

**SUOMALAISTEN MAITOTILOJEN PELTOKAS-
VITUOTANNON TEKNINEN TEHOKKUUS
VUOSINA 2007 – 2012**

**STOKASTINEN RINTAMA-ANALYYSI KANNATTAVUUSKIRJAN-
PITOTILA-AINEISTOSTA**

Pekka Halinen

Helsingin yliopisto

Taloustieteen laitos

Maatalouden liiketaloustiede

Maisterintutkielma

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Taloustieteen laitos
Tekijä — Författare — Author Pekka Halinen		
Työn nimi — Arbetets titel — Title Suomalaisten maitotilojen peltokasvituotannon tekninen tehokkuus vuosina 2007 – 2012		
Oppiaine — Läroämne — Subject Maatalousekonomia, maatalouden liiketaloustiede		
Työn laji - Arbetets art - Level Maisterintutkielma	Aika - Datum - Month and year Huhtikuu 2015	Sivumäärä - Sidoantal - Number of pages 73 s. + liitteet 11 s.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Tutkielmassa tarkasteltiin stokastisen rintama-analyysin avulla suomalaisten tavantomaista tuotantotapaa harjoittavien maitotilojen teknistä tehokkuutta ja sen vaihteluita kirjanpitolitoilta vuosilta 2007–2012. Tuotosaggregaattina oli tilan kokonaissato rehuyksiköissä mitattuna. Panoksina olivat peltopinta-ala, kasvinviljelyn muuttuvat kustannukset määrällisiksi muunnettuna, kasvinviljelytyö sekä konepääoma. Tuotanto ilmensi likimain vakioskaalatuottoja. Tehokkuus oli eri mallispesifikaatioilla keskimäärin 0,7 tasolla. Vaihtelut olivat kuitenkin suuria ja joukossa esiintyi erityisen tehottomia tiloja. Tehokkuuden keskimääräinen taso laski hieman tutkimusajanjaksoilla. Peltopanos selitti valtaosan sadonmuodostuksesta. Lannoitus ja kalkitus selittivät vaihtelusta toiseksi eniten.</p> <p>Teknisen tehokkuuden vaihtelua selitettiin havaintovuodella, eläintiheydellä, karjako- koluokalla, nurmen viljelyosuudella, tilan maantieteellisellä sijainnilla, urakoinnin hankintamäärällä sekä päätoimisen viljelijän ikävuosilla. Suuri eläintiheys ja tilan sijainti maan keski- tai eteläosassa muodostuivat tärkeimmiksi tehokkuutta selittäviksi tekijöiksi. Nurmen vähäisempi osuus pellonkäytössä vaikutti tehokkuuteen positiivisesti osassa malleista. Viljelijän iän ja urakoinnin hankinnan tason yhteyttä tekniseen tehokkuuteen ei suoranaisesti havaittu. Keskimäärin 40 % virhetermistä jäi stokastisen vaihtelun osuudeksi. Tilakohtaisilla olosuhdetekijöillä on oletettavasti yhteys teknisen tehokkuuden tasoon. Yhdistetty tuotantorintama ei aggregointien takia huomioi riittävästi tilakohtaisia tekijöitä. Osa tehottomuutta selittävästä tekijöistä voitaisiinkin sijoittaa myös tuotantofunktioon ja ottaa siten heterogeenisuus huomioon.</p> <p>Teknisen tehokkuuden ja kustannustehokkuuden yhteyttä ei tarkasteltu. Maidontuotantoa kehitettäessä kasvintuotantoprosessi on merkityksellinen tekijä hajanaisen tilusrakenteen Suomessa.</p>		
Avainsanat — Nyckelord — Keywords maidontuotanto, kotieläintilan kasvintuotanto, tekninen tehokkuus, stokastinen rintama-analyysi		
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Helsingin yliopisto, Taloustieteen laitos		
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työn ohjaaja: Prof. Timo Sipiläinen		

SISÄLLYS

1. JOHDANTO.....	5
1.1. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet.....	5
1.2. Tutkimuksen viitekehys	7
1.3. Suomalaisten maitotilojen rakenne.....	9
1.4. Suomalaisten maitotilojen talous.....	11
2. AIEMMAT TUTKIMUKSET	15
2.1. Ulkomainen tutkimus	15
2.2. Kotimainen tutkimus maitotilojen tuottavuudesta ja tehokkuudesta.....	18
3. TUOTTAVUUS JA TEHOKKUUS	21
3.1. Tuotantoteknologia.....	21
3.2. Tuotantofunktiomuodot.....	25
3.3. Tuottavuus	26
3.4. Tekninen tehokkuus	27
3.5. Kustannustehokkuus ja taloudellinen optimointi	29
4. TEHOKKUUDEN MITTAAMINEN	32
4.1. Menetelmäkenttä	32
4.2. DEA-mallit	34
4.3. Stokastiset rintamamallit	34
5. AINEISTO.....	38
5.1. Aineiston kuvaus	38
5.2. Muuttujavalinnat tuotantofunktioon.....	40
6.3. Tehottomuusosaan rakennetut muuttujat.....	46
6.4. Hintojen inflaatiokorjaus	48
6. MALLIEN MÄÄRITTELY	51
6.1. Lähtökohdat ja tekninen toteutus	51
6.2. Mallien määrittelyt	52

7. TULOKSET	54
7.1. Tulokset tuotantofunktioista ja keskimääräisistä tehokkuuksista.....	54
7.2. Tulokset estimoiduista tehokkuusosioista	58
8. TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	63
8.1. Vertailu aiempiin tutkimuksiin ja päätelmät	63
8.2. Rintamamallien kritiikki.....	65
8.3. Jatkotutkimustarpeet.....	66
LÄHTEET	67
Liite 1. Aineiston tilastollisia keskiarvoja vuosittain ja tukialueittain.....	74
Liite 2. Deflatointikertoimet	77
Liite 3. Estimointien tulokset	78

1. JOHDANTO

1.1. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Maataloustuottajan intressi on järjestää tuotanto tehokkaasti, resursseja turhaan kuluttamatta. Tehokkuus ilmaisee millä tasolla toimijan tuottavuus on alan parhaimpaan saavutettavissa olevaan panos-tuotossuhteeseen nähden. Tuottavuus määritellään tuotoksen ja tuotosta kohden käytettävän panosmäärän keskinäiseksi suhteeksi. Teknologian kehittyessä parhaan tuottavuuden tehokas rintama siirtyy aina etäämmälle nollassa, jolloin yrityksille syntyy uutta tehostamispotentiaalia.

Maidontuotannon strategiassaan valinneen tilan on ratkaistava tuotostaso, johon sen kannattaa pyrkiä. Vapailla markkinoilla rationaalisesti toimivan tuottajan tavoite on voiton maksimoivan maitomäärän tuottaminen, maitokiintiön voimassa ollessa kustannusten minimointi kiintiömäärän tuottamalla. Meijerien ostamana maitotuote on yleensä vakio, tuote-erilaistamisen tila voi yleensä tehdä valitsemalla tavanomaisen tai luomutuotannon välillä. Suoramyyntille on oma markkinansa, mutta sen kokonaisvolyymi on pieni. Maitotila onkin yleistetyksi hinnanottaja, jonka toiminta on luonteeltaan teknistä tuottamista ennemmin kuin markkinointiin perustuvaa myyntiä. Tällöin kustannusrakenne ratkaisee tilan taloudellisen tuloksen ja alan parhaat yritykset ovat kustannusjohtajia. Maidontuottajat pyrkivät toiminnassaan mahdollisimman pieniin yksikkökustannuksiin tavoiteltavan tuotantomäärän toteuttamiseksi, eli siis korkeaan kustannustehokkuuteen. Kustannustehokkuus on hintasuhteiden määrittämän allokatiivisen tehokkuuden sekä teknisen tehokkuuden tulo.

Maitotilojen yleistä tehokkuutta on tutkittu paljon ja monipuolisesti sekä Suomessa, että maailmalla. Vähemmän on eritelty maitoa tuottavien tilojen tehokkuutta peltokasvintuotannossa. Kasvintuotanto kotieläintilalla voi olla samanaikaisesti sekä tilan sisäinen väli-tuoteprosessi, että erillisten myyntituotteiden tuotantoprosessi. Siirtymä sekatiloista erikoistuneisiin tiloihin 1900-luvun jälkimmäisellä puoliskolla on kotieläintiloilla johtanut omien eläinten rehuntuotantoon keskittymiseen. Rehuntuotanto on eläinprosessiin kiinteästi kytkeytyvä osa, sillä valtaosalla maitotiloista vähintään karkearehu tuotetaan karjan ruokinnallisen tarpeen mukaan kohtuullisella etäisyydellä eläinsuojasta sijaitsevilla pelloilla, ja ostorehuille jää ruokintaa täydentävä rooli.

Suomen maidontuotannossa luonnonolosuhteet korostavat rehuntuotannossa onnistumisen merkitystä, koska kasvu- ja laidunkausi on useimpia kilpailijamaita lyhyempi, menestyvien rehukasvien ja lajikkeiden määrä vähäisempi, varastojen tarve suurempi ja hehtaarisadot alhaisempia (Pekonniemi, Karhula & Ylätalo 2004, 15). Tässä tutkimuksessa käsitellään maidontuotannon peltoprosessin kokonaisuutta teorian painottuessa rehuntuotantoon.

Suomen maataloudessa on käynnissä voimakas rakennemuutos. Tilojen määrä supistuu ja yksikkökooko kasvaa. Maidontuotannon osalta merkittävä tulevaisuuden muutostekijä on tuotantomääriä säätelevän maitokiintiöjärjestelmän poistuminen Euroopan Unionin (myöhemmin EU) alueelta vuonna 2015. Euroopan tuotannon arvioidaan kasvavan voimakkaasti, ja kilpailun kiristyvän. Suomen markkinoilla kilpailua syntyy etenkin maitojalosteiden osalta sekä tuonnin kasvun, että viennin heikentymisen johdosta (Lehtonen, H. 2014, 55). Meijjeriteollisuuden raakamaidosta maksama hinta on kovenevassa kilpailussa entistä herkempi markkinaheilahteluille. Tuotantoa Suomessa jatkavien maitotilojen onkin kilpailukyvyn säilyttämiseksi oltava tehokkaita sekä eläin- että peltoprosesseissa, ja näiden yhdistämisessä.

Jatkavat maitotilat kohtaavat haasteita liikkeenjohdon kysymyksissä kuten esimerkiksi maksuvalmiuden hallinnassa, tuotantoon liittyvän tekniikan kontrolloinnissa sekä osaan työvoiman rekrytoinnissa. Lisäksi haasteita esiintyy toimintaympäristössä. Taantuville tuotantoalueilla yhteistyömahdollisuudet ja urakoinnin hyödyntäminen ovat yhä pitenevän välimatkan päässä, kun taas intensiivisillä tuotantoalueilla kilpaillaan lisäpellon saatavuudesta. Peltoviljelyn tehokkuus nouseekin olennaiseksi erityisesti laajentavilla maitotiloilla¹.

Tuotantofunktio on matemaattinen kuvaus siitä, kuinka panokset muuttuvat tuotokseksi. Tuotantofunktio pohjaisessa lähestymistavassa taustaoletuksena on yleensä oletettavissa oleva tehokas tuotanto, johon kaikilla tuottajilla on mahdollisuus. Sallittaessa tehottomuus, käytetyimmät tutkimusmenetelmät ovat stokastinen tuotantorintama-analyysi eli SFA-menetelmä (*Stochastic Frontier Analysis*) ja DEA-menetelmä (*Data Envelopment*

¹ Maidontuotannossa on tyypillistä tuotantokapasiteetin kasvattaminen kerrannaisena (esim. lypsyrobottien määrän lisääminen), mikä Suomen hajanaisen tilusrakenteen olosuhteissa aiheuttaa haasteen peltoalan riittävyydelle (Pyykkönen, Bäckman & Puttaa 2013, 11).

Analysis). Tässä tutkimuksessa sovelletaan mainituista ensimmäistä, satunnaisuuden huomioon ottavaa SFA-menetelmää maitotilojen kasvintuotannon panos-tuotossuhteen kuvaamiseen ja teknisen tehokkuuden mittaamiseen.

Käytettävänä paneeliaineistona on MTT:n kannattavuuskirjanpitoon kuuluvien tavanomaista tuotantotapaa harjoittavien maitotilojen kasvintuotantoa kuvaavat tiedot vuosilta 2007–2012. Yleisen FADN-luokituksen mukaisesti maitotiloiksi lasketaan kirjanpitoaineistossa ne tilat, joilla maitotalouden tuotto muodostaa kaksi kolmasosaa myyntituotoista (*SO, Standard Output*).

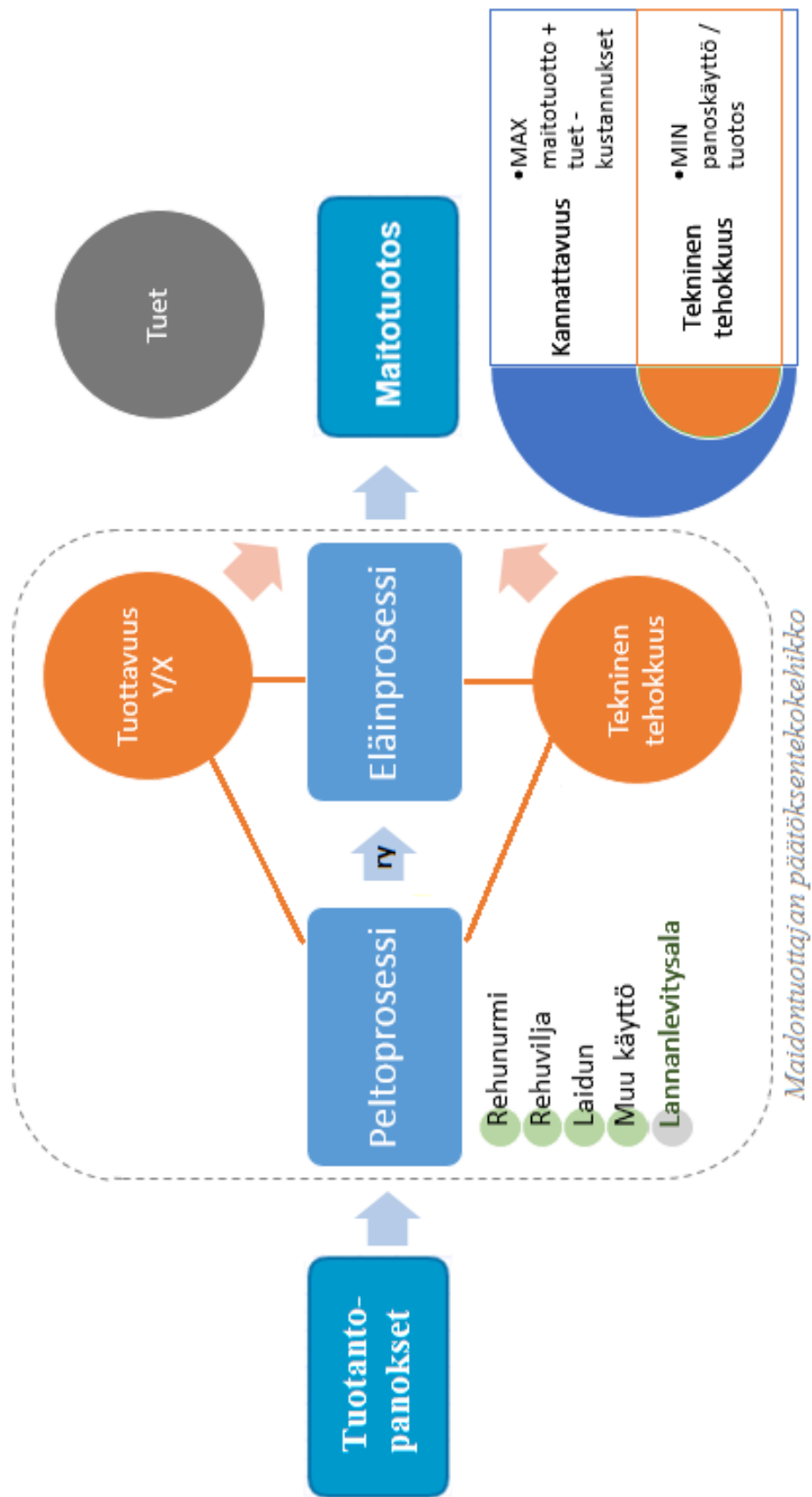
Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

- Kuinka suuria teknisiä tehokkuuseroja kannattavuuskirjanpidon maitotilojen kasvintuotannossa esiintyy?
- Mitkä tekijät selittävät maitotilojen kasvintuotannon tehokkuuseroja?

Tutkielma alkaa kuvauksella taustoista ja tavoitteista. Luvut 1.3. ja 1.4. kuvaavat maitotilojen yleistilannetta taustoittaen tutkimusaluetta. Luku 2. sisältää aiempia aihepiirin tutkimuksia ulkomailta ja kotimaasta. Luvussa kolme käydään läpi tutkielman teoriapohja perehtyen tuotanto- ja kustannusteorian mukaiseen ajatusmalliin sekä tehokkuuden analysointiin. Luvussa neljä esitellään tehokkuuden mittaamiseen yleisesti käytetyt mallit, ja perustellaan käytettävän mallin valinta. Luvussa viisi esitellään aineisto ja sovellettava tutkimusmenetelmä. Luvussa 6 määritellään estimoitavat, empiiriseen aineistoon sovellettavat tuotantofunktiot. Tuloksista esitetään kootusti luvussa 7. Tutkielma päättyy tulosten tarkasteluun ja johtopäätöksiin luvussa 8.

1.2. Tutkimuksen viitekehys

Kun tutkitaan mitattavissa olevia määrällisiä suureita tilastollisin menetelmin, kyse on kvantitatiivisesta taloustutkimuksesta. Tutkimuksen viitekehys kuvaa tutkittavan ongelman rajausta ja kytkentöjä. Tässä tutkielmassa viitekehys rajautuu peltoprosessin rooliin maitotilan tuotannossa sekä sen teknisen tehokkuuden kytkentöihin. Tutkielman viitekehys on graafisesti esitetty kuviossa 1. Neoklassisen taloustieteellisen ajattelun mukaista tuotanto- ja kustannusteoriaa tehokkuusmalleineen käytetään tutkielman teoriapohjana.



Kuvio 1. Tutkimuksen viitekehys.

1.3. Suomalaisien maitotilojen rakenne

Maidontuotantoa päätoimisesti harjoittavia maatilayrityksiä oli vuoden 2012 maatalouslaskennan mukaan Suomessa 9 781 kappaletta (MMM Tike 2014). Vuosituhannen vaihteesta maitotilojen määrä laski kuudellakymmenellä prosentilla. Mikäli lypsykarjatilojen määrä vähenee nykyistä tahtia, niitä on vuonna 2020 toiminnassa noin 5 500 kappaletta (Niemi ym. 2014, 45).

Vuonna 2013 Suomessa tuotettiin noin 2,2 miljardia litraa maitoa. Suomi on ollut Euroopan Unionin jäsen vuodesta 1995. Suomen EU-jäsenyysneuvotteluissa vahvistettu maitokiintiö oli 2,3 miljardia litraa. EU:n yhteisen maatalouspolitiikan (*common agricultural policy*, myöhemmin CAP) terveystarkastuksen 2003 jälkeen maitokiintiötä korotettiin vuosittain yhdellä prosentilla vuoteen 2013 asti (noin 2,5 miljardiin litraan). Kiintiöjärjestelmä poistui käytöstä maaliskuun lopussa 2015 (MMM 2015).

Maidontuotanto Suomessa on alueellisesti vahvasti keskittynyttä (Pyykkönen ym. 2013, 20). Eniten maitotiloja sijoittui vuonna 2013 Pohjois-Savon, Pohjois- ja Etelä-Pohjanmaan sekä Pohjanmaan maakuntiin. Vähiten maitotiloja oli Ahvenanmaan, Uudenmaan ja Varsinais-Suomen maakunnissa. Maidontuotanto ja tuotannon uusinvestoinnit ovat viime vuosina painottuneet pohjoiseen C-tukialueille. Vuonna 2012 noin kuudennes kaikista Suomessa tuotetusta meijerimaidosta kerättiin eteläisiltä A- ja B-tukialueilta.

Suurimmat maidontuottajakunnat vuonna 2012 olivat Kokkola, Kiuruvesi, Nivala, Vierevä, Jalasjärvi, Lapinlahti ja Kauhava, joissa kussakin vuotuinen maidontuotanto oli yli kolmekymmentä miljoonaa litraa (MMM Tike 2014). Alueellinen keskittyminen tuo tiloille synergiaetuja, mutta aiheuttaa kilpailua peltopinta-alasta. Osa laajentavista tiloista onkin ryhtynyt raivaamaan lisäpeltoa suo- ja metsäalueista erityisesti mainituissa Pohjois-Pohjanmaan, Pohjois-Savon ja Etelä-Pohjanmaan maakunnissa. Maidontuottajat ovat raivanneet yli 40 prosenttia vuosina 2000–2009 Suomessa raivatusta uudisalasta eli lähes 40 000 hehtaaria (Niskanen & Lehtonen 2014, 20–21). Uudisraivion tuotantokuntoon saattaminen aiheuttaa aloituskustannuksia, eikä niitä pääsääntöisesti ole saanut peltotukien piiriin vuoden 2004 jälkeen.

Riepposen (2003, 16) mukaan maidon tuotantokustannuksessa oli vuonna 2000 merkittäviä eroja tukialueiden välillä. Pienimmät tuotantokustannukset maitokiloa kohden olivat B- ja C2-alueiden tiloilla ja suurimmat C4-alueella. Ostoviljakustannus oli pohjoisessa

merkittävästi etelää suurempi, ja rehuvilja-ala oli vastaavasti pienempi. Toisaalta eteläisen Suomen tiloilla pääoman korkokustannus oli pohjoisen tiloja suurempi pitkälti siksi, että pellot arvostettiin korkeampaan hintaan.

Maitotilat ovat Suomessa maatalouden merkittävin työllistäjä. Vuonna 2010 alalla tehtiin 33 769 henkilötyövuotta. Lypsykarjatalouden harjoittajina ja yhtymien osakkaina työskenteli 12 488 henkilöä, joista noin 97 prosenttia päätoimisesti. Perheenjäseniä alalla työskenteli hiukan enemmän, 12 820 henkilöä, joista liki 90 prosenttia päätoimisesti. Vakituisesti palkattua perheen ulkopuolista työvoimaa maidontuotantotiloilla työskenteli kaikkiaan 1 309 henkilöä. (MMM Tike 2014.)

Lypsykarjatilalliset olivat keskimäärin nuorempia kuin muiden tuotantosuuntien viljelijät 48,4 vuoden keski-ikänsä. He myös jakautuivat iältään tasaisemmin eri ikäluokkiin. Tilarakenteeseen suhteutettuna suoria henkilötyövuosia tehtiin keskimäärin noin kolme kappaletta vuodessa maitotilaa kohden (MMM Tike 2014). Kasvinviljelytöihin käytettiin tuolloin kirjanpidon edustamalla maitotiloilla keskimäärin 620 tuntia vuodessa vastaten 11,6 tuntia hehtaaria kohden. Vuonna 2012 vastaava arvo oli pienentynyt keskimäärin 9,75 työtuntiin hehtaaria kohden (MTT Taloustohtori 2014).

Lypsylehmien kokonaismäärä oli 342 000 eläintä vuonna 2012 ja maitoa tuotettiin 2 230 miljoonaa litraa (MMM Tike 2014). Näissä määrissä ei tapahtunut merkittäviä muutoksia vuosien 2007 ja 2012 välillä. Lypsyssä olevien lehmien kokonaismäärä laski hieman ja lehmäkohtainen maitotuotos vastaavasti kasvoi.

Suomalaiset maitotilat ovat eurooppalaisessa vertailussa pääosin pieniä ja keskikokoisia perhetiloja, joilla on sekä omaa että vuokrattua peltoa. Osa tiloista harjoittaa myös yhteisviljelyä tai sopimustuotantoa muiden maatilojen kanssa. Useat hyödyntävät urakointia ja yhteistä työvoimaa. Joillakin tiloilla yhteistyö on laajentunut yhteisnavetan asteelle.

Vuonna 2013 maitotilojen viljelyksessä oli 547 534 hehtaaria peltoa ja keskimäärin peltopinta-alaa oli 56,41 hehtaaria tilaa kohden (MMM Tike 2014). Maitotilojen käytössä oleva kokonaispeltopinta-ala on laskenut, ja sitä on pienten maitotilojen eläimistä luopumisen myötä siirtynyt tuotantosuuntamuutoksena erityisesti viljatilaille (Niskanen & Lehtonen 2014, 8). MTT:n kannattavuuskirjanpidon edustamien lypsykarjatilojen viljelyala oli vuoden 2011 laskennassa keskimäärin 56,6 hehtaaria tilaa kohden, josta keskimäärin 19,5 hehtaaria oli vuokrattua (MTT Taloustohtori 2014).

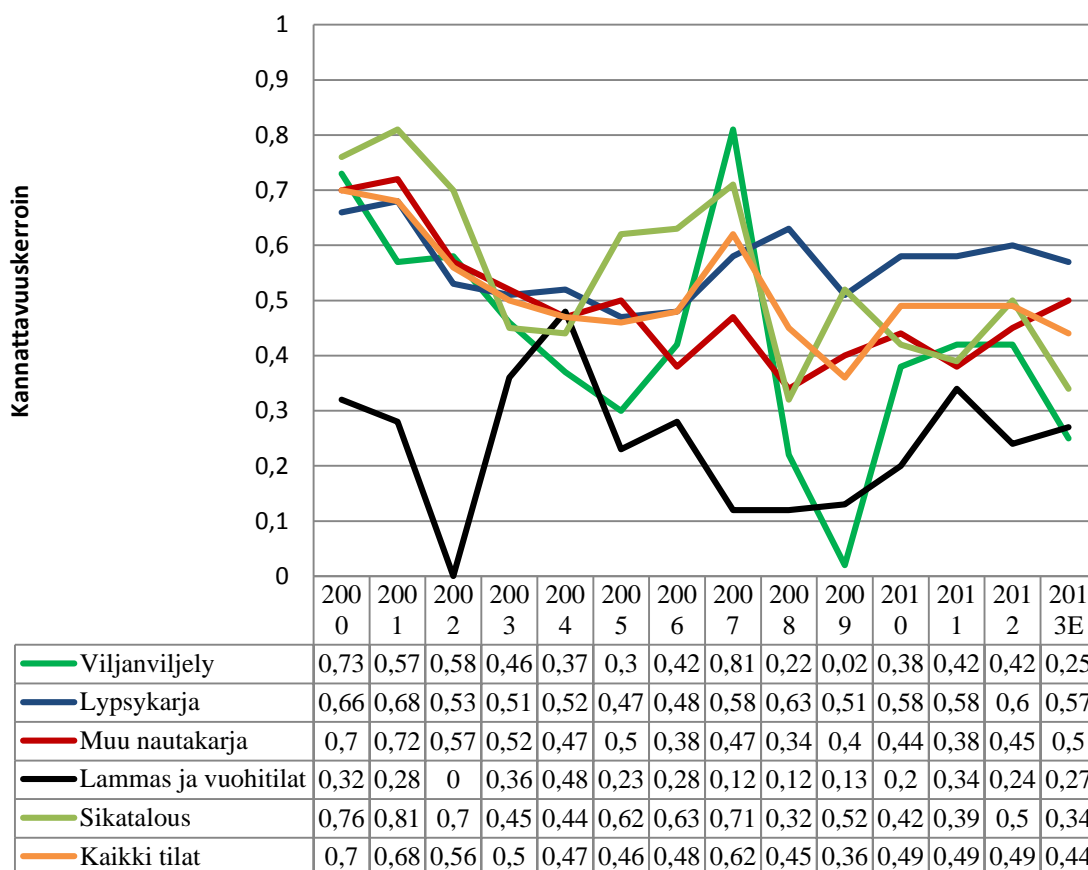
Maitotilat ovat kasvattaneet peltopinta-alaansa eritoten vuokraamalla. Vaihtoehtona on toisen tilan hallinnoiman pellon sopimusviljely. Pyykkönen ym. (2013) tutkivat laajentavien kotieläintilojen kehitystä ympäristölupahakemuksien perusteella vuosina 2009 - 2012. Oma pelto oli kasvavien lypsykarjatilojen yleisin pellon hallintamuoto, muodostaen suurimassa osassa tapauksista yli puolet tilan käytössä olevasta peltopinta-alasta. Vuokrapellon ja sopimusviljelyn pellon osuus oli näillä tiloilla keskimäärin yhtä suuri. Sopimusviljelyn pellon osuudessa oli kuitenkin suuria vaihteluita. Taustalla voivat olla esimerkiksi alueelliset erot pellon saatavuudessa sekä tuottajien riskinottohalukkuus laajentamisesta oman hallintansa ulkopuolisen peltoalan varaan.

1.4. Suomalaisten maitotilojen talous

Maidontuotantotilojen taloudellista kehitystä ja asemaa on oleellista kuvata kannattavuuskehityksen kautta. Kannattavuuden kuvaukseen kehitetty kannattavuuskerroin kertoo viljelijäperheen omalle työlle ja tuotantoon sidotulle omalle pääomalle saadun korvauksen, suhteessa laskennallisiin oman työn palkkavaatimukseen ja oman pääoman korkovaatimukseen. Näille saadaan tavoitteen mukainen korvaus kun luku on yksi. Kuviossa 2. esitetään maitotilojen kannattavuuskertoimen kehitys vuosina sinisellä viivalla 2000–2013.

Maidontuotantoa päätoimenaan harjoittavien kirjanpitotilojen tuloksista laskettu keskimääräinen kannattavuuskerroin vaihteli tarkastelujaksolla välillä 0,47–0,68, eli oman työn palkkavaatimus sekä oman pääoman korkovaatimus jäivät kaikkina tarkasteluvuosina keskimäärin saavuttamatta. Vuoden 2001 paras taso (0,67) tarkoitti sitä, että noin kaksi kolmasosaa palkka- ja korkovaatimusten summasta saavutettiin.

Maitotilojen kannattavuuskertoimen yleinen taso on pysynyt vakaana verrattuna muiden tuotantosuuntien kannattavuuskertoimeen (kuvio 2). Yhtäältä maidontuotannon kannattavuus ei ole niin herkkä viljan hintojen vaihtelulle kuin esimerkiksi lihantuotannon, ja toisaalta maidon tuottajahinta on pysynyt vakaalla tasolla. Suomalaiset maidontuottajat ovat viime vuosina saaneet maidosta EU-alueen keskiarvoa korkeampaa tuottajahintaa meijerialan rakenteen ja maitotuotteiden korkean jalostusasteen vuoksi. Lisäksi maidon hinnan kausiporrastus on ollut Suomessa voimakasta (Niemi ym. 2012, 7). Tarkasteltaessa maitotilojen talouskehitystä euromääräisesti, ovat Niemen ym. (2012) mukaan maitotilojen keskimääräinen kokonaistuotto ja yrittäjätulo rakennekehityksen myötä nousseet vuosittain, mutta suhteessa kokonaistuottoon on yrittäjätulo kuitenkin alentunut.



