

Muuttaako biodiversiteetti luomutuotannon tehokkuutta - luomu- ja tavanomaisen kasvituotannon vertailu

Timo Sipiläinen¹⁾, Per-Olov Marklund²⁾ ja Anni Huhtala¹⁾

¹⁾*MTT taloustutkimus, Luutnantintie 13, 00410 Helsinki, etunimi.sukunimi@mtt.fi*

²⁾*Umeå Universitet, Institutionen för ekonomi, pelle.marklund@umea.econ.se*

Tiivistelmä

Useissa tutkimuksissa luonnonmukaista tuotantoa harjoittavat tilat ovat osoittautuneet perinteisiä tuotantopanoksia ja tuotoksia mittareina käytettäessä tavanomaisia tiloja tehottomammiksi. Luonnonmukaiseen tuotantoon saattaa kuitenkin liittyä positiivisia ympäristövaikutuksia, jotka jäävät perinteisiä tuotoksia ja tuotantopanoksia mittauserusteena käytettäessä huomioon ottamatta. Ympäristövaikutukset saattavat muuttaa eri tuotantotapojen suhteita keskinäisessä tehokkuusvertailussa. On myös mahdollista, että eri tuotantotavoilla positiivisen ympäristövaikutuksen aikaansaamisen ja niiden lisäämisen kustannus ei ole samansuuruinen. Voidaankin kysyä, saavutetaanko tuotannon kestävyystavoitteet maataloudessa nykyisin tehokkaasti yhteiskunnan näkökulmasta.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on tutkia, mikä vaikutus on biologisen monimuotoisuuden huomioon ottamisella tehokkuuden mittaustuloksiin. Ongelmana on, ettei ympäristövaikutuksille ole markkinahintoja. Tulos riippuu siitä, millaiset painot eri tuotoksille asetetaan eli minkä tuotoksen tai tuotosten suuntaan tehokkuutta arvioidaan. Tehokkuutta mitataan sekä perinteisillä etäisyysfunktioilla että suuntaetäisyysfunktioilla, ja mittareina käyttäen myös alivektoritehokkuuksia. Perinteisillä etäisyysfunktioilla saadaan selville tekninen tehokkuus, kun tarkastellaan mahdollisuutta lisätä tuotoksia samansuhteisesti käytettäessä tietty määrä tuotantopanoksia. Suuntaetäisyysfunktioiden tapauksessa voidaan puolestaan tarkastella esimerkiksi mahdollisuutta lisätä jompaakumpaa tuotosta pitäen toista tuotoksista ennallaan. Lisäksi määritetään, mikä on ympäristövaikutuksen arvo eli ns. varjohinta kussakin tapauksessa. Tässä tutkimuksessa käytetään matemaattisia DEA (data envelopment analysis) ohjelmointimalleja.

Tutkimusaineisto koostuu MTT Taloustutkimuksen ylläpitämän kirjanpitoaineiston kasvinviljelytiloista vuosilta 1994 - 2002. Yli kymmenesosa näytteen tiloista harjoittaa luonnonmukaista tuotantoa. Kasvinviljelytilojen oletetaan tuottavan perinteisen kasvituotoksen (ilman tukia) lisäksi toista tuotosta, joka on Shannon-Weiner kasvidiversiteetti-indeksillä mitattu biodiversiteetti. Panokset ovat perinteisiä tuotantopanoksia: peltoala, työmäärä, energia, muut muuttuvat panokset sekä kone- ja rakennuspääoma.

Tulosten mukaan biodiversiteetin huomioonottaminen vaikuttaa havaintojen suhteelliseen tehokkuuteen. Jos teknistä tehokkuutta mitataan pelkästään perinteisen kasvituotoksen osalta, tavanomaiset tilat ovat luonnonmukaista tuotantoa harjoittavia tiloja tehokkaampia. Luonnonmukaisen ja tavanomaisen tuotannon tehokkuusero pienenee huomattavasti, jos otetaan huomioon myös biodiversiteetti tavanomaisen kasvituotoksen lisäksi. Luonnonmukaisia tuotteita tuottavien tilojen kasvituotos pinta-alayksikköä kohti on alhaisempi kuin tavanomaisia tuotteita tuottavien mutta vastaavasti biodiversiteetti-indikaattori saa luonnonmukaisilla tiloilla keskimäärin korkeampia arvoja kuin tavanomaisilla tiloilla. Varjohintojen perusteella arvioiden biodiversiteetin lisääminen on luonnonmukaisessa tuotannossa keskimäärin edullisempää kuin tavanomaisessa.

