

# Suomalaisten itsenäisten sahojen tuotannon tehokkuus 2000-luvulla

Anna Hyytiäinen, Jari Viitanen ja Antti Mutanen

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute - sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>  
ISSN 1795-150X

**Toimitus**

PL 18, 01301 Vantaa  
puh. 010 2111  
faksi 010 211 2102  
sähköposti [julkaisutoimitus@metla.fi](mailto:julkaisutoimitus@metla.fi)

**Julkaisija**

Metsäntutkimuslaitos  
PL 18, 01301 Vantaa  
puh. 010 2111  
faksi 010 211 2102  
sähköposti [info@metla.fi](mailto:info@metla.fi)  
<http://www.metla.fi/>

<b>Tekijät</b> Hyytiäinen, Anna, Viitanen, Jari & Mutanen, Antti			
<b>Nimeke</b> Suomalaisten itsenäisten sahojen tuotannon tehokkuus 2000-luvulla			
<b>Vuosi</b> 2010	<b>Sivumäärä</b> 66	<b>ISBN</b> 978-951-40-2246-3 (PDF)	<b>ISSN</b> 1795-150X
<b>Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet</b> Itä-Suomen alueyksikkö / Erillishankkeet – Metsiin perustuvat elinkeinot; Metsien yhteiskunnallinen merkitys / 3520 Metsäsektorin suhdannekatsaus; 3424 Kansainvälistymisen vaikutus Suomen puumarkkinoihin ja sahateollisuuden liiketoimintaan			
<b>Hyväksynyt</b> Yrjö Sevola, erikoistutkija, 11.8.2010			
<b>Tiivistelmä</b> Tutkimuksessa selvitetään suomalaisten itsenäisten sahojen tuotannon teknistä tehokkuutta stokastisen tuotantorintama-analyysin avulla. Paneeliaineisto, joka kerättiin kyselytutkimuksella, koostuu yhdeksän itsenäisen sahan tuotanto- ja tuotannontekijätiedoista vuosilta 2000–2007. Tuotannon mittarina käytetään tuotetun sahatavaran kuutiomäärää vuodessa. Tuotantopanoksina ovat käytetty raakapuumäärä, henkilöstön määrä, ostettu sähkö ja tuotantokapasiteetti vuositasolla.  Tulosten perusteella yli puolet sahoista toimi tuotantoteknisesti yli 80-prosenttisen tehokkaasti, mutta tehokkuudessa oli suuria yrityskohtaisia eroja. Tarkasteluajanjakson aikana 2000–2007 ei ole tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta tuotannon tehokkuudessa. Aineiston pienuuden vuoksi tehokkuuserojen syitä ei pystytty selvittämään.			
<b>Asiasanat</b> tuotantotehokkuus, itsenäiset sahat			
<b>Julkaisun verkko-osoite</b> <a href="http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp167.htm">http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2010/mwp167.htm</a>			
<b>Tämä julkaisu korvaa julkaisun</b>			
<b>Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla</b>			
<b>Yhteydenotot</b> Jari Viitanen, Metsäntutkimuslaitos, Itä-Suomen alueyksikkö, Yliopistokatu 6, 80101 Joensuu. Sähköposti: <a href="mailto:jari.viitanen@metla.fi">jari.viitanen@metla.fi</a>			
<b>Muita tietoja</b>			

