial \rho}$ ja $\frac{\partial \bar{q}}{\partial \rho}$.

Tarkastellaan aluksi yhtälön (A6.3) kokonaisdifferentiaalia:

$$dR - \pi_{p^1}^1 dp^1 - \pi_c^1 dc - \pi_{\bar{q}}^1 d\bar{q} = 0 \quad (\text{A6.6})$$

Tästä saadaan

$$\frac{d\bar{q}}{dR} = \frac{1}{\pi_{\bar{q}}^1} > 0 \quad (\text{A6.7})$$

Koska kasvin 1 voittofunktio oletettiin konkaaviksi maan laadun suhteen, niin kriittinen maan laatu \bar{q} nousee, kun kesannoinnista saatavat tulot R nousevat. Toisin sanoen kesannoinnin muuttuessa kannattavamiksi suhteessa ohran viljelyyn, kesannointi valtaa alaa ohran viljelyltä.

$$\frac{d\bar{q}}{dp^1} = -\frac{\pi_{p^1}^1}{\pi_{\bar{q}}^1} = -\frac{f^1(p^1, q)}{\pi_{\bar{q}}^1} < 0 \quad (\text{A6.8})$$

Kun kasvista 1 maksettava hinta p^1 nousee, niin kriittinen maan laatu \bar{q} laskee.

$$\frac{d\bar{q}}{dc} = -\frac{\pi_c^1}{\pi_{\bar{q}}^1} = -\frac{-l^1}{\pi_{\bar{q}}^1} > 0 \quad (\text{A6.9})$$

Kun lannoitteen hinta c nousee, niin kriittinen maan laatu \bar{q} nousee.

Siirrytään sitten tarkastelemaan yhtälön (A6.4) kokonaisdifferentiaalia:

$$\pi_{p^1}^1 dp^1 + (\pi_c^1 - \pi_c^2) dc + (\pi_{q^*}^1 - \pi_{q^*}^2) dq^* - \pi_{p^2}^2 dp^2 = 0 \quad (\text{A6.10})$$

Tästä saadaan

$$\frac{dq^*}{dp^1} = -\frac{\pi_{p^1}^1}{(\pi_{q^*}^1 - \pi_{q^*}^2)} = -\frac{f^1(l^1, q^*)}{\delta_{(-)}} > 0 \quad (\text{A6.11})$$

Koska kasvia 2 kasvatetaan parempilaatuisella maalla kuin kasvia 1, pätee $\delta = p^1 f_{q^*}^1(l^1, q^*) - p^2 f_{q^*}^2(l^2, q^*) < 0$. Siten yhtälön (A6.11) mukaan kasvin 1 hinnan nousu kasvattaa kriittistä maan laatua q^* .

$$\frac{dq^*}{dp^2} = \frac{\pi_{p^2}^2}{(\pi_{q^*}^1 - \pi_{q^*}^2)} = \frac{f^2(l^2, q^*)}{\delta_{(-)}} < 0 \quad (\text{A6.12})$$

Yhtälön (A6.12) mukaan kasvin 2 hinnan nousu pienentää kriittistä maan laatua q^* .

$$\frac{dq^*}{dc} = -\frac{(\pi_c^1 - \pi_c^2)}{(\pi_{q^*}^1 - \pi_{q^*}^2)} = -\frac{l^2 - l^1}{\delta_{(-)}} > 0 \quad (\text{A6.13})$$

Yhtälössä (A6.13) oletetaan että kasvin 2 lannoitusintensiteetti on kasvin 1 lannoitusintensiteettiä voimakkaampi, eli $l^2 > l^1$. Tämän tutkielman asetelmaan oletus sopii hyvin, sillä todellisuudessa vehnän (kasvi 2) lannoitusintensiteetti on ohran (kasvi 1) lannoitusintensiteettiä suurempi. Siten yhtälön (A6.13) mukaan lannoitteen hinnan c nousu kasvattaa kriittistä maan laatua q^* .