Avainsanat: tekninen tehokkuus, luonnonmukainen tuotanto, biodiversiteetti

Johdanto

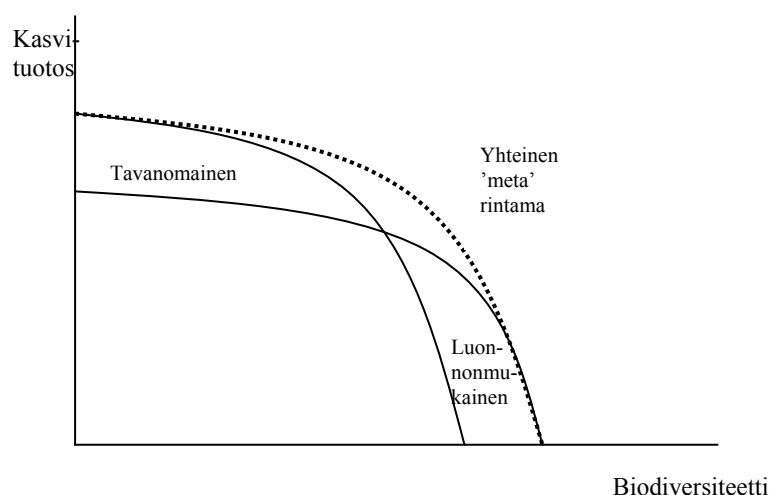
Nykyinen maatalouspolitiikka pyrkii edistämään ympäristön kannalta kestäviä tuotantotapoja riippumatta maataloudessa omaksutusta tuotantoteknologiasta. Siksi onkin hämmästyttävää, että tuotannon tehokkuutta tarkasteltaessa ympäristön laadun parantamista, kuten luonnon monimuotoisuuden lisäämistä, ei useinkaan ole tunnustettu tavoitteena tai positiivisena tuotoksena. Tämä saattaa aiheuttaa harhaa tehokkuuskertoimiin, jotka voivat suosia ympäristön kannalta epäsuotuisia tuotantotapoja.

Luonnonmukainen tuotantotapa asettaa suuren painon ympäristönsuojelulle. Se välttää tai vähentää merkittävästi synteettisten kemiallisten panosten kuten lannoitteiden ja kasvinsuojeluaineiden käyttöä. Lannoitusta karjanlannalla, biologista typensidontaa, kompostointia (hidasliukoiset lannoitteet) sekä rikkakasvien ja sairauksien ennaltaehkäisyä käytetään yleisesti luonnonmukaisessa kasvinviljelyssä. Myös kasvinvuorotus, mekaaninen rikkakasvien torjunta ja hyödyllisten eliöiden suojeleminen ovat tärkeitä tavoitteita (http://europa.eu.int/comm/agriculture/qual/organic/facts_en.pdf, viitattu 23.7.2004).