Kuvio 2. Kannattavuuskerroin tuotantosuunnittain 2000 – 2013e. Lähde: MTT Taloustohtori.

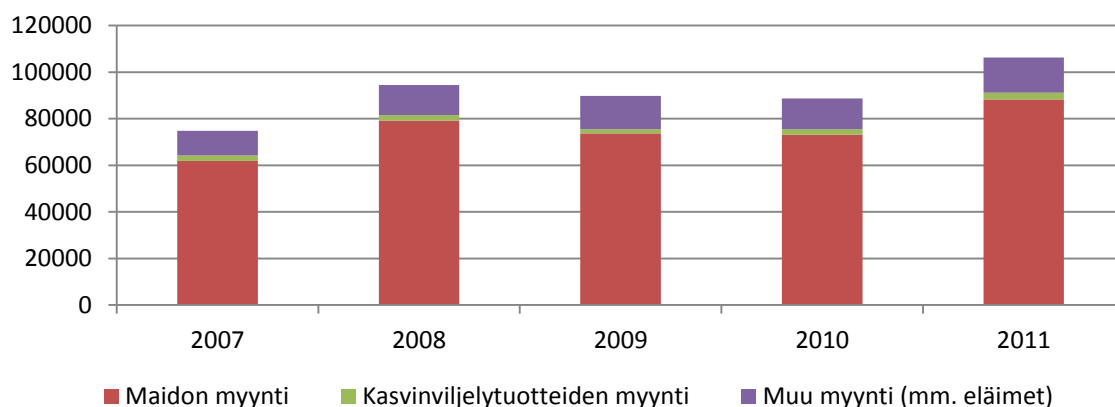
Kirjanpitoaineiston edustamien lypsykarjatilojen keskimääräinen yrittäjätulo vuosina 2008–2012 vaihteli noin 36 000 eurosta noin 47 000 euroon tilaa kohden. Laskennallinen yrittäjänvoitto tai -tappio maitotilaa kohden oli samalla ajanjaksolla -21 000 eurosta -32 000 euroon tappiollinen (MTT Taloustohtori 2014). Parhaiten ja huonoiten menestyvien yritysten välillä on kuitenkin merkittäviä eroja. Taulukossa on kuvattu kannattavuudeltaan parhaan ja heikoimman viidenneksen², sekä koko tilajoukon keskimääräiset tunnusluvut vuosina 2007 – 2012.

² MTT:n käyttämässä hyvät ja heikot ryhmittelyssä tiputetaan paras ja heikoin kymmenesosa yrityksistä pois. Tämän jälkeen lasketaan parhaan ja heikoimman viidenneksen painotettu keskiarvo (MTT Taloustohtori 2014).

Taulukko 1. Keskimääräiset kannattavuuden ja tuottojen tunnusluvut maitotiloilta tutkimusvuosina 2007 – 2012. Lähde: MTT Taloustohtori.

Ryhmä	Hyvät	Keskiarvo	Heikot
Kannattavuuskerroin	0,88	0,58	0,24
Työtuntiansio (€)	11,38	6,07	0,55
Kokonaispääoman tuotto- %	2,77	-2,03	-10,13

Toiminnan taloudellista laajuutta voidaan kuvata liikevaihdolla, joka kertoo tilan vuotuisen tulovirran. Tuet muodostavat keskimäärin noin kolmanneksen maitotilojen liikevaihdosta, loppuosa tulee tuotteiden ja palveluiden myynnistä (MTT Taloustohtori 2014). Maitotilojen muu maataloustuotteiden myynti on yleisesti marginaalista maitoon verrattuna. Myyntitulot tulevat pääosin maidosta ja toiseksi eniten myydään muita eläintuotteita (liha, vasikat). Kasvituotteiden myynti on suhteessa hyvin pientä. Yksittäisissä tapauksissa tilakohtaisesti eroja esiintyy. Kuviossa 3. kuvataan maitotilojen keskimääräiset tuotemyynnit vuosille 2007–2012 veroilmoitustietojen pohjalta.



Kuvio 3. Maatalousverotuksessa päätuotantosuunnakseen maidontuotannon ilmoittavien tilojen tuotemyynnin rakenne 2007–2011. Lähde: Tilastokeskus.

Maitotiloille maksettavien tukien vaikutusta tilojen kannattavuuteen ei voi sivuttaa. Riepposen (2003) mukaan kolmanneksella kirjanpitotiloista muuttuvat kustannukset jäivät alle maidon myyntituoton, johon ei sisälly tukia. Koko tuotantokustannus saatiin katettua vain noin viidenneksellä tiloista silloin, kun myyntitulojen lisäksi maidon tuotantotuki otettiin mukaan tarkasteluun, ja jätettiin mm. eläin- ja hehtaariperusteiset tuet huomioi-

matta. Tämän tutkimuksen kannalta relevantti tukiin liittyvä huomio on Niemen ja Pietolan (2001) esittämä, että pellonkäytön joustot suhteessa rehuvilja- ja nurmiviljelyaloilta saataviin tukiin olivat ainakin EU-jäsenyyden alkuvuosina alhaiset.

Suomalaiset maitotilat saivat tutkimusajanjakson aikana lähes Euroopan parasta hintaa toimittamastaan meijerimaidosta. Toisaalta Suomen maidontuotannossa yksikkökustannustaso on länsieurooppalaisessa vertailussa korkea. Ovaskan ja Heikkilän (2013) mukaan lehmää kohden laskettu työmäärä on Suomessa merkittävä kustannustekijä ja työn tuottavuus jää vertailumaita (Ruotsi, Tanska, Alankomaat, Saksa ja Puola) alemmaksi. Työstä aiheutuvan kustannushaitan lisäksi koneet ja ryhmä muut kustannukset rasittivat suomalaisten maitotilojen taloutta vertailumaita enemmän. Useat muut kustannukset eivät tosin nousseet vertailumaita korkeammiksi, mukaan lukien ostorehut sekä energian ja pellon käytön kustannukset.

2. AIEMMAT TUTKIMUKSET

2.1. Ulkomainen tutkimus

Darkun, Mallan & Tranin (2013, 71–73) vuoden 1950 jälkeisestä maatalouden tehokkuustutkimuksesta laatiman kirjallisuuskatsauksen perusteella maatalousmaailmasta havaitaan yleensä sekä teknistä tehottomuutta että skaalatehottomuutta. Pienemmät tilat ovat pääsääntöisesti teknisesti tehottomampia kuin suuret, koska uusin teknologia otetaan pienillä tiloilla käyttöön huomattavasti suuria tiloja myöhemmin. Tilan sijainti ja rakenne sekä viljelijän ikä olivat usein toistuvia tekijöitä, jotka vaikuttivat tehokkuuden tasoon. Teknisen tehokkuuden osoitettiin usein olevan kytköksissä taloudellisiin tekijöihin kuten luonnonolosuhteisiin, markkinoiden kokoon ja maatalouspolitiikkaan.

Kuten kehittyneiden maiden maataloudessa yleisesti, on myös maitotilojen tuottavuudessa tapahtunut merkittävä murros viimeisen vuosisadan aikana. Esimerkiksi yhdysvaltalaiset maitotilat käyttivät Capperin ym. (2009) mukaan vuonna 2007 miljardin maitokilon tuottamiseen vuoden 1944 tilanteeseen verrattuna fyysisiä tuotantopanoksia seuraavasti: 21 % vähemmän eläimiä, 23 % vähemmän rehuja ja 35 % vähemmän vettä. Sekä eläin- että peltoprosessissa tehtiin ajanjaksolla suuria harppauksia. Maatalousmaata maitokiloa kohden amerikkalainen maitotila tarvitsi vuonna 2007 kymmenesosan 1940-luvun tarpeesta. Maitotilat siirtyivät tällä aikavälillä ekstensiivisestä laidunruokinnasta intensiiviseen peltotuotantoon ja sisäruokintaan. Kuivaheinävaltainen ruokinta vaihtui samalla satoisampiin säilörehukasveihin (maissi) perustuvaan koostumukseen. Satotasot esimerkiksi maissilla yli nelinkertaistuivat niin kutsutun vihreän vallankumouksen myötä viljelytekniikan, kasvilajikkeiden, kasvinsuojelun ja lannoituksen kehityksen seurauksena.

Vihreän vallankumouksen jälkeistä kehitystä voidaan tarkastella esimerkiksi Coellin & Raon (2005) tuottavuuskasvuun keskittyneestä tutkimuksesta. Siinä maatalouden tuottavuuden kasvua tutkittiin 93 maassa vuosien 1980 ja 2000 välillä. Suurin tuottavuuskasvu tapahtui Kiinassa, jossa vuotuinen kasvu oli noin 6 %. Aasian maat olivat kaikkiaan voimakkaimpia kasvavia. Yhdysvalloissa vuotuinen tuottavuuskasvu oli 2,6 %:n luokkaa Euroopan jäädessä keskimäärin 1,4 prosenttiin. Tämä ei silti tarkoita eurooppalaisen maatalouden heikkoa tuottavuutta. Esimerkiksi tuotostasot Euroopassa ovat olleet suhteessa korkeita jo tutkimusajanjakson alussa. Maitotiloja ei tutkimuksessa eritelty.

Siirryttäessä maidontuotannon tehokkuuteen liittyviin tutkimuksiin Mbagaa ym. (2002) tutkivat teknistä tehokkuutta Québecin maitotiloilla sekä SFA- että DEA-mallein. He havaitsivat, että teknisen tehokkuuden taso kiintiöjärjestelmää soveltavassa hitaan rakennemuutoksen maidontuotantoympäristössä oli keskimäärin erittäin korkea. Koska tilojen oli ollut tutkimusajanjaksolla vaikea laajentaa, olivat ne onnistuneesti keskittyneet tehostamaan tuotantoaan. Rehujen ja työn liikkakäyttö olivat tutkimuksessa suurimmat tehottomuutta aiheuttavat tekijät.

Rougeer ym. (1999) tutkivat laiduntamisen ja rehunjaon teknisiä sekä taloudellisia seikkoja Hollantilaisilla maitotiloilla. He havaitsivat laiduntamisen hyvin organisoineiden viljelijöiden onnistuvan parhaiten myös säilörehun tuotannossa, jolloin kokonaisrehukustannus jäi alhaiseksi. Tekijöiden johtopäätöksen mukaan maitotilojen nurmituotannossa korostuu kokonaisvaltainen tuotannollinen osaaminen.

Stokes ym. (2007) tutkivat Pennsylvanian osavaltion maitotiloja pyrkimyksensä identifioida tehokkaat tuottajat ja näiden ominaispiirteet. DEA-analyysillä tarkasteltiin verrattain suppeasta tilajoukosta sekä tuotannon että liikkeenjohdon tehokkuuksia. Tutkimuksessa ei löydetty yksittäistä tehokasta panoskombinaatiota selittämään tehokkuutta, sekä tehokkaiden että tehottomien tilojen ryhmissä panoksia käytettiin hyvin vaihtelevasti ja myös tuotostasoissa oli hajontaa. Liian suuri työnkäyttö ja oman tarpeen ylittävä investointi peltoon suhteessa pieneen maitotuotokseen olivat leimallisia tekijöitä tehottomille tiloille. Tekijöiden johtopäätöksen mukaan tuottajien ei tulisi verrata suorituskykyään korkeimman tuotostason tiloihin, vaan lähteä käytettävissä olevista resursseista (maa, työvoima, eläinainees ja vieraan pääoman tarve) löytämään oman tehokkaan positionsa. Yhdysvalloissa myös Cabrera ym. (2010) tutkivat Wisconsinin maitotilojen teknisen tehokkuuden tekijöitä SFA-mallilla. Tehokkuuteen positiivisesti vaikuttaviksi tekijöiksi he löysivät tuotantointensiteetin, yrittäjäperheen suuren oman työn osuuden, seosrehuruokinnan sekä lypsykertojen määrän.

Kelly ym. (2012) tutkivat irlantilaisten maitotilojen teknisiä tehokkuuksia käyttäen DEA-mallia sekä vakio- että muuttuvien skaalatuottojen oletuksin. Keskimäärin tilojen tuotanto oli teknisesti tehotonta, ja tehostamispotentiaalia oli runsaasti. Keskeisenä tuloksena havaittiin, että Irlannin olosuhteissa laidunkauden pidentäminen lisäsi teknistä tehokkuutta ostapanoskäytön vähentyessä ja tuotoksen pysyessä vakaana. Tutkimuksessa löydettiin

myös tilastollisesti merkitsevä yhteys tilalla käytössä olevan pellon laadun ja tiloilta lasketun teknisen tehokkuuden arvon välillä.

Näiden tulosten vertailtavuus Suomen lypsykarjatiloihin osittain ontuu olosuhteiden ollessa hyvin toisenlaiset: Yhdysvalloissa on käytössä eurooppalaisesta mallista poikkeava maatalouspolitiikka ja alueittain laajasti vaihtelevat luonnonolosuhteet. EU-maista Hollanti on intensiivisen maankäytön maatalousmaa ja ilmastollisesti Suomen kanssa erilaisella vyöhykkeellä, kuten myös Irlanti, jonka karjataloutta puolestaan leimaa pitkä laidunkausi ja nurmien suuret kokonaissadot.

Hansson (2007) tutki ruotsalaisten maitotilojen kustannustehokkuuden ja tilakoon välistä yhteyttä. Yhteys osoittautui epälineaariseksi, sillä tehokkuus aluksi laski tilojen kasvaessa mutta kasvoi mittakaavan vakiintuessa. Keskimäärin tilat toimivat 30 % suuremmin kustannuksin tehokkaimpiin tiloihin nähden. Tehokkuuden kasvattamisen avaimiksi tekijä näki nousun allokatiivisessa tehokkuudessa.

Rasmussen (2009) tarkasteli Tanskan sika-, vilja- ja maitotilojen skaalatehokkuuksia laajennetulla SFA-mallilla vuosien 1985–2006 osalta. Teknisen tehokkuuden taso oli säilynyt vakaana kaikkien kolmen tuotantosuunnan osalta tarkasteluajanjaksolla. EU-maatalouspolitiikan McSharry-reformi 1992 ja uudistus 1998 eivät vaikuttaneet juurikaan tilojen teknisen tehokkuuden tasoon. Tanskalaisten maitotilojen tuottavuus sen sijaan kasvoi tarkasteluajanjaksolla 2,4 prosentin vuosivauhtia, mikä tekijän johtopäätöksen mukaan oli pääosin seurausta huomattavasta skaalamuutoksesta keskitilakoon voimakkaan kasvun myötä.

Oude Lansink ym. (2002) vertailivat luonnonmukaisten ja tavanmukaisten tilojen tehokkuuseroja, päätyen tulokseen, jonka mukaan teknisen tehokkuuden vaihtelu on luomutilojen välillä pienempää kuin tavanomaisten ryhmässä. Sipiläinen, Oude Lansink ja Pietola (2003) laativat samasta aiheesta SFA-tutkimuksen, joka antoi päinvastaisen tuloksen: vaihtelu tehokkuusluvuissa oli suurempi luomutilojen ryhmässä. Tavanomainen tuotanto kuitenkin havaittiin tuolloin yleisesti luomutuotantoa teknisesti tehokkaammaksi.

Sipiläinen, Kumbhakar & Lien (2011) vertailivat Suomen ja Norjan maitotiloja erottaen kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä kansallisista kirjanpitoaineistoista. Kummankin maan lypsykarjatiloina leimaa verrattain pieni tilakoko, sekä epäsuotuisat pohjoiset olosuhteet lyhyine laidunkausineen ja pitkine sisäruokintakausineen. Suomi on Euroopan

Unionin jäsenenä sen vapaakaupan ja yhteisen maatalouspolitiikan (CAP) piirissä. Norjassa puolestaan on itsenäinen maatalouspolitiikka ja kauppapoliittisia rajoitteita. Tutkimuksessa todettiin CAP-politiikan luoman toimintaympäristön tarjonnan suurempaa joustavuutta maitotilojen muutokselle, joka näkyi suomalaisten maitotilojen välisen suorituskyvyn suurena vaihteluna. Se ilmeni myös teknisessä tehokkuudessa. Teknisen tehokkuuden keskiarvo jäi Norjan lukua alhaisemmaksi, joka tekijöiden johtopäätöksen mukaan johtunee suomalaisten tilojen nopean rakennemuutoksen vaikeasta hallittavuudesta.

2.2. Kotimainen tutkimus maitotilojen tuottavuudesta ja tehokkuudesta

Suomalaisen maatalouden tuottavuustutkimuksen aloittajana pidetään yleisesti Suomelaa (1958). Hän tarkasteli tuottavuutta kirjanpito-tila-aineistosta yleisellä tasolla. Makrotaloudellisista lähtökohdista tuottavuutta tarkastelivat Ihamuotila (1972), Nevala (1977) ja Hemilä (1982). Hemilän mukaan teknologinen kehitys hiipui viljatiloiilla 1970-luvulla, kun taas nautakarjatiloiilla se kehittyi 1980-luvulle asti nopeasti. Vuosina 1961–84 maatalous pääomavaltaitui, kokonaistuottavuus kasvoi, mutta pääoman tuottavuus jäi negatiiviseksi (Ylätalo 1987). Nautakarjatilat sijoittuivat parhaan tuottavuuden sikatilojen ja heikokimman tuottavuuden viljatilojen väliin. Suurilla tiloilla tuottavuus oli parempi kuin pienillä.

Simsin (1994) mukaan vuoden 1962 maataloustuotannon taso saavutettiin vuonna 1990 kolmellakymmenellä prosentilla vuoden 1962 kustannuksista. Vuosina 1965–91 tekninen kehitys kirjanpitoaineiston maitotiloilla oli keskimäärin 1,3 prosenttia vuodessa (Ryhänen 1994). Tekninen kehitys oli pääoman käyttöä lisäävää. Tuotantopanokset olivat pääosin substituutteja keskenään, mutta substituutiojoustojen arvot olivat pieniä, joten tuotantopanosten korvaaminen toisillaan oli joustamatonta. Yrityskokoon liittyviä etuja ei voitu hyödyntää, koska maatalouspolitiikan pääpaino oli ylituotannon vähentämisessä.

Ryhäsen ym. (1996) mukaan EU-tukijärjestelmä suosi ensimmäisinä jäsenyy vuosina väkirehuruokinnan lisäämistä maitotiloilla, koska väkirehusta tuli suhteellisesti edullisempaa kuin karkearehusta. Niemen ja Pietolan (2001) mukaan karkea- ja väkirehujen voimakkaat hintasuhdemuutokset vaikuttivatkin nautojen ruokintaan. Väkirehun käyttöä lisättiin EU-aikakauteen siirryttäessä rehuviljan hinnan alentumisen johdosta. Tilan peltoalan kasvu lisäsi heidän mukaan rehuviljan viljelyä, mutta nautaeläinten määrän kasvassa tuotannon laajennuksissa nurmikasvien viljelyalat kasvoivat ja ostorehujen käyttö

lisääntyi. Maitotiloilla rehuvilja-alan kysyntä on nurmista poiketen joustavaa suhteessa tilan kokonaispinta-alaan. Kuitenkin karkearehutarpeen ylittävä ala allokoitui rehuviljan viljelyyn, koska ylimääräiselle karkearehulle ei todettu olevan markkinoita.

Myyrä ja Pietola (1999) tutkivat maatalouden tuottavuuskehitystä vuosina 1987–97. Tuottavuuskasvu oli pohjoiseurooppalaisessa vertailussa hidasta. Tuottavuuden taso parani tutkimusajanjaksolla keskimäärin 2,9 % vuodessa. 1990-luvun alkupuoliskolla, ennen Suomen EU-ratkaisua, tuottavuuskasvu hidastui lähes pysähdyksiin, mutta lähti ensimmäisten EU-vuosien aikana kasvuun. Maitotiloilla tuottavuuskasvu kiihtyi erityisesti tuotantorajoitteiden osittaisen vapautumisen myötä. Myös maitotiloilta myytävien kasvinviljelytuotteiden määrä väheni olennaisesti tutkimusajanjakson loppua kohden. EU-aikana maidontuotannosta on luovuttu tai erikoistuttu maidontuotantoon ja oman säilörehun tuotantoon.

Sipiläinen (2003) tutki suurimpien tilakokoluokkien vilja- ja maitotilojen taloudellisen suorituskyvyn kehitystä kirjanpitoaineistosta vuosilta 1989–2000. DEA -menetelmää soveltavassa laskennassa mitattiin tuottavuuskasvua, kustannustehokkuutta sekä teknistä ja allokatiivista tehokkuutta. Tulosten mukaan maitotilojen tuottavuuskehitys oli erittäin hidasta koko tutkimusajanjaksolla. Kustannustehokkuus pysyi lähes ennallaan koko tutkimusajanjakson, mutta tekninen tehokkuus sen sijaan hieman laski. Kustannustehokkuus ja tilan maitomäärä korreloivat merkitsevästi keskenään. Kannattavuus ja kustannustehokkuus korreloivat erittäin merkitsevästi keskenään.

Sipiläinen ja Ryhänen (2004) tutkivat teknistä muutosta ja teknistä tehokkuutta säilörehun tuotannossa vuosilta 1990–2000. ProAgrian keräämän Hila-aineiston nurmisäilörehutietoihin sovellettiin stokastista tuotantorintama-analyysia. Kokonaistuottavuus kasvoi 1,8 prosenttia vuodessa ja vuotuinen tekninen kehitys oli 1,4 prosenttia vaihtelun ollessa suurta satovaihteluiden vuoksi. Tekninen tehokkuus on osin kytköksissä tilan tuotantolosuhteisiin, sillä tuotanto-olosuhteita ja tekniikkaa kuvaavien tekijöiden sisällyttäminen tuotantorintamafunktioon tuotti paremman soviteen kuin kyseisten tekijöiden käyttö teknistä tehokkuutta selittävinä tekijöinä.

Nurmisäilörehun korjuuta suomalaisilla maitotiloilla ovat talousnäkökulmasta tutkineet muun muassa Seppälä ym. (2002), Sairanen ym. (2010) ja Karhula (2012). Kahdessa ensin mainitussa tutkimuksessa keskityttiin korjuuajankohdan taloudelliseen vaikutukseen, kolmannessa korjuutekniikan valittavissa oleviin vaihtoehtoihin. Sekä Seppälän ym.

(2002) että Sairasen ym. (2010) tutkimuksien keskeinen tulos oli se, että säilörehun korjuuaikaa voitiin pidentää keskimääräisestä ilman merkittävää taloudellista vaikutusta. Karhula (2012) vertasi kolmessa tilakokoluokassa neljää erilaista säilörehunkorjuuketjua: pieni ja suuri noukinvaunu, käytettynä hankittu ajosilppuri ja paalainkäärinyhdistelmä. Pieni noukinvaunuketju tuotti suurimman taloudellisen ylijäämän ajosilppuriketjun ylijäämän jäädessä pienimmäksi. Korjuumenetelmien välinen ero kapeni suurimpaan tilakokoon mentäessä, mutta järjestys säilyi. Yhteistyöllä voidaan alentaa säilörehun korjuukustannuksia ja kasvattaa selkeästi ylijäämää (Sipiläinen ym. 2012, 58–59).

Sipiläinen, Ovaska ja Ryhänen (2012) sovelsivat ei-parametrisia menetelmiä tehokkuuden ja tuottavuuden mittaamiseen eteläpohjalaisten maitotilojen aineistosta. Kustannustehokkuus oli Etelä-Pohjanmaalla korkeimmillaan nurmen osuuden peltoalasta ollessa 75 - 80 prosenttia. Lisäksi havaittiin, että maidontuottajat joiden säilörehun D-arvo oli korkea, tuottivat maitoa teknisesti tehokkaasti, mikä ei näkynyt kustannustehokkuudessa. Säilörehun D-arvosta ja aikaisesta niitosta voi tinkiä, sillä kun korjuuaikaa lisätään, yksikkökustannukset alenevat ja taloudellinen tulos paranee. Kustannustehokas maidontuottaja kykenee muuttamaan lehmien ruokintaa säilörehun D-arvon tai reuhintasuhteiden muuttuessa. Maidontuottajat saivat peltoalaan kytkettyjen kotieläintukien kautta huomattavan rajatulon pelloilleen, mutta korkeiden lisäpellon hintojen ja vuokrien myötä suurimman hyödyn korjasivat pellon omistajat.

3. TUOTTAVUUS JA TEHOKKUUS

3.1. Tuotantoteknologia

Tuotanto on panoksien muuttamista tuotoksiksi. Tuottaja on tuotantopäätökset tekevä oikeushenkilö, joka voi olla luonnollinen henkilö, yhteenliittymä tai yritys. Tuotantoteknologialla tarkoitetaan yleisessä muodossa suhdetta panosten ja tuotoksen välillä. Se sisältää tiedon siitä, miten tuotannontekijät kuten luonnonvarat, työ ja pääoma muuttuvat toiminnan kautta hyödykkeiksi. Tuotantoteknologia linkittää yhteen rajalliset tuotokset ja niiden tuottamiseen käytettävät panokset. Ilman panoksia ei synny tuotosta. Toisaalta tuotos syntyy minimipanoskäyttöä suuremmallakin panoskäytöllä, mistä käytetään termiä panosten tuhlattavuus.

Tuotantoteknologian yleinen kuvaus (mm. Rasmussen 2011, 9) on kaikkien mahdollisten panosten ja tuotosten joukko. Käytännössä fyysiset, biologiset ja tekniset tekijät määräävät tuotannonmahdollisuuksien rajat. Purettaessa tuotantomahdollisuuksien joukko (T) sen yleiseen muotoon, kuvataan panoskäyttöä x :llä ja tuotosta y :llä. Tällöin T voidaan laajasti määritellä:

$$(1) \quad T(x, y) \equiv \{(x, y) : x \text{ voi tuottaa } y : n\}$$

Tuotantoteknologian tuotospuolta voidaan kuvata tuotosjoukolla Y , joka syntyy annetulla panoskäytöllä $x = x^i$, jolloin tuotosjoukko kirjoitetaan:

$$(2) \quad Y(x) \equiv \{y : x \text{ voi tuottaa } y : n\}$$

Tuotosjoukolle annetaan kirjallisuudessa yleensä seuraavat seitsemän ominaisuutta (ole-tusta), jotka tarkasteltavasta tuotannosta on tehtävä, jotta matemaattinen tarkastelu olisi validi (Kumbhakar & Lovell 2000, 23; Coelli ym. 1999, 62):

1. Tuotos voi olla nolla.
2. Positiivisella tuotoksella panos ei voi olla nolla. $Y(x)$ saa arvon vähintään yhdelle $y_i > 0$
3. Panosten vahva tuhlattavuus on voimassa, jos $y^1 \in Y(x^1)$ niin $y^1 \in Y(x^2)$, kun $x^2 \geq x^1$
4. Tuotosten vahva tuhlattavuus on voimassa, jos $y^2 \in Y(x)$ niin $y^1 \in Y(x)$, kun $y^2 \geq y^1 \geq 0$
5. $Y(x)$ on suljettu joukko
6. $Y(x)$ on konvekssi joukko
7. $Y(x)$ on rajattu joukko

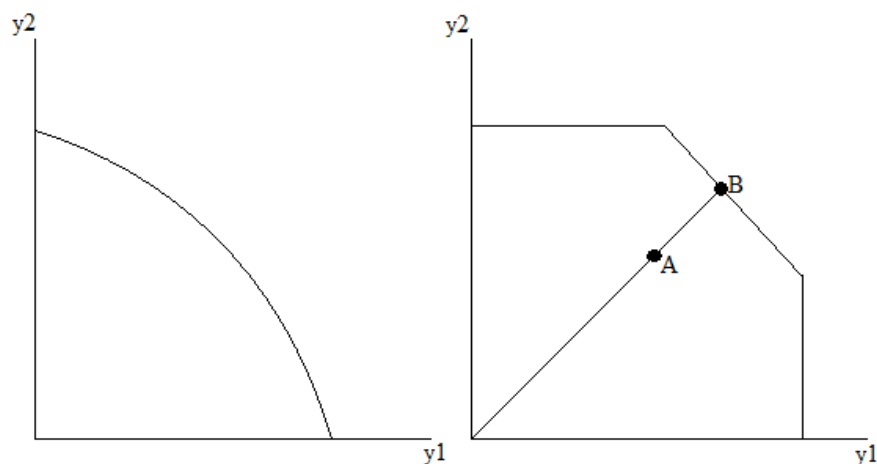
Tuotantoteknologiaa voidaan kuvata etäisyysfunktioilla. Niiden avulla voidaan tarkastella monen tuotteen samanaikaista tuottamista sekä mitata etäisyys havaintopisteestä tuotantorintamaan. Etäisyysfunktiot linkittävät tehokkuuden, tuottavuuden ja määräindeksit toisiinsa, ja niiden avulla voidaan määrittää varjohintoja. Tuotosetäisyysfunktio tarkastelee tuotosvektorin pituutta panosvektorin pysyessä vakiona, ja vastaavasti panosetäisyysfunktio panosvektorin pituutta tuotosvektorin pysyessä vakiona. Nämä funktiot voidaan määrittää määrähavaintojen perusteella (Sipiläinen 2012). Shephard (1972) määrittä tuotosetäisyysfunktion tuotosjoukolla olettaen $0 < D_0 < 1$:

$$(3) \quad D_0(x, y) = \min\{\delta: \frac{y}{\delta} \in Y(x)\}$$

Tuotosjoukon oletusten ollessa voimassa tuotosetäisyysfunktion havaitaan saavan seuraavat ominaisuudet (Coelli ym. 1999, 63):

1. $D_0(x, y)$ ei vähene y :n kasvaessa, eikä kasva x :n kasvaessa.
2. $D_0(x, y)$ on lineaarisesti homogeeninen y :n suhteen.
3. Jos y kuuluu tuotantomahdollisuuksien joukkoon, silloin $D_0(x, y) \leq 1$
4. Jos y saa arvon tuotantomahdollisuuksien joukon rintamasta, silloin $D_0(x, y) = 1$

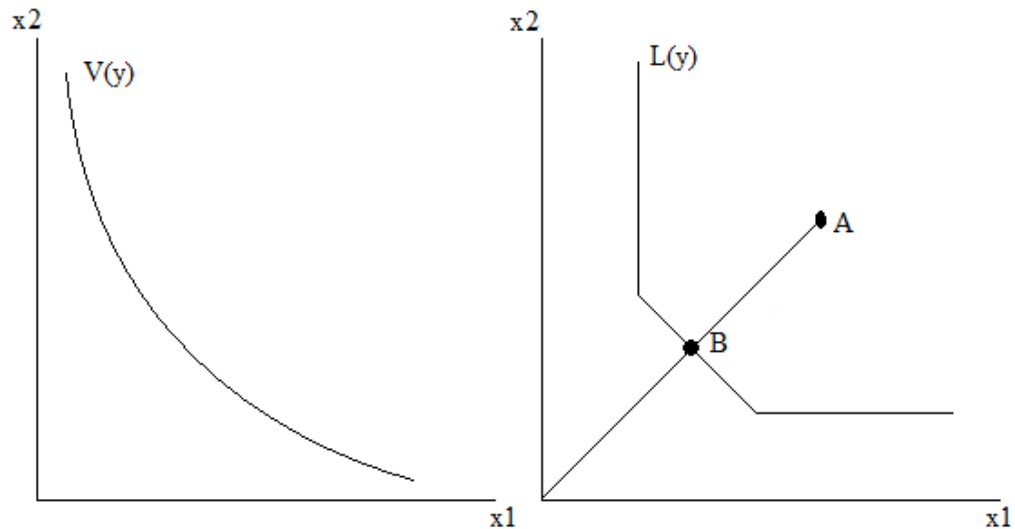
Graafisesti tuotosjoukko voidaan kuvata kaksiulotteisesti yksinkertaistaen kahden tuotoksen tapauksen, jotka voivat muodostua yhtä panosta käyttämällä. Eri tavoin kahden tuotteen välille käytetty panos sijoittuu muuttuvasti akseliston muodostaen tuotantomahdollisuuksien joukon (kuvio 4, vasen). Tuotosetäisyysvektori taas on kuvattu graafisesti kuvion 4 oikeassa osassa:



Kuvio 4. Tuotosjoukko kahden tuotoksen tapauksessa (vas.), sekä tuotosetäisyysvektori (oik.).