Ohran viljelyosuus

Seuraavaksi selvitetään parametrivektorin $\rho = (p^1, p^2, c, R)$ muuttujien vaikutus kasvien viljelyosuuksiin. Leibnizin sääntöä käyttäen otetaan yhtälöistä (A6.1) ja (A6.2) kokonaisdifferentiaalit. Integraalien rajat on määritelty yhtälöissä (A6.3) ja (A6.4). Parametrivektorin muuttujien vaikutukset kasvin 1 viljelyosuuteen voidaan siten ratkaista yhtälöstä

$$\frac{\partial L^k}{\partial \rho} = g(\bar{q}) \frac{\partial \bar{q}}{\partial \rho}; \quad \frac{\partial L^1}{\partial \rho} = g(q^*) \frac{\partial q^*}{\partial \rho} - g(\bar{q}) \frac{\partial \bar{q}}{\partial \rho}; \quad \frac{\partial L^2}{\partial \rho} = -g(q^*) \frac{\partial q^*}{\partial \rho} \quad (\text{A6.14})$$

Jatkossa parametrivektorin $\rho = (p^1, p^2, c, R)$ muuttujien muutosten vaikutuksia tullaan tarkastelemaan ainoastaan tämän tutkielman kannalta relevanttiin kasvin 1 viljelyosuuteen L^1 .

$$\frac{\partial L^1}{\partial p^1} = g(q^*) \underbrace{\frac{\partial q^*}{\partial p^1}}_{(+)} - g(\bar{q}) \underbrace{\frac{\partial \bar{q}}{\partial p^1}}_{(-)} > 0 \quad (\text{A6.15})$$

Yhtälön (A6.15) mukaan kasvin 1 hinnan p^1 nousu kasvattaa kasvin 1 viljelyosuutta L_1 , siten, että kasvin 1 viljely tulee kannattavammaksi verrattuna kesannointiin ja kasvin 2 viljelyyn.

$$\frac{\partial L^1}{\partial p^2} = g(q^*) \underbrace{\frac{\partial q^*}{\partial p^2}}_{(-)} < 0 \quad (\text{A6.16})$$

Yhtälön (A6.16) mukaan kasvin 2 hinnan p^2 nousu pienentää kasvin 1 viljelyosuutta L^1 .

$$\frac{\partial L^1}{\partial c} = g(q^*) \underbrace{\frac{\partial q^*}{\partial c}}_{(+)} - g(\bar{q}) \underbrace{\frac{\partial \bar{q}}{\partial c}}_{(+)} = ? \quad (\text{A6.17})$$

Yhtälön (A6.17) mukaan lannoitteen hinnan vaikutusta kasvin 1 viljelyosuuteen ei voida määrittää. Oletuksen mukaan $l^2 > l^1$. Tällöin lannoitteen hinnan c nousu johtaa kriittisen maan laadun q^* nousuun, joka lisää kasvin 1 viljelyä. Toisaalta lannoitteen hinnan nousu nostaa myös kriittistä maan laatua \bar{q} , jolloin kasvin 1 viljelyosuus pienenee kesannoinnin muuttuessa kannattavammaksi suhteessa kasvin 1 viljelyyn.

$$\frac{\partial L^1}{\partial R} = -g(\bar{q}) \frac{\partial \bar{q}}{\underbrace{\partial R}_{(+)}} < 0 \quad (\text{A6.18})$$

Yhtälön (A6.18) mukaan ohran viljelyosuus pienenee, kun kesannoinnista saatavat tulot kasvavat.