Luomutuotannolle asetetut lukuisat rajoitteet vaikuttavat luomutilojen toiminnan tulokseen. Useissa artikkeleissa on tutkittu luonnonmukaisen ja tavanomaisen tuotannon teknistä tehokkuutta (mm., Oude Lansink ym. (2002), Ricci Maccarini and Zanolini (2004), Sipiläinen ym. (2005)). Oude Lansinkin ym. (2002) tulokset osoittavat, että luomutilojen tehokkuus on merkittävästi alempi kuin tavanomaisten, ja siten tavanomaisella teknologialla olisi mahdollista käyttää niukat resurssit tehokkaammin kuin luomuteknologialla. Erityisesti pääoman tuottavuus, mutta myös maan ja työn tuottavuus ovat heidän mukaansa luomutuotannossa alemmat kuin tavanomaisessa tuotannossa. Ricci Maccarini ja Zanolini (2004) toteavat, että tämä saattaa osin liittyä tuotantotavan vaihtoon ongelmiin. Sipiläinen ym. (2005) ovat osoittaneet, että tekninen tehokkuus laskee merkittävästi, kun siirtyminen luomutuotantoon alkaa, mutta että oppimista/sopeutumista voidaan havaita ajan yli, jolloin tehokkuus alkaa uudelleen parantua. Tämä tapahtuu kuitenkin hitaasti. Yhteistä yllä mainituille tutkimuksille on, että analyyseissä otetaan huomioon ainoastaan tuotokset ja panokset, jotka perinteisesti määritetään tavanomaisessa kirjanpidossa. Ne eivät ota huomioon mahdollisia ympäristövaikutuksia kuten ravinnepäästöjä tai maisema-arvoja. Näiden vaikutusten sisällyttäminen saattaa vaikuttaa merkittävästi tehokkuus- ja tuottavuusmittoihin. Esimerkiksi luomutuotannon kasvinvuorotuksen vaatimukset antavat aiheen olettaa, että luomutuotannolle ovat luonteenomaisia monipuolisemmat tuotantojärjestelmät kuin tavanomaiselle tuotannolle. Hole ym. (2005) ovat laajan biodiversiteettiä koskevan kirjallisuuskatsauksen pohjalta päätyneet siihen, että varmoja johtopäätöksiä luonnonmukaisen tuotannon paremmuudesta biodiversiteetin säilyttäjänä ei voida tehdä. Pitkän aikavälin systeemitason tutkimusten puutteesta huolimatta näyttää kuitenkin siltä, että luomutuotannolla voi olla merkittävä rooli monimuotoisuuden lisääjänä.

Aiempien tutkimusten perusteella tavanomaista tuotantoa harjoittavien tilojen tekninen tehokkuus on korkeampi kuin luomutilojen, kun analyysissä tarkastellaan ainoastaan perinteisiä tuotoksia ja panoksia. Toisaalta biodiversiteetin suhteen riippuvuus saattaa olla toisenlainen, koska luomutuotanto edellyttää systemaattisen kasvinvuorotuksen käyttämistä. Tätä havainnollistetaan hypoteettisessa kuvassa 1, jossa oletetaan tavanomaisten tilojen määrittävän tehokkuusrintaman kasvituotosulottuvuudessa, eli tilat kykenevät tuottamaan suuremman kasvituotoksen samoilla panoksilla kuin luomutilat. Luomutilat puolestaan tuottavat enemmän biodiversiteettiä alhaisilla kasvituotoksen tasoilla. Mikäli luomu- ja tavanomaisen tuotannon havainnot on riittävästi, tehokkuusrintamat voidaan määrittää kummallekin ryhmälle erikseen. Usein kuitenkin erityisesti luomuhavainnot on niin vähän, että havainnot on tarkasteltava saman analyysin puitteissa. Yhteinen 'meta'-rintama verhoaa koko tuotosjoukkoa, kun havainnot yhdistetään samaan analyysiin.

Tämän artikkelin tarkoituksena on estimoida tavanomaisten ja luomukasvinviljelytilojen tekninen tehokkuus ja arvioida biodiversiteettituotoksen huomioon ottamisen vaikutusta tilojen tekniseen tehokkuuteen. Tehokkuusluvut estimoidaan ei-parametrisen DEA:n (data envelopment analysis) avulla (Färe ym. 1994, Coelli ym. 1998).



Kuva 1. Tavanomaisen ja luomutuotannon tuotosjoukot suhteessa kasvi- ja biodiversiteetti-tuotokseen.

Aineisto ja menetelmät

Tutkimusaineisto koostuu MTT taloustutkimuksen kannattavuuskirjanpitoaineiston kasvinviljelytiloista vuosilta 1994 – 2002. Tilat on luokiteltu kasvinviljelytiloiksi, jos niillä on alle 0,1 eläinyksikköä hehtaaria kohti. Havaintotilojen määrä vuonna 1994 oli 92, ja vuoteen 2002 mennessä tilamäärä kasvoi 144 tilaan. Luomutiloja oli vastaavasti 13 vuonna 1994 ja 28 vuonna 2002. Luomukasvinviljelytilat ovat keskimäärin selvästi pienempiä kuin tavanomaista tuotantoa harjoittavat kasvinviljelytilat. Tämä käy ilmi taulukosta 1, jossa esitetään vuosien 1994, 1998 ja 2002 analyysissä käytettyjen muutettujen keskiarvot ja standardipoikkeamat. Tuotot ja kustannukset on muunnettu vuoden 2000 hintatasoon Tilastokeskuksen hintaindeksien avulla. Panoksina käytettiin viittä panosta: työtä (h), peltoalaa (ha), materiaaleja (€), energiaa (€) sekä pääomaa (koneet ja rakennukset (€)). Rahamääräiset suureet on tässäkin muunnettu vuoden 2000 hintatasoon.