Edellä määritettiin tuotosvaatimusjoukko. Panoksien kannalta katsottuna voidaan määrittellä panosvaatimusjoukko, joka kuvaa tuotostason y , joka panoskäytöllä x syntyy. Tällöin täsmällinen kuvaus panosvaatimusjoukosta on (kuvio 5):

$$V(y) \equiv \{x : x \text{ voi tuottaa } y:n\}$$



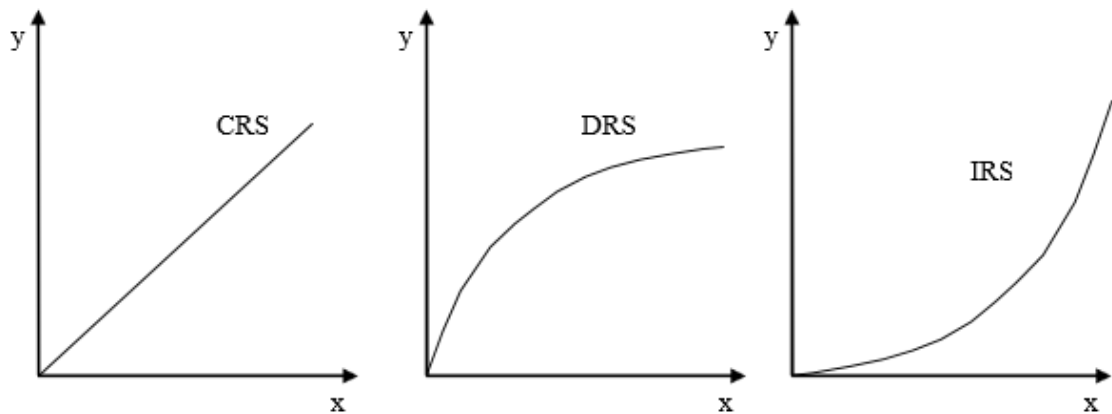
Kuvio 5. Panosvaatimusjoukko, joustava (vas.) ja panosetäisyys, paloittain lineaarinen (oik.).

Tuhlattuavuus kertoo sen, koituuko tuottajalle kustannuksia tuotantoprosessin kannalta ylimääräisistä siihen kytkeytyvistä panoksista tai tuotoksista. Vahvan tuhlattuavuuden tapauksessa ylimääräisistä hyödykkeistä ei aiheudu kustannuksia, mutta heikon tuhlattuavuuden tapauksessa aiheutuu. Heikon tuhlattuavuuden aiheuttamia ylimääräisiä kustannuksia kutsutaan kirjallisuudessa ruuhkautumiseksi. Ympäristöekonomiasta tuttu esimerkki on tuotoksen ruuhkautuminen silloin, kun jokin tuotos on saaste. Panosten ruuhkautuessa tapahtuu niin, että panoksen käytön lisääntyessä tuotos pienenee.

Tuotantoujoukosta määritettävissä oleva tuotantofunktio on matemaattinen kuvaus siitä, miten yrityksen on mahdollista muuttaa panokset tuotokseksi. Tuotantofunktiota voidaan pitää tuotosetäisyysfunktion erityistapauksena. Tarkemmin ilmaistuna tuotantofunktio on tuotosjoukon rajapinta, se ilmaisee teknisesti tehokkaat tuotantosunnitelmat, muiden tuotantosunnitelmien ollessa tehottomia (Sipiläinen 2012). Tuotosjoukosta johtamalla tuotantofunktio voidaan määrittellä kullakin panoskäytöllä syntyvän tuotoksen maksimitason perusteella:

$$(4) \quad f(x) \equiv \max\{y : y \in T(x, y)\}$$

Skaalatuotto (*returns to scale*) on teknologinen käsite. Skaalatuotot kuvaavat tuotoksen lisäystä, kun kaikkia tarvittavia tuotantopanoksia lisätään samassa suhteessa. Skaalatuotot jaotellaan vakioskaalatuottoihin (CRS, constant returns to scale), kasvaviin skaalatuottoihin (IRS, increasing returns to scale) ja väheneviin skaalatuottoihin (DRS, decreasing returns to scale). Vakioskaalatuotot ilmentävät tuotantoa jossa tuotos kasvaa samassa suhteessa tuotantopanoksien käytön kanssa. Vähenevien skaalatuottojen tapauksessa tuotos kasvaa panoskimppua pienemmällä suhteella panoksia samansuhteisesti lisääessä. Tapaukset on esitetty graafisesti kuviossa 6. Vastaavasti kasvavien skaalatuottojen tapauksessa tuotos kasvaa panoskäytön suhteellista lisäystä suuremmalla suhteella (Rasmussen 2011, 111).



Kuvio 6. Vakioskaalatuotot, vähenevät skaalatuotot ja kasvavat skaalatuotot panos-tuotos-akselistossa.

Skaalajousto (*elasticity of scale*) eli tuotannon kokonaisjousto kuvaa tuotoksen suhteellista muutosta, joka seuraa kaikkien tuotannossa käytettyjen panosten suhteellisesta kasvusta (Coelli ym. 1999, 19). Sillä on suora suhde skaalajousto: CRS alueella skaalajousto saa arvon yksi, DRS alueella sen arvo on pienempi kuin yksi ja IRS alueella suurempi kuin yksi. Skaalajousto on puhtaasti teknologinen käsite.

Substituutiojousto on väline panosten substituution mittaamiseen. Osittain panokset korvaavat toisensa substituutiojouston saadessa arvon yksi, ja täydellisesti komplementteja ne ovat substituutiojouston saadessa arvon nolla. Ekonomisessa tarkastelussa substituutiojousto σ kuvaa isokvantin kaarevuutta, jolloin se voidaan kirjoittaa:

$$(5) \quad \sigma = \frac{d\left(\frac{x_2}{x_1}\right)}{\left(\frac{x_2}{x_1}\right)} / \frac{d\left(\frac{MP_1}{MP_2}\right)}{\left(\frac{MP_1}{MP_2}\right)}$$

3.2. Tuotantofunktiomuodot

Taloustieteellisessä kirjallisuudessa on määritetty laaja joukko erilaisia tuotantoja kuvaavia tuotantofunktioita. Kutakin tuotantoa parhaiten kuvaava tuotantofunktio on se, jonka sovite vastaa parhaiten reaalista tuotantoteknologiaa. Yksinkertaisin tuotantofunktion muoto on lineaarinen funktio. Lineaarista tuotantofunktiota voidaan soveltaa vain, jos tuotanto voi kasvaa lineaarisesti panoksia kasvattamalla. Elävän luonnon, ja vähenevän lisätuotoksen lain puitteissa tarvitaan muita funktiomuotoja. Yleisesti käytetty on Cobb-Douglas funktio, jota kahden panoksen (x_1 ja x_2) tapauksessa voidaan kuvata seuraavasti:

$$(6) \quad y = Ax_1^{b_1}x_2^{b_2} \quad \text{logaritimuunnoksena:} \quad \ln y = \ln A + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2$$

Cobb-Douglas funktiomuotoa hyödynnetään usein estimoinneissa, koska siinä tarvitsee estimoida vain suhteellisen vähän tekijöitä. Lisäksi sen etumerkkien kertoimista saadaan logaritimuunnoksen ansiosta suoraan tuotantojoustot. Cobb-Douglas funktiomuodon olennaiset heikkoudet ovat ensinnäkin se, että funktio olettaa kaikilla yrityksillä olevan samat tuotantojoustot. Toiseksi funktiomuoto rajoittaa substituutiojoustojen määräämistä (Coelli ym. 1999, 35). Cobb-Douglas funktion joustavampi yleinen muoto on translog-funktio, joka kahden panoksen tapauksessa voidaan kuvata:

$$(7) \quad \ln y = b_0 + b_1 \ln x_1 + b_2 \ln x_2 + \left(\frac{1}{2}\right) [b_{11} (\ln x_1)^2 + b_{22} (\ln x_2)^2] + b_{12} \ln x_1 \ln x_2$$

Translog-funktiossa siis estimoidaan ensimmäisen asteen termien lisäksi toisen asteen termit sekä ristitermit. Etuina Cobb-Douglas funktioon ovat pienempi rajoitteiden määrä tuotanto- ja substituutiojoustoille. Haittapuolena translog-funktiossa on paitsi estimoitavien termien suurempi määrä, niin myös sen herkkyys sille, että todelliseen panos-tuotos-suhteeseen sekoittuu siihen kuulumatonta häiriötä. Translog-funktioiden tuotantojoustot voidaan tulkita suoraan kertoimista b_i , jos käytetään datasta sellaista muunnosta, jossa muuttujien arvot on normeerattu keskiarvojen avulla (Rao 2008, 9).

On huomattava, että Cobb-Douglas funktiossa vahvan monotonisuuden ominaisuus toteutuu aina. Joustavammassa funktiomuodossa, kuten translog funktiossa, se ei välttämättä täyty (Kumbhakar & Lovell 2000, 45).

Muita tuotantofunktion muotoja ovat muun muassa homogeeninen CES-funktio (*Constant Elasticity of Substitution*), kvadraattinen tuotantofunktio, käänteisfunktio, Mitscherlich-funktio, Leontief-funktio, McFadden-funktio sekä Zellner-Revankar funktio.

3.3. Tuottavuus

Yhden panoksen ja tuotoksen tapauksessa tuottavuus voidaan laskea yksinkertaisesti jakamalla tuotoksen määrä panoksen määrällä. Useamman panoksen ja tuotoksen tapauksessa suhde on vastaavasti tuotokset / panokset.

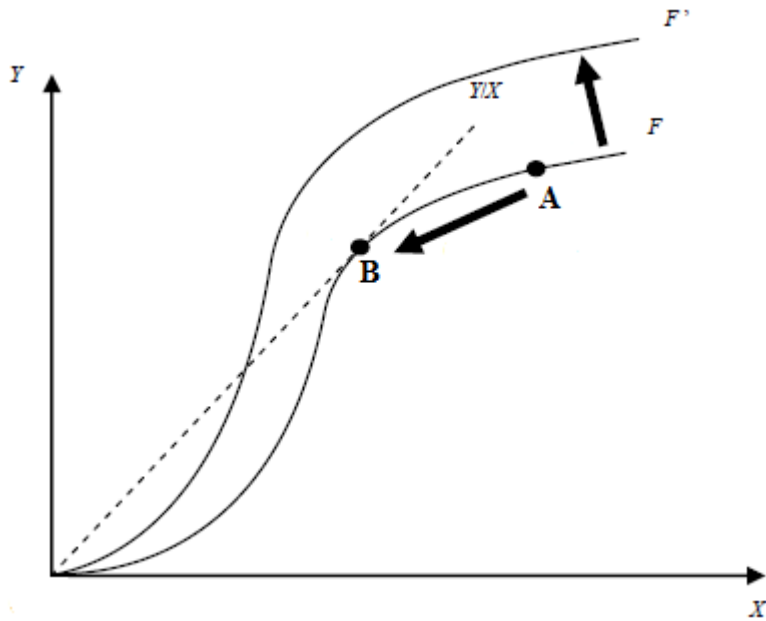
Tuottavuuskäsitteiden luokittelussa yksi lähestymistapa on se, kuinka kattavasti ne ottavat huomioon tuotantopanokset. Kokonaistuottavuus (TFP, *total factor productivity*) tarkastelussa otetaan huomioon koko tuotosjoukon suhde panosjoukkoon eli tuotokset/panokset. Kokonaistuottavuuden muutos voidaan edelleen jaotella seuraavasti (mm. Kumbhakar & Lovell 2000):

$$TFP \text{ (muutos)} = TC \text{ (Teknologinen muutos)} + SE \text{ (Skaalaefekti)} + TEC \text{ (Teknisen tehokkuuden muutos)}$$

Tuottavuuden kehityksen yksi osatekijä on teknologinen kehitys, jota tarkasteli Solow (1957). Hän katsoi teknologisen kehityksen/muutoksen olevan sama asia kuin tuottavuuden kehitys, jota se on silloin, kun muut tekijät pysyvät ennallaan (*ceteris paribus*). Kuviossa 9 esitetään teknologinen kehitys panoskäytön pysyessä ennallaan tuotantorintaman F siirtymänä asemaan F^* .

Solowin (1957) mukaan teknologinen muutos on neutraali, kun rajakorvaussuhde eli isokvantin kulmakerroin ei muutu. Teknologinen kehitys on tuotannollisen toimialan pitkän aikavälin kehityksen kannalta olennainen: tehokkuutta parantamalla yritykset pääsevät olemassa olevalle tehokkaalle pinnalle, mutta teknologian (esim. parempi organisointi, tekniikan ja biologian innovaatiot) kehitys siirtää tehokasta pintaa ylöspäin, ja antaa näin toimialalle uutta tuotantopotentiaalia.

Yksittäisen yrityksen kohdalla tuottavuus paranee paitsi tehokkuuden nostamisen kautta myös tuotantomittakaavan sovittamisella skaalaoptimiin. Kuviossa 7 tämä on esitetty yrityksen siirtymänä paikasta A paikkaan B. Ensimmäisessä pisteessä yrityksen skaalajousto on pienempi kuin yksi, jolloin se kärsii mittakaavahaitoista. Siirryttäessä optimaaliseen mittakaavaan (B.) skaalajousto on yksi, jolloin tuotanto on tuottavuudeltaan edullisimmassa mittakaavassa (Latruffe 2010, 19).



Kuvio 7. Yrityksen tuottavuuskasvu skaalaoptimin hyödyntämisen sekä teknologian kehityksen kautta (mukaillen Latruffe 2010, 18).

3.4. Tekninen tehokkuus

Arkikielessä tehokkuus yhdistyy usein työn tehokkuuteen. Tällöin ajatellaan, että käytettävissä oleva työpanos ajan suhteen on tuotannossa rajoittavin tekijä ja sen optimaalinen hyödyntäminen tehokkuutta. Kuitenkin työlle on yleensä olemassa toimivat markkinat, sitä voi ostaa ja myydä. Myös osaamista voi hankkia, työpanos on siten usein joustava. Kokonaistehokkuuden tarkastelussa työ on yksi panostekijä muiden joukossa, ajankäytön suhteen tehokkaasti tapahtunut työ ei yksin johda kokonaistehokkuuteen, vaan voi heikentää sitä jos muita panoksia käytetään suhteessa liikaa.

Tehokkuustarkastelun perusteet aloitetaan kirjallisuudessa yleensä Hicksin (1935) esittämästä tuloksesta, jonka mukaan kilpailullisilla markkinoilla tuotannon tehokkuus on yrityksen toiminnan jatkuvuuden perusedellytys, kun taas monopolitilanteessa yritykset käyttäytyvät tehottomasti. Tehoton yritys voi hetkellisesti pärjätä kilpailullisillakin markkinoilla, mutta teorian mukaan pitkällä aikavälillä tehottomat yritykset poistuvat markkinoilta kilpailijoiden parantaessa suoritustaan. Tunnettu sananlasku onkin, että pitää juosta pysyäkseen paikallaan.

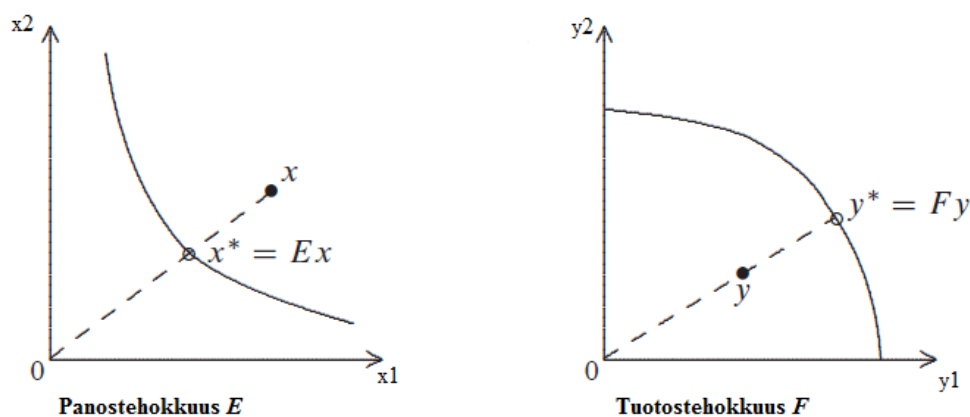
Tehokkuus kertoo sen, millä tasolla yrityksen tuottavuus on alan parhaaseen saavutettavissa olevaan nähden. Reaalimaailmassa harva yritys toimii täydellisen tehokkaasti. Te-

hottomuutta esiintyy lähes aina. Yrityksen kustannustehokkuus on yrityksen minimikustannuksen ja todellisen kustannuksen suhde hyödykkeiden tuottamisessa. Se voidaan jaotella edelleen teknisen tehokkuuden ja alloktiivisen tehokkuuden tuloksi.

Farrellin (1957, 255) mukaan teoreettisesti paras tehokkuuden taso on usein sitä hankalampi määrittää, mitä kompleksisempää analysoitava tuotanto on. Biologisiin prosesseihin kytkeytyvää maataloustuotantoa voidaan pitää monilta osin kompleksisena. Parhaana saavutettavana tehokkuuden tasona on tällöin tarkoituksenmukaista käyttää korkeinta reaali maailmasta havaittavissa olevaa tasoa.

Tehokkuusteorian virstanpylväistä mainittakoon Koopmans (1951). Hänen mukaansa tuottaja on teknisesti tehokas silloin, kun ainoa tapa tuotoksen lisäämiseksi on panoskäytön lisääminen, tai vastaavasti samoilla panoksilla tuotettavien artikkeleiden tuotoksien vähentäminen. Debreu (1951) ja Shephard (1953) täydensivät teoriaa esittämällä edellä kuvatut etäisyysfunktiot, joilla voidaan mitata yksittäisen tuottajan position etäisyyttä tehokkaasta rintamasta.

Farrell (1957) yhdisti etäisyysfunktiot laajempaan tehokkuusanalyysiin määrittäen radiaalisen teknisen tehokkuuden käsitteen. Farrellin tehokkuusmitta voidaan kuvata panosorientoituneesti, jolloin X_1 ja X_2 -akseleille piirtyy samatuotoskäyrä, tai tuotosorientoituneesti, jolloin Y_1 ja Y_2 -akseleille piirtyy tuotantomahdollisuuksien joukon tehokas rintama (Rasmussen 2011; kuvio 8).



Kuvio 8. Farrellin tehokkuusmitat, panos- ja tuotosorientaatiot (Bogetoft & Otto 2011, 27)

Farrellin panostehokkuus E tietyn teknologian (x,y) osalta kytkeytyy edellä tuotantoteknologian T yleiseen määrittelyyn seuraavasti:

$$(8) \quad E = \min\{ E > 0 \mid (Ex, y) \in T \}$$

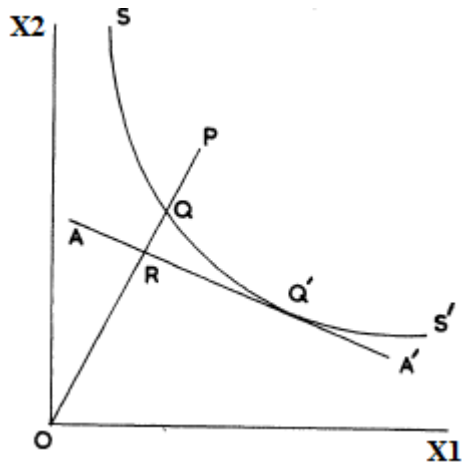
Tällöin se kuvaa suurinta mahdollista panoskäytön x vähentämistä niin, että tuotos y voidaan tuottaa. Näin ollen esimerkiksi tehokkuuden arvo $E = 0,8$ tarkoittaa sitä, että havaintoyritys pääsisi joukkoanalyysin perusteella samaan tuotokseen 20 prosenttia pienemmällä panoskäytöllä (Bogetoft & Otto 2011, 26). Kyse on radiaalisesta mitasta, eli panosuhte on sama kummastakin tarkastelupisteestä. Vastaavasti tuotosorientoitunut Farrell-tehokkuus F suhtautuu tuotantoteknologiaan seuraavasti:

$$(9) \quad F = \max\{ F > 0 \mid (x, Fy) \in T \}$$

Tuotosorientoitunut mitta tekniselle tehokkuudelle saa seuraavat neljä ominaisuutta (Kumbhakar & Lovell 2000, 44): Sen arvo on suurempi tai yhtä suuri kuin yksi. Arvo on yksi, jos tuotos y löytyy tuotantofunktion isokvantilta. F ei kasva tuotoksen suhteen. F on homogeeninen astetta yksi tuotoksen suhteen. F on invariantti sen suhteen, millä yksiköllä panos x ja tuotos y mitataan. Tällöin tuotosorientoitunutta tehokkuusmittaa luetaan siten, että esimerkiksi arvo $F = 1,2$ tarkoittaa yritykselle mahdollisuutta lisätä tuotosta 20 prosentilla lisäämättä panoskäyttöä.

3.5. Kustannustehokkuus ja taloudellinen optimointi

Tekninen tehokkuus ei takaa taloudellista tehokkuutta, vaan rahaa voi tuhlautua, vaikka panoskäyttö olisi teknisesti optimaalinen tuotokseen nähden. Tuottaja voi olla allokatii-visesti tehoton, ja siten etäällä taloudellisesta optimiposiitiostaan. Allokatiivisen tehokkuuden, ja siten myös kokonaistehokkuuden, tarkastelu edellyttää tietoja paitsi panosten ja tuotosten määrästä myös niiden hinnoista. Jatkettaessa Farrellin (1957) tehokkuustarkastelua, havainnollistetaan kustannustehokkuuden ja teknisen tehokkuuden yhteys seuraavasti:



Kuvio 9. Farrellin kokonaistehokkuuden kuvaus, kahden panoksen tapaus

Kuviosta 9 havaitaan, että samatuotuskäyrän SS' yläpuolelle vievä yhden panosyksikön lisäys molemmissa panoksissa tuotusyksikköä kohden tarkoittaa teknistä tehokkuutta (piste P). Tällöin piste Q on teknisesti tehokas, joka ei välttämättä ole kustannustehokas. Tuotaessa panosten hintasuhdetta kuvaava suora AA' (minimikustannussuora) mukaan kuvioon löydetään kustannustehokas piste Q' . Pisteessä P tuottavan yrityksen kustannustehottomuuden tasoa kuvaa tällöin suhde OR/OP . Eli jos allokatiivista tehottomuutta ei esiinny, voidaan allokatiivisen ja teknisen tehokkuuden taso määrittää vähentämällä samansuhteisesti panoksia, kunnes saavutetaan tehokas pinta (siis samatuotuskäyrä).

Neoklassisessa tuotanto- ja kustannusteoriassa perusoletuksena on se, että rationaalisesti käyttäytyvä tuottaja pyrkii mahdollisimman hyvään taloudelliseen tulokseen. Maataloustuottajan toiminnan tavoite on näin ollen mahdollisimman hyvän taloudellisen tuloksen saavuttaminen yrityskohtaisten rajoitteiden asettamissa puitteissa (James & Eberle 2000). Voiton maksimoiva käyttäytyminen on Varianin (1992, 23) mukaan modernin taloustieteen standardioletus. Voiton maksimointiongelman kirjoitetaan yhden tuotoksen ja kahden panoksen esimerkkitapauksessa:

$$(10) \pi = TR - TC = py - (w_1x_1 + w_2x_2)$$

Missä p on markkinoilta tuotteelle saatava hinta, y on tuotettava tuotusmäärä ja w_1 ja w_2 ovat ostohinnat tuotoksen tuottamiseen tarvittaville panoksille x_1 ja x_2 .

Tuotannon tekninen kapasiteetti tarkoittaa biologista optimia tai tuotusmaksimia. Taloudellinen optimipositio löytyy yleensä sen alapuolelta, koska panokset ovat usein niukkoja,

ja niillä on tällöin markkinoilla määräytyvä hinta. Taloudellisesti optimaalisesti käyttäytyvän yrityksen tuotannossa rajatuotto ja rajakustannus ovat yhtä suuret. Jos rajatuotto olisi suurempi kuin rajakustannus, kannattaisi aktiviteetin tason nostaminen (Varian 1992, 24).

Tuotteen hinnan muuttuessa muuttuu myös taloudellisesti optimaalinen määrä tuottaa tuotetta, elleivät panosten hinnat muutu vastaavassa suhteessa. Panosten hintojen muuttuessa toisiinsa nähden muuttuu optimaalinen panoskäyttö sen mukaan, kuinka paljon panokset ovat toisiinsa nähden komplementteja ja substituutteja. Substituutiolla on eri asteita (edellä kuvattu substituutiojousto), vain täydelliset substituutit korvaavat täysin toisensa. Esimerkiksi kasvinviljelyssä sato yleensä rajoittaa minimitekijä, joten panoksilla on vain osittaista substituutiovaikutusta. Ryhäsen (1994) maidontuotannosta yleisesti tekemän havainnon mukaan käytettävät panokset ovat pääosin joustamattomia substituutteja.

Maidontuotannon taloudellista optimia on yleisesti lähestytty panosorientoituneesti kustannusten minimoinnin kautta rajoitteen (maitokiintiön) ollessa voimassa (esim. Ryhänen ym. 1996). On siis ajateltu, että maitotila tuottaa kiintiönsä mukaisen määrän ja pyrkii taloudelliseen optimiin panoskäyttöä sopeuttamalla. Tuottajilla on kuitenkin ollut mahdollisuus ostaa lisäkiintiötä (markkinatilanne vaihdellut alueellisesti), ja kiintiöjärjestelmä lakkautetaan EU-alueella maaliskuun 2015 jälkeen. Näin ollen voittofunktiolähtöinen toimintarajoitteeton tarkastelu voi jatkossa tulla maitotilojen tarkastelussa kysymykseen.

Maatalousyrittäjällä voi olla ja usein on muitakin tavoitteita toiminnassaan kuin puhdas voiton maksimointi tai yksikkökustannusten minimointi. Suomalaiset maitotilat ovat suurimmaksi osaksi perheyrittäjäpohjaisia, jolloin maidon tuottaminen on monesti kokonaisvaltaista yrittäjäperheen elämää. Yrittäjien arvoihin liittyvä keskustelu on oma osansa tutkimuskenttää. Neoklassista taloustiedettä sovellettaessa tehdään rationaalisen taloudellisen toimijan yksinkertaistus.

4. TEHOKKUUDEN MITTAAMINEN

4.1. Menetelmäkenttä

Tuottavuuden ja tehokkuuden mittauksessa käytettävät tutkimusmenetelmät voidaan kategorisoida kahteen pääryhmään: Parametrisiin, ekonometrian keinoin ongelmaa käsitteleviin menetelmiin, joissa alaryhmät pienimmän neliösumman menetelmä (PNS, englanniksi *least squares*, LS) ja stokastinen rintama-analyysi (SFA). Toinen ryhmä ovat ei-parametriset, matemaattisen ohjelmoinnin kautta optimoivat menetelmät, pääryhmänä DEA (*data envelopment analysis*). Kummastakin ryhmästä voidaan erottaa deterministiset ja stokastiset menetelmät. Tästä jaottelusta seuraava nelikenttä on esitetty oheisessa taulukossa.

Taulukko 2. Tehokkuustarkastelussa käytettävien menetelmien ja mallien jaottelu, pohjautuen Kumbhakaran & Lovellin (2000) sekä Bogetoftin & Otton (2011) esittämiin jaotteluihin.

TUOTANTOTEKNOLOGIA	Tehottomuuden ja satunnaisvaihtelun erottelu	
	Deterministinen	Stokastinen
<u>Parametrinen funktio-</u> <u>muoto</u> Sovellettava menetelmä: <i>Ekonometrinen estimointi</i>	<ul style="list-style-type: none"> - COLS (<i>Corrected Ordinary Least Squares</i>, korjattu pienimmän neliösumman menetelmä) - MOLS (<i>Modified Ordinary Least Squares</i>, muunnettu pienimmän neliösumman menetelmä) - Suurimman uskottavuuden menetelmä 	<ul style="list-style-type: none"> - MOLS (<i>Modified Ordinary Least Squares</i>, muunnettu pienimmän neliösumman menetelmä) - Suurimman uskottavuuden menetelmä - Stokastinen tuotantorintama-analyysi (SFA)
<u>Ei-parametrinen funktio-</u> <u>muoto</u> Sovellettava menetelmä: <i>Matemaattinen optimointi</i>	<ul style="list-style-type: none"> - DEA (Data Envelopment Analysis) 	<ul style="list-style-type: none"> - SDEA (Stochastic Data Envelopment Analysis) - StoNED (Stochastic Non-Smooth Envelopment of Data)

Winsten (1957) esitti, että deterministinen tuotantorintamamalli voidaan estimoida kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa pienimmän neliösumman menetelmää (OLS) käytetään rintamakaaren parametrien ja kulmakertoimen estimointiin, toisessa vaiheessa tätä estimaattia korjataan siirtämällä rintamaa ylöspäin ylimpiin havaintopisteisiin. Tätä menetelmää kutsutaan korjatuksi pienimmän neliösumman menetelmäksi (COLS).