Ohran tarjonta

Kun tarkastellaan kasvin 1 (ohran) tarjontaa koko maan tasolla, voidaan tarjonta esittää notaatiolla

$$S = f^1(l^{1*}, q) \bar{L}^1 * (p^1, p^2, c, R) + \theta, \quad (\text{A6.19})$$

jossa $\bar{L}^1 * = L^1(p^1, p^2, c, R)$. Tässä yhtälössä $\bar{L}^1 *$ vastaa ohran viljelyalaa koko maan tasolla. Tarjonta riippuu siten satotasosta $f^1(l^1, q)$, jonka oletetaan olevan konkaavi lannoitusintensiteetin ja maan laadun suhteen, eli $f_{l^1}^i > 0$, $f_q^i > 0$, $f_{l^1 l^1}^i < 0$, $f_{qq}^i < 0$ ja $f_{l^1 q}^i < 0$ ja kasvin 1 viljelyalasta $\bar{L}^1(p^1, p^2, c, R)$, jonka muutoksia eksogeenisten muuttujien suhteen tullaan tarkastelemaan myöhemmin. Kasvin 1 tarjonnan muutokset saadaan ottamalla yhtälöstä (A6.1) kokonaisdifferentiaali.

$$dS = \frac{\partial L^1}{\partial \rho} f^1 d\rho + \frac{\partial f^1}{\partial l^1} \bar{L}^1 dl^1 \quad (\text{A6.20})$$

jossa $\rho = (p^1, p^2, c, R)$ on parametrivektori.

Tästä voidaan ratkaista hintojen p^1 , p^2 , c ja R muutosten vaikutukset ohran tarjontaan. Ohran tarjonnan komparatiivinen statiikka on siis mahdollista selvittää yhtälöstä (A6.20)

$$\frac{dS}{dp^1} = \frac{\partial \bar{L}^1}{\underbrace{\partial p^1}_{(+)}} f^1 + \frac{\partial f^1}{\underbrace{\partial p^1}_{(+)}} \bar{L}^1 > 0 \quad (\text{A6.21})$$

Koska yhtälön (A6.15) mukaan $\frac{\partial \bar{L}^1}{\partial p^1} > 0$, niin ohran tarjonta kasvaa ohran hinnan p^1 noustessa.

$$\frac{dS}{dp^2} = \underbrace{\frac{\partial \bar{L}^1}{\partial p^2}}_{(-)} f^1 + \underbrace{\frac{\partial f^1}{\partial p^2}}_{(+)} \bar{L}^1 < 0 \quad (\text{A6.22})$$

Koska yhtälön (A6.16) mukaan $\frac{\partial \bar{L}^1}{\partial p^2} < 0$, niin ohran tarjonta vähenee kasvin 2 hinnan p^2 noustessa.

$$\frac{dS}{dc} = \underbrace{\frac{\partial \bar{L}^1}{\partial c}}_{(?) } f^1 + \underbrace{\frac{\partial f^1}{\partial c}}_{(+)} \bar{L}^1 = ? \quad (\text{A6.23})$$

Lannoitteen hinnan nousun vaikutus ohran tarjontaan on epäselvä, koska lannoitteen hinnan nousu nostaa kriittistä maan laatua q^* mutta samalla se nostaa myös kriittistä maan laatua \bar{q} .

$$\frac{dS}{dR} = \underbrace{\frac{\partial \bar{L}^1}{\partial R}}_{(-)} f^1 + \underbrace{\frac{\partial f^1}{\partial R}}_{(+)} \bar{L}^1 < 0 \quad (\text{A6.24})$$

Kesannoinnista saatavien tulojen R nousu vähentää ohran tarjontaa, koska kesannointi muuttuu kannattavammaksi suhteessa ohran viljelyyn.

LIITE 7 Energian hinnan laskeminen

Energian hinta lasketaan painotettuna keskiarvona etanolitehtaan höyryn ja sähkön käytöstä, koska etanolin tuottajan voittofunktiossa π^e esiintyvä energiaparametri E sisältää etanolitehtaan sähkön ja höyryn käytön.

Tutkimus	Sähkön käyttö	Höyryn käyttö	Yhteensä	Sähkön osuus energian kokonaiskäytöstä
Mäkinen ym. 2006	70 920 GJ / a	500 000 GJ / a	570 920 GJ / a	12,42 %
Punkaharju-YVA	86 400 GJ / a	885 600 GJ / a	972 000 GJ / a	8,89 %
Sähkön osuus keskimäärin				10,66 %

Oletetaan, että höyry tuotetaan turpeella. Sähkön hinnaksi oletetaan suurten teollisuuslaitosten sähkön markkinahinta. Näillä tiedoilla voidaan selvittää tutkielmassa tarvittava energian hinta \tilde{w} .