Taulukko 1. Tavanomaisten ja luomutilojen keskiarvot ja keskipoikkeamat vuosina 1994, 1998 ja 2002.

	1994		1998		2002	
	Tavanom.	Luomu	Tavanom.	Luomu	Tavanom.	Luomu
n	78	13	92	20	116	28
Tuotto	36289 (19447) ^a	18275 (10774)	34348 (19882)	28693 37049	40993 (28034)	16531 (16828)
Shdi	1,34 (0,22)	1,44 (0,18)	1,26 (0,29)	1,35 (0,29)	1,20 (0,33)	1,33 (0,29)
Työ (h)	2206 (1041)	1632 (944)	2261 (1122)	1786 (1050)	1964 (990)	1397 (851)
Maa (ha)	56,29 (22,27)	39,42 (25,69)	61,68 (28,99)	35,08 (19,32)	61,96 (30,43)	47,33 (33,95)
Energia	6024 (2663)	5279 (3612)	5870 (2971)	5951 (6195)	4478 (2390)	3641 (2938)
Muu	17397 (8533)	11331 (7043)	22873 (13374)	22055 (25151)	29435 (19288)	13399 (10958)
Pääoma	53111 (29184)	41482 (30804)	64669 (33913)	50945 (43390)	79641 (45688)	64968 (62787)

^a keskipoikkeama suluissa.

Kasvinviljelytuotoksia tarkastellaan homogeenisina tuotteina tuotantotavasta riippumatta. Mikäli luomutuotteista on onnistuttu saamaan parempaa hintaa kuin tavanomaisesti tuotetuista tuotteista, tämä ero päätyy tuotteen arvosta johdettuun määräindeksiin. Toisena tuotosmuuttujana käytetään biodiversi-

teettä kuvaavaa Shannon-Wienert indeksiä, joka ottaa huomioon sekä viljeltyjen kasvien lukumäärän että niiden suhteellisten viljelyosuuksien tasaisuuden kasvien kesken. Tämän kasvidiversiteettiä kuvaavan muuttujan kaava on seuraava:

$$SHDI = -\sum_{i=1}^m (P_i \times \ln P_i), \quad (1)$$

jossa m on viljeltyjen kasvien lukumäärä, P_i viittaa kunkin kasvin viljelyosuuteen tilalla ja \ln luonnolliseen logaritmiin. SHDI saa arvon 0, kun tilalla viljellään vain yhtä kasvia (ei diversiteettiä). (Shannon 1948; Miettinen ym. 2004). Viljeltyjen kasvien luokittelussa noudatetaan kannattavuuskirjanpidossa käytettyä kasviluokittelua.

Yleensä tarkastelun kohteena ovat joko tuotos- tai panosorientoitunut etäisyysfunktio (tekninen panos- tai tuotostehokkuus), jossa tekninen tehokkuus merkitsee samansuhteista tuotosten lisäämis- tai panosten vähentämismahdollisuutta suhteessa referenssijoukkoon. Chambers ym. (1998) ovat osoittaneet, että nämä ovat erityistapauksia suunnatuista etäisyysfunktioista, jotka voidaan esittää seuraavasti:

$$D_T(x, y; g_x, g_y) = \sup_{\phi} \{ \phi \in \mathfrak{R} : x - \phi \cdot g_x, y + \phi \cdot g_y \in T \}, \quad g_x \in \mathfrak{R}_+^N, g_y \in \mathfrak{R}_+^M \quad (2),$$

jossa x on panosvektori ja y tuotosvektori, g_x ja g_y suunnat, joissa tuotoksia lisätään tai panoksia vähennetään ja ϕ maksimoitava tekijä siten, että rajoitteena on tuotantomahdollisuuksien joukko T . Tavanomaisen panosetäisyysfunktion tapauksessa g_y on nolla ja g_x on kunkin yrityksen panosten x määrät. Tuotosetäisyysfunktion tapauksessa on päinvastoin ($g_x=0$ ja $g_y=y$).