Afriat (1972) ja Richmond (1974) muokkasivat COLS-menetelmästä muunnellun pienimmän neliösumman menetelmän (MOLS). Olennainen eroavaisuus oli käyttää ensimmäisen vaiheen estimoinnissa oletusta siitä, että poikkeamat ovat seurausta yksipuolisesta jakautumisesta, kuten eksponentiaalisesta tai puolinormaalista. Taustalla oli ajatus siitä, että teknisen tehokkuuden voitiin perustellusti olettaa noudattavan yhtä näistä jakaumista (Kumbhakar & Lovell 2000, 71). MOLS-menetelmä sopii myös stokastiseen tarkasteleluun. Menetelmän puutteellisuus tehokkuusanalyyseissa on kuitenkin siinä, että rintama ei välttämättä toisessa vaiheessa siirry oikealle tasolle, havaintopisteitä voi jäädä joko joukon yläpuolelle, tai sitten yksikään havaintopiste ei saa paikkaa tehokkaalta rintamalta.

Tehottomuuden mittauksen perusajatuksena on aluksi estimoida aikaisemmissa luvuissa esitetty empiiristen havaintojen tuottama tehokas rintama, eli parhaan tuottavuuden taso. Tämän jälkeen havaintoja verrataan estimoituun rintamaan ja/tai toisiinsa. Ei-parametrisissa menetelmissä oletetaan useimmiten (myös stokastisia menetelmiä on), että tehokkaasta rintamasta poikkeavat havainnot ovat seurausta puhtaasti tehottomuudesta, kun taas parametrisissa menetelmissä erotetaan satunnaisuus virhetermin avulla. Parametrisuuden heikkous on sitoutuminen tiettyyn funktiomuotoon, jolloin olennaiseksi kysymykseksi muodostuu oikean funktiomuodon valinta.

Sekä parametrisissa että ei-parametrisissa malleissa jokaisen tilan tehokkuudelle määritetään suhteellinen tunnusluku, tehokkuusluku. Tehokkuusluku vastaa edellä kuvattua Farrelin mittaa. Se kuvaa tilan positiota verrattuna tehokkaaseen pintaan, saaden arvoja nollan ja yhden välillä. Tehokkaalle pinnalle tila sijoittuu kun tehokkuusluku saa arvon yksi, ja tila on sitä tehottomampi mitä pienemmän arvon se saa. Esimerkiksi tehokkuusarvo 0,70 tarkoittaa teknisessä panos-tuotossuhteen tarkastelussa esim. sitä, että tilan tuotos on 70 % siitä tuotoksesta, jonka se tuottaisi, jos se toimisi samoin kuin tehokkaan pinnan tiloilla. Keskimääräinen tehokkuus on yleensä yksinkertaisesti keskiarvo tilojen saamista tehokkuuslukuista.

4.2. DEA-mallit

Ei-parametrisista menetelmistä keskeisin on matemaattiseen optimointiin pohjautuva DEA-menetelmä, sen kehityksen aloittivat Farrelin tehokkuusmittojen pohjalta Charnes ym. (1978). Tätä menetelmää on tehokkuustutkimuksessa sovellettu laajasti. DEA-analyyseissä lineaarisen ohjelmoinnin keinoin muodostetaan käytettävästä aineistosta paloittain kuvattu tehokas rintama. DEA-pohjaiset mallit ovat yleensä joko panos- tai tuotos-orientoituneita, minkä lisäksi niissä täytyy tehdä skaalatuotto-oletus.

DEA-malleissa jokaisen havainnon osalta ratkaistaan optimointiongelma vuorollaan, ja verrataan niitä toisiinsa (koko joukkoon). Näin kunkin havainnon osalta voidaan määrittää sen tekninen tehokkuus suhteessa vertailujoukkoon. Tekninen tehokkuus saa DEA-malleissa arvoja nollan ja yhden väliltä (panosorientaatio). Lähempänä nollaa olevat pienemmät arvot indikoivat vähäisempää tehokkuutta havaintoyksiköilleen, ja tasan luku yksi paikkaa tehokkaassa rintamassa.

Panosorientoituneessa DEA-mallissa tehokas vertailukohta haetaan laskemalla, kuinka paljon panoksia voidaan vähentää niin, että tuotos ei pienene. Tuotosorientoituneessa DEA-mallissa vastaavasti lasketaan, kuinka paljon tuotosta voidaan kasvattaa tietyllä panosmäärällä. Jos voidaan olettaa vakioskaalatuotot, ei valinta tuotos- ja panosorientaation välillä ole niin kriittinen kuin esimerkiksi SFA-malleissa, koska sekä tuotos- että panosorientoituneet mallit löytävät samasta aineistosta samat tehokkaat havaintoyksiköt, eivätkä lineaarisen ohjelmoinnin mallit kärsi tilastollisista ongelmista (Kelly ym. 2011, 65–66).

4.3. Stokastiset rintamamallit

Stokastisuuden puuttuessa kaikkein suotuisimmat tapaukset määrittävät DEA-malleissa tehokkaan referenssipinnan. Laajennettaessa tarkastelua satunnaisuuden huomioonottavaksi tullaan SFA-malleihin.

Stokastisen rintama-analyysin perustana olevan parametrisen stokastisen tuotantofunktion kehittivät sekä Aigner ym. (1977), että Meeusen & Van de Brock (1977), lisäksi mallia kolmantena Battese & Corra (1977). Keskeinen tulos oli virhetermin jakaminen kahteen osaan, stokastiseen vaihteluun sekä etäisyyteen tuotantorintamasta. Stokastinen prosessi on matemaattinen ilmaisu ajassa sattumanvaraisesti etenevistä prosesseista, ja

stokastinen vaihtelu on termi kuvaamaan tuon sattumavaraisuuden osuutta kokonaisuuk-
sista, joissa on myös järjestelmällistä kehitystä. Malli voidaan kirjoittaa seuraavasti
(Kumbhakar & Lovell 2000, 8):

$$(1) y = f(x; \beta) \cdot \exp\{v - u\}$$

Jossa y on skalaarin tuotos, x vektori panoksista ja β vektori teknologian parametreista.
Satunnaisen vaihtelun kertova osa virhetermiä voidaan kirjoittaa:

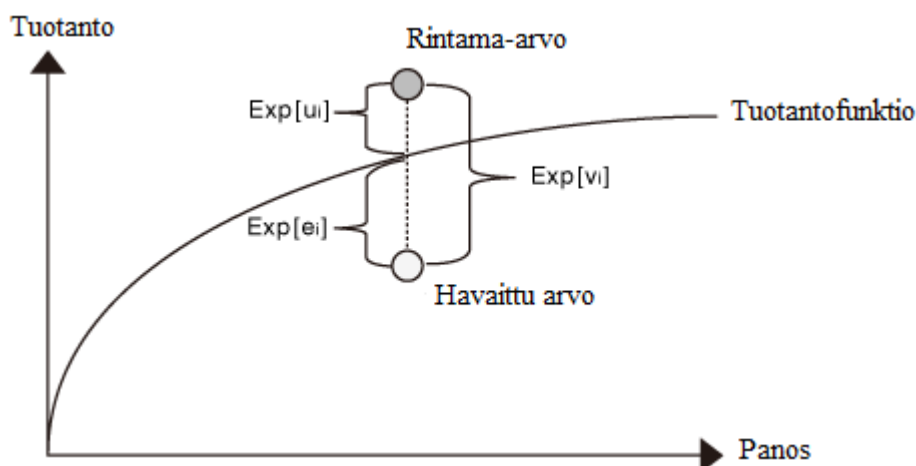
$$(2) v \sim N(0, \sigma^2_v)$$

Toinen osa virhetermiä sisältää teknisen tehokkuuden/tehottomuuden, se voidaan kirjoit-
taa:

$$(3) u \geq 0$$

Jolloin u saa joko arvon 0 , tai $u > 0$. Tämä tarkoittaa sitä, että tuottajat asemoituvat joko
stokastisen tuotantofunktion tasolle, tai sen alle. Tällöin estimoitaviksi jäävät seuraavat
parametrit:

β	Teknologialle annettavista parametreista koostuva vektori
σ^2_v	Varianssiparametri virhetermin satunnaisosasta
σ^2_u	Varianssiparametri kytkettynä virhetermin tehottomuusosaan



Kuvio 10. Stokastisen rintamamallin virhetermin jakautuminen esimerkkitilanteessa.

Tehottomuutta kuvaavan u :n jakautumisen oletus implikoi sitä, että muodostettu virhe-
termi $\varepsilon_i = v_i - u_i$ on negatiivisesti vääristynyt, jolloin tilastollinen tehokkuus edellyttää

mallin estimointia suurimman uskottavuuden estimaatteja käyttämällä (Kumbhakar & Lovell 2000, 8-9). Suurimman uskottavuuden estimointi (*maximum likelihood estimation, MLE*) on tilastotieteellinen menetelmä, jolla etsitään käsiteltävän aineiston todennäköisyysjakauman parametreja. Käytettäessä suurimman uskottavuuden estimointeja SFA-malliin pitää tehdä seuraavat oletukset (Kumbhakar & Lovell 2000, 102):

- i) $v_{it} \sim iid N(0, \sigma^2_v)$
- ii) $u_i \sim iid N^+(0, \sigma^2_u)$
- iii) u_i ja v_i toimitetaan toisistaan ja regressioista erillään

Jondrow ym. (1982) laajensivat stokastista rintama-mallia korjaamalla olennaisen puutteen, sillä alkuperäinen malli ei mahdollistanut yksittäisen residuaalin dekomponointia, eli tuottajakohtaisen teknisen tehottomuuden estimointia

SFA-malleissa tuotannon osittaisjoustot eivät ole riippuvaisia tehokkuuden tasosta, ja koska tuotosten joustot eivät ole riippuvaisia yrityksen teknisestä tehokkuudesta, eivät myöskään skaalajoustot ole sitä (Henningsen 2013, 197).

Stokastisen rintamamallin edellä esitetty perusmuoto perustuu poikkileikkausdataan. Laajennettaessa tarkastelua tapahtumiin yrityskentässä yli ajanjaksojen puhutaan paneelidatasta, jonka eduiksi Coelli ym. (1999, 202) listaavat suuren vapausasteiden määrän parametrien estimoinnissa sekä sen, että paneelidata mahdollistaa samanaikaisen teknisen muutoksen ja teknisen tehokkuuden muutoksen mittaamisen aikasarjoista. Kun käytettävissä on paneeliaineisto, stokastinen rintamamallin perusteella voidaan määrittellä tuottavuuden muutoksen komponentit: i) tekninen muutos; ii) teknisen tehokkuuden muutos ja iii) skaalavaikutus. Lisäksi on mahdollista määrittää panoskäytön kasvun osuus tuotoksen kasvusta (Sipiläinen & Ryhänen 2004, 252).

Pittin ja Lee (1981) esittivät mallin, jota kehittivät edelleen Kumbhakar (1990) sekä Battese ja Coelli (1992). Jälkimmäistä spesifikaatiota käyttävä malli on mukana myös tämän tutkimuksen vertailussa. Battesen ja Coellin 1992-spesifikaatio ei sisältänyt tehottomuutta selittävää osaa, jonka he lisäsivät myöhemmässä artikkelissaan (Battese & Coelli 1995, 326–328). Kummankin spesifikaation (myöhemmin B&C 1992 ja B&C 1995) pohjalla on stokastinen tuotantofunktio:

$$(4) Y_{it} = \exp(X_{it}\beta + V_{it} - U_{it})$$

- Jossa Y_{it} saa seuraavat indikaattorit: järjestysluku t havainnolle ($t = 1, 2, \dots, T$) yrityksestä i ($i = 1, 2, \dots, N$)
- X_{it} on vektori tiedetyistä panoksista tuotannossa ja muista selittävistä muuttujista
- β on vektori parametreille, jotka estimoidaan tässä tapauksessa tuotantofunktiona
- v_{it} oletetaan olevan *iid* $N(0, \sigma^2_v)$
- U_{it} ovat joukko arvoltaan nollan tai suurempia arvoja saavia satunnaismuuttujia liittyen tuotannon tekniseen tehottomuuteen. Virhetermit oletetaan toisistaan riippumattomiksi.

B&C 1995–spesifikaatioissa eksogeenisiä³ tehottomuustermiä U_{it} selittävät tekijät muodostuvat seuraavasti:

$$(5) U_{it} = Z_{it}\delta + W_{it}$$

- Jossa Z_{it} on vektori yritysten teknistä tehottomuutta selittävistä muuttujista yli ajan
- δ on vektori estimoitaville kertoimille
- W_{it} on satunnaismuuttuja, joka määritellään katkaisuna normaalijakaumasta.

³ Ekonometrisissa malleissa tekijä on eksogeeninen silloin kun parametrin (ts. mallin muuttujan) ja virhetermin välillä ei ole korrelaatiota. Endogeenisuudesta on kyse silloin kun tällainen kytkös on olemassa. Endogeenisuuden ongelmista on keskustelua tulosten tarkastelun yhteydessä.

5. AINEISTO

5.1. Aineiston kuvaus

Aineistona tässä tutkimuksessa on MTT Taloustutkimuksen ylläpitämän kansainväliseen FADN -luokitukseen perustuvan ja sitä laajemman kannattavuuskirjanpidon tarkempi tilakohtainen aineisto päätoimisilta lypsykarjatiloilta vuosilta 2007–2012. Aineistorajauksessa haluttiin keskittyä mahdollisimman paljon nykyhetkeä kuvaavaan osuuteen, ja vuosi 2012 oli viimeinen täysimääräisesti saatavissa oleva havaintovuosi. Useampia vuosia ei otettu mukaan tutkimuksen tavoitteiden keskittyessä tuotantorakenteiden analysointiin eikä niinkään ajassa tapahtuneeseen muutokseen. Vuotuista vaihtelua tasataan ottamalla mukaan tila-aineisto kuuden viimeisimmän täysimääräisesti saatavilla olevan vuoden osalta.

Maitotilaksi FADN-järjestelmässä on Rantalan ja Latukan (2012, 31) mukaan vuoden 2010 jälkeen luokiteltu tila, jolla lypsykarjasta saatava kokonaistuotto muodostaa kaksi kolmasosaa tilan keskimääräisestä tuotosta (*Standard Output*, SO). Aiemmin mittarina toimi vakioitu kokonaiskate (*Standard Gross Margin*, SGM). Näiden ero on siinä, että vakioidussa kokonaiskateessa keskimääräiseen tuottoon lisätään suorat tuet ja vähennetään kustannukset. Lypsykarjataloutta harjoittavat tilat, joiden keskimääräisestä tuotosta suurempi osa tulee muusta kuin maidontuotannosta (esimerkiksi viljasta), luokitellaan pääosin sekatiloiksi.

Maatalouden kokonaislaskennassa kannattavuuskirjanpitoaineistoa yleensä korjataan tietyillä painokertoimilla, jotta sen tulokset saadaan edustamaan paremmin suomalaisia maatalousyrityksiä. Painotus perustuu maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskuksen tilarakenneaineiston tietoihin, ja laskenta tapahtuu MTT:n taloustutkimusyksikössä (Latukka & Järvinen 2011). Tässä tutkimuksessa käytetään korjaamatonta kirjanpitoaineistoa. Painokertoimien vaikutus on huomattava tehtäessä vertailua tutkimuksiin, jotka soveltavat painotettua aineistoa.

Kirjanpitoaineiston etuna on sen yksityiskohtainen esitys maatilayritysten toiminnan tuotoista ja kustannuksista, mutta sen käytössä on myös omat puutteensa. Yleisesti kirjanpitoiloiksi on katsottu valikoituvan keskimääräistä paremmin menestyviä ja tuotannossaan tarkempia tiloja. Kirjanpitoaineistossa tiedot raha- ja reaaliprosesseista eivät kaikilta osin kytkeydy toisiinsa ja tuotannon määrällisiä mittareita on lähinnä yläluokittain esitettyinä,

ei kohdistuviin yksiköihin eriteltyinä (Ylätalo 2012, 11). Piiloon jää myös se, miten kukin tila liiketoimintansa on käytännön tasolla järjestänyt. Eli esimerkiksi se, millaisia valintoja tuotantoprosessissa on tehty, minkälainen panostus on tehty myyntiin ja markkinointiin, mitä erityispiirteitä resursseissa kuten karja, peltomaa tai työvoima on ja niin edelleen. Lisäksi määrällisestä aineistosta puuttuvat tärkeät tiedot maatilayritysten tavoitteista ja strategioista.

Kirjanpitopaneelin muuttujat sisälsivät tietoja tuotannosta, kustannuksista ja tuotoista. Tuotantofunktion estimoinnissa käytettiin kirjanpitomuuttujia lähes sellaisenaan, mutta myös joitakin omia aggregointeja sekä muunnoksia sovellettiin. Tehottomuutta selittäviä muuttujia määriteltiin useamman aineistomuuttujan perusteella. Näistä kerrotaan myöhemmin lisää omissa luvuissaan.

Aineistosta poimittiin tarkasteluun tavanomaista tuotantotapaa harjoittavat tilat. Pois pudotettujen luomutilojen joukossa olivat mukana myös tilat, joilla pelkkä peltotuotanto oli luomusopimuksen piirissä. Luomutilojen pienen määrän vuoksi vertailumallin toteuttamista ei nähty tässä yhteydessä mielekkääksi, eikä luomutuotantoa harjoittavien tilojen kasvintuotannon tutkiminen samassa mallissa tavanomaisen tuotantotavan tilojen kanssa ole perusteltua tuotantofunktion erilaisuuden vuoksi. Luomutiloilla kasvintuotannon rakenne poikkeaa välttämättömän viljelykierron toiminnallisuuden vuoksi tavanomaisten tilojen tuotannosta. Lisäksi niillä sovelletaan sekä lannoitukseen että kasvinsuojeluun tavanomaisesta tuotantotavasta poikkeavaa lähestymistapaa.

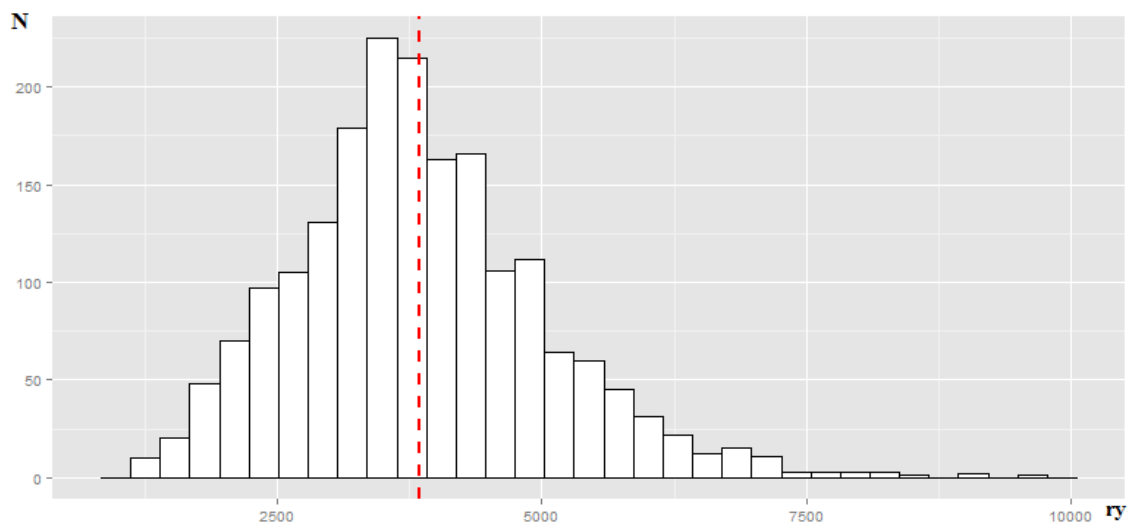
Luomutilojen pudottamisen vuoksi aineistosta jäi pois 179 havaintoa (keskimäärin 30 luomutilaa per vuosi). Tämän jälkeen havaintoaineisto koostui epätäydellisestä paneelista (*unbalanced panel*), jossa oli 1923 havaintoa. Tilat eivät pysyneet samoina vuosien välillä, vaan kirjanpitojärjestelmään tuli uusia tiloja ja vanhoja vastaavasti jättäytyi järjestelmästä pois tai vaihtoi tuotantosuuntaa. Kaiken kaikkiaan käytetyssä paneelissa oli havaintoja 409:ltä eri maitotilalta. Täydet kuusi havaintoa oli 230 tilalta, viisi neljätkymmeneltä tilalta, neljä kolmeltakymmeneltäkuudelta tilalta, kolme kolmeltakymmeneltäkahdelta tilalta, kaksi niin ikään kolmeltakymmeneltäkahdelta tilalta ja yksi kolmeltakymmeneltäyhdeksältä tilalta. Vuotuinen vaihtelu oli näin ollen 30–40 tilan tasolla, joskin kirjanpitoon osallistuvien maitotilojen kokonaismäärä laski tutkimusajanjaksolla noin viidellätoista prosentilla. Aineisto ei noudata tasaista maantieteellistä ja taloudellista jakaumaa. Esimerkiksi C2- ja C2P-tukialueiden tilat korostuvat määrällisesti (ks. liite 1).

5.2. Muuttujavalinnat tuotantofunktion

Mallin pohjalla on panos-tuotostarkastelu (taulukko 3). Ainoana tuotoksena käytettävissä mallissa on tilan kasvintuotannon kokonaissato rehuyksiköiksi (ry) muutettuna. Kirjanpitoaineistossa on satotiedot kasveittain, mutta panoskäytön erittelyn puuttuessa pitäydyttiin kokonaissadon tarkastelussa. Esimerkiksi nurmia ja viljoja ei voitu tarkastella erikseen käytettäessä tuotantofunktiota. Rehuyksikkösadot ovat MTT:n antamia perustuen kirjanpitolojen ilmoitukseen satomääristä, eivätkä ne näin ollen huomioi tilakohtaisia vaihteluita sadon laadussa.

Taulukko 3. Tuotantofunktiossa käsiteltävät muuttujat (vaihtelee malleittain).

Muuttuja	Lyh.	Kuvaus
Rehuyksikkösato	rysato	Rehuyksikkösato, koko pinta-alalta
Viljelyala	viljelyala	Viljelyksessä oleva peltopinta-ala, hehtaaria
Eläinyksiköt	eyelain	Eläinyksiköt
Lannoite + kalkki	lan_kalk	Lannoite- ja kalkituspanos (euroa/vuosi) defl.
Siemen	siemen	Siemenpanos (euroa/vuosi) defl.
Kasvinsuojelu	kasvinsuojelu	Kasvinsuojelupanos (euroa/vuosi) defl.
Kasvinviljely	kasvinviljely	Kasvinviljelyn yleiskustannuspanos (euroa/vuosi) defl.
Kasvinviljelytyö	kvtyo	Viljelijäperheen ja palkatun työvoiman työ (tuntia/vuosi)
Ostettu urakointi	konetyo	Ostettu konetyö (euroa/vuosi)
Viljelykoneiden po.	kv_koneet	Traktoreiden, pumureiden ja kv. -kaluston yht. lask. poisto
Muut muuttuvat	muutm	Aggregaattimuuttuja (siemen, kasvinsuojelu, kasvinviljely)



Kuvio 11. Aineiston tilojen hehtaariohtaisten rehuyksikkösatojen jakauma, katkoviiva keskiarvossa.

Tuotoksen osalta on tehtävä se varaus, että tilojen sadontuottokyky vaihtelee, joten samaakin tuotantoteknologiaa käytävillä tiloilla se voi olla hyvin erilainen. Peltolohkon sadontuottokykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa maantieteellinen sijainti, mikroilmasto ja säävaihtelut, lohkon maalajit ja viljavuudet, tehdyt perusparannukset ja pelton ojituksen kunto, lohkon pintamuodot, viljelty esikasvi sekä viljelykierron vaihe. Lisäksi osalle tuotoksesta tapahtuu hävikkiä. Kuviosta 13 huomataan aineiston hehtaarisadoissa olevan suurta vaihtelua, satojakauma on positiivisesti vino ja mukana on myös satunnaisia poikkeuksellisen suuria (lähes 10 000 ry) hehtaarisatoja

Panospuolelle valittiin neljästä kahdeksaan panostekijää mallista riippuen (taulukko 4). Vähemmän panoksia sisältävissä malleissa osa panoksista oli aggregoitu keskenään. Tuotantofunktioon selittäviä panosmuuttujia valittaessa valinta- ja aggregointiongelmien ilmaantuminen on tyypillinen. Useamman panosmuuttujan mukaan ottaminen tarjoaa yksityiskohtaisemman pohjan analyysille, mutta samalla multikollinearisuuden riski kasvaa. Vastaavasti pienemmän panosmuuttujamäärän ja useampien aggregointien käyttäminen (yhdistelmämuuttujat) voi johtaa vähemmän informatiivisiin malleihin, joiden tulokset on tulkittava varovammin (Sipiläinen & Ryhänen 2004, 254).

Taulukko 4. Kuvailevat tiedot tuotantofunktiossa käytettävistä muuttujista.

	rysat	viljelyala	eyelain	lan_kalk*	siemen*	kv. työ	kasvinsuo- jelu*	urak.ost.	kv. koneet	(agr.) muut muuttuvat
	ry	ha	ey	eur/v	eur/v	t/v	eur/v	eur/v	poisto eur/v	eur/v**
N	1923	1923	1923	1923	1923	1923	1923	1923	1923	1923
Vaihteluväli	1678750	374	298	41031	18289	6504	12635	136614	74623	41406
Minimi	22750	9	2	0	0	0	0	0	276	0
Maksimi	1701500	383	300	41031	18289	6504	12635	136614	74899	41406
Mediaani	217140	59	48	5180	1240	700	446	2240	11503	4552
Keskiarvo	266037	68	62	6520	1787	858	853	6654	14352	6115
Keskihajonta	196106	43	45	5072	1909	647	1276	12872	11097	5396
Vinous***	2,1	2	1,8	2	2,5	2,4	3,9	4,5	1,7	-

*Deflatoitu indeksillä (ks. luku 6.4)**Deflatoitu indeksillä muut. kasviviljely lukuun ottamatta ***Vinous = $\Sigma((x - x_{\text{bar}}) / s)^3 \cdot n / ((n - 1) \times (n - 2))$ ts. poikkeama normaalijakaumasta (negatiivinen / positiivinen)

Panoksista ensimmäisinä käsiteltiin kirjanpidon selkeästi kasvinviljelyyn kohdistuvat muuttuvien kustannusten erät. Nämä kaikki esiintyvät kirjanpitoaineistossa nettomääräisinä euroissa per vuosi. Näitä olivat ostopanoksia kuvaavat *siemen*, *lannoite*, *kasvinsuojelu*, *kalkki* sekä muuttuja *kasvinviljely*, joka sisältää muut kirjanpitoon laitetut kasvinviljelykustannukset, eli kasvinviljelyn yleiskustannukset.

Lannoitepanos on tuotantofunktiossa selkeä ja vastaavassa tutkimuksessa yleisesti käytetty muuttuja. Sen sijaan muuttuja *kalkki* on tuotantovaikutuksen tulkinnan kannalta ongelmallinen, koska kalkituksen vaikutus on pitkäaikainen, mutta sen tarve ja hankinta voi tilakohtaisesti vaihdella erittäin paljon. Tilat käyttävät sekä vuotuista ylläpitokalkitusta, että yksittäisinä vuosina hyvinkin suuria perusparannuskalkituksia (etenkin raivioloikoille). Tällöin kustannuserän euromääräiset erot tilojen välillä kohoavat suureksi, ja monella tilalla yksittäisen vuoden kalkitus jää olemattomaksi. Katsottiinkin, että on perusteltua yhdistää lannoitus- ja kalkituspanokset malleissa yhdeksi aggregaattimuuttujaksi (lannoitus & kalkitus).

Siemen-, kasvinsuojelu- ja kasvinviljelypanokset pidettiin ensimmäisissä malleissa erillään, koska niiden vaikutuksia haluttiin tutkia ominaan. Lisäksi näiden kolmen muuttujan

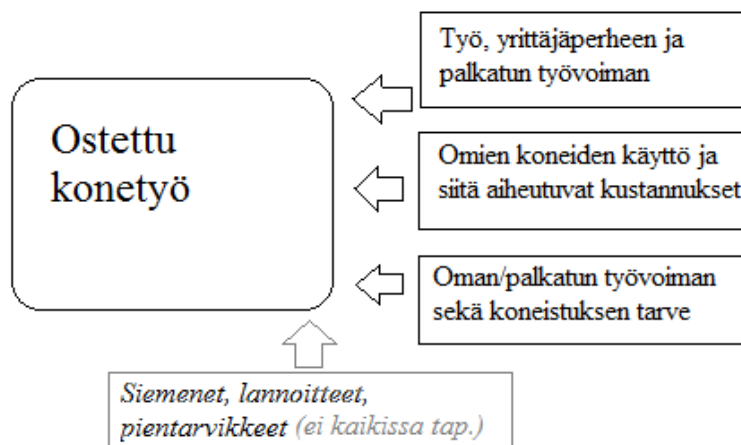
osalta kokeiltiin myös aggregaattimuuttujaa *kasvyk*, joka muodosti muiden muuttuvien kustannusten muuttujan enemmän aggregoituja muuttujia sisältäviin malleihin.

Kasvinsuojelupanoksen osalta on huomattava sen positiivinen vinous (pieni joukko tiloista siis suhteellisen paljon kasvinsuojeluun panostavia).

Muuttuvien kustannusten jälkeen seuraava klassinen kasvintuotannon tuotantopanoselementti oli sadonmuodostuksen eteen tehty työ. Kirjanpitu muuttujista kasvinviljelyn työpanos oli koottu muuttujiin *t10omakasvivyv* sekä *t10omakasvipa*, joista ensimmäinen sisältää yrittäjäperheen ilmoittaman oman vuotuisen kasvinviljelytyön tunneissa, ja toinen palkkatyövoiman tekemän kasvinviljelytyön vastaavasti tuntia vuodessa. Nämä kaksi yhdistettiin muuttujajoukon koon maltillisena pitämiseksi yhdeksi muuttujaksi *kvtyo*. Mukana oli poikkeuksellisia tilahavaintoja, joissa yrittäjän tai palkkatyövoiman tekemää kasvinviljelytyötä ei ollut kirjattu yhtään tai lähes yhtään.

Edellä mainittujen muuttujien lisäksi harkintaan päätyivät *konetyo (ostettu)*, *lämmitys*, *polttoaine* sekä *sähkö*. Näistä varsinkin polttoaineiden sekä sähkön käytön katsottiin kohdistuvan maitotiloilla vaihtelevissa määrin myös eläinprosessiin, jolloin oli vaikea eritellä niiden osuutta kasvinviljelypanoksena. Tarkemmin eritteleviä muuttujia ei aineistossa ollut saatavilla. Energiamuuttujat päätettiin jättää pois. Koneurakoinnin hankinta, eli muuttuja *konetyo*, huomioitiin osassa malleista.