## Sisällys

<b>1 Johdanto .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Suomen sahateollisuuden toimintaympäristö.....</b>	<b>8</b>
2.1 Suomen sahateollisuuden tuotanto 2000-luvulla .....	8
2.2 Itsenäisten sahojen merkitys Suomen sahateollisuudessa.....	9
2.3 Suomen sahateollisuuden kilpailukyky .....	12
2.3.1 Sahateollisuuden kilpailuympäristön muutokset.....	12
2.3.2 Sahateollisuuden kustannusrakenne .....	13
2.3.3 Suomen sahateollisuuden hintakilpailukyky ja tuotannon tehokkuus .....	15
<b>3 Metsäsektorin tuotannon tehokkuuden mittaus.....</b>	<b>16</b>
3.1 Kansainvälinen metsäalan tehokkuuden tutkimus .....	16
3.2 Sahateollisuuden tehokkuuden tutkimus .....	18
<b>4 Teoreettinen viitekehys .....</b>	<b>19</b>
4.1 Uusklassisen talousteorian lähtökohdat .....	19
4.2 Tehokkuuden määrittely .....	21
4.3 Tehokkuuden mittaamisen menetelmät .....	23
4.4 Tuotantorintamafunktioanalyysi .....	25
4.4.1 Deterministinen tuotantorintamafunktio.....	25
4.4.2 Stokastinen tuotantorintamafunktio.....	27
4.4.3 Tuotantorintamamallien sovelluksia .....	30
<b>5 Aineisto .....</b>	<b>32</b>
5.1 Tutkimuksen toteutus.....	32
5.2 Sahojen tuotannontekijät .....	32
5.3 Tekniseen tehokkuuteen vaikuttavat tekijät.....	33
5.4 Tutkimukseen valikoituneet sahat .....	33
5.5 Aineiston sahojen ja muuttujien luonnehdinta.....	34
<b>6 Tutkimusmenetelmät .....</b>	<b>36</b>
6.1 Aineiston alustavat analyysit .....	36
6.2 Sahojen stokastisen tuotantorintamafunktiomallin estimointi .....	37
6.3 Sahojen tehottomuutta selittävän mallin estimointi .....	38
6.4 Tutkimuksen mallien vertailu ja tehottomuuskomponentin testaus.....	40
<b>7 Tulokset ja tulosten tarkastelu.....</b>	<b>42</b>
7.1 Aineiston kuvaus .....	42
7.2 Sahojen stokastinen tuotantorintamafunktio.....	44
7.3 Sahojen tehokkuutta selittävä malli .....	48
7.4 Sahojen tehokkuusestimoinnin tarkastelua .....	48
7.4.1 Tuotannontekijöiden painoarvo malleissa .....	48
7.4.2 Tuotantofunktion tehottomuuskomponentti .....	49
7.4.3 Aineiston sahojen välisen heterogeenisuuden huomioiminen .....	50
7.4.4 Funktiomuodon vaikutukset estimointituloksiin .....	51
7.4.5 Menetelmän soveltuvuus sahateollisuuden tarkasteluun .....	51
7.4.6 Vertailua aikaisempiin tutkimuksiin.....	52

<b>8 Johtopäätökset.....</b>	<b>52</b>
<b>Lähteet .....</b>	<b>54</b>
<b>Liite 1: Kyselylomake.....</b>	<b>59</b>
<b>Liite 2: Kuvaus muuttujista .....</b>	<b>63</b>
<b>Liite 3: Uskottavuusfunktio .....</b>	<b>64</b>
<b>Liite 4: Aineiston muuttujien jakaumat .....</b>	<b>65</b>
<b>Liite 5: Regressioanalyysin tulokset .....</b>	<b>66</b>

## 1 Johdanto<sup>1</sup>

Suomalaisen sahateollisuuden toimintaympäristössä on 1990-luvun alun jälkeen tapahtunut merkittäviä muutoksia. Kansainvälisen kilpailun kiristyminen ja kotimaan puumarkkinoiden institutionaaliset muutokset ovat asettaneet sahateollisuudelle uusia haasteita. Puuraaka-ainekustannukset kasvoivat 2000-luvun alkupuolella suhteellisesti enemmän kuin sahatavaran markkinahinnat. Sahateollisuuden huippuvuosina 2006 ja 2007 sahatavaran hintojen kohotessa raaka-aineen saatavuudessa ilmeni ongelmia. Viimeaikainen heikentynyt talouskehitys ja sahatavaran kysynnän väheneminen sekä koti- että vientimarkkinoilla ovat johtaneet merkittäviin tuotannon leikkauksiin. Suomen sahateollisuudessa raaka-ainekustannukset muodostavat yli puolet kokonaiskustannuksista, työvoimakustannukset ovat korkeat ja maan sijainti suhteessa päämarkkina-alueisiin kaukainen. Suomen sahateollisuus joutuu siten toimimaan erittäin vaativassa kansainvälisessä kilpailuympäristössä.

Sahateollisuuden kilpailukyvyyn ja markkinoilla menestymisen tärkeä osatekijä on toimialan tuottavuus ja sen kasvu. Tuottavuudella tarkoitetaan tuotoksen määrän ja laadun suhdetta käytettyihin tuotantopanoksiin. Tuotannon tehokkuus on keskeinen osa tuottavuuskäsitettä: mikäli tuotosta pystytään lisäämään ilman uuden teknologian käyttöönottoa tai tuotantopanosten käytön kasvattamista, tuotanto on tehotonta. Tällöin käytössä olevan tuotantoteknologian potentiaalia ei hyödynnetä täysimääräisesti. Tuottavuus ja tuottavuuden osa-alue, tuotannon tehokkuus, ovat menestyksen mittareita, joilla sahateollisuuden suoriutumista voidaan arvioida.