Turpeen hinta (Tilastokeskus 2007)	8,14 €/ MWh
(keskiarvo ajalta 1.7.2005 - 31.12.2006)	2,26 €/ GJ
Sähkön hinta, tyyppikäyttäjä T4 - keskisuuri teollisuus (Energiamarkkinavirasto 2007)	7,10 snt / kWh
(keskiarvo ajalta 1.2.–1.8.2006)	19,71 €/ GJ
<i>Parametrin \tilde{w} arvo</i>	<i>4,12 €/ GJ</i>
<i>(Sähkön ja höyryn käytön mukaan painotettu keskiarvo)</i>	

LIITE 8 Mallin parametrit

	Symboli	Arvo	
HINTATIEDOT			
Etanolin hinta	p^e	0,74319	€/ kg
Vehnän hinta	p^2	0,12628	€/ kg
Rehun hinta	p^r	0,112	€/ kg
Energian hinta	\tilde{w}	0,00412	€/ MJ
Lannoitteen hinta	c	1,150	€/ kg
Ilmastovaikutusten arvostus	b	0,200	€/ kg CO ₂
MALLIN PARAMETRIT			
Etanolin tuotantofunktio			
	α	0,450	
	β	0,090	
	A	1500	
Ohran responsifunktio			
	m^1	3865–4713	
	γ^1	0,828	
	ρ^1	0,0168	
Vehnän responsifunktio			
	m^2	4182–5112	
	γ^2	0,7623	
	ρ^2	0,0104	
Ilmastohyötyparametri	ε	0,835	
Rehuvakio	ϕ	0,260	
MAATALOUDEN KUSTANNUKSET			
	\hat{K}		
Muuttuvat kustannukset (ei lannoitetta) / ohra		137,00	€/ ha
Muuttuvat kustannukset (ei lannoitetta) / vehnä		186,00	€/ ha
Muuttuvat kustannukset / kesannointi		34,80	€/ ha
Kiinteät työkustannukset / viljakasvit		143,00	€/ ha
MAATALOUDEN TUET			
	\hat{K}		
CAP-Tilatuki / viljakasvit		269	€/ ha
CAP-Tilatuki / kesannointi		204	€/ ha
LFA-Ympäristöhaittakorvaus		150	€/ ha
MUUT			
Ohran rehukysyntä	D^r	278 290	t
Ohran eksogeeninen tarjonta	θ	519 480	t
Tarkasteltava kokonaisviljelyala, A-tukialue		272 600	ha

LIITE 9 Maatalouden kokonaiskasvihuonekaasupäästöjen muutos (1/2)