Etäisyysfunktiot ja tekniset tehokkuudet voidaan määrittää joko parametrisesti (korjattu pienimmän neliösumman menetelmä, stokastinen rintamamenetelmä) tai ei-parametrisesti (DEA - data envelopment analysis eli 'verhokäyrämenetelmä'). Menetelmillä voidaan määrittää paitsi tehokkuudet myös suhteelliset varjohinnat, joita puolestaan voidaan käyttää biodiversiteetin lisäämisen arvon määrittämiseen. Tässä tapauksessa tilojen tehokkuutta tarkasteltiin DEA mallien avulla. Malleissa tilat on yleensä yhdistetty samaan analyysiin, jolloin tehokkaat yksiköt ja niiden muodostamat lineaarikombinaatiot (hypoteettiset vertailuyksiköt) saattavat koostua sekä luomu- että tavanomaisista tiloista. Näin meneteltiin siitä huolimatta, että tilojen tuotantomahdollisuudet ovat eri tuotantotavoilla erilaiset mm. panoskäytön rajoituksista johtuen, koska luomutilojen määrä on pieni.

Mallit on laadittu tuotosorientoituneina, koska pääasiassa ollaan kiinnostuneita tuotosten keskinäisestä suhteesta. Jos tehokkuus saa arvon yksi, tuotanto on tehokasta ja samoilla panoksilla ei voida saada aikaan suurempaa tuotosta. Jos taas arvo on nollan ja yhden välillä, tuotannossa ilmenee teknistä tehottomuutta. Käytetyt DEA -mallit ovat lineaarisia ohjelmointimalleja, jotka vakioskaalatuottojen (CRS) tapauksessa voidaan määrittää seuraavasti, kun tuotoksia y on m kappaletta ja panoksia x on n kappaletta. Havaintoja (pääötöksentekoyksiköitä) on k kappaletta ja kutakin niistä (k') verrataan vuorolaan havaintojoukkoon:

$$\begin{aligned} F_o(C, S) &= D_o^t(x^t, y^t)^{-1} = \max \phi \\ s.t. \quad \phi y_{k'm} &\leq \sum_{k=1}^K z_k y_{km}, \quad m = 1, \dots, M, \\ \sum_{k=1}^K z_k x_{kn} &\leq x_{k'n}, \quad n = 1, \dots, N, \\ z_k &\geq 0, \quad k = 1, \dots, K. \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} F_o(C, S, sub) &= D_o^t(x^t, y^t)^{-1} = \max \phi \\ s.t. \quad \phi y_{k'm1} &\leq \sum_{k=1}^K z_k y_{km1} \\ y_{k'm2} &\leq \sum_{k=1}^K z_k y_{km2} \\ \sum_{k=1}^K z_k x_{kn} &\leq x_{k'n}, \quad n = 1, \dots, N, \\ z_k &\geq 0, \quad k = 1, \dots, K. \end{aligned} \quad (4)$$

Muuttuvien skaalatuottojen (VRS) malli saadaan lisäämällä rajoite $\sum z_k = 1$, mikä rajoittaa yksiköiden skaalaamista optimiratkaisua etsittäessä. Useimmissa tutkimuksissa on päädytty siihen, että skaalatuotot ovat maataloudessa lähes vakiot. Jos tarkastellaan vain kasvinviljelytuotosta ottamatta huomi-