Sahateollisuuden tuotannon tehokkuutta ja taloudellista suoriutumista voidaan tutkia monilla eri tavoin. Teknistä muutosta, tuottavuuden kasvua ja toimialan teknistä rakennetta voidaan tarkastella tuotanto- tai kustannusfunktio lähestymistavoilla (esim. Smith ja Munn 1998, Lundmark ja Söderholm 2004), jolloin taustaoletuksena on tehokas tuotanto. Mikäli tuotannossa sallitaan tehottomuus, käytetyimpiä tutkimusmenetelmiä ovat stokastinen tuotantorintama-analyysi eli SFA-menetelmä (*Stochastic Frontier Analysis*) sekä DEA-menetelmä (*Data Envelopment Analysis*). Näiden kahden tarkastelutavan keskeisin ero on empiirisessä analyysimenetelmässä; ensimmäinen tukeutuu tehokkaan tuotantofunktion ekonometriseen estimointiin, kun taas jälkimmäinen perustuu matemaattiseen optimointiin, jossa tuotantofunktiolla ei ole ennalta määrättyä muotoa. Muita lähtökohtia tuotannon tehokkuuden ja taloudellisen suoriutumisen tarkastelussa ovat esimerkiksi markkinoinnin ja liikkeenjohdon tutkimiseen perustuvat lähestymistavat ja taloudellisten tunnuslukujen tarkastelu (Hansen ym. 2002, Niemelä ja Smith 1997).

---

<sup>1</sup> Tekijät kiittävät Katja Lähtistä kommentteista sekä avusta tutkimusaineiston keräämisessä. Yrjö

Suomessa sahateollisuuden omistusrakenne on kaksijakoinen. Pääosa sahateollisuuden tuotantokapasiteetista koostuu toisaalta suurista monikansallisista metsäteollisuuskonserneihin kuuluvista integraattisahoista ja toisaalta itsenäisistä, suurin metsäteollisuusyhtiöihin kuulumattomista sahoista. Sahateollisuudessa syntyy sivutuotteena sahaketta, joka on massa- ja paperiteollisuuden tärkeä raaka-aine. Suurten metsäteollisuuskonsernien sahateollisuuden voidaan olettaa palvelevan ensisijaisesti koko konsernin tavoitteita, jotka puolestaan voivat erota merkittävästi itsenäisten sahojen tavoitteista. Koska itsenäiset sahat ovat keskimäärin suuriin metsäteollisuuskonserneihin kuuluvia sahoja pienempiä, myös niiden kohtaama toimintaympäristö ja toimintatavat ovat luultavasti erilaisia.

Suomalaisten itsenäisten sahojen taloudellista suoriutumista ja strategiavalintoja ovat tarkastelleet 2000-luvulla Lähtinen ja Toppinen (2008) sekä Lähtinen ym. (2008, 2009). Kansainvälisesti sahateollisuuden tuotannon tehokkuutta on tutkittu muun muassa Norjassa (Nyrud ja Baardsen 2003) ja Yhdysvalloissa (Helvoigt ja Grosskopf 2005, Helvoigt ja Adams 2008, 2009). Sen sijaan suomalaisten sahojen tuotannon tehokkuutta ei ole analysoitu toimialatasolla saati yritystasolla, mihin syynä lienee ollut aineistojen heikko saatavuus.

Tässä tutkimuksessa arvioidaan suomalaisten itsenäisten ja keskisuurten sahojen tuotannon teknistä tehokkuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksen lähtökohtana on, että tuotanto on harvoin – jos koskaan – täysin tehokasta. Tutkimuksessa selvitetään erityisesti, toimivatko suomalaiset itsenäiset sahat tehokkaasti suhteessa tuotantomahdollisuuksiinsa. Lisäksi tutkitaan, onko sahojen tuotannon tehokkuudessa havaittavissa merkittäviä eroja yritysten välillä ja jos on, mitkä tekijät selittävät mahdollisesti näitä eroja. Tutkimusmenetelmänä käytetään stokastista tuotantorintama-analyysiä (SFA), jolla verrataan sahojen tosiasiallisia tuotantosuorituksia empiirisestä aineistosta estimoituun sahateollisuuden tehokkaaseen tuotantorintamaan eli tuotantotekniseen maksimiin. Tehtävät tilastolliset analyysit tuottavat yrityskohtaiset tehokkuusmitat (prosentuaalinen tuotannon lisäämisen mahdollisuus tehokkuutta lisäämällä) sekä keskimääräisen tehokkuusmitan sahateollisuudelle toimialana. Itsenäisiltä keskisuurilta ja suurilta sahoilta kerätyllä kysely- ja haastatteluaineistolla pyritään lisäksi mallintamaan havaitun teknisen tehottomuuden syitä käyttäen yritysten toimintatapoja ja strategiavalintoja kuvaavia muuttujia, kuten resurssienkäyttöstrategioita.