Muuttujan *konetyo* kohdalla on varauksena huomioitava se, että mukana saattaa olla eläinprosessiin hankittua konetyötä. Toisaalta kyseisen muuttujan nähtiin olevan erittäin tarpeellinen, koska monilla maitotiloilla ostopalvelukonetyötä kasvinviljelyyn hankitaan paljon, ja osaltaan muuttuja kertoo myös tilojen yhteistyökäytännöistä. Peltoprosessiin ostettu koneurakointi on substituutti paitsi yrittäjäperheen ja palkkatyövoiman kasvinviljelytyölle, myös kasvinviljelykalustolle. Lisäksi joissain tapauksissa myös siemenet ja lannoitteet saatetaan hankkia urakointityön yhteydessä kokonaispakettina. Konetyön oston jakaumassa on mielenkiintoista huomata huomattava positiivinen vinous.



Kuvio 12. Hankittavan konetyön korvaussuhteet muihin tuotantopanoksiin.

Harkittiin lisäksi muuttujan *kuivaus* mukaan ottamista. Todettiin kuitenkin sen olevan ongelmallinen, koska tilojen menetelmät vaihtelevat suuresti: voi olla ostoviljan-kuivausta, oman viljan kuivausta, murska- tai haposäilöntää tai viljatonta viljelyä.

Eläinyksiköiden määrällisen muuttujan sijoittamista tuotantofunktioon kokeiltiin myös. Ajatuksena oli, että muuttuja osaltaan antaisi kuvauksen peltoprosessiin tuotetusta lantapanoksesta. Lypsylehmän tuottama vuotuinen lantamäärä sisältää fosforia keskimäärin 18 kiloa, josta kasveille käyttökelpoista on noin 70–80 prosenttia (Tuhkanen 2003). Lisäksi lanta sisältää typpeä. Fosforipitoisuuden vuoksi lannan hehtaarikohtaiselle levitysmäärälle on ympäristölainsäädännössä säädetty kasvilajikohtaiset rajoitteet. Aineistosta ei kuitenkaan selviä tarkempi lannantuotto ja lannankäytön jakauma, ja huomioitavaa on lisäksi myös se, että tiloilla voi olla sovittu lannanluovutuksesta ulkopuoliselle taholle. Lisäksi eläinyksiköillä on vahva korrelaatio sekä tuotetun sadon että viljelyalan kanssa. Eläinyksiköt jätettiin ensimmäisten mallikokeiluiden jälkeen pois tuotantofunktiosta. Lantapanokselle ei käytettävästä aineistosta löytynyt tarpeeksi kohdennettua muuttujaa.

Kannattavuuskirjanpitoon kytkettiin tutkimuksen valmisteluajanjaksolla 2013–2014 tilatunnuksen avulla peltolohkorekisterin tietoja, joita toivottiin saatavaksi käyttöön tässä tutkimuksessa. Näitä olosuhdetekijöitä kuvaavia muuttujia ei kuitenkaan aineistoon kyetty liittämään, joten niiden hyödyntäminen jää myöhempiin tutkimuksiin.

Kasvinviljelyn konekanta kuvaa yhdistetty summamuuttuja kasvinviljelykoneiden, pui-
mureiden ja traktoreiden vuotuisesta poistosta. Muuttuja on monella tapaa ongelmallinen.

Esimerkiksi puimureita oli harvoilla tiloilla, mutta niiden painoarvo saattoi mallin kannalta olla iso. Traktoreita taas tarvitaan tilakohtaisesti vaihdellen eläinprosessissa (ruokinta ja lannanpoisto), eikä tuon käytön osuutta pystytä aineistosta erittelemään. Lisäksi on huomioitava että poistot kertovat enemmän konekannan iästä kuin esimerkiksi kapasiteetista. Kannattavuuskirjanpidon poistolaskentakäytäntönä tutkimusajanjaksolla oli nykyarvoihin perustuva poistolaskenta, jossa nykyarvot laskettiin hankinta-arvoista tai jälleenhankinta-arvoista. Näin ollen poistot olivat riippuvaisia esimerkiksi koneiden käyttömääristä.

Taulukko 5. Korrelaatiomatriisi* tuotantofunktiossa käytettävistä logaritmoiduista muuttujista.

	Y	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈
Sato (Y)	1,000								
Pinta-ala (X ₀)	0,892	1,000							
Eläinyksiköt (X ₁)	0,864	0,799	1,000						
NPK+Kalkki (X ₂)	0,680	0,692	0,636	1,000					
Siemen (X ₃)	0,534	0,565	0,488	0,442	1,000				
Työ (X ₄)	0,459	0,472	0,417	0,414	0,264	1,000			
Kasvinsuojelu (X ₅)	0,517	0,543	0,383	0,443	0,349	0,328	1,000		
Urakointiosto (X ₆)	0,453	0,459	0,511	0,311	0,288	0,057	0,276	1,000	
Konepoistot (X ₇)	0,636	0,648	0,603	0,522	0,370	0,428	0,392	0,142	1,000
Kasvinvilj. yk. (X ₈)	0,515	0,468	0,557	0,399	0,270	0,237	0,208	0,259	0,376

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

* Pearson korrelaatio:

Viljelty pinta-ala ja eläinyksikköjen määrä korreloivat voimakkaimmin muiden panosmuuttujien käyttöön, olennaisimpana lannoite- ja kalkituspanos. Muista muuttujista konepoistoissa ja kasvinviljelyn yleiskustannuksissa on selvää skaalavaikutteista korrelaatiota. Toisaalta esimerkiksi kasvinsuojelun korrelaatioyhteydet jäivät vähäisemmiksi, mikä kuvastaa vaihtelevia kasvinsuojelukäytänteitä maitotiloilla.

Laadittaessa alustava regressiomalli Cobb-Douglas –tuotantofunktioista (liite 3) hylättiin uskottavuusosamäärätestin perusteella pinta-alan ja eläinyksikköiden samanaikainen käyttö korkean korrelaation vuoksi. Eläinyksikköiden tuottama substituutilannoite jäi näin panoksena tuotantofunktiossa huomioimatta. Toisaalta se vaikuttaa käytettyihin ostolannoitemääriin.

6.3. Tehottomuusosaan rakennetut muuttujat

Tehottomuusosassa käytettävät muuttujat rakennettiin havaintovuositietoa lukuun ottamatta itse. Muuttujien pohjalla olivat hypoteesit oletetusta vaikutuksesta tehottomuuteen. Oletettuja vaikutuksia arvioitiin aiempien tutkimusten havaintojen perusteella. Näissäkin muuttujissa jouduttiin turvautumaan useasti tulkintaa monimutkaistaviin aggregointeihin toimittaessa aineiston asettamissa rajoissa. Taulukossa 6 on esitetty muuttujien laskenta-perusteet, ja taulukossa 7 on esitetty tilastollista statistiikkaa näistä muuttujista.

Taulukko 6. Tehottomuusosassa käytettävien muuttujien sisältö.

Muuttuja	Sisältö
Eläintiheys	Eläinyksiköitä (ey) viljelyssä olevalla peltohehtaarilla (ha)
Viljelijän ikä	Eniten työtunteja tehneen yrittäjäosakkaan tai perhejäsenen ikä havaintovuonna
Karjakoko	Karjakoko lypsävien lehmien perusteella neljään ryhmään ryhmitettynä
Suurtukialue	Tukialuetieto kolmeen ryhmään ryhmitettynä (A, B), (C1, C2, C2P) ja pohjoiset C-alueet
Urakointiosto	Koneurakoinnin ostosta havaintovuoden ajalta kirjattu kustannus
Nurmen_osuus	Nurmipinta-alan (säilörehu, kuivaheinä, laidun) osuus kokonaispinta-alasta
Havaintovuosi	Havaintovuosi

Tehottomuusosaan rakennettiin selittäviksi muuttujiksi eläintiheys, ensisijaisen viljelijän ikä, peltoalan kasvu vuoden aikana, karjakoko, alueellinen sijainti (suurtukialue) ja nurmen osuus pellonkäytöstä. sekä dummy-muuttujina karjakoko neljässä luokassa ja urakoinnin käyttö kolmessa luokassa. Myös vuosidummyja kokeiltiin osassa malleista.

Eläintiheys laskettiin jakamalla eläinyksiköissä ilmoitettu kokonaiseläinmäärä tilan peltohehtaareilla. Sekä keskiarvo että mediaani asettuivat lähelle tasoa 1 eläinyksikkö per hehtaari, ja vain harvalla tilalla oli yli 2 eläinyksikköä per peltohehtaari. Yksi lypsylehmä vasikoineen muodostaa yhden eläinyksikön, samoin yli kaksivuotiaat hiehot ja sonnit. Alle 2-vuotiaat ja yli 6kk hiehot ja sonnit kerrotaan 0,6:lla. Osalla tiloista on myös muita tuotantoeläimiä kuin nautoja.

Useamman yrittäjän tapauksessa tilan pääasialliseksi maidontuottajaksi valittiin se, jolle ilmoitettiin suurimmat työtunnit. Kriteeri ei välttämättä ole pätevä, koska päätöksentekovalta ja vastuut voivat olla vähemmän tunteja tekevällä. Kuitenkin työmääräkriteerillä

arvioiden maidontuottajat olivat ikäjakaumaltaan jonkin verran tilastollista keski-ikää nuorempia keskiarvon asettuessa neljäkymmenen ikävuoden kohdalle.

Havaintotilojen pellonkäyttö oli tarkasteltavalla ajanjaksolla nurmivaltaista. Ensimmäisellä neljänneksellä tiloista nurmea oli viljelyksessä alle puolet peltoalasta. Keskiarvo asettui kuusikymmentäviisiprocenttisen nurmiviljelyn luokkaan, ja osalla tiloista koko peltopinta-ala oli nurmella. Koska kesantoa ei huomioitu suoraan nurmena, on todellinen nurmivaltaisuus havaintotiloilla mitattua keskiarvoa todennäköisesti vielä hieman suurempi.

Karjakokoluokat tulivat tilan lypsylehmämääristä. Neljä käytettyä luokkaa olivat:

- 1) 25:n tai vähemmän lypsylehmän karjat
- 2) Karjat joihin kuului yli 25 ja ≤ 59 lehmää
- 3) Yli kuudenkymmenen, mutta alle sadan lehmän karjat
- 4) Sadan lehmän karjat ja sitä suuremmat

Näistä ensimmäiseen, pienten karjojen luokkaan, kuului vuonna 164 tilaa vuonna 2007, mutta määrä väheni vuosittain 101 tilaan vuoteen 2012. Keskikokoisten karjojen luokkaan kuului 110–136 tilaa vuosittain. Kuudenkymmenen ja sadan yksilön rajaamaan kokoluokkaan kuului vuonna 2007 kaksikymmentäyhdeksän tilaa, mutta määrä kasvoi vuoteen 2012 mennessä viiteenkymmeneenkahteen. Suurimpiin, yli sadan lehmän karjoihin kuului 8–26 tilaa, ja näidenkin tilojen lukumäärä aineistossa lisääntyi vuosittain. Havaintoaineiston karjat kuitenkin painottuivat kahteen pienimpään luokkaan. Näissä luokissa oli viimeistä havaintovuotta lukuun ottamatta vähintään kolme neljästä tilasta.

Taulukko 7. Tilahavainnot eri karjakokoluokista.

Kokoluokka	Alle 26	26-59	60-99	100-
2007	164	136	29	8
2008	148	132	48	10
2009	131	128	55	14
2010	120	133	53	19
2011	108	123	52	23
2012	101	110	52	26

Suurtukialueilla kuvataan havaintotilan maantieteellistä asemoitumista. Suurtukialueet määritettiin kolmessa luokassa: eteläiset A- ja B-tukialueet (ml. saaristotukialueet), Kes-

kiset C1, C2 ja C2P-tukialueet (tähän ryhmään kuului yli kolme neljäsosaa havaintotiloista) sekä pohjoisimmat C-tukialueet omana ryhmänään. Maantieteelliseen luokitteluun voitaisiin käyttää muitakin jakoja, esimerkiksi B- ja C1-tukialueet voisi olla perusteltua niputtaa omaksi ryhmäkseen niiden tuotannollisten olosuhteiden samankaltaisuuden vuoksi.

Myös koneurakoinnille laadittiin luokiteltu dummy-muuttuja. Koska noin kolmannes tiloista ei yhtenä tai useampana vuonna hankkinut yhtään urakointia, otettiin nolllaluokka omakseen. Raja käyttöluokkien välillä asetettiin keskimääräisen urakoinnin hankinnan (6 654 euroa vuodessa per tila) kohdalle niin, että keskiarvon alle urakointia hankkivat muodostivat oman luokkansa ja enemmän käyttävät ylimmän luokan. On kuitenkin huomiotava muuttujan *konetyo* aiemmin todettu vino jakauma, joka tarkoitti sitä, että kolme neljästä tilasta hankki koneurakointia alle 7 200 eurolla vuodessa, kun yksittäisten suurien käyttäjien kustannus kohosi lähes sataan tuhanteen euroon.

Taulukko 8. Tilahavainnot eri urakoinnin hankintaluokista.

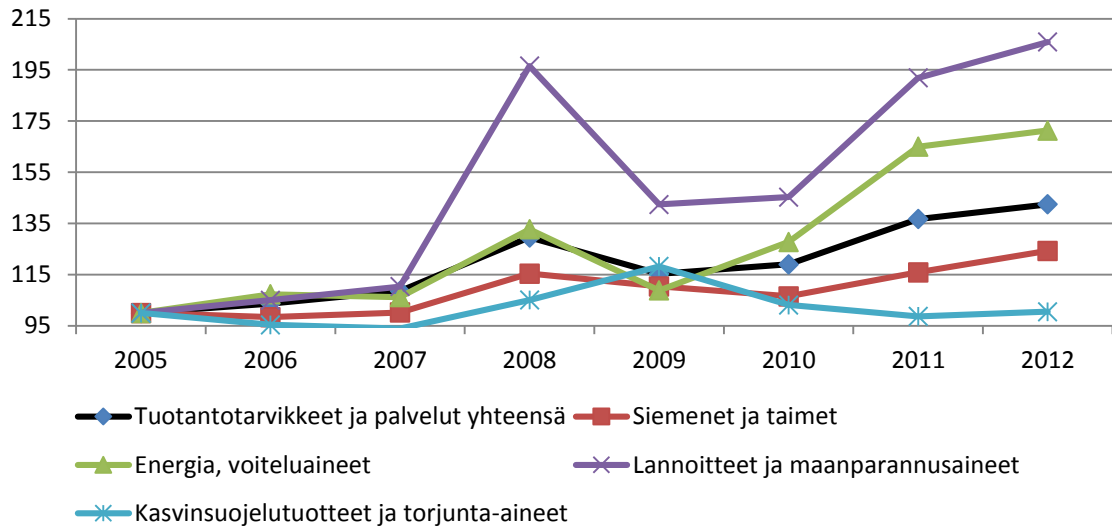
Urakointihankinta	Ei yhtään	Alle 6 654€	Yli 6 654€
2007	98	176	63
2008	100	152	86
2009	95	147	86
2010	91	149	85
2011	80	125	101
2012	65	119	105

6.4. Hintojen inflaatiokorjaus

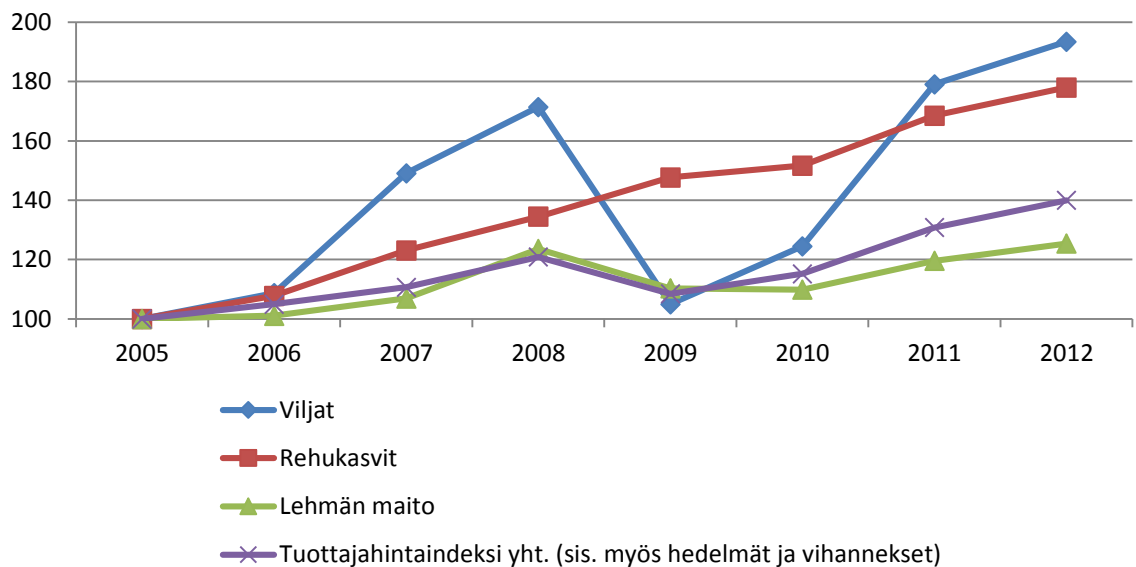
Tuotantofunktiossa panokset käsitellään määrällisinä. Jotta euromääräisenä kuvattu panoskäyttö saatiin vertailukelpoisiksi eri vuosien osalta, tarvittiin hintavaikutuksen poistava inflaatiokorjaus. Inflaatiokorjaus voidaan tehdä joko deflatoimalla kunkin vuoden hinnat tarkastelujakson ensimmäisen vuoden hintoihin (reaalihinnat), tai reflatoimalla aiempien vuosien hinnat tarkasteluvuoden arvoon (Kuosmanen & Pursiainen 2011, 2).

Vertailukohtana käytetään yleisimmin erinäisiä hintaindeksejä, esimerkiksi ansiotaso-, rakennuskustannus-, tai elinkustannusindeksejä. Näitä hinta- ja kustannusindeksejä ylläpitää Suomessa Tilastokeskus, joka perustaa ne kansantalouden tilinpidosta saataviin painotettuihin tietoihin.

Tutkimusajanjakso on suurien vaihteluiden vuoksi ongelmallinen yhteismitallistettava. Talouden epävakaata kehitystä koski paitsi kokonaistalouden suhdannetta, myös maatalousalalla hintavaihtelut viiden vuoden aikana olivat poikkeuksellisen suuria sekä panosten hinnoissa että tuottajahinnoissa (etenkin viljojen hinnat). Kuviossa 13 on esitetty maatalouden tuotantotarvikkeiden ostohintojen kehitys viime vuosina. Tuottajahintojen kehitystä taas on kuvattu kuviossa 14.

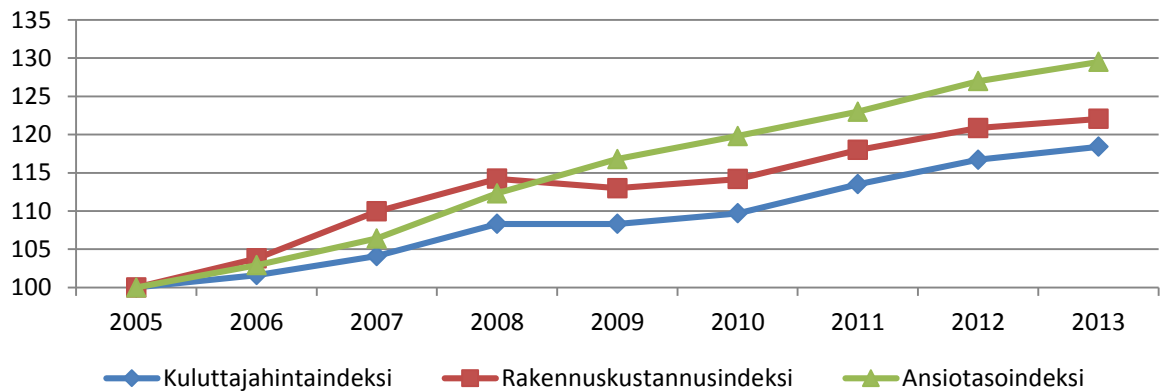


Kuvio 13. Maatalouden ostopanosten hinnat 2005–2012 (vuosi 2005 = 100). Lähde: Tilastokeskus.



Kuvio 14. Maatalouden tuottajahinnat 2005–2012 (vuosi 2005 = 100). Lähde: Tilastokeskus.

Maatalouden ostopanosten ja -palveluiden hinnat (yleisindeksi) sekä tuottajahinnat ovat tarkasteluvuosina vaihdelleet yleisen indeksin hintoja rajummin ja jyrkemmillä kulmakertoimilla. Panoshinnoissa on ollut inflaatiota suurempi nousutendenssi, sillä esimerkiksi lannoitteiden osalta hinnat tarkasteluajanjaksolla kaksinkertaistuivat. Maidon tuottajahinnan osalta korotus on tarkasteluajanjaksolla jäänyt lähelle yleisindeksien kuvaaman inflaation tasoa. Liitteessä 2. on esitetty panosvektorikohtaisesti käytetyt deflatointikertoimet.



Kuvio 15. Kuluttajahinta-, rakennuskustannus- ja ansiotasoindeksit (vuosi 2005 = 100).
Lähde: Tilastokeskus.

6. MALLIEN MÄÄRITTELY

6.1. Lähtökohdat ja tekninen toteutus

Paneeliaineisto on poikkileikkaus- ja aikasarja-aineistojen yhdistelmä. Tässä tapauksessa paneeliaineisto koostuu tavanomaista tuotantoa harjoittavista maitotiloista poikkileikkausyksikköinä (N yksikköä) ja poikkileikkausyksiköiden aikasarjoista (T vuosia). Paneelin vuodet ovat 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 sekä 2012 eli yhteensä kuusi vuotta.

Rintama-mallin estimointiin käytettiin Tim Coellin kehittämän *FRONTIER 4.1*-ohjelmasta avoimen lähdekoodin *Project R* tilasto-ohjelmistolle muunnettua *Frontier* funktiokirjastoa (kts. Coelli & Henningsen 2013). Aineiston paneelimuotoisuuden vuoksi tarvitaan lisäksi *plm* funktiokirjastoa (Croissant & Millo 2008). *FRONTIER* laskee suurimman uskottavuuden estimaatteja erilaisista stokastisen rintaman tuotanto- ja kustannusfunktioista (Coelli 1996, 1). Käytännössä tämä tapahtuu syöttämällä ohjelmaan tilastollinen aineisto sekä käytettävän SFA-mallin parametrit. Tämän jälkeen kutsutaan *frontier*-ohjelmaosakirjaston laskentafunktioita, jotka suoritettuaan laskutoimitukset antavat tulosten tuloksista.

Frontier käyttää Coellin alkuperäistä (1996) laskuohjelmaa varsinaiseen laskemiseen. Muunnoksessa käyttöliittymä on sovitettu R:ään ja lisätty optioita, sekä parannettu tulosten esitystapaa. *Frontier*-pohjainen MLE-estimointi tapahtuu kolmevaiheisesti (Coelli ym. 1999, 188):

- 1) OLS estimaattoreiden laskeminen β panostekijöille ja σ^2 :lle.
- 2) Malli toteutetaan kaikille γ arvoille nollan ja ykkösen välillä.
- 3) Viimeinen askel käyttää parhaita vaiheen 2 perusteella saatuja estimaatteja, jotka vastaavat suurimpaan uskottavuusosamääräarvoon. Tämä MLE-laskenta toteutetaan Davidon-Fletcher-Powell (DFP) maksimoivan laskentarutiinin mukaisesti.

Kirjallisuudessa kiinnitetään huomiota autokorrelaation ja heteroskedastisuuden ongelmiin SFA-malleissa. Koska *Frontier*-kirjaston toimintafunktio ei näitä huomioi (Henningsen 2013, id. 39665), on varaus niiden esiintymisestä tuloksia käytettäessä tehtävä.

6.2. Mallien määrittäykset

Mallien määrittämistä pohjustettiin rakentamalla tuotantofunktiosta tavallinen lineaarinen regressio (OLS) olettamalla Cobb-Douglas teknologia⁴. Kun mukana olivat muun panosjoukon lisäksi sekä viljelyala että eläinyksiköt, sai panoskimpun satoa selittävä korjattu selitysaste (*Adjusted R-squared*) sai arvon 0,84 korkealla merkitsevyystasolla. Pudotettaessa eläinyksiköt pois (multikollineaarisuusongelma) aleni korjattu selitysaste maltillisesti tasolle 0,80, mikä on niin ikään merkitsevyydeltään korkeaa tasoa. Jos lisäksi pudotettiin pois viljelyala, laski korjattu selitysaste tasolle 0,69 (myös alle 0,1 %:n merkitsevyystaso). Tämä implikoi sitä, että viljelyala on syytä pitää SFA-malleissa mukana. Eläinyksiköt on kuitenkin turvallista pudottaa pois

Ensimmäiset mallit luotiin Battesen ja Coellin (1992) spesifikaatiolla (*error components frontier*), joka ei sisällä erillistä tehottomuuden selitysosaa. Näitä laajennettiin käyttämällä Battesen ja Coellin (1995) mukaista tehottomuusselitysosaa sisältävää mallia (*efficiency effects frontier*). Kaikissa malleissa oletettiin, että ajassa tapahtuu tehokkuusmuutosta. Tehottomuustermin u_{it} jakaumaoletuksena oli kaikissa malleissa katkaistu ei-negatiivinen normaalijakauma. Sen odotusarvo on μ ja varianssi $2\mu\sigma$.

Tuotantofunktion estimoinnin lauseke silloin, kun mallissa oli mukana eniten tekijöitä, oli muotoa (0 havaintoarvo korvattiin ykkösellä ennen logaritmoitua):

$$\begin{aligned}\ln(Y_{it}) = & \beta_0 + \beta_1 \ln(\text{Viljelyala}_{it}) + \beta_2 \ln(\text{Lannoite} + \text{kalkki}_{it}, 1 - D_{it}) \\ & + \beta_3 \ln(\text{Siemen}_{it}, 1 - D_{it}) + \beta_4 \ln(\text{Kasvinviljelytyö}_{it}, 1 - D_{it}) \\ & + \beta_5 \ln(\text{Kasvinsuojelu}_{it}, 1 - D_{it}) + \beta_6 \ln(\text{Urakoinnin hankinta}_{it}, 1 - D_{it}) \\ & + \beta_7 \ln(\text{Kasvinviljelykoneet}_{it}, 1 - D_{it}) \\ & + \beta_8 \ln(\text{Kasvinvilj. yleiskustannukset}_{it}, 1 - D_{it}) + V_{it} - U_{it}\end{aligned}$$

Tehokkuusosan estimoinnin lauseke silloin, kun eniten selittäjiä:

$$\begin{aligned}U_{it} = & \delta_0 + \delta_1(\text{Ey per ha}_{it}) \\ & + \delta_2(\text{Viljelijän ikä}_{it}) + \delta_3(\text{Karjakoko 4 luokkaa}_{it}) \\ & + \delta_4(\text{Suurtukialue 3 luokkaa}_{it}) + \delta_5(\text{Urakointiosto 3 luokkaa}_{it}) \\ & + \delta_6(\text{Nurmen viljelyosuus}_{it}) + \delta_7(\text{Havaintovuosi}_{it}) + W_{it}\end{aligned}$$

⁴ Huom! Lineaarisisissa regressiomalleissa oletetaan, että mukana olevien muuttujien välillä ei ole täydellistä multikollineaarisuutta. Lisäksi lineaarisen regression mallia ei voida luotettavasti soveltaa epätasapainoiseen paneeliin, koska aikamuutoksen lisäksi mukana on eri määrä havaintoja eri tiloilta. Esitetyt selitysasheet ovat siis suuntaa-antavia, ja totuudenmukaisempi estimointi tapahtuu SFA-mallein.

Tuotantofunktioestimoinneista tuloksissa (luku 7) esitetään kahdeksan mallia. Kaksi ensimmäistä pohjautuvat Cobb-Douglas tuotantofunktioon ja loput kuusi ovat translog funktiomuodon malleja. Mallit 6–8 poikkeavat muista malleista siten, että niissä on käytetty keskiarvoon sovitettuja logaritimuunnoksia tuotos- ja panosmuuttujista. Muissa malleissa käytettiin suoria logaritimuunnoksia.

Taulukko 9. Tutkimukseen rakennetut mallit luokiteltuina.

	Malli 1	Malli 2	Malli 3	Malli 4	Malli 5	Malli 6	Malli 7	Malli 8
Funktiomuoto	CD	CD	TL	TL	TL	TL	TL	TL
Muuttujien keskiarvoskaalaus	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Ristitermit	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Tehottomuusosa (B&C 1995)	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
$u_{kt} = u_k \exp(-\eta (t - T))$ lla	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	Ei	Ei

Mallit 1 ja 2 ovat Cobb-Douglas tuotantoteknologiaan pohjaavia. Niiden erona on viljelyalaluuttuja, joka on muutoin mukana pääosassa malleista. Mallissa kolme lisätään ristitermit, ja malli 4 on täydellisen translog–spesifikaation mukainen. Täydellinen translog-malli sisältää sekä toisen asteen että ristitermit panoksille.

Mallit 1 & 7 ovat esitettävissä tuloksissa ainoat mallit, joissa on jätetty viljelyala tuotantopanoksena pois. Koska pellon panoksena sisältävä tuotantofunktio näytti ilmentävän lähes vakioskaalatuottoja, kokeiltiin malleja myös skaalakorjattuina. Näissä estimointituloksissa oli joitakin eroja. Ongelmaksi kuitenkin muodostui se, että MLE-estimoinnin määrittävät OLS-estimaatit olivat väärällä tavoin vinoja⁵, eikä tuloksiin näin ollen voida luottaa. Tämän takia analyysi pohjattiin peltopanoksen sisältäviin ei-vakioskaalatuottojen malleihin.

⁵ Vääränlaisen vinouden tapauksessa OLS-estimaatit voidaan tulkita ainoastaan funktion kriittisiksi pisteiksi, ei maksimipisteiksi. Tällöin MLE-estimointi saattaa käyttää väärä rajapisteitä. (Greene 2011, 10).

7. TULOKSET

Liitteen 3 koontitaulukoissa esitetään estimointien numeraaliset tulokset. Tässä luvussa tuloksia käsitellään sanallisesti sekä graafisesti havainnollistaen.