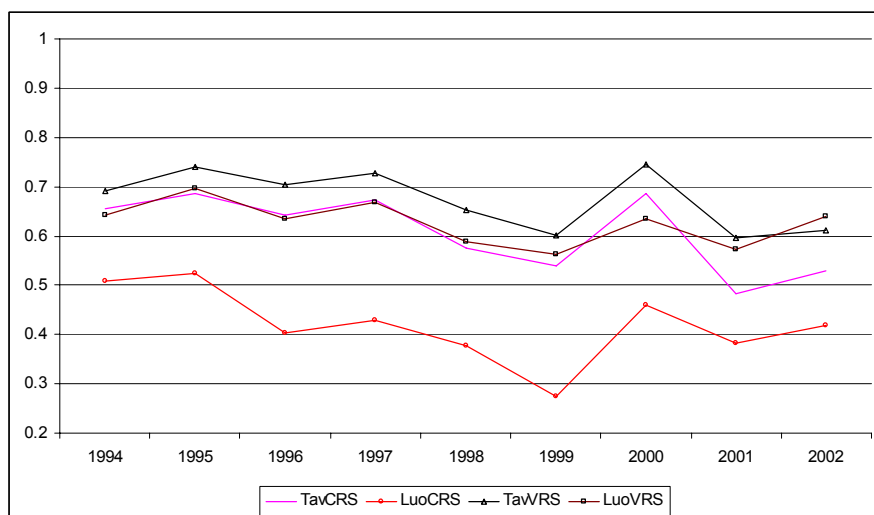
oon biodiversiteettia, mallissa on yksi tuotos. Tässä tapauksessa lasketaan tehokkuus sekä muuttuvien että vakioskaalatuottojen oletuksella. Mikäli biodiversiteetti katsotaan vastaavasti tuotteeksi kuten tavanomaiset kasvinviljelytuotteet, malli on estimoitava sisällyttäen siihen kaksi tuotosta. Teknistä tehokkuutta laskettaessa malli skaalaa molemmat tuotokset samansuhteisesti tehokkaalle pinnalle pyrittäessä. Biodiversiteettimuuttujan luonteen vuoksi vakioskaalatuottojen oletus (vapaa skaalattavuus) ei liene soveltuva, joten tarkastelu tehdään ainoastaan muuttuvien skaalatuottojen puitteissa.

Voidaan myös ajatella, että biodiversiteettimuuttuja ei ole samalla tavoin skaalattavissa kuin kasvinviljelytuotos. Siksi on myös tarpeen arvioida, millaiseksi tehokkuus muodostuu, mikäli yhteiskunnallisena tehokkuustavoitteena olisi vähintään nykyisen biodiversiteettitason ylläpito mutta kasviuotoksen kasvattaminen. Tämän vuoksi katsotaan, miten tehokkuus vaihtelee, kun kunkin päätösyksikön pitäisi edelleen pystyä tuottamaan sama biodiversiteetti kuin aiemmin, ja tekninen tehokkuus mitataan tämän rajoitteen puitteissa. Lineaarisen ohjelmointimallin muodossa tämän suunnatun etäisyysfunktion käänteisarvo eli ns. alivektoritehokkuus (Färe ym. 1994) on esitetty kaavassa 4.

Lineaaristen ohjelmointimallien duaaliratkaisujen avulla voidaan tuottaa myös suhteelliset varjohinnat eri tuotteille ja panoksille. Siten niiden avulla voidaan myös määrittää myös, mikä on biodiversiteetin lisäämisen rajakustannus.

Tulokset ja tulosten tarkastelu

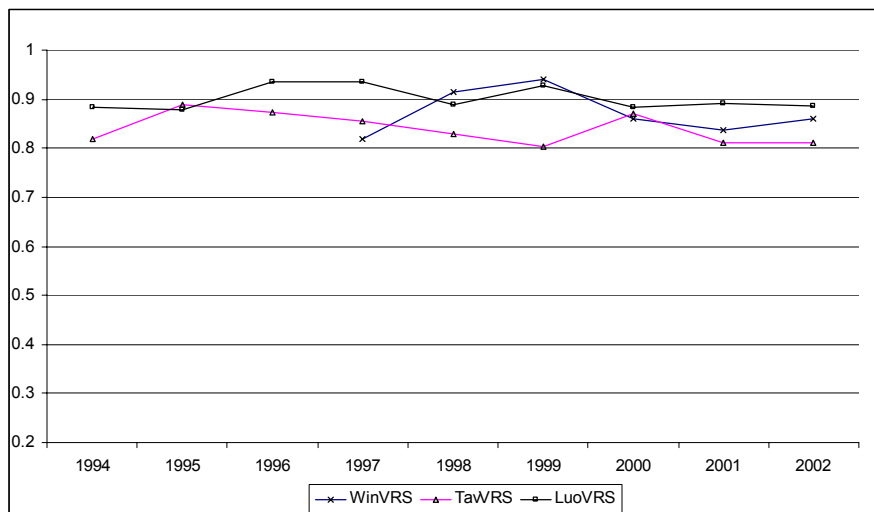
Tehottomuuden taso on riippuvainen muun muassa mallien skaalatuotto-oletuksista sekä käytettyjen muuttujien lukumäärästä ja havaintomäärästä. Kun tarkastellaan ainoastaan perinteisen kasviuotoksen tuottamista ja siihen käytettyjä panoksia, luomutilat ovat erityisesti vakioskaalatuottojen oletusta käytettäessä olennaisesti teknisesti tehottomampia kuin tavanomaiset tilat (kuva 2). Osasyynä tähän on luomutilojen keskimäärin pienempi koko. Ero keskimääräisessä teknisessä tehokkuudessa on pienimmillään tutkimusajanjakson alussa ja lopussa. Yleisesti ottaen keskimääräinen tehokkuus osoittaa alenevaa suuntaa tuotantotavasta riippumatta, ja myös muuttuvien skaalatuottojen tapauksessa tavanomaisten tilojen keskimääräinen tekninen tehokkuus on vuotta 2002 lukuun ottamatta luomutiloja korkeampi.