Tutkimus etenee siten, että toisessa luvussa luodaan katsaus Suomen sahateollisuuteen ja sen ominaispiirteisiin sekä saadaan käsitys siitä, millaisessa kilpailuympäristössä Suomen itsenäiset sahat toimivat. Luvussa kolme esitellään kansainvälistä metsäsektorin tehokkuustutkimusta

painottaen sahateollisuuden tehokkuustutkimusta. Tutkimuksen teoreettinen viitekehys sekä tehokkuuden mittaamisen käsitteistö ja menetelmät kuvataan yksityiskohtaisesti luvussa neljä. Viidennessä luvussa selostetaan, miten tutkimus toteutettiin, mitä asioita kyselytutkimuksessa tiedusteltiin ja miten aineisto kerättiin. Kuudes luku esittelee estimoinnissa sovelletut ekonometriset mallit ja käsittelee tutkimuksen kannalta keskeisimmät menetelmät. Tutkimuksen tulokset ja niiden tulkinta raportoidaan luvussa seitsemän. Luvussa kahdeksan pohditaan tulosten merkittävyyttä ja muodostetaan johtopäätelmät.

Tutkimuksessa on pyritty käyttämään systemaattisesti tehokkuustutkimuksen käsitteistöä. Termistö ei kuitenkaan ole suomen kielessä täysin vakiintunut, joten joissakin tapauksissa on kirjoitettu selvennykseksi sulkuihin vastaava englanninkielinen termi. On myös hyvä muistaa, että tehokkuus ja tehottomuus ovat saman asian kääntöpuolia. Tehottomasti toimiva yritys ei siis toimi tehokkaasti.

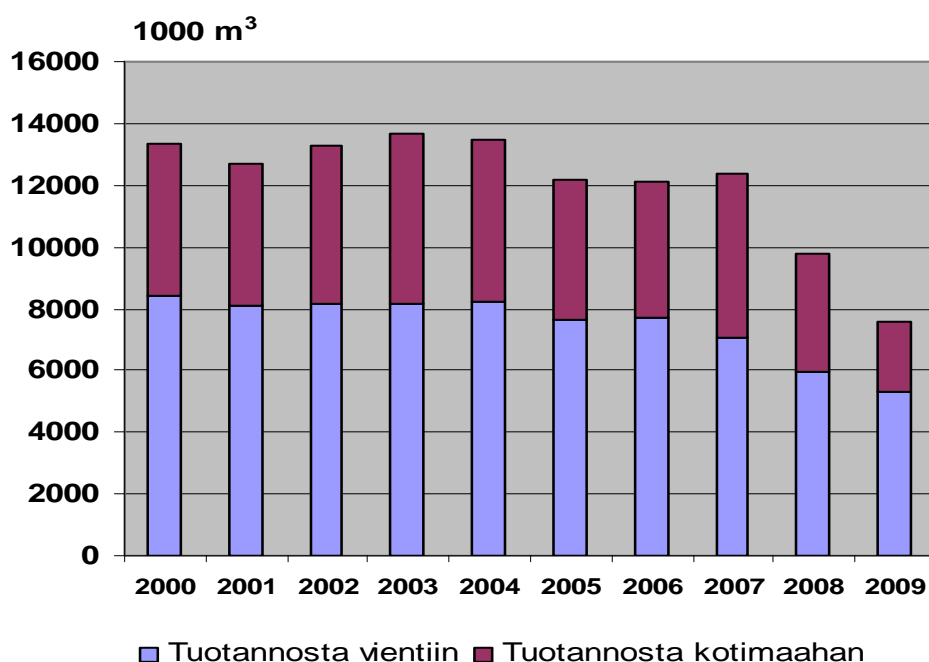
## **2 Suomen sahateollisuuden toimintaympäristö**