Kesannoinnin korvaaminen ohran viljelyllä - ilmastovaikutukset

	<i>Viljely ja typpilannoitus</i>	<i>Kaava</i>	<i>Arvo</i>		<i>Lähde</i>
(a1)	Kesantoala (Uudenmaan, Varsinais-Suomen, Satakunnan, Hämeen, Pirkanmaan ja Kaakkois-Suomen TE-keskukset)		131100	ha	TIKE 2006b
(a2)	Ohran lannoitusosuus (KA, etelä-suomi)		98,63	kg N / ha	Farmit.net. 2005a
(a4)	IPCC-ohjeiden mukainen N ₂ O-muodostuminen pellolle levitetystä väkilannoitteesta		1,00	%	de Klein 2006, 11.10
(a5)	N ₂ O -päästökerroin (global warming potential)		298		Forster, ym. 2007, 212
(a6)	Suomen maatalouden kokonaispäästöt CO ₂ -ekv		5742,27	Gg CO ₂	Kosonen ym. 2006, 223
(a7)	Lannoitteen valmistuksen CO ₂ -päästöt		2143	kg CO ₂ / t N	Mäkinen ym. 2006, 36
	<i>Maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen muutos</i>				
(b1)	Kesantoalan lannoitus		0,000	Gg	
(b2)	Jos kesantoala muutetaan kokonaan ohran viljelyyn, lannoitus	(a1)*(a2)	12,930	Gg	
(b3)	Lannoitteen käytön muutos	(b2)-(b1)	12,930	Gg	
(b4)	Maatalouden N ₂ O -päästöjen muutos	(b3)*(a4)	0,129	Gg N ₂ O	
(b5)	Maatalouden N ₂ O -päästöjen muutos, CO ₂ -ekv	(b4)*(a5)	38,533	Gg CO ₂	
	Maatalouden muuttuneet kokonaispäästöt, CO ₂ -ekv	(a6)+(b5)	5780,803	Gg CO ₂	
	Maatalouden kokonaispäästöjen muutos, lannoituksen vaikutus		0,67	%	
	<i>Lannoitteen valmistuksen ja käytön päästöt</i>	<i>Kaava</i>	<i>Arvo</i>		
(c1)	Lannoitteen käytön muutos	(b3)	12,930	Gg N	
(c2)	CO ₂ -päästöt kasvavat	(c1)*(a7)	27,710	Gg CO ₂	
(c3)	Muuttuneet kokonaispäästöt	(a6)+(c2)	5769,980	Gg CO ₂	
	Maatalouden kokonaispäästöjen muutos, lannoitteiden valmistuksen vaikutus		0,48	%	
	Maatalouden muuttuneet kokonaispäästöt, yhteensä		1,15	%	

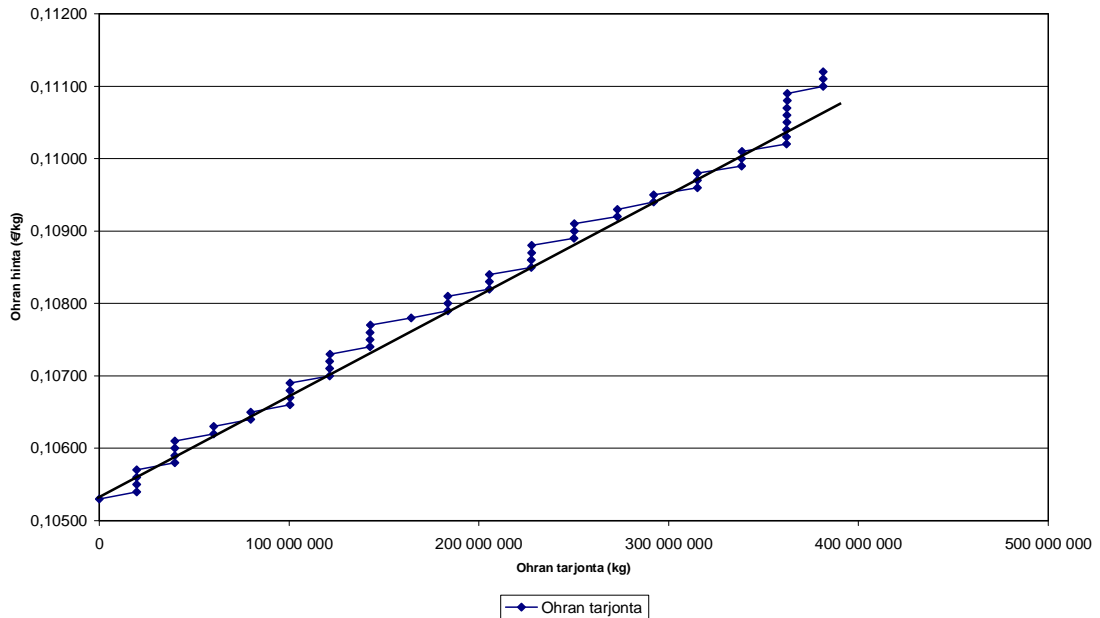
Maatalouden kokonaiskasvihuonekaasupäästöjen muutos (2/2)