7.1. Tulokset tuotantofunktioista ja keskimääräisistä tehokkuuksista

Keskimääräinen tehokkuus viljelypinta-alan tuotantofunktiossa sisältävien mallien välillä vaihteli 0,62–0,76 (taulukko 10). Tehokkuuden muutokset tarkastelujaksolla olivat hieman vaihtelevia mallien välillä, mutta useimmissa malleissa teknisessä tehokkuudessa oli laskua tutkimuksen ajanjaksolla. Suurimman keskimääräisen tehokkuuden sai malli 4, joka pohjautuu TL-funktioon. Siinä oli tehottomuuden aikatekijä, mutta ei muutoin tehottomuutta selittävää osaa. Tehottomuuden taso riippuu mallin määrittelystä.

Keskimääräisiä tehokkuuksia voidaan pitää suhteellisen heikkoina. Kumbhakar ym. (2012, 335) kuitenkin muistuttavat, että verrattain heikot keskimääräiset tehokkuudet ovat tyypillisiä käytetyn tapaisissa malleissa, joissa tehottomuus on ajasta invariantti ja komponoitu yhteen yritys kohtaisten tekijöiden kanssa. Toisaalta mallit, joissa yrityskoh-
taisia tekijöitä ei ole strukturoitu tehottomuusosioon, antavat yleensä korkeampia tehokkuusarvoja. Todellinen tehokkuus on Kumbhakar ym. (2012, 335) johtopäätösten mukaan jossain näiden mallien tuottamien arvojen välillä.

Taulukko 10. Mallien tuottamat keskimääräiset tehokkuusluvut.

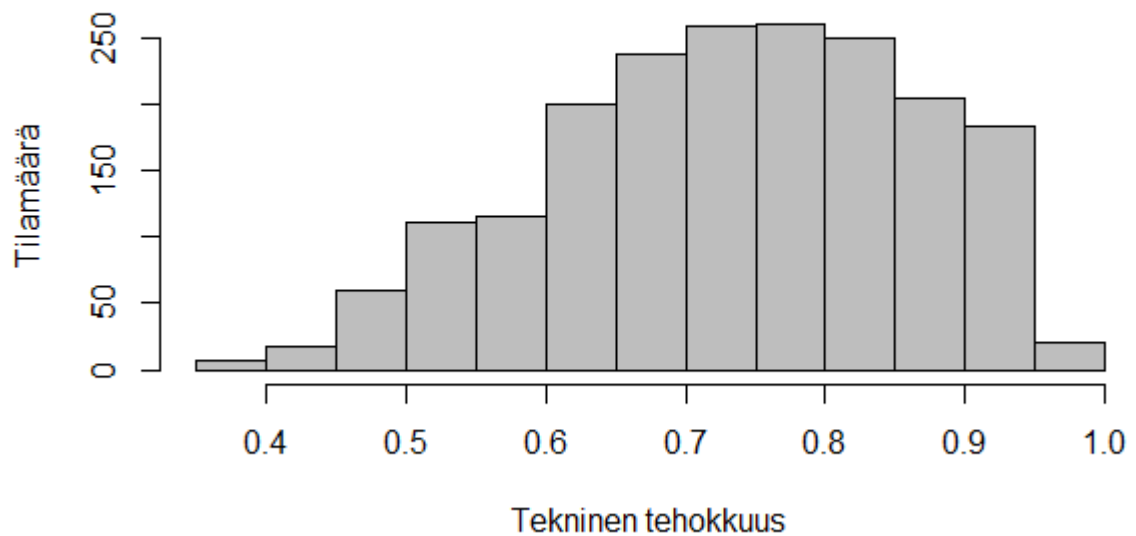
Vuosi	Malli 1.	Malli 2.	Malli 3.	Malli 4.	Malli 5.	Malli 6.	Malli 7.	Malli 8.
keskim.	0,4074	0,7265	0,7430	0,7555	0,6174	0,7350	0,7062	0,7046
2007	0,3765	0,7307	0,7428	0,7583	0,6176	0,7537	0,6817	0,7123
2008	0,3964	0,7307	0,7464	0,7604	0,6168	0,7088	0,7077	0,6784
2009	0,4090	0,7279	0,7472	0,7601	0,6071	0,7756	0,7234	0,7621
2010	0,4146	0,7306	0,7444	0,7558	0,6263	0,7199	0,7086	0,7046
2011	0,4217	0,7237	0,7411	0,7519	0,6308	0,7173	0,6967	0,6839
2012	0,4308	0,7168	0,7347	0,7445	0,6036	0,7334	0,7212	0,6830

Skaalatuotot määritettiin malleille 6 ja 8. Tulosten perusteella tuotannon skaalatuotot ovat keskiarvotasolla lähellä vakioskaalatuottoja (taulukko 11). Panoksien suhteellinen lisäys siis kasvattaa lähes samassa suhteessa tuotosta (tulkittu estimaattien kertoimista ts. jous-
toista). Kuitenkin keskiarvot ovat hieman ykköstä suurempia, joten skaalaetuja on keskimäärin saavutettavissa eli tuottavuutta voitaisiin parantaa mittakaavaa kasvattamalla.

Taulukko 11. Skaalajoustot (*elasticity of scale*).

EOS (TL-funktiot, keskiarvoskaalatut muuttujat, aikatekijä mukana)	
Malli 6	1,05
Malli 8	1,03

Tarkasteltaessa mallia 8 tarkemmin huomataan, että tehottomuuden arvojen jakaantuminen tilojen välillä poikkei normaalijakaumasta ollen negatiivisesti vino (kuvio 16). Tämä on tulkittavissa niin, että aineistossa on keskiarvoa huomattavasti tehottomampiakin tiloja.



Kuvio 16. Teknisen tehokkuuden jakauma havaintojen (tilajoukko) suhteen.

Uskottavuusosamäärätestiä (*likelihood ratio test*) käytetään nollahypoteesin testaamiseen. Rao ja Coelli (1999) suosittavat ML-estimoiduille malleille tehottomuuden testaamiseen yksisuuntaista uskottavuusosamäärätestiä. Muutoin voidaan käyttää kaksisuuntaista testiä. Testiarvo lasketaan seuraavasti:

$$LR = -2 \left\{ \ln \left[\frac{L(H_0)}{L(H_1)} \right] \right\} = -2 \{ \ln[L(H_0)] - \ln L[(H_1)] \}$$

Missä $L(H_0)$ ja $L(H_1)$ ovat uskottavuusosamääräfunktion saavuttamat arvot nollahypoteesille ja testattavalle vaihtoehtoishypoteesille. (Rao & Coelli 1999, 191–192.) Tässä tapauksessa nollahypoteesina on jokaisen mallin kohdalla se, että teknistä tehottomuutta ei esiinny ($H_0: \gamma=0$ vs. $H_1: \gamma>0$). Mikäli tilastollinen testi tällöin suosittaa nollahypoteesin hylkäämistä, niin silloin merkitsevää teknistä tehottomuutta esiintyy mallin kuvaamassa tuotannossa (Rao 2008, 30). Kaikissa malleissa tulos oli sama: tehottomuutta esiintyy korkealla luotettavuuden tasolla. Lisäksi voidaan testata kahta mallia toisiinsa nähden uskottavuusosamäärätestein silloin, kun niissä on täsmälleen samat tekijät mutta lisäksi toisessa joitakin lisätekiöitä. Uskottavuusosamäärät on esitetty taulukossa 12.

Taulukko 12. Uskottavuusosamäärätestit.

Nollahypoteesi H_0	LR-arvo	df (+/-)	Kriitt.arvo (P arvo 0,05)	Päätös
CD parempi kuin CD ristitermein	64,97	28	41,337	Hylkää H_0
CD ristitermein parempi kuin TL	50,54	8	15,507	Hylkää H_0
Ei tehottomuutta, CD	379,96	2	5,138	Hylkää H_0 *
Ei tehottomuutta, CD ja ristitermit	328,93	2	5,138	Hylkää H_0 *
Ei-tehottomuutta, TL	308,97	2	5,138	Hylkää H_0 *
Ei tehottomuutta, TL ja tehokkuusosa	259,3	2	5,138	Hylkää H_0 *

* Asteriksilla merkityissä tapauksissa nollahypoteesi on yksisuuntainen (ts. sisältää rajoitteen $\gamma=0$, huomattavaa tehottomuutta esiintyy), jolloin päätöksen pohjalla oleva kriittinen arvo 0,05 tasolla on tulkittu Kodde & Palmn (1986, 1246) esittämästä taulukosta.

Merkittävä huomio B&C92- ja 95-mallien välisestä erosta on kokonaisvirhettä selittävän gamman vaihtelu. Tehottomuutta selittävissä malleissa gamman arvot liikkuvat 0,54 – 0,6 välillä. Tulkinnan mukaan siis malleissa 5, 6, 7 ja 8 merkittävämpi osa kokonaisvirheestä aiheutuu muusta kuin tuotannon teknisestä tehottomuudesta toisin kuin järjestysluvultaan pienemmissä malleissa (pl. malli 1, joka ei sisällä peltoa panostekijänä).

Peltopanos selitti valtaosan sadonmuodostuksesta. Esimerkiksi mallissa 8 estimaatti sai positiivisen arvon 0,85 tarkoittaen joustona sitä, että pinta-alan lisääntyessä prosentin kokonaissato lisääntyy 0,85 %. Lannoitus ja kalkitus selittivät toiseksi eniten satovaihtelua.

Esimerkiksi mallissa viisi panoslisäys yhdellä prosentilla lannoitukseen ja kalkitukseen lisäsi satoa 0,13 % ja mallissa kahdeksan 0,07 %.

Siemenpanos sai tilastollisen merkitsevyyden vain malleissa 3, 5 ja 7. Mallin 6 mukaan se sai negatiivisen mutta ei merkitsevän kertoimen arvon. Kertoimet eivät olleet merkitseviä muutoin kuin tapauksessa, jossa pelto ei ollut panoksena. Toisaalta ostosiementä joudutaan usein hankkimaan, jos oma siemen on heikkolaatuista tai nurmia uudistetaan. Onkin muistettava, että ostosiemen on osittainen siemenpanoksen selittäjä.

Kasvinviljelytyö sai tilastollisen merkitsevyyden malleissa 3, 6, 7 ja 8. Mallin 6 mukaan tuotoksen jousto oli 0,03 % yhden prosentin työpanoksen kasvulle. Kasvinviljelytyön lisäyksen vaikutus tuotokseen oli vähäinen ja usein ei merkitsevä.

Kasvinsuojelupanos sai kaikissa malleissa positiivisen etumerkin, tarkoittaen että kasvinsuojeluun panostamalla olisi keskimäärin mahdollista parantaa satotasoa. Tilastollisen merkitsevyyden se sai malleissa 1, 2 ja 6. Jouston arvo oli kuitenkin vähäinen, noin 0,02:n tasoa. Urakoinnin hankinnan estimaatti tuotantofunktiossa oli niin ikään samaa tasoa. Positiivisen etumerkin se sai malleissa 1, 2 ja 7, mutta ei tilastollista merkitsevyyttä. Konepääomalla ja kasvinviljelyn yleiskustannuksilla oli vähäinen positiivinen jousto tuotoksen suhteen (0,03). Ne olivat tilastollisesti merkitseviä osassa malleista.

Ristitermeissä tilastollisesti merkitsevä oli viljelyalan (mallit 4 ja 5) ja kasvinviljelytyön tulo. Positiivinen yhdysvaikutus implikoi sitä, että tilat, joilla oli enemmän pinta-alaa viljelyksessään saavat työpanokselleen suuremman tuotannon jouston. Siten työn tuottavuus paranee tilakoon kasvaessa. Tulos on teoriaoletuksen mukainen.

Viljelypinta-alan ja kasvinsuojelun ristitermi oli negatiivinen malleissa kolme, neljä ja viisi ja p-arvon alle 1 %:n merkitsevyydellä. Tuotoksen jousto pinta-alan kasvaessa siis hieman pienenee, koska kasvinsuojelua on lisättävä samalla. Tämä on kytköksissä siihen, että rehuvilja-ala aineistossa kasvaa pinta-alan kasvaessa. Yksittäisiä tilastollisia merkitsevyyksiä tuli muillekin ristitermeille, mutta luotettavuus on niiden osalta kyseenalainen. Ryhänen (1994) esitti, että tuotantopanokset maitotiloilla ovat pääosin toisiinsa nähden joustamattomia substituutteja. Sama pätee maitotilojen kasvintuotantoon.

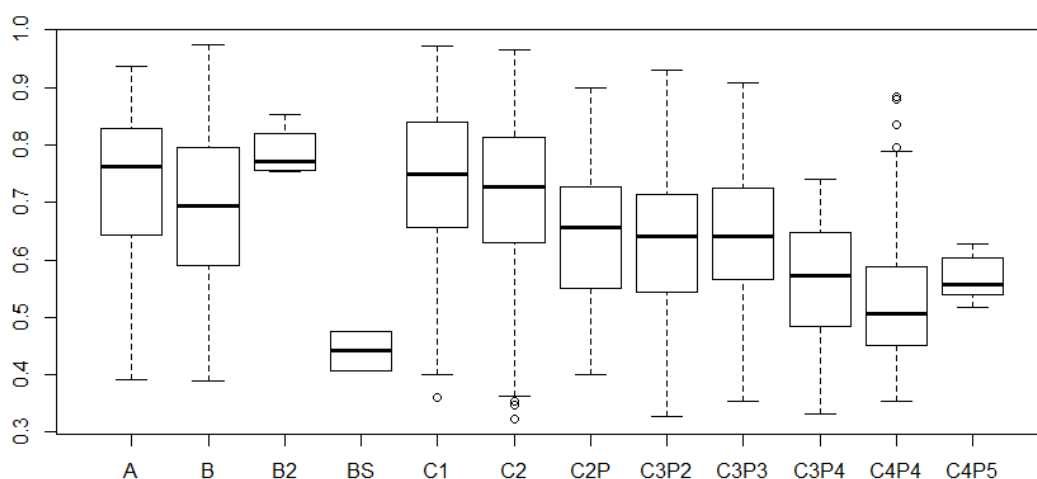
Muutamissa malleissa käytettiin myös aikaa kuvaavia dummy-muuttujia. Tuotantofunktiossa ne kuvaavat teknologista muutosta periodien välillä. Mm. mallin 6 tulokset osoittavat huomattavaa vuotuista vaihtelua. Tämä on tyypillistä kasvinviljelyssä, jossa sato- ja

viime vuosina myös panosten hintavaihtelut ovat olleet voimakkaita. Aluksi tekninen kehitys oli suotuisaa, mutta heikkeni huomattavasti vuonna 2009. Sen jälkeen tuottavuus jälleen kasvoi, mutta jakson viimeisenä vuonna 2012 koettiin jälleen lasku ja päädyttiin lähes vuoden 2007 tuottavuuden tasolle teknisen kehityksen osalta, joten teknistä kehitystä ei ajanjaksolla juuri tapahtunut.

7.2. Tulokset estimoiduista tehokkuusosioista

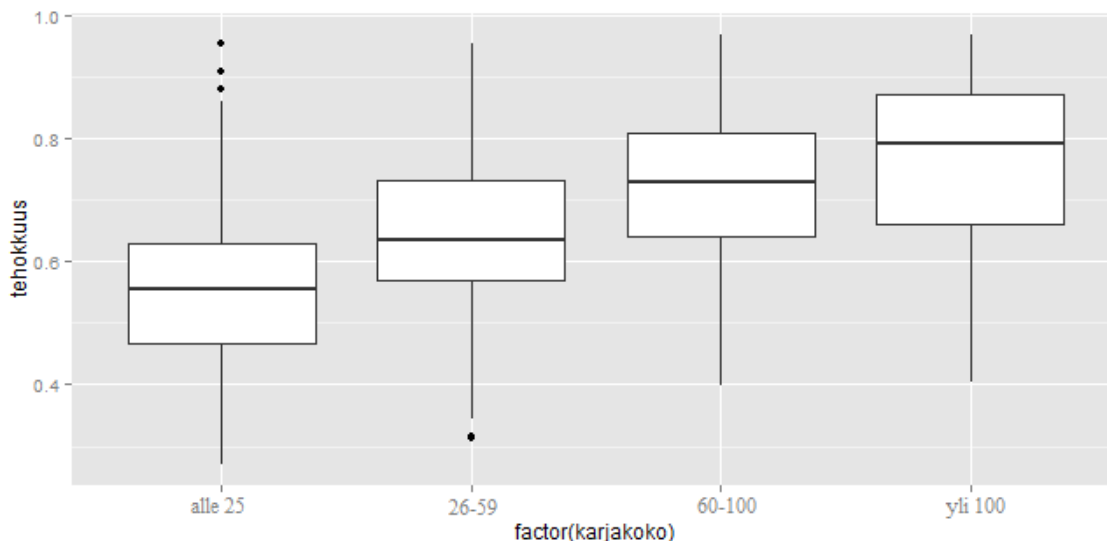
Tehottomuusosiossa eläintiheys ilmaistuna eläinyksiköissä per hehtaari sai merkitsevät kertoimet. Eläintiheyden kasvaessa myös tilalla tuotettu lantamäärä kasvaa, joka tilalla käytettynä voi vaikuttaa satoa kasvattavasti. Kotieläinten lanta ei muulla tavoin kytkeydy kasvintuotantoon käytetyissä malleissa. Sekä yksittäiset karjakokoluokat että nurmen osuus viljelypinta-alasta jäivät vaille tilastollista merkitsevyyttä. Nurmiosuuden kerroin oli yleensä positiivinen, jolloin nurmipinta-alan osuuden kasvaessa tekninen tehottomuus lisääntyi. Tosin sen kerroin oli merkitsevä vain yhdessä malleista. Nurmea prosentuaalisesti vähemmän viljelevät olivat tämän mukaan siis tehokkaampia sadonmuodostukseensa. Osaltaan tekijä kertoo kuitenkin myös tilan sijainnista, koska nurmen osuus kasvaa siirryttäessä maantieteellisesti etelästä pohjoiseen (ks. liite 1).

Kaikkein pohjoisimmat tukialueet (tukialuetta C2P pohjoisemmat) olivat selvästi kytköksissä heikkoon keskimääräisen teknisen tehokkuuden tasoon (kuvio 19). Tulos oli odotettu, koska vertailu tehtiin samaan tuotantorintamaan kaikilla alueilla. Sen sijaan huomattavaa on, että tukialueet A–C2 näyttävät sopivan kaikki samaan malliin. Tämä osaltaan kertoo mm. nurmien melko yhtenäisestä sadonmuodostuksesta. Toisaalta se kertoo myös C-tukialueille muodostuneista intensiivisen maidontuotannon alueista, joilla on kertynyttä osaamista ja synergiaetuja.



Kuvio 17. Teknisen tehokkuuden arvot tukialueittain (tehokkuusluku pystyakselilla).

Karjakokoluokkien saamia kertoimia voidaan tulkita niin, että suurimpien karjojen tiloilla kasvintuotannon tekninen tehokkuus oli keskimäärin pienempiä huomattavasti parempaa. Kuvion 18 laatikkokaavio osoittaa, kuinka tehottomuus näkyy erityisesti pienimmässä alle 25 lypsylehmän karjakokoluokassa. Keskimääräinen tehokkuus kasvaa siirryttäessä pienistä karjakokoluokista suuriin merkitsevästi.



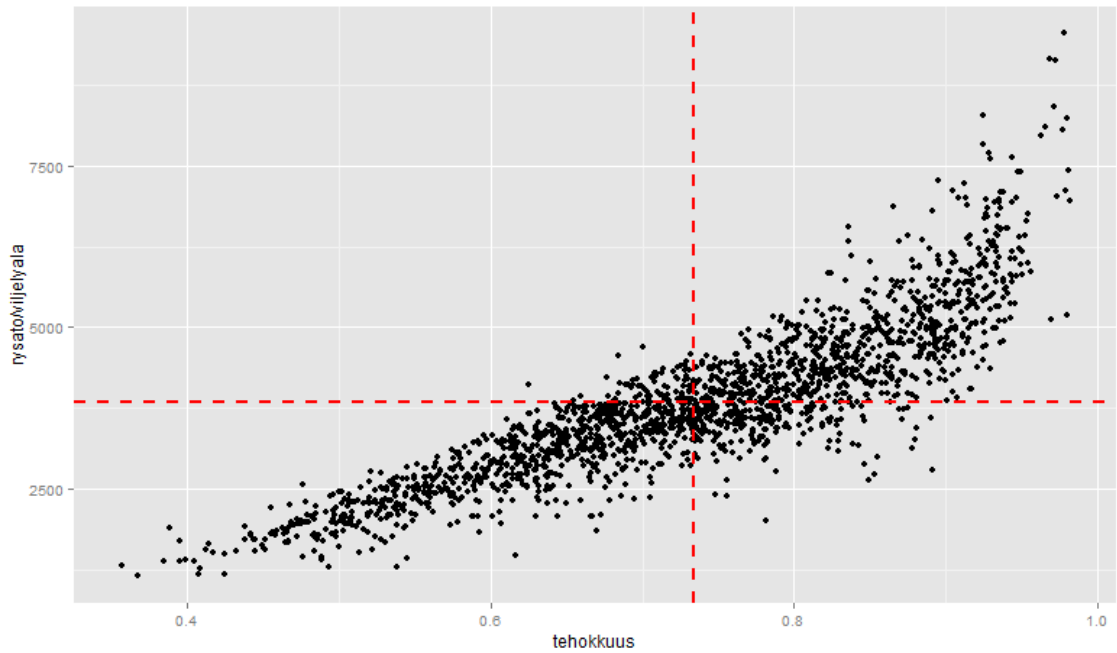
Kuvio 18. Tilojen tehokkuusarvot karjakokoluokittain.

Maidontuottajan ikä ei yleensä ollut tilastollisesti merkitsevä tehottomuuden selittäjä. Sen etumerkki oli kuitenkin sama eri tavoin spesifioitujen estimointien välillä. Ainoastaan

mallissa 7 ikä tuli merkitseväksi tekijäksi. Etumerkki tälle selittävälle muuttujalle oli kaikissa malleissa positiivinen, mikä implikoi sitä, että vanhemmat viljelijät ovat nuorempia teknisesti tehottomampia..

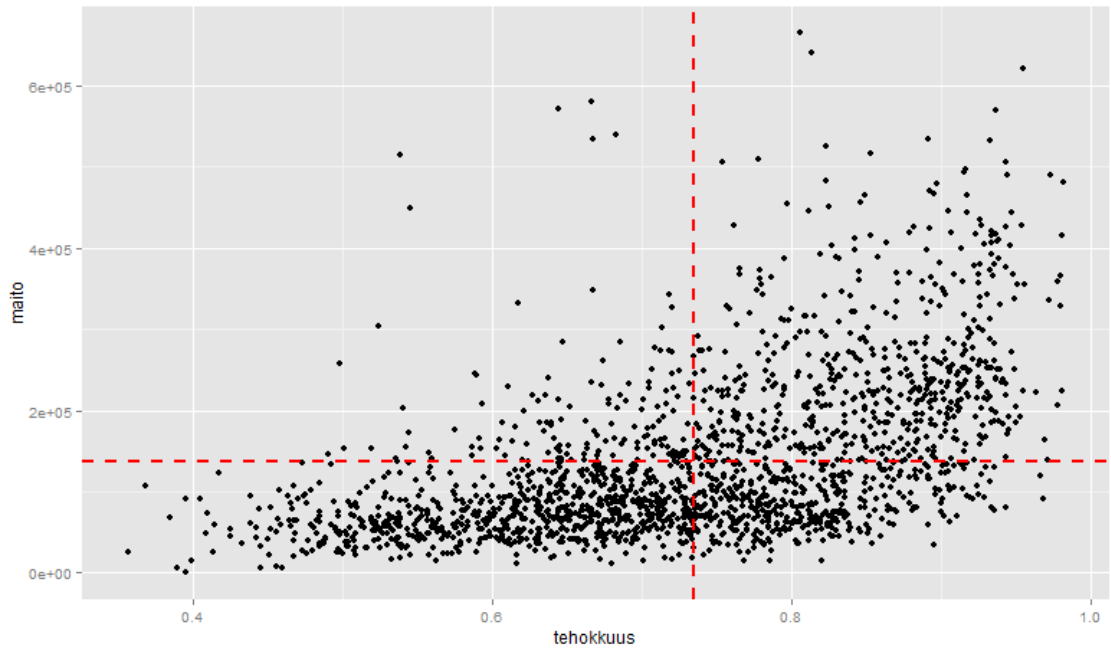
Urakoinnin yhteyttä teknisesti tehokkaaseen kasvintuotantoon ei tilastollisesti luotettavasti havaittu, vaan etumerkit vaihtelivat mallista toiseen. Siten ei myöskään saada näyttöä siitä, että urakoinnin suurempi käyttö lisäisi tehokkuutta, mutta tilastollista varmuutta asialle ei saada.

Vuonna 2009 tuotanto oli joidenkin mallien mukaan poikkeuksellisen tehokasta. Mallissa viisi, jossa vuosi oli vain tehottomuutta selittävänä tekijänä, ja mallissa seitsemän se oli vain tuotantofunktiossa vuosidummyinä. Sekä tuotantofunktion että tehottomuustermien tapauksessa vertailun perusvuotena oli vuosi 2007. Mallin 5 positiivinen kerroin kuvaa sen lisäävän teknistä tehottomuutta, kun vastaava tuotantofunktion siirtymä ei ole mahdollinen aikatekijän puuttuessa tuotantofunktio-osasta. Mallin 7 negatiivinen kerroin tuotantofunktioon sisällytettynä taas on tulkittavissa niin, että vuonna 2009 tilat saivat samalla panoskäytön tasolla vähemmän satoa kuin perusvuonna 2007. Mallissa 6, jossa aikatekijä oli sekä tehottomuutta selittävässä osassa että tuotantofunktio-osassa, tekninen kehitys vuoden 2009 osalta oli negatiivinen edelliseen ja perusvuoteen verrattuna. Toisaalta tekninen tehokkuus vastaavasti parani hieman ko. vuonna. Tässäkään tapauksessa yksittäiset kertoimet eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Mielenkiintoiseksi havainnon tekee se, että vuosi 2009 oli poikkeuksellisen hyvä maan viljasatojen osalta.



Kuvio 19. Teknisen tehokkuuden ja hehtaarisadon yhteys (malli 8, katkoviivat keskiarvoissa).

Kuvion 19 perusteella hehtaarisato korreloi kasvintuotannon teknisen tehokkuuden kanssa, mikä on jo mallien spesifikaation perusteella oletettavissa oleva tulos. Tekninen tehokkuus on yhteydessä satotasoon, eli korkea satotaso antaa mahdollisuuden korkeaan tehokkuuteen. Hyvin matalalla satotasolla teknistä tehokkuutta ei voi saavuttaa. Toisaalta keskimääräiselläkin satotasolla voi päästä hyvään teknisen tehokkuuden tasoon, joten kyse on myös panosten käytöstä suhteessa tuotokseen. Vastaavasti korkealla satotasolla aineistossa tekninen tehokkuus oli tyypillisesti korkea. Tämä on luonnollista, sillä sato- vaihtelut ovat suuria, joten jälkikäteistarkastelussa hyvään satoon esim. luonnonolosuh- teiden suotuisuuden vuoksi päätyneet saattavat tulla tehokkaiksi pelkästään tästä syystä, vaikka panosten käyttömäärät olisivat samat kuin vähemmän onnekailla tuottajilla. Pel- tokasvintuotanto luonnonprosessina voi varsinkin yksittäisenä vuotena antaa kohtuullisen sadon vähäiselläkin satoa lisäävien panosten käytöllä. Pidemmän aikavälin keskisadot olisivat siinä mielessä parempi mittari.



Kuvio 20. Kasvinviljelyn teknisen tehokkuuden ja maidontuotannon laajuuden litraa/vuosi yhteys (malli 8, katkoviivat keskiarvoissa).

Kuvion 20 perusteella keskimääräistä enemmän maitoa tuottavat tilat olivat suurimmaksi osaksi myös keskimääräistä teknisesti tehokkaampia kasvintuotannossaan. Ainakin teknisesti skaalaetua on olemassa myös tehokkuusmielessä, kuten aiemmin todettiin. Kuvion 20 voidaan kuitenkin todeta, että keskikokoisetkin maidontuottajat ovat voineet olla varsin tehokkaita kasvintuotannossaan, mutta he ovat voineet päätyä myös varsin heikkoon tehokkuuteen.

8. TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET

8.1. Vertailu aiempiin tutkimuksiin ja päätelmät

Maitotilojen kasvintuotannon teknisessä tehokkuudessa on tutkimuksen perusteella merkittäviä eroja. Keskimääräinen tehokkuuden taso jää keskimääräiselle (0,7) tasolle, ja hajonta on suurta. Tarkasteluajanjaksolla teknisellä tehottomuudella oli taipumus kasvaa useimmissa estimoiduissa malleissa. Tehottomuus kasvintuotannossa on hieman suurempaa kuin aiemmissa suomalaisiin maitotiloihin kohdistuneissa koko tilatason tarkasteluissa. Selitys lienee tilakohtaisesti vaihtelevien olosuhteiden vaikutuksessa peltoprosessiin. Olosuhteet ovat eläinprosessin osalta helpommin yhtenäistettävissä. Paremmin vertailukelpoinen on säilörehun tuotannon tekninen tehokkuus, joka Sipiläisen ja Ryhäsen (2004) esittämässä kattavassa SFA-mallissa oli tasolla 0,9, eli merkittävästi tämän tutkimuksen tuloksia korkeampi. On huomattava, että aineisto tässä tutkimuksessa on erilainen (Hila-aineistossa laadullista painotusta) ja muuttujien aggregoinnit olivat laajempia. Yleensäkin tehokkuustasot ovat aineistokohtaisia eivätkä siten suoraan vertailukelpoisia keskenään.

Rehuyksiköissä mitatun tuotoksen tapauksessa viljelyala on odotetusti tuotantofunktion merkitsevin satomäärää selittävä tekijä. Kaiken kaikkiaan skaalatuotot olivat ykkösen tasolla ja osin sen yli. Siten tuotannon mittakaavan kasvattamisesta kasvintuotannossa näyttäisi olevan etua tuottavuuden kannalta. Tuotoksen jousto peltoalan suhteen oli 0,87 tasolla. Muilla panoksilla oli huomattavasti pienempi rooli, sillä niitä lisättäessä yksittäisen panoksen tuotoksen jousto oli vain muutaman sadasosan tai parhaimmillaan kymmenyksen luokkaa. Lannoituksen ja kalkituksen, siementen, sekä kasvinsuojelun suurempi käyttö lisäsi havaintotilojen tapauksessa merkitsevästi peltoprosessin tuotosta. Tuotokseen vaikutti myös merkitsevästi kasvinviljelyn konekanta. Tämä on perustulos, sillä käyttämällä kehittyntä tuotantotekniikkaa yhdistyneenä laajempaan viljelyalaan tuotantoprosessista voidaan saada teknisesti tehokkaampi. Monet panokset ovat myös välttämättömiä tuotannon aikaan saamiseksi. Lisäksi yksittäisiä kertoimia tarkasteltaessa on huomattava, tuotantopanokset korreloivat keskenään melko voimakkaasti, mikä vaikuttaa niiden saamien kerrointen luotettavuuteen.