### **2.1 Suomen sahateollisuuden tuotanto 2000-luvulla**

Eurooppa ja Pohjois-Amerikka ovat maailman suurimmat havusahatavaran tuotantoalueet. Vuonna 2008 maailmassa tuotettiin 288 miljoonaa kuutiometriä sahatavaraa, josta Euroopan osuus oli 43 prosenttia ja Pohjois-Amerikan 31 prosenttia. Samana vuonna Suomi tuotti 9,8 miljoonaa kuutiometriä sahatavaraa, joka oli noin 10 prosenttia Euroopan unionin kokonaistuotannosta. Vuonna 2008 Suomi oli maailman kymmenenneksi suurin havusahatavaran tuottajamaa. (FAOSTAT 2009)

Suomen havusahatavaran tuotanto on vaihdellut 2000-luvulla 7,6 ja 13,6 miljoonan kuutiometrin välillä (kuva 1). Vuosina 2008 ja 2009 maailmanlaajuisen talouskriisin myötä sahatavaran tuotanto on pienentynyt merkittävästi, ja vuonna 2009 Suomen tuotanto supistui 7,6 miljoonaan kuutiometriin. Mäntysahatavaraa tuotettiin 4,3 miljoonaa kuutiometriä ja kuusisahatavaraa noin miljoona kuutiometriä vähemmän. Vaikka tuotanto lähivuosina luultavasti elpyy kysynnän parantuessa, keskipitkällä aikavälillä tuotanto jäänee kuitenkin pysyvästi alle 2000-luvun alkuvuosien tason.





**Kuva 1.** Suomen sahateollisuuden tuotanto ja vienti 2000-luvulla (1000 m<sup>3</sup>). Lähde: Metla ja Tullihallitus.

Suomen sahateollisuus on vientisuuntautunutta ja sen tuotannosta yli puolet on mennyt 2000-luvulla vientiin. Suomi olikin 2000-luvun alussa maailman kolmanneksi suurin sahatavaran viejämaa, tosin vientimäärien käännyttyä laskuun sijoitus tippui vuoteen 2008 mennessä kuudenneksi (FAOSTAT 2009). Suomen sahatavaran viennin päämarkkina-alue on Länsi-Eurooppa, jonne on suuntautunut noin puolet viennistä. Viennin kasvu on kuitenkin painottunut viime vuosina voimakkaasti Euroopan ulkopuolelle. Euroopassa tärkein kauppakumppani on ollut Iso-Britannia, jonne suuntautui 14 prosenttia vuoden 2009 sahatavaran viennistä. Japaniin vietiin noin kymmenesosa ja muihin Euroopan ulkopuolisiin maihin runsas kolmasosa sahatavaran kokonaisviennistä. Erityisesti Pohjois-Afrikan maiden osuus sahatavaran viennistä on viime aikoina kasvanut merkittävästi ja Egypti on ollut hetkellisesti tärkein viennin yksittäinen kohdema. Vuonna 2009 Egyptin osuus oli 17 prosenttia sahatavaran kokonaisviennistä.

## 2.2 Itsenäisten sahojen merkitys Suomen sahateollisuudessa

Sahat ovat sijoittuneet maantieteellisesti eri puolille Suomea pääasiallisesti kuitenkin etelärannikolta Lapin läänin eteläosiin ulottuvalle alueelle (Metsäteollisuus ry 2008a ja Suomen sahat ry 2009). Toimipaikkojen ja henkilöstön lukumäärällä mitattuna sahateollisuus on keskittynyt Kaakkois-Suomeen, Pirkanmaalle, Pohjois-Pohjanmaalle sekä Hämeeseen (Aravuo

2007). Sahojen suora ja välillinen työllistävä vaikutus on alueellisesti merkittävä. Lisäksi metsänomistajat saavat valtaosan vuotuisista kantorahatuloista tukkipuusta, joka on sahojen pääasiallinen raaka-aine.

Suomen sahateollisuuden rakenne on monitahoinen. Tuotannollisesti merkittävin sahateollisuus koostuu monikansallisista pörssiyrityksiin kuuluvista integraattisahoista ja itsenäisistä, suuriin metsäteollisuusyrityksiin kuulumattomista sahoista. Itsenäisten sahojen pääasiallinen tuote on sahatavara, kun taas suurten kansainvälisten metsäteollisuusyritysten sahatavaran tuotanto saattaa olla alisteista massan tuotannossa tarvittavalle hakkeelle (Kallio 2001). Integroidun sahateollisuuden toimijoiden