Vehnän viljelyn korvaaminen ohran viljelyllä - ilmastovaikutukset

	<i>Lähtötiedot</i>	<i>Kaava</i>	<i>Arvo</i>		<i>Lähde</i>
(a1)	Kevätvehnän viljelyala		172100	ha	TIKE 2006b
(a2)	Syysvehnän viljelyala		10700	ha	TIKE 2006b
	(Uudenmaan, Varsinais-Suomen, Satakunnan, Hämeen, Pirkanmaan ja Kaakkois-Suomen TE-keskukset)				
(a3)	Syysvehnän lannoitusosuus (KA, etelä-suomi)		144,95	kg N / ha	Farmit.net. 2005c
(a4)	Kevätvehnän lannoitusosuus (KA, etelä-suomi)		115,55	kg N / ha	Farmit.net. 2005b
(a5)	Ohran lannoitusosuus (KA, etelä-suomi)		98,63	kg N / ha	Farmit.net. 2005a
(a6)	IPCC-ohjeiden mukainen N ₂ O -muodostuminen pellolle levitetystä väkilannoitteesta		1,00	%	de Klein 2006, 11.10
(a7)	N ₂ O -päästökerroin (global warming potential)		298		Forster, ym. 2007, 212
(a8)	Maatalouden kokonaispäästöt CO ₂ -ekv		5742,27	Gg CO ₂	Kosonen ym. 2006, 223
(a9)	Lannoitteen valmistuksen CO ₂ -päästöt		2143	kg CO ₂ / t N	Mäkinen ym. 2006, 36
	<i>Maatalouden kasvihuonekaasupäästöjen muutos</i>				
(b1)	Kevätvehnän kokonaislannoitus	(a1)*(a4)	19,887	Gg N	
(b2)	Syysvehnän kokonaislannoitus	(a2)*(a3)	1,551	Gg N	
(b3)	Jos samalla pinta-alalla viljeltäisiin ohraa, lannoitus	[(a1)+(a2)]*(a5)	18,029	Gg N	
(b4)	Lannoitteen käytön muutos	(b3)-(b2)-(b1)	-3,409	Gg N	
(b5)	Maatalouden N ₂ O -päästöjen muutos	(b4)*(a6)	-0,034	Gg N ₂ O	
(b6)	Maatalouden N ₂ O -päästöjen muutos, CO ₂ -ekv	(b5)*(a7)	-10,158	Gg CO ₂	
	Maatalouden muuttuneet kokonaispäästöt, CO ₂ -ekv	(a8)+(b6)	5732,112	Gg CO ₂	
	Maatalouden kokonaispäästöjen muutos, lannoituksen vaikutus		-0,18 %		
	<i>Lannoitteen valmistuksen kasvihuonekaasupäästöjen muutos</i>	<i>Kaava</i>	<i>Arvo</i>		
(c1)	Lannoitteen käytön muutos	(b4)	-3,409	Gg N	
(c2)	Lannoitteen valmistuksen CO ₂ -päästöjen muutos	(a9)*(c1)	-7,305	Gg CO ₂	
	Maatalouden muuttuneet kokonaispäästöt, CO ₂ -ekv		5734,965	Gg CO ₂	
	Maatalouden kokonaispäästöjen muutos, lannoitteiden valmistuksen vaikutus		-0,13 %		
	Maatalouden muuttuneet kokonaispäästöt, yhteensä		-0,31 %		

LIITE 10 Ohran lineaarisen tarjontakäyrän approksimointi

Jotta ohran varsinaisesta tarjontakäyrästä saataisiin poistettua portaisuus, tehdään ohran tarjonnasta lineaarinen approksimaatio



Kuva A10.1 Ohran tarjontakäyrä

Kuvassa A10.1 esitetään ohran tarjonnän todelliset arvot pisteinä ja ohran tarjonnän lineaarinen approksimaatio. Tämän ohran tarjontakäyrän yhtälö on muotoa

$$h = \frac{(p^1 - 0,1053)}{1,49450 \cdot 10^{-11}}, \quad (\text{A10.1})$$

jossa ohran määrä h riippuu ohran hinnasta p^1 . Kuvassa A10.1 ohran lineaarinen tarjontakäyrä on ainoastaan suuntaa-antava eikä vastaa täysin yhtälössä (A10.1) esitettyä yhtälöä. Yhtälön A10.1 kuvaama tarjontakäyrä on konstruoitu laskemalla suoran yhtälö, joka kulkee kahden varsinaisella tarjontakäyrällä olevan pisteen kautta.