Tarkastelujaksolla tekninen kehitys vaihteli vuodesta toiseen, mutta koko jaksolla 2007–2012 teknistä kehitystä ei keskimäärin juuri tapahtunut. Joillakin muilla ajanjaksoilla kehitys oli huomattavan positiivista. Suuret vuotuiset vaihtelut saattavat johtua

paisi satojen vaihtelusta myös toteutuneiden panoshintojen ja deflaattoreina käytettyjen panoshintaindeksien eroista ajanjaksolla, jolla hintavaihtelut olivat varsin suuria.

Eläintiheys oli tärkein tehokkuutta selittävä tekijä, mikä on yhtenevä Sipiläisen ym. (2012, 28) tulosten kanssa. Tämäkään yhteys ei kerro suoraan kausaalisuudesta, sillä eläintiheys saattaa olla suuri sen vuoksi, että rehua kyetään tuottamaan tehokkaasti. Lisäksi eläintiheys tuo kasvaessaan mukanaan myös todennäköisesti suuremman lantamäärän viljelyalaa kohti, mikä ei muissa mallin muuttujissa tule huomioiduksi. Pohjoisen tilat olivat koko maan vertailussa tehottomimpia, mikä selittyy pienellä luontaisella sadontuottokyvyllä. Nurmen vähäisempi osuus pellonkäytössä oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä korkeampaan tehokkuuslukuun, mutta vain yhdessä mallissa, joten tuloksen tulkinnassa on syytä olla varovainen myös kausaali vaikutuksen suunnan suhteen. Keskimääräinen tehokkuus oli matalin pienimmässä karjakokoluokassa. Maidontuottajan iällä ei ollut yhteyttä tehokkuuteen kuin eräissä malleissa, jolloin iän myötä tehottomuus kasvoi.

Vaihtelu viittaa siihen, että useilla maitotiloilla kasvintuotantoa voidaan tehostaa. Maidontuottajat voivat oppia parhaista käytännöistä. Yhdellä maitotilalla toimivimmiksi havaittujen parhaiden käytäntöjen soveltaminen sellaisenaan toisella tilalla voi olla haasteellista. Tilusrakenne-, maalaji-, yhteistyömahdollisuudet ja työvoimakysymykset ovat esimerkkejä tekijöistä, joiden vuoksi hyväksi havaittujen menetelmien siirtäminen tilalta toiselle ei aina onnistu. Maidontuottajan on haettava itselleen sopivimmat ratkaisut. Myös tuottavuus- ja tehokkuuslukuja vertaillessa siirrettävyyden ongelma on otettava huomioon.

Valtaosa tutkimuksen maitotiloista hyödynsi koneurakointia vähän tai ei ollenkaan. Koneurakointi on substituutti maidontuottajan kasvinviljelykalustolle sekä maidontuottajaperheen ja palkkatyövoiman kasvinviljelytyölle. Joissain tapauksissa urakoitsijat hankkivat myös osan tuotantopanoksista eli tarjoavat palveluitaan kokonaispakettina. Säilörehun tuotannossa yhteistyö ja urakointipalveluiden käyttö voidaan järjestää monella eri tavalla (Laitila ym. 2012, 107–112). Tässä tutkimuksessa yhteistyötä maitotilojen kasvinviljelystä ei pystytty luotettavasti erittelemään, luokittelemaan ja mittaamaan. Yhteistyön mahdollista vaikutusta tehokkuuteen ei siten voitu tutkia, koska yhteiskoneiden ja työn kustannuksia ei voitu erottaa omiksi muuttujikseen.

Tutkimuksen lisäkysymyksenä oli, kuinka kirjanpitoiloiden tapauksessa erotetaan kasvin-tuotantoprosessin talous tilan kokonaistaloudesta. Tutkimusta tehdessä tuli selväksi, että peltoprosessin kustannukset ovat kirjanpitoaineistossa kattavasti esillä, mutta tuottojen arviointi tulisi selvittää verkostomallin kautta eläinprosessin sisältävästä kokonaistuotannosta. Lisäksi kasvilajikohtaisten yksikkökustannusten erottelu vaatii enemmän taustamuuttujia. MTT:llä on vuonna 2014 käynnissä oma yksikkökustannuslaskentaan keskittyvä projekti, jonka tulokset ovat jatkossa hyödynnettävissä.

8.2. Rintamamallien kritiikki

Tuotantofunktio pohjaisen tehottomuusmallin tuottamiin tehokkuusarvoihin täytyy suhtautua kriittisesti. Paneeliaineistosta muodostettavat teknisen tehokkuuden estimaatit ovat aiemman tutkimuksen perusteella hyvin sensitiivisiä mallin spesifikaatiolle ja tehdyille oletuksille. Esimerkiksi heteroskedastisuuden⁶ salliminen virhetermissä johti Kumbhakar, Lien & Hardakerin (2012) tutkimuksessa tuntuviin muutoksiin yritysten tehokkuusestimaateissa ja sijoittumisessa toisiinsa nähden. Heidän mukaansa mitään SFA-mallia ei voi pitää ainoana oikeana, vaan tehokkuus pitää laskea usean eri mallin meta-analyysin perusteella. Tässä tutkimuksessa testattiin ainoastaan yleisesti käytetyt Battesen & Coellin (1992 ja 1995) mallispesifikaatiot olettaen virhetermin homoskedastisuus. Kuitenkin varaus heteroskedastisuudesta on tehtävä, sillä esimerkiksi virhetermiin sisällytyt skaalaa kuvaavat muuttujat ovat kytköksissä tuotantofunktioon.

Tehottomuusosan osalta on huomioitava tilojen tiedostavan osan omasta teknisestä tehokkuudestaan ja säätelevän sen perusteella tuotantoaan. Tällöin virhetermien ja selittäjien riippumattomuudesta laadittu oletus on ongelmallinen. Battesen ja Coellin (1995) mukaan tarvittaisiin vaihtoehtoisia malleja, jotta voitaisiin havaita mahdollinen teknisen tehottomuuden ja virhetermin korrelaatio.

Esiin on nostettu myös endogeenisuusongelma. Kyse on siitä, missä määrin tuottajan tietoisesti tai tiedostamatta huomioimat satunnaisuus ja tehottomuus vaikuttavat tuotannon valintoihin, ja kuinka päätökset siten edelleen heijastuvat toteutuvan tuotannon panos-tuotossuhteisiin. Endogeenisuusongelmaa voidaan lähestyä kolmesta ristikkäisestä suun-

⁶ Heteroskedastisuutta ilmenee jos virhetermin varianssi poikkeaa vakiosta. Jos heteroskedastisuutta ilmenee, estimaatit eivät ole enää ns. ekonometrisesti tehokkaita. Tällöin niiden luotettavuus kärsii. Erikseen erotellaan aito heteroskedastisuus, ja mallien määrittelyvirheistä johtuva heteroskedastisuus. (Sumelius 2014, 123–128)

nasta. Ensinnäkin rintamamallin ja kaksiosaisen virhetermin tekijät voivat korreloida keskenään. Esimerkiksi kasvintuotannossa tuotokseen ja virhetermiin isosti vaikuttava sattunainen tekijä ovat säätilamuutokset, jotka voivat kuitenkin myös vaikuttaa tuottajan panosvalintoihin aiheuttaen endogeenisuutta. Tuottaja siis esimerkiksi vähentää panoskäyttöään kautta linjan, koska ennakoi huonoa satokautta. Toiseksi rintamamallin ja tehottomuuden termit voivat myös korreloida keskenään, jolloin esimerkiksi tehokkaasti järjestetyn nurmituotannon vapauttama työpanos voi allokoitua viljasatoa lisääviin töihin, kuten tarkempiin kasvinsuojelutoimiin. Kolmanneksi tehottomuuden termit ja virhetermi voivat korreloida keskenään, joten esimerkiksi huonot sääolot voivat lannistaa tuottajan toimimaan vajaalla suorituskyvyllä. (Karakaplan & Kutlu 2013, 3–4).

8.3. Jatkotutkimustarpeet

Tutkimuksessa keskityttiin teknisen tehokkuuden analysointiin, joten taloudellisia johtopäätöksiä siitä ei voida suoraan tehdä. Kilpaillulla toimialalla tehokas tuotanto on välttämättömyys yritystoiminnan kannattavuudelle, mutta se ei yksin takaa yritystoiminnan kannattavuutta. Tutkimus rajattiin maitotilojen kasvintuotannon teknisen tehokkuuden tutkimiseen. Siten tuloksia ei voi tulkita kustannustehokkuuden ja kannattavuuden näkökulmista. Teknisesti tehokas tuotanto voi olla kustannustehotonta, mutta täydellinen kustannustehokkuus edellyttää teknistä tehokkuutta.

Maitotilojen tuotannossa on paljon tekijöitä, joihin maidontuottaja ei voi omilla toimillaan vaikuttaa. Siksi tekniseen analyysiin tarvittaisiin olosuhdetekijöitä. Aiempi tutkimus antaa vahvoja viitteitä siitä, että olosuhdetekijöillä on maitotilan peltoprosessin tuloksiin nähden suuri merkitys.

Kannattavuuskirjanpitoaineistoon ollaan kytkemässä MTT Taloustutkimuksessa tilatunnuksien avulla peltolohkorekisterin tietoja. Näiden tekijöiden yhteys maitotilojen kasvinviljelyn tehokkuuteen on jatkotutkimuksissa syytä selvittää. Muita tällaisia tekijöitä ovat mm.:

- maidontuottajan kokemus, ominaisuudet ja osaaminen kasvintuottajana,
- rehun tuotanto omilla resursseilla, yhteistyönä tai urakointina,
- eri kasvien panosten ja tuotosten määrät sekä sadon laatu,
- miten karjanlanta hyödynnetään kasvinviljelyssä.

LÄHTEET

- Aigner, D., Lovell, C. A. K. & Schmidt, P. 1977. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics* 6(1): 21–37.
- Battese, G.E. & Coelli, T.J. 1992. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: With application to Paddy Farmers in India. *Journal of Productivity Analysis* 3: 153–169.
- Battese, G.E. & Coelli, T.J. 1995. A model of technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical Economics* 20: 325–332.
- Brummer, B., Glauben, T. & Thijssen, G. 2002. Decomposition of productivity growth using distance functions: the case of dairy farms in three European countries. *American Journal of Agricultural Economics* 84: 628–644.
- Bogetoft, P. & Otto, L. 2011. *Benchmarking with DEA, SFA, and R*. Springer. 352 s.
- Capper, J.L., Cady, R.A. & Bauman, D.E. 2009. The environmental impact of dairy production: 1944 compared with 2007. *Journal of Animal Science* 87: 2160-2167.
- Coelli, T. 1996. *A Guide to FRONTIER Version 4.1: A Computer Program for Stochastic Frontier Production and Cost Function Estimation*. The University of New England Centre of Efficiency and Productivity Analysis working papers 7/96. 33 s.
- Coelli, T., Rao, D.S.P. & Battese, G.E. 1999. *An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis*. Kluwer Academic Publishers, MA, USA. 249 s.
- Coelli, T. & Rao, D.S.P. 2005. Total factor productivity growth in agriculture: a Malmquist index analysis of 93 countries, 1980-2000. *Agricultural Economics* 32: 115-134.
- Coelli, T. & Henningsen, A. 2013. *Frontier: Stochastic Frontier Analysis*, R package version 1.0.
- Darku, A.B., Malla, S. & Tran, K.C. 2013. *Historical Review Of Agricultural Efficiency Studies*. Univ. of Lethbridge, Lethbridge, AB, Canada. 78 s.
- FAO. 2008. *Developing countries and the global dairy sector. Chapter 2: Global Dairy Sector: Status and Trends*. Verkkojulkaisu. [Viitattu 2.3.2014]. Saatavana: <<http://www.fao.org/docrep/012/i1522e/i1522e02.pdf>>

- Farrell, M. J. 1957. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, Vol. 120, No. 3: 253-290.
- Greene, W. 2005. *Efficiency of Public Spending in Developing Countries: A Stochastic Frontier Approach*. Stern School of Business. The World Bank Papers. 132 s.
- Greene, W. 2007. *The Econometric Approach to Efficiency Analysis*. Teoksessa: Field, H.O., Knox Lovell C.A. & Schmidt S.S. (toim.). *The Measurement of Productive Efficiency and Productivity Change*. Oxford University Press: 92–229.
- Greene, W. 2011. E62: Stochastic Frontier Models and Efficiency Analysis. Verkkoaineisto. [Viitattu 18.12.2014]. Saatavana: <<http://pages.stern.nyu.edu/~wgreene/FrontierModeling/SurveyPapers/LI-MDEP-Chapter33.pdf>>. 143 s.
- Hansson, H. 2007. Are larger farms more efficient? A farm level study of the relationship between efficiency and size on specialized dairy farm in Sweden. *Agricultural and Food Science* 17: 325–337.
- Heikkilä, A-M., Niskanen, O., Ovaska, S. Lappalainen, A. & Tauriainen, J. 2014. Maidontuotannon muutoksessa haasteita ja mahdollisuuksia. Maitotilojen rakennemuutos hallintaan -hankkeen loppuraportti. MTT Raportti 159. 33 s.
- Hemilä, K. 1982. Measuring technological change in agriculture. An application based on the CES production function. *Journal of the scientific agricultural society of Finland* 3/1983: 165–223.
- Henningsen, A. 2013. Viesti R-forge keskustelupalstalla. Verkkojulkaisu. [Viitattu 13.9.2014]. Saatavana: <http://r-forge.r-project.org/forum/forum.php?max_rows=25&style=nested&offset=31&forum_id=908&group_id=275>.
- Henningsen, A. 2014. *Lecture Notes: Introduction to Econometric Production Analysis with R*. Collection of Lecture Notes. Department of Food and Resource Economics, University of Copenhagen. 268 s.
- James, S. C. & Eberle, P. R. 2000. *Economic & Business Principles in Farm Planning and Production*. Iowa State University Press. 413 s.
- Karakaplan, M.U. & Kutlu, L. 2013. Handling Endogeneity in Stochastic Frontier Analysis: A Solution to Endogenous Education Cost Frontier Models. Department of Economics, Oregon State University. 39 s.

- Karhula, T., Ylätaalo, M., Ryhänen, M. & Latukka, A. 2002. Maitotilojen taloudellinen tulos ja kannattavuus 2000-2010. Teoksessa: Ylätaalo, M. (toim.). Maitosektorin kannattavuus ja kilpailukyky 2000-2010. Helsingin Yliopiston taloustieteen laitoksen julkaisuja nro 35: 155–213 .
- Karhula, V. 2012. Säilörehujen korjuuketjujen taloudellinen vertailu – pitkän aikavälin tarkastelu. Maatalouden liiketaloustieteen pro gradu –tutkielma. Helsingin yliopiston taloustieteen laitos. 78 s.
- Kleiber, A. & Zeileis, A. 2008. Applied Econometrics with R. Springer. 221 s.
- Kelly, E., Shalloo, L., Geary, U., Kinsella, A. & Wallace, M. 2012. Application of data envelopment analysis to measure technical efficiency on a sample of Irish dairy farms. Irish Journal of Agricultural and Food Research 51: 63–77.
- Knuuttila, M., Vatanen, E., Jansik, C. & Niemi, J. 2012. Elintarviketuotannon ja elintarvikemarkkinoiden riippuvuus tuonnista. MTT:n raportti 61. 36 s.
- Koopmans, T. C. 1952. An Analysis of Production as an Efficient Combination of Activities. Teoksessa T.C. Koopmans (Ed.), Activity Analysis of Production and Allocation: Proceedings of a Conference, Yale University Press. 65 s.
- Kumbhakar, S. C. & Lovell, C. A. K. 2000. Stochastic Frontier Analysis. Cambridge University Press. 309 s.
- Kumbhakar, S.C., Lien, G. & Hardaker, J.B. 2012. Technical efficiency in competing panel data models: a study of Norwegian grain farming. Journal of Productivity Analysis (2014) 41: 321–337.
- Kuosmanen, T. 1999. Nonparametric Efficiency Analysis under Uncertainty: A First-Order Stochastic Dominance Approach. Helsingin kauppakorkeakoulun työpapereita n. 230.
- Kuosmanen, T. & Pursiainen, H. 2011. Inflaatiokorjaus ja siihen sovellettavat hintaindeksit sähköverkkotoiminnan valvontamallissa. Sigma-Hat Economics Oy. 19 s.
- Laitila, E., Ryhänen, M., Närvä, M, Sipiläinen, T., Heiskari, M., Jokiaho, S., Ketola, J., Kämäräinen, S., Käsäkoski, H., Palo, A. & Pieviläinen, A. 2012. Verkostomainen yrittäminen. Teoksessa Ryhänen M-Laitila E (toim): Yhteistyö ja resurssit maitotiloilla, Verkostomaisen yrittämisen lähtökohtia ja edellytyksiä, Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisuja B 59: 91-134.

- Latruffe, L. 2010. Competitiveness, Productivity and Efficiency in the Agricultural and Agri-Food Sectors, OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 30: 1-62.
- Latukka, A. & Järvinen, J. 2011. Maatalouden kokonaistason laskenta uudistuu. Teoksessa Niemi, J. & Ahlstedt, J. (toim.). 2011. Suomen maatalous ja maaseutuelinkeinot 2011. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen taloustutkimus. Julkaisuja 111. 2 s.
- Lehtonen, H. 2014. Maitokiintiöjärjestelmän poistumisen merkitys Suomessa. Seminaariesitelmän kirjallinen tiivistelmä. Teoksessa: Kuisma, R., Schulman, N., Kymäläinen, H-R. & Alakukku, L. (toim.). Maataloustieteen päivät 2014 – Esitelmä ja posteritiivistelmät. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote 31: 55.
- Mbaga, M.D., Romain, R., Larue, B. & Lebel, L. 2002. Assessing Technical Efficiency of Québec Dairy Farms. Canadian Journal of Agricultural Economics 51: 121–137.
- Meeusen, W. & Broeck, J. v. D. 1977. Efficiency Estimation from Cobb-Douglas Production Functions with Composed Error. International Economic Review 18(2): 435–444.
- MMM. 2014. Esitys Manner-Suomen maaseudun kehittämissuunnitelmaksi 2014–2020, Luonnos 4., valtioneuvoston hyväksymä. Maa- ja metsätalousministeriön ohjelmaluonnos. 391 s.
- MMM Tike. 2014. Maatilarekisteri. Verkkojulkaisu. [Viitattu useaan otteeseen 2014]. Saatavana: <<http://www.maataloustilastot.fi/>>.
- MTT Taloustohtori. 2014. Kannattavuuskirjanpitolukokset. Verkkojulkaisu. [Viitattu useaan otteeseen 2014]. Saatavana: <<https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/taloustohtori>>
- Myyrä, S. & Pietola, K. 1999. Tuottavuuskehitys Suomen maataloudessa 1987–97. MTTL:n tutkimuksia 234/1999. 57 s.
- Myyrä, S. 2002. Tilusrakenteen vaikutus tuotannon järjestämiseen ja kannattavuuteen. MTT Taloustutkimuksen tutkimuksia 253/2002. 35 s.
- Newman, C. & Matthews, A. 2006. Evaluating the Productivity Performance of Agricultural Enterprises in Ireland using a Multiple Output Distance Function Approach. Journal of Agricultural Economics, Vol. 58, No. 1, 2007: 128–151.

- Niemi, J. & Pietola, K. 2001. Maatalouspolitiikan ja taloudellisten kannustimien vaikutus maitotilojen pellon käyttöön. Maatalouden taloudellisen tutkimuslaitoksen selvityksiä 4/2001. 22 s.
- Niemi, J., Liesivaara, P., Lehtonen, H., Huan-Niemi, E., Kettunen, L., Kässi, P. & Toikkanen, H. 2014. EU:n yhteinen maatalouspolitiikka vuosina 2014–2020 ja Suomen maatalous. MTT raportti 130. 65 s.
- Niskanen, O. & Lehtonen, E. 2014. Maatilojen tilusrakenne ja pellonraivaus Suomessa 2000-luvulla. MTT Raportti 150 (2014). 27 s.
- Oude Lansik, A. Pietola, K. & Bäckman, S. 2002. Efficiency and productivity of conventional and organic farms in Finland 1994-1997. *European Review of Agricultural Economics* 29(1): 51–56.
- Ovaska, S. 2009. Säilörehun tuotantokustannus – Suomen IFCN-maitotilat 2006. Teoksessa: Ovaska, S., Sipiläinen, T., Ryhänen, M. & Ylätalo, M. (toim.). Tilavertailut maidontuotannossa – haasteita ja mahdollisuuksia. MTT:n selvityksiä 171: 88–95.
- Ovaska, S., Sipiläinen, T. & Ryhänen, M. 2009. Maitotilojen kustannustehokkuus ja sen kehittäminen. Teoksessa: Ovaska, S., Sipiläinen, T., Ryhänen, M. & Ylätalo, M. (toim.). Tilavertailut maidontuotannossa – haasteita ja mahdollisuuksia. MTT:n selvityksiä 171: 6–34 .
- Ovaska, S. & Heikkilä, A-M. 2013. Suomen maitotilojen rakennekehitys ja kilpailukyky – IFCN tyyppitarkastelu 2001-2011. MTT Raportti 126: 1–58 .
- Pekonniemi, J., Karhula, T. & Ylätalo, M. 2004. Maidontuotannon 141-tuen jatkotarpeen selvittäminen. Helsingin yliopisto, Taloustieteen laitos. Selvityksiä nro 22. 83 s.
- Pyykkönen, P., Bäckman, S. & Puttaa, E. 2013. Rakennemuutos Suomen kotieläintaloudessa. PTT työpapereita 143. 51 s.
- Rajakorpi, Ryhänen, M., Närvä, M. & Tuuri. 2012. Yhteistyö, resurssit ja resurssitarve. Teoksessa Ryhänen, M. & Laitila, E. 2012. Yhteistyö ja resurssit maitotiloilla. SeAMK:n julkaisuja 59.
- Rantala, O. & Latukka, A. 2012. FADN – EU:n maatalouden kirjanpitojärjestelmä. Teoksessa: Latukka, A., Nurro, M. & Ahlstedt, J. (toim.). 2012. Moderni 100-vuotias suuntaa tulevaisuuteen – Maatalouden kannattavuuskirjanpidon juhlaulkaisu. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja 113: 30–32.

- Rao, D.S.P. 2008. Efficiency and Productivity Measurement: Stochastic Frontier Analysis. [Viitattu 28.8.2014]. Saatavana: <[http://www.euklems.net/data/workshop/slides/Lecture_4_Day_3_Stochastic Frontier Analysis.ppt](http://www.euklems.net/data/workshop/slides/Lecture_4_Day_3_Stochastic_Frontier_Analysis.ppt)>
- Rasmussen, S. 2010. Scale efficiency in Danish agriculture: an input distance–function approach. *European Review of Agricultural Economics* 37(3): 335–367.
- Rasmussen, S. 2011. Production economics. The Basic Theory of Production Optimization. Springer, Berlin. 274 s.
- R Core Team. 2014. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Riepponen, L. 2003. Maidon ja viljan tuotantokustannukset Suomen kirjanpitoiloilla 1998–2000. MTT Taloustutkimuksen julkaisusarja Maa- ja elintarviketalous 19: 1–32.
- Rinne, M. 2000. Influence of the timing of the harvest of primary grass growth on herbage quality and subsequent digestion and performance in the ruminant animal. University of Helsinki, Department of Animal Science. Publications 54. 35 s.
- Ryhänen, M. 1994. Input substitution and technological development on Finnish dairy farms for 1965 – 1991. Empirical application on bokkeeping dairy farms. *Agricultural science in Finland* 3(6): 525–601 .
- Ryhänen, M., Huhtanen, P., Jaakkola, S. & Ahvenjärvi, S. 1996. EU-jäsenyyden vaikutus maidontuotantoon. Julkaisussa: Ylätalo, M. (toim.). Maatalousyritysten sopeutuminen EU:ssa vallitseviin hintasuhteisiin. Helsingin yliopiston taloustieteen laitoksen julkaisuja no. 12: 79–118.
- Ryhänen, M. & Sipiläinen, T. 2011. Maatalousyrityksen johtaminen ja tuotannon suunnittelu. Luonnos 1/2011. Taloustieteen laitos. 79 s.
- Shephard, R.W. 1972. Theory of Cost and Production Functions. *The Economic Journal* 82(327, Sep.): 1059–1061.
- Sims, E. 1994. The rate of technical change in Finnish agriculture, 1960–1991. *Agricultural Science in Finland* 3: 525–599.
- Sipiläinen, T. 2003. Suurten maito- ja viljatilojen suorituskyky ja sen kehittäminen. Taloustieteen laitoksen julkaisuja nro 38. 90 s.
- Sipiläinen, T. & Ryhänen, M. 2004. Technical change in Finnish grass silage production. *Agricultural and Food Science* 14: 250–263.

- Sipiläinen, T., Oude Lansink, A. & Pietola, K. 2006. Tavanomaisen ja luonnonmukaisen maidontuotannon tehokkuus. [Viitattu 29.12.2014]. Saatavana: <<http://www.smts.fi/esit06/0903.pdf>>.
- Sipiläinen, T. 2008. Components of Productivity Growth in Finnish Agriculture. MTT Agrifood Research reports 116. 153 s.
- Sipiläinen, T., Kumbhakar, S. C. & Lien, G. 2013. Performance of dairy farms in Finland and Norway from 1991 to 2008. *European Review of Agricultural Economics* (May): 1–24.
- Sipiläinen, T., Ovaska, S. & Ryhänen M. 2012. Tuottavuus, tehokkuus ja taloudellinen tulos eteläpohjalaisilla maitotiloilla. Teoksessa: Sipiläinen, T. & Ovaska, S. (toim.). 2012. Maitotilalle kilpailukykyä tuottavuutta ja tehokkuutta kehittämällä. Kilpailukykyä maidontuotantoon hanke. MTT Raportti nro. 78: 9–42.
- Sipiläinen, T., Ryhänen, M., Karhula, V., Suokannas, A. & Rinne, M. 2012. Säilörehun korjuuketjujen taloudellinen vertailu – pitkän aikavälin näkökulma. Teoksessa: T. Sipiläinen & S. Ovaska (toim.) Maitotilalle kilpailukykyä tuottavuutta ja tehokkuutta kehittämällä. Kilpailukykyä maidontuotantoon -hanke. [Verkkojulkaisu]. MTT raportti 78: 43–68. [Viitattu 21.12.2014]. Saatavana: <<http://www.mtt.fi/mtrraportti/pdf/mtrraportti78.pdf>>.
- Sumelius, J. 2014. Ekonometrian johdantokurssi. Helsingin yliopiston taloustieteen laitoksen monisteita nro. 17. 171 s.
- Solow, R. 1957. Technical Change and the Aggregate Production Function. *The Review of Economics and Statistics* 39: 312–320.
- Stokes, J.R., Tozer, P.R. & Hyde, J. 2007. Identifying efficient daily producers using data envelopment analysis. *Journal of Dairy Science* 90: 2555–2562.
- Winsten, C. B. 1957. Discussion on Mr. Farrells paper. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A* 120(3): 282–284.
- Ylätaalo, M. 1987. Maatalouden tuottavuus ja investoinnit. Pellervon taloudellisen tutkimuslaitoksen julkaisuja n:o 8 (1987). 85 s.
- Ylätaalo, M. 2012. Kannattavuuskirjanpitotilojen tulosten käyttö maatalousekonomiassa. Teoksessa: Latukka, A., Nurro, M. & Ahlstedt, J. (toim.). 2012. Moderni 100-vuotias suuntaa tulevaisuuteen – Maatalouden kannattavuuskirjanpidon juhlaulkaisu. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja 113: 9–12.