Kuva 2. Tavanomaisten (Tav) ja luomutilojen (Luo) tekninen tehokkuus vakio- (CRS) ja muuttuvien (VRS) skaalatuottojen vallitessa (yhdistetty aineisto; yksi tuotos, viisi panosta) vuosina 1995 - 2002.

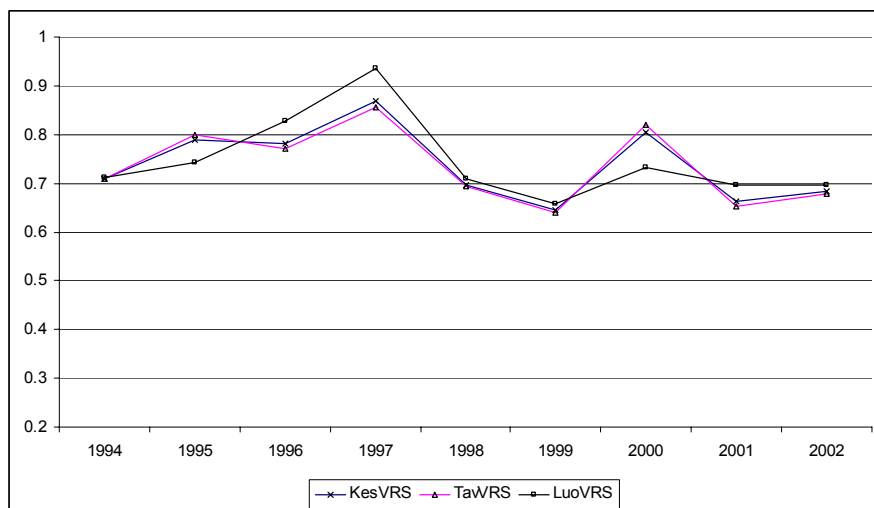
Mikäli tehokkuustarkasteluun lisätään toinen tuotosmuuttuja, tilojen tekninen tehokkuus joko paranee tai pysyy samana. Biodiversiteettimuuttujan luonteesta johtuen tehokkuutta arvioidaan vain muuttuvien skaalatuottojen (VRS) mallilla. Tässä tapauksessa keskimääräiset tehokkuudet paranevat olennaisesti (kuva 3). Lisäksi luomutilojen tekninen tehokkuus paranee enemmän kuin tavanomaisten tilojen, koska niillä kasviuotus on alempi kuin tavanomaisilla tiloilla, mutta Biodiversiteettimuuttujan arvo on puolestaan korkeampi. Tuloksena on, että otettaessa huomioon nämä molemmat tuotokset, luomutilojen keskimääräinen tehokkuus on useimpina vuosina korkeampi kuin tavanomaisten. WinVRS viittaa

luomutilojen nk. 'ikkuna-analyysin' tulokseen, jossa vuosien 1997 – 2002 keskimääräinen tehokkuus määritetään käyttämällä viiteteknologiana kyseisen vuoden ja kolmen edellisen vuoden havaintoja. Tähän päädyttiin, jotta luomuhavaintojen määrä saadaan analyysin kannalta riittävän suureksi. Samalla oletetaan, että teknistä kehitystä tapahtuu, jolloin aiempien vuosien teknologia on myös käytettävissä. Vuotta 1997 lukuun ottamatta teknisen tehokkuuden keskiarvo on lähellä yhdistetystä aineistosta määritetyn tehokkuuden tasoa.