LIITE 11 Herkkystarkastelun vaikutukset maataloustuotantoon

Päästöoikeuden hinta + 50 % (arvosta 0,200 €/kg arvoon 0,300 €/kg)						
	<i>Yksityistaloudellinen optimi</i>			<i>Yhteiskunnallinen optimi</i>		
	Kesanto	Ohra	Kevätvehnä	Kesanto	Ohra	Kevätvehnä
Viljelyosuus	5/19	1/19	13/19	3/19	10/19	6/19
Lannoitus (kg/ha)	0	98,44	137,47	0	101,71	141,08
Sato (kg/ha)	0	3 446	3 927	0	3 582	4 107
Viljelyala (ha)	71 737	14 347	186 516	43 042	143 474	86 084
Voitot, ilman tukia (€/ha)	-34,80	-32,46	12,24	-34,80	-9,77	34,94
Voitot, tuilla (€/ha)	319,20	386,54	431,24	319,20	409,23	453,94
Päästöoikeuden hinta - 50 % (arvosta 0,200 €/kg arvoon 0,100 €/kg)						
	<i>Yksityistaloudellinen optimi</i>			<i>Yhteiskunnallinen optimi</i>		
	Kesanto	Ohra	Kevätvehnä	Kesanto	Ohra	Kevätvehnä
Viljelyosuus	5/19	1/19	13/19	4/19	4/19	11/19
Lannoitus (kg/ha)	0	98,44	137,47	0	99,28	138,52
Sato (kg/ha)	0	3 446	3 927	0	3 475	3 978
Viljelyala (ha)	71 737	14 347	186 516	57 389	57 389	157 821
Voitot, ilman tukia (€/ha)	-34,80	-32,46	12,24	-34,80	-26,89	18,73
Voitot, tuilla (€/ha)	319,20	386,54	431,24	319,20	392,11	437,73
Etanolin hinta + 20 % (arvosta 0,74319 €/kg arvoon 0,89183 €/kg)						
	<i>Yksityistaloudellinen optimi</i>			<i>Yhteiskunnallinen optimi</i>		
	Kesanto	Ohra	Kevätvehnä	Kesanto	Ohra	Kevätvehnä
Viljelyosuus	4/19	6/19	9/19	3/19	13/19	3/19
Lannoitus (kg/ha)	0	100,37	139,56	0	103,15	142,58
Sato (kg/ha)	0	3 527	4 030	0	3 658	4 185
Viljelyala (ha)	57 389	86 084	129 126	43 042	186 516	43 042
Voitot, ilman tukia (€/ha)	-34,80	-19,25	25,21	-34,80	0,96	44,67
Voitot, tuilla (€/ha)	319,20	399,75	444,21	319,20	419,96	463,67
Vehnän hinta + 20 % (arvosta 0,12628 €/kg arvoon 0,15154 €/kg)						
	<i>Yksityistaloudellinen optimi</i>			<i>Yhteiskunnallinen optimi</i>		
	Kesanto	Ohra	Kevätvehnä	Kesanto	Ohra	Kevätvehnä
Viljelyosuus	0	0	19/19	0	0	19/19
Lannoitus (kg/ha)	0	0	151,75	0	0	151,75
Sato (kg/ha)	0	0	3 918	0	0	3 918
Viljelyala (ha)	0	0	272 600	0	0	272 600
Voitot, ilman tukia (€/ha)	0	0	89,43	0	0	89,43
Voitot, tuilla (€/ha)	0	0	508,43	0	0	508,43