Liite 1. Aineiston tilastollisia keskiarvoja vuosittain ja tukialueittain

Vuosi			A	B	C1	C2_C2P	C_POH
2007	tiloja	kpl	18	41	82	158	38
	rysato	ry	279638	222785	252150	230276	176829
	hehtaarisato	ry/ha	4130	3683	4202	3809	3314
	peltoala	ha	69	59	58	61	50
	lypsylehmiä	kpl	40	31	35	34	27
	eläinyks.	ey	63	51	58	54	41
	eläintiheys	ey/ha	0,93	0,87	0,99	0,90	0,84
	npk+kalkki (def)	eur	7189	6628	7468	6961	5757
	siemen (def)	eur	1135	1082	1427	1550	1001
	kv-työtä	t/v	906	870	868	797	732
	kasvins. (def)	eur	1181	1014	751	678	174
	ost.urak.	eur	3952	2062	4919	4043	1761
	kon.poisto	eur	13916	11761	11093	12270	12295
	nurmialan osuus	%	55	54	62	68	87
	tuottajien ikä	v	48	46	44	45	47
	liikevaihto	eur	213784	169718	195285	189555	165541
	tuet	eur	67692	56896	69483	69885	76673
	tuet/liikevaihto	%	32	34	36	37	46
			A	B	C1	C2_C2P	C_POH
	2008	tiloja	kpl	19	38	81	161
rysato		ry	306753	253444	287130	244109	160093
hehtaarisato		ry/ha	4431	3943	4289	3779	2934
peltoala		ha	69	63	66	65	53
lypsylehmiä		kpl	40	34	39	37	29
eläinyks.		ey	62	55	64	58	44
eläintiheys		ey/ha	0,91	0,90	0,96	0,90	0,84
npk+kalkki (def)		eur	5800	5505	6837	5804	4570
siemen (def)		eur	1350	1480	1715	1907	872
kv-työtä		t/v	1070	996	823	802	802
kasvins. (def)		eur	996	878	1088	748	210
ost.urak.		eur	4089	2861	8186	5494	2433
kon.poisto		eur	16134	14034	13966	13629	14484
nurmialan osuus		%	56	52	60	67	86
tuottajien ikä		v	48	47	44	46	48
liikevaihto		eur	238411	209490	244638	230670	200349
tuet		eur	69964	65415	80382	76819	83059
tuet/liikevaihto		%	29	31	33	33	41
			A	B	C1	C2_C2P	C_POH
2009		tiloja	kpl	19	37	75	154
	rysato	ry	317025	258009	270037	259340	219455
	hehtaarisato	ry/ha	4125	3953	3902	3764	3305
	peltoala	ha	74	64	67	68	62
	lypsylehmiä	kpl	40	37	42	40	35

eläinyks.	ey	63	58	66	62	51
eläintiheys	ey/ha	0,87	0,92	0,98	0,93	0,82
npk+kalkki (def)	eur	10166	7674	7696	7250	7102
siemen (def)	eur	1784	1349	2238	2378	1175
kv-työtä	t/v	1159	960	926	799	818
kasvins. (def)	eur	1177	955	1205	660	367
ost.urak.	eur	6358	3423	8049	5722	5056
kon.poisto	eur	14393	14378	13750	14033	16354
nurmialan osuus	%	55	54	57	66	82
tuottajien ikä	v	48	46	44	46	46
liikevaihto	eur	234948	209620	238470	230773	229299
tuet	eur	75203	67982	83505	82778	98123
tuet/liikevaihto	%	32	32	35	36	43
		A	B	C1	C2_C2P	C_POH
2010 tiloja	kpl	21	34	69	157	44
rysato	ry	269875	238784	306328	279721	225030
hehtaarisato	ry/ha	3723	3632	4129	3978	3265
peltoala	ha	75	65	72	70	64
lypsylehmiä	kpl	39	37	46	41	36
eläinyks.	ey	61	55	75	64	52
eläintiheys	ey/ha	0,84	0,86	1,06	0,95	0,83
npk+kalkki (def)	eur	7244	5246	7364	6148	6232
siemen (def)	eur	2374	1536	2036	1863	1658
kv-työtä	t/v	1100	924	992	796	798
kasvins. (def)	eur	1598	892	1163	778	436
ost.urak.	eur	5802	3134	8960	7236	5140
kon.poisto	eur	15576	13218	14982	14045	16827
nurmialan osuus	%	55	56	60	68	84
tuottajien ikä	v	49	47	44	46	46
liikevaihto	eur	236210	210497	259070	241011	231229
tuet	eur	81140	74714	95234	89612	102172
tuet/liikevaihto	%	34	35	37	37	44
		A	B	C1	C2_C2P	C_POH
2011 tiloja	kpl	18	33	62	151	42
rysato	ry	314899	257573	330199	286254	274525
hehtaarisato	ry/ha	3943	3714	4146	3978	3577
peltoala	ha	81	76	75	71	72
lypsylehmiä	kpl	43	42	47	43	40
eläinyks.	ey	67	62	75	66	59
eläintiheys	ey/ha	0,84	0,87	0,98	0,96	0,87
npk+kalkki (def)	eur	7472	5101	6503	5761	5720
siemen (def)	eur	1665	1524	1967	1962	1297
kv-työtä	t/v	1101	886	887	818	773
kasvins. (def)	eur	1595	992	1467	862	341
ost.urak.	eur	8460	7462	10164	8240	6791
kon.poisto	eur	17875	14666	15956	14660	18776

	nurmialan osuus	%	52	56	59	68	87
	tuottajien ikä	v	48	47	47	47	47
	liikevaihto	eur	268390	241972	278076	259932	262623
	tuet	eur	86088	79810	92180	87416	107374
	tuet/liikevaihto	%	32	33	33	34	41
			A	B	C1	C2_C2P	C_POH
2012	tiloja	kpl	17	32	56	142	42
	rysato	ry	367002	254743	354777	281941	279864
	hehtaarisato	ry/ha	3947	3813	3895	3748	3446
	peltoala	ha	89	74	84	76	73
	lypsylehmiä	kpl	47	42	53	44	42
	eläinyks.	ey	72	62	84	68	63
	eläintiheys	ey/ha	0,84	0,88	0,97	0,94	0,85
	npk+kalkki (def)	eur	7330	5451	7047	6056	7040
	siemen (def)	eur	1665	1601	2319	2175	1440
	kv-työtä	t/v	1109	882	1131	805	825
	kasvins. (def)	eur	1378	1188	1361	923	403
	ost.urak.	eur	8595	8293	13332	10363	8448
	kon.poisto	eur	18194	14488	16905	14663	18201
	nurmialan osuus	%	53	53	54	64	87
	tuottajien ikä	v	51	49	47	48	47
	liikevaihto	eur	300577	248923	333719	286084	296077
	tuet	eur	95988	81367	109007	97724	120763
	tuet/liikevaihto	%	32	33	33	34	41

Liite 2. Deflatointikertoimet

Kaikki hintakorjaukset lukuun ottamatta lannoite- ja kalkkipanosta on laskettu seuraavalla kaavalla:

$$\text{Reaalihinta vuonna } n = \text{Nimellinen hinta vuonna } n * [(\text{Indeksi vuonna 2007}) / (\text{Indeksi vuonna } n)]$$

Lannoite- ja kalkkipanoksen hintakorjauksessa on sovellettu kahden vuoden liukuvaa keskiarvoa:

$$\text{Reaalihinta vuonna } n = \text{Nimellinen hinta vuonna } n * [(\text{Indeksi vuonna 2007}) / 0.5 * (\text{Indeksi vuonna } n + \text{Indeksi vuonna } n-1)]$$

Seuraavassa taulukossa on esitetty käytetyt hintaindeksit kunkin panoksen osalta:

Korjatut panosvektorit	Indeksi	Indeksin arvo					
		2007	2008	2009	2010	2011	2012
lan_kalk (yhdistetty lannoite + kalkki)	FINSTAT 203000	110,3	196,5	142,4	145,3	191,9	205,9
siemen	FINSTAT 201000	100,2	115,4	110,4	106,5	115,9	124,3
kasvinsuojelu	FINSTAT 204000	93,9	105,1	118,2	103,1	98,7	100,5

(Kaikki maatalouden tuotantovälineiden ostohintaindeksit 2005=100 muuttujina)

TILASTOKESKUKSEN KOODILUOKITUS, MAATALOUDEN OSTOPANOKSIEN HINTAINDEKSIT

201000 SIEMENET JA TAIMIMATERIAALI
203000 LANNOITTEET JA MAANPARANNUSAINEET
204000 KASVINSUOJELUTUOTTEET JA TORJUNTA-AINEET

Liite 3. Estimointien tulokset

Estimoinnin tulokset (1/4)									
Parametri	Malli 1 (B&C 1992, C-D)				Malli 2 (B&C 1992, C-D)				
	Estimaatti	Keskivirhe	P-arvo		Estimaatti	Keskivirhe	P-arvo		
Vakio	11,27197	0,17132	< 2,2e-16	***	8,03874	0,11498	< 2,2e-16	***	
β_1					0,93612	0,02332	< 2,2e-16	***	
β_2	0,04446	0,00725	0,00000	***	0,02283	0,00662	0,00056	***	
β_3	0,00207	0,00435	0,63423		-0,00670	0,00373	0,07221		
β_4	0,03118	0,00947	0,00099	***	0,01678	0,00873	0,05456		
β_5	0,01217	0,00307	0,00008	***	0,00687	0,00261	0,00843	**	
β_6	0,00655	0,00235	0,00535	**	0,00474	0,00184	0,00982	**	
β_7	0,13137	0,01626	0,00000	***	0,03754	0,01250	0,00268	**	
β_8	0,01434	0,00383	0,00018	***	0,01400	0,00277	0,00000	***	
SigmaSq (σ^2)	1,40066	0,12342	< 2,2e-16	***	0,23213	0,01976	< 2,2e-16	***	
gamma (γ)	0,96578	0,00362	< 2,2e-16	***	0,82500	0,01689	< 2,2e-16	***	
aika (t)	0,00598	0,00299	0,04533	*	-0,01915	0,00749	0,01060	*	
Log.likelihoid	-526,867				-29,41				
Tehokkuus (keskim)	0,407362				0,726469				

Estimaatin jälkeen suluissa on ilmoitettu keskivirhe

* Ilmaisee merkitsevyyttä alle 5%:n merkitsevyystasolla, ** 1%:n merkitsevyystasolla ja *** 0,1 %:n merkitsevyystasolla

Estimoinnin tulokset (2/4)									
Parametri	Malli 3 (B&C 1992, C-D + ristitermit)				Malli 4 (B&C 1992, TL)				
	Estimaatti	Keskivirhe	P-arvo		Estimaatti	Keskivirhe	P-arvo		
Vakio	8,02E+00	7,30E-01	< 2,2e-16	***	7,80966	0,75789	< 2,2e-16	***	
β_1	1,39E+00	2,08E-01	0,00000	***	1,33542	0,22038	1,36E-09	***	
β_2	2,85E-01	7,12E-02	0,00006	***	0,29922	0,07336	4,53E-05	***	
β_3	-3,67E-02	4,45E-02	0,40983		-0,03378	0,04416	0,444334		
β_4	-2,61E-01	1,11E-01	0,01916	*	-0,19971	0,11291	0,076934		
β_5	-2,06E-02	3,03E-02	0,49704		-0,01122	0,03041	0,712052		
β_6	1,86E-03	2,00E-02	0,92603		-0,02021	0,02063	0,327201		
β_7	-1,56E-01	1,01E-01	0,12322		-0,19339	0,14901	0,19433		
β_8	-3,16E-02	3,20E-02	0,32208		-0,01717	0,03227	0,594715		
I(0,5* β_1^2)					0,01015	0,00516	0,049175	*	
I(0,5* β_2^2)					-0,04595	0,07185	0,522518		
I(0,5* β_3^2)					0,00540	0,00276	0,050518		
I(0,5* β_4^2)					0,01599	0,00621	0,009985	**	
I(0,5* β_5^2)					0,00106	0,00267	0,690646		
I(0,5* β_6^2)					0,00751	0,00179	2,75E-05	***	
I(0,5* β_7^2)					0,02200	0,02239	0,325828		
I(0,5* β_8^2)					0,00885	0,00217	4,48E-05	***	

I($\beta_1^* \beta_2$)	-5,88E-02	1,88E-02	0,00179	**	-0,04719	0,02028	0,019977	*
I($\beta_1^* \beta_3$)	-1,83E-03	8,34E-03	0,82655		-0,00336	0,00861	0,6961	
I($\beta_1^* \beta_4$)	3,10E-02	1,74E-02	0,07450		0,04807	0,01753	0,006117	**
I($\beta_1^* \beta_5$)	-2,15E-02	6,20E-03	0,00051	***	-0,01935	0,00652	0,002993	**
I($\beta_1^* \beta_6$)	2,39E-03	4,52E-03	0,59668		-0,00241	0,00487	0,621104	
I($\beta_1^* \beta_7$)	-5,77E-03	2,15E-02	0,78906		-0,00561	0,02817	0,842069	
I($\beta_1^* \beta_8$)	-3,42E-03	7,13E-03	0,63118		-0,00566	0,00726	0,435763	
I($\beta_2^* \beta_3$)	6,46E-03	2,76E-03	0,01932	*	0,00329	0,00291	0,257657	
I($\beta_2^* \beta_4$)	-4,13E-03	6,58E-03	0,53010		-0,01170	0,00742	0,115166	
I($\beta_2^* \beta_5$)	7,28E-03	2,65E-03	0,00608	**	0,00443	0,00294	0,131493	
I($\beta_2^* \beta_6$)	6,28E-04	1,62E-03	0,69814		-0,00040	0,00164	0,807002	
I($\beta_2^* \beta_7$)	-8,11E-03	9,79E-03	0,40750		-0,01356	0,01023	0,185074	
I($\beta_2^* \beta_8$)	1,13E-03	3,19E-03	0,72393		0,00133	0,00331	0,687522	
I($\beta_3^* \beta_4$)	-3,99E-03	4,29E-03	0,35323		-0,00390	0,00433	0,367503	
I($\beta_3^* \beta_5$)	-1,15E-03	1,38E-03	0,40341		-0,00115	0,00142	0,41697	
I($\beta_3^* \beta_6$)	-1,57E-03	9,83E-04	0,11027		-0,00221	0,00098	0,024592	*
I($\beta_3^* \beta_7$)	2,64E-03	5,53E-03	0,63299		0,00409	0,00550	0,457063	
I($\beta_3^* \beta_8$)	8,83E-05	1,25E-03	0,94385		-0,00069	0,00127	0,585594	
I($\beta_4^* \beta_5$)	-7,57E-05	3,37E-03	0,98208		0,00096	0,00336	0,776025	
I($\beta_4^* \beta_6$)	-6,24E-03	2,30E-03	0,00673	**	-0,00399	0,00239	0,095169	
I($\beta_4^* \beta_7$)	2,96E-02	1,21E-02	0,01422	*	0,01262	0,01376	0,358882	
I($\beta_4^* \beta_8$)	-9,93E-04	2,85E-03	0,72774		-0,00300	0,00291	0,303543	
I($\beta_5^* \beta_6$)	7,74E-04	6,47E-04	0,23185		0,00073	0,00065	0,260284	
I($\beta_5^* \beta_7$)	5,94E-03	3,87E-03	0,12451		0,00525	0,00387	0,17509	
I($\beta_5^* \beta_8$)	3,35E-04	1,02E-03	0,74309		0,00070	0,00103	0,497361	
I($\beta_6^* \beta_7$)	3,10E-03	2,70E-03	0,25178		0,00430	0,00273	0,114842	
I($\beta_6^* \beta_8$)	9,28E-04	6,74E-04	0,16876		0,00049	0,00068	0,469782	
I($\beta_8^* \beta_7$)	5,15E-03	3,81E-03	0,17666		0,00215	0,00384	0,576095	
SigmaSq (σ^2)	2,04E-01	1,74E-02	< 2,2e-16	***	0,19191	0,01616	< 2,2e-16	***
gamma (γ)	8,04E-01	1,89E-02	< 2,2e-16	***	0,79381	0,01946	< 2,2e-16	***
aika (t)	-1,60E-02	7,94E-03	0,04368	*	-0,02222	0,00839	0,008092	**
Log.liikelihood	3,06919				28,3363			
Tehokkuus (keskim.)	0,74299				0,75549			

Estimaatin jälkeen on ilmoitettu keskivirhe

* Ilmaisee merkitsevyyttä alle 5%:n merkitsevyytasolla, ** 1%:n merkitsevyytasolla ja *** 0,1 %:n merkitsevyytasolla

Estimoinnin tulokset (3/4)

Parametri	Malli 5 (B&C 1995, TL)			Malli 6 (B&C 1995, TL, mean-scaled)		
	Estimaatti	Keskivirhe	P-arvo	Estimaatti	Keskivirhe	P-arvo
Vakio	7,99456	0,83555	< 2,2e-16 ***	2,85E-01	4,64E-02	8,49E-10 ***
β_1	0,82920	0,20155	0,00004 ***	8,65E-01	3,28E-02	< 2,2e-16 ***
β_2	0,13822	0,08424	0,10085	7,28E-02	1,57E-02	3,46E-06 ***
β_3	0,11049	0,04724	0,01935 *	-9,46E-03	1,01E-02	0,3487782
β_4	-0,06220	0,11330	0,58300	2,76E-02	1,23E-02	0,0249913 *
β_5	0,00206	0,03181	0,94831	1,94E-02	9,12E-03	0,0330699 *
β_6	0,03140	0,03167	0,32144	1,07E-02	1,01E-02	0,2881792
β_7	-0,00721	0,13764	0,95824	3,69E-02	1,41E-02	0,0086309 **
β_8	-0,03436	0,03438	0,31755	3,06E-02	9,82E-03	0,0017973 **
$I(0,5^* \beta_1^2)$	0,00675	0,00628	0,28238	4,10E-02	1,43E-02	0,0042075 **
$I(0,5^* \beta_2^2)$	0,06738	0,06485	0,29883	-2,53E-01	7,99E-02	0,0015447 **
$I(0,5^* \beta_3^2)$	0,00445	0,00331	0,17798	-1,91E-03	5,01E-03	0,7036184
$I(0,5^* \beta_4^2)$	0,00034	0,00682	0,95991	1,02E-02	1,56E-02	0,5115887
$I(0,5^* \beta_5^2)$	0,01155	0,00308	0,00018 ***	2,28E-03	4,47E-03	0,6107926
$I(0,5^* \beta_6^2)$	-0,00442	0,00380	0,24431	1,84E-03	7,18E-03	0,798365
$I(0,5^* \beta_7^2)$	0,00518	0,02079	0,80310	-1,93E-02	2,00E-02	0,3348252
$I(0,5^* \beta_8^2)$	0,00306	0,00253	0,22511	5,72E-03	5,84E-03	0,3274647
$I(\beta_1^* \beta_2)$	-0,03167	0,02253	0,15984	-2,76E-02	2,87E-02	0,3355648
$I(\beta_1^* \beta_3)$	-0,01814	0,01073	0,09096	6,77E-03	1,83E-02	0,7106718
$I(\beta_1^* \beta_4)$	0,04859	0,01746	0,00539 **	1,78E-03	2,81E-02	0,9494011
$I(\beta_1^* \beta_5)$	-0,03630	0,00709	0,00000 ***	1,55E-03	1,88E-02	0,9340465
$I(\beta_1^* \beta_6)$	0,00901	0,00524	0,08546	1,59E-02	1,81E-02	0,3798505
$I(\beta_1^* \beta_7)$	-0,00104	0,02686	0,96924	8,14E-02	3,00E-02	0,0066724 **
$I(\beta_1^* \beta_8)$	-0,00073	0,00802	0,92734	1,13E-02	1,96E-02	0,5632364
$I(\beta_2^* \beta_3)$	0,00679	0,00366	0,06330	-1,72E-02	1,09E-02	0,1134864
$I(\beta_2^* \beta_4)$	-0,00565	0,00892	0,52635	1,23E-02	1,74E-02	0,4797784
$I(\beta_2^* \beta_5)$	0,00495	0,00351	0,15800	8,67E-03	1,05E-02	0,4101217
$I(\beta_2^* \beta_6)$	0,00016	0,00191	0,93267	-2,72E-05	1,12E-02	0,9980609
$I(\beta_2^* \beta_7)$	-0,00608	0,01199	0,61216	8,05E-03	1,31E-02	0,5381259
$I(\beta_2^* \beta_8)$	0,00097	0,00396	0,80731	9,67E-03	1,12E-02	0,3894435
$I(\beta_3^* \beta_4)$	-0,00638	0,00539	0,23640	-3,72E-03	1,08E-02	0,7298316
$I(\beta_3^* \beta_5)$	-0,00134	0,00163	0,41247	1,61E-02	6,47E-03	0,0126542 *
$I(\beta_3^* \beta_6)$	-0,00148	0,00115	0,19853	3,74E-03	6,04E-03	0,5354357
$I(\beta_3^* \beta_7)$	-0,00603	0,00640	0,34563	-1,87E-02	9,68E-03	0,0529036
$I(\beta_3^* \beta_8)$	-0,00068	0,00152	0,65628	-1,10E-02	7,02E-03	0,1173954
$I(\beta_4^* \beta_5)$	0,00340	0,00392	0,38488	-8,03E-03	7,90E-03	0,3095237
$I(\beta_4^* \beta_6)$	-0,00674	0,00273	0,01365 *	9,50E-03	8,93E-03	0,2877438
$I(\beta_4^* \beta_7)$	0,00249	0,01372	0,85613	1,33E-02	1,74E-02	0,4452052
$I(\beta_4^* \beta_8)$	-0,00340	0,00294	0,24811	-1,27E-02	8,99E-03	0,1576416
$I(\beta_5^* \beta_6)$	0,00109	0,00070	0,11786	-4,75E-04	4,70E-03	0,9194369
$I(\beta_5^* \beta_7)$	0,00428	0,00432	0,32215	-1,33E-02	1,04E-02	0,2002325
$I(\beta_5^* \beta_8)$	0,00226	0,00125	0,07058	-7,73E-03	5,60E-03	0,1678823
$I(\beta_6^* \beta_7)$	0,00070	0,00297	0,81326	-1,62E-02	9,59E-03	0,09055

I(β_6^* β_8)	0,00028	0,00074	0,70214		2,48E-03	6,18E-03	0,6887422	
I(β_8^* β_7)	0,00477	0,00437	0,27446		9,20E-03	9,74E-03	0,3444482	
vuosi2008					5,96E-02	4,89E-02	0,2233713	
vuosi2009					-6,20E-02	3,42E-02	0,0699482	
vuosi2010					4,82E-02	3,50E-02	0,1686875	
vuosi2011					6,14E-02	3,56E-02	0,0844541	
vuosi2012					2,55E-03	3,69E-02	0,9448686	
Tehottomuusmalli								
Z_(Vakio)	0,83172	0,12553	0,00000	***	4,99E-01	1,55E-01	0,0013208	**
Z_ey_per_ha	-0,41683	0,04957	< 2,2e-16	***	-5,97E-01	8,26E-02	4,89E-13	***
Z_vilj_ikä	0,00040	0,00075	0,58999		1,75E-03	1,07E-03	0,102168	
Z_suurtukiaC1_C2_C2P	0,01727	0,01905	0,36458		-4,57E-03	3,18E-02	0,8856456	
Z_suurtukiaCPOH	0,14703	0,02817	0,00000	***	1,68E-01	4,42E-02	0,0001388	***
Z_karjakalle25	0,08537	0,06681	0,20134		1,44E-01	1,04E-01	0,1653845	
Z_karjakv26_59	0,01869	0,05701	0,74309		6,55E-02	9,55E-02	0,4926864	
Z_karjakyli100	0,01280	0,04852	0,79184		2,25E-02	8,69E-02	0,7961736	
Z_urakointi_ei	-0,10172	0,08105	0,20950		8,53E-03	2,75E-02	0,7561955	
Z_urakointi_ylikeskim.	-0,00663	0,02783	0,81162		1,51E-02	3,61E-02	0,6750677	
Z_nurmi_osuus	-0,00032	0,00049	0,51164		8,94E-04	7,03E-04	0,203287	
Z_vuosi12008	0,00412	0,02270	0,85598		9,97E-02	7,70E-02	0,195783	
Z_vuosi12009	0,02653	0,02535	0,29531		-4,13E-02	6,28E-02	0,5110344	
Z_vuosi12010	-0,00054	0,02299	0,98139		8,72E-02	6,47E-02	0,1775586	
Z_vuosi12011	-0,01342	0,02370	0,57133		8,86E-02	6,58E-02	0,1782971	
Z_vuosi12012	0,02586	0,02783	0,35279		4,71E-02	7,14E-02	0,5098452	
SigmaSq (σ^2)	0,06432	0,00325	< 2,2e-16	***	7,89E-02	5,64E-03	< 2,2e-16	***
gamma (γ)	0,60877	0,10750	0,00000	***	5,50E-01	8,09E-02	1,05E-11	***
Log.likelihoid	-20,76538				-65,888			
Tehokkuus (keskim.)	0,617373				0,735			

Estimaatin jälkeen on ilmoitettu keskivirhe

* Ilmaisee merkitsevyyttä alle 5%:n merkitsevyystasolla, ** 1%:n merkitsevyystasolla ja *** 0,1 %:n merkitsevyystasolla

Estimoinnin tulokset (4/4)							
Parametri	Malli 7 (B&C 1995, TL, mean-scaled)				Malli 8 (B&C 1995, TL, mean-scaled)		
	Estimaatti	Keskivirhe	P-arvo		Estimaatti	Keskivirhe	P-arvo
Vakio	2,75E-01	3,82E-02	6,24E-13	***	0,338236		4,47E-05 ***
β_1					0,854792		< 2,2e-16 ***
β_2	2,18E-01	1,77E-02	< 2,2e-16	***	0,068001		1,01E-05 ***
β_3	5,16E-02	1,18E-02	1,19E-05	***			
β_4	9,26E-02	1,53E-02	1,40E-09	***	0,032463		0,005897 **
β_5	4,95E-02	1,06E-02	3,01E-06	***			
β_6	6,73E-02	1,16E-02	7,09E-09	***			
β_7	1,51E-01	1,62E-02	< 2,2e-16	***			
β_8	5,88E-02	1,20E-02	9,30E-07	***			
β_9					0,075992		6,65E-09 ***
$I(0,5^* \beta_1^2)$					-0,06316		0,334352
$I(0,5^* \beta_2^2)$	1,23E-01	1,91E-02	1,16E-10	***	0,033547		0,015406 *
$I(0,5^* \beta_3^2)$	1,85E-02	6,08E-03	2,36E-03	**			
$I(0,5^* \beta_4^2)$	2,46E-02	2,04E-02	2,27E-01		0,001156		0,926449
$I(0,5^* \beta_5^2)$	1,04E-02	5,28E-03	4,90E-02	*			
$I(0,5^* \beta_6^2)$	2,75E-02	8,78E-03	1,72E-03	**			
$I(0,5^* \beta_7^2)$	4,00E-02	2,38E-02	9,28E-02				
$I(0,5^* \beta_8^2)$	9,29E-03	7,38E-03	2,08E-01				
$I(0,5^* \beta_9^2)$					0,016176		0,267875
$I(\beta_1^* \beta_2)$					-0,0304		0,245031
$I(\beta_1^* \beta_3)$							
$I(\beta_1^* \beta_4)$					0,021898		0,377002
$I(\beta_1^* \beta_5)$							
$I(\beta_1^* \beta_6)$							
$I(\beta_1^* \beta_7)$							
$I(\beta_1^* \beta_8)$							
$I(\beta_1^* \beta_9)$					-0,03583		0,120473
$I(\beta_2^* \beta_3)$	-4,14E-02	1,20E-02	5,59E-04	***			
$I(\beta_2^* \beta_4)$	6,57E-03	2,07E-02	7,51E-01		0,015034		0,344107
$I(\beta_2^* \beta_5)$	-8,00E-04	1,10E-02	9,42E-01				
$I(\beta_2^* \beta_6)$	-7,65E-03	1,18E-02	5,16E-01				
$I(\beta_2^* \beta_7)$	4,68E-03	1,64E-02	7,75E-01				
$I(\beta_2^* \beta_8)$	-2,64E-02	1,23E-02	3,21E-02	*			
$I(\beta_3^* \beta_4)$	-4,41E-03	1,32E-02	7,39E-01				
$I(\beta_3^* \beta_5)$	1,49E-02	7,61E-03	4,99E-02	*			
$I(\beta_3^* \beta_6)$	3,40E-03	7,40E-03	6,46E-01				
$I(\beta_3^* \beta_7)$	-1,77E-02	1,13E-02	1,18E-01				
$I(\beta_3^* \beta_8)$	-6,68E-03	8,47E-03	4,30E-01				
$I(\beta_4^* \beta_5)$	1,80E-02	1,04E-02	8,18E-02				
$I(\beta_4^* \beta_6)$	-1,26E-02	1,08E-02	2,47E-01				
$I(\beta_4^* \beta_7)$	-1,04E-02	2,19E-02	6,36E-01				
$I(\beta_4^* \beta_8)$	-1,96E-04	1,14E-02	9,86E-01				
$I(\beta_5^* \beta_6)$	3,37E-03	5,65E-03	5,51E-01				

I(β_5^* β_7)	-1,14E-02	1,16E-02	3,24E-01			
I(β_5^* β_8)	-4,45E-03	6,88E-03	5,18E-01			
I(β_6^* β_7)	-2,27E-02	1,08E-02	3,46E-02	*		
I(β_6^* β_8)	1,07E-02	7,65E-03	1,63E-01			
I(β_8^* β_7)	1,34E-02	1,13E-02	2,35E-01			
I(β_2^* β_9)				0,012861		0,353781
I(β_4^* β_9)				-0,00671		0,610736
vuosi2008	-2,44E-03	4,19E-02	9,54E-01	0,050496		0,458392
vuosi2009	-6,39E-02	4,26E-02	1,34E-01	-0,10225		0,090593
vuosi2010	3,77E-02	4,60E-02	4,12E-01	0,012572		0,843322
vuosi2011	8,79E-02	4,89E-02	7,20E-02	0,05653		0,242509
vuosi2012	5,73E-02	4,32E-02	1,85E-01	0,018605		0,720985
Tehottomuusmalli						
Z_(Vakio)	-2,85E+02	1,19E+03	8,10E-01	0,579783		0,000204 ***
Z_ey_per_ha	7,47E-02	4,80E-02	1,20E-01	-0,52215		1,48E-11 ***
Z_vilj_ikä	6,32E-03	1,21E-03	1,86E-07	*** 0,00162		0,084968
Z_suurtukiaC1_C2_C2P	1,46E-02	3,29E-02	6,58E-01	0,013006		0,635011
Z_suurtukiaCPOH	2,49E-01	4,76E-02	1,73E-07	*** 0,163099		0,000173 ***
Z_karjakalle25	2,85E+02	1,19E+03	8,10E-01	0,113174		0,21414
Z_karjakv26_59	2,85E+02	1,19E+03	8,10E-01	0,040341		0,614344
Z_karjakyli100	2,84E+02	1,19E+03	8,10E-01	-0,00256		0,971988
Z_urakointi_ei	6,71E-02	3,10E-02	3,06E-02	* -0,00373		0,857927
Z_urakointi_ylikeskim.	-2,19E-02	4,56E-02	6,30E-01	0,005105		0,850758
Z_nurmi_osuus	2,91E-03	7,60E-04	1,30E-04	*** 0,000505		0,454392
Z_vuosi12008	-2,10E-02	6,54E-02	7,48E-01	0,0717		0,435007
Z_vuosi12009	-1,87E-02	6,81E-02	7,84E-01	-0,09516		0,269243
Z_vuosi12010	4,02E-02	6,99E-02	5,65E-01	0,031054		0,732558
Z_vuosi12011	8,65E-02	7,15E-02	2,26E-01	0,069197		0,359795
Z_vuosi12012	4,12E-02	6,98E-02	5,55E-01	0,063798		0,418044
SigmaSq (σ^2)	1,20E-01	6,97E-03	< 2,2e-16	*** 0,075864		< 2,2e-16 ***
gamma (γ)	4,55E-01	5,79E-02	3,98E-15	*** 0,556426		2,43E-09 ***
Log.liikelihood	-484,88			-78,427		
Tehokkuus (keskim.)	0,70626			0,70463		

Estimaatin jälkeen on ilmoitettu keskivirhe

* Ilmaisee merkitsevyyttä alle 5%:n merkitsevyytasolla, ** 1%:n merkitsevyytasolla ja *** 0,1 %:n merkitsevyytasolla

Selitykset estimoinnissa käytetyille muuttujille

Muuttuja	Sisältö
Y	<i>rysat</i> (lähdearvossa logaritmuunnos)
β_1	<i>viljelyala</i> (lähdearvossa logaritmuunnos)
β_2	<i>lannoite + kalkki</i> (lähdearvossa logaritmuunnos)
β_3	<i>siemen</i> (lähdearvossa logaritmuunnos)
β_4	<i>kasvinviljelytyö</i> (lähdearvossa logaritmuunnos)
β_5	<i>kasvinsuojelu</i> (lähdearvossa logaritmuunnos)
β_6	<i>konetyö (ost. urakointi)</i> (lähdearvossa logaritmuunnos)
β_7	<i>kv. koneet (poisto)</i> (lähdearvossa logaritmuunnos)
β_8	<i>kasvinviljelyn yleiskustannukset</i> (lähdearvossa logaritmuunnos)
β_9	<i>muut muuttuvat</i> (lähdearvossa logaritmuunnos)
SigmaSq	kokonaisvirheen varianssi
gamma	virhetermin varianssin osuus kokonaisvirheestä
Log. Likelihood	uskottavuusfunktion arvo