Kuva 3. Tavanomaisten (Tav) ja luomutilojen (Luo) tekninen tehokkuus muuttuvien (VRS) skaalatuotosten vallitessa (yhdistetty aineisto; kaksi tuotosta, viisi panosta) vuosina 1995 - 2002.

Kuvassa 4 esitetään kaavan 4 mukaan laskettu alivektoritehokkuus tavanomaisille ja luomutiloille sekä niiden keskiarvo (KesVRS) vuosina 1995 – 2002. Tämän tarkastelun mukaan eri tuotantotapaa käyttävien tilaryhmien välillä ei ole systemaattista eroa.



Kuva 4. Tavanomaisten ja luomutilojen tekninen alivektoritehokkuus muuttuvien (VRS) skaalatuotosten vallitessa (yhdistetty aineisto; kaksi tuotosta, viisi panosta) vuosina 1995 - 2002.

Suhteellisten varjohintojen mukaan biodiversiteetin lisääminen luomutuotannossa on edullisempää kuin tavanomaisessa tuotannossa, koska luomutuotannossa kasvituoton menetys on pienempi kuin tavanomaisessa tuotannossa.

Johtopäätökset

Usein tuotannon tehokkuutta arvioidaan ainoastaan perinteisten tuotosten (mm. viljasato) ja panosten (mm. lannoitteet, työ) perusteella. Tuotannolla on kuitenkin yleensä myös muita vaikutuksia mm. ympäristöön, joiden huomioon ottaminen saattaa vaikuttaa merkittävästi vaihtoehtojen keskinäiseen paremmuuteen. Erityisesti tarkasteltaessa erilaisia tuotantotapoja myös näiden muiden vaikutusten huomioiminen voi olla tärkeää. Vähintäänkin tulisi arvioida, millainen merkitys näillä tavoitteiksi asetetuilla muilla seikoilla on tehokkuuserojen vertailuissa.

Tässä tutkimuksessa ympäristövaikutuksen mittarina käytettiin yksinkertaista kasvidiversiteetti-indeksiä, joka kuvaa maiseman monimuotoisuutta kasvien lukumäärän ja niiden jakauman tasaisuuden mukaan. Tulevissa tutkimuksissa tulee pyrkiä löytämään yksityiskohtaisempia aineistoja ja paremmin tilakohtaiseen tarkasteluun soveltuvia mittareita myös biologisen monimuotoisuuden arviointiin.

Kirjallisuus

- Chambers, R.G., Chung, Y. & Färe, R.** 1998. Profit, directional distance functions and Nerlovian efficiency. *Journal of Optimization Theory and Applications* 98(2): 351–364.
- Coelli, T., Rao, P.D.S. & Battese, G.E.** 1998. An introduction to efficiency and productivity analysis. Kluwer Academic Publishers.
- Färe, R., Grosskopf, S. & Lovell, C.A.K.** 1994. *Production frontiers*. Cambridge University Press.
- Hole, D.G., Perkins, A.J., Wilson, J.D., Alexander, I.H., Grice, P.V. & Evans A.D.** 2005. Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation* 122: 113-130.
- Miettinen, A., Lehtonen, H. & Hietala-Koivu, R.** 2004. On diversity effects of alternative agricultural policy reforms in Finland: an agricultural sector modelling approach. *Agricultural and Food Science* 13: 229-246.
- Oude Lansink, A., Pietola, K. and Bäckman, S.** 2002. Efficiency and productivity of conventional and organic farms in Finland 1994-1997. *European Review of Agricultural Economics* 29(1): 51-65.
- Ricci Maccarini, E. & Zanolì, A.** 2004. Technical efficiency and economic performances of organic and conventional livestock farms in Italy. Paper presented in 91st EAAE on 24.-25.9.2004, Crete, Greece. 28 p
- Shannon, C.E.** 1948. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal* 27: 379-423, 623-656.
- Sipiläinen, T., Oude Lansink, A. & Pietola, K.** 2005. Learning in organic farming – an application on Finnish dairy farms. Paper presented at the XIth Congress of EAAE, Copenhagen, Denmark, August 24-27, 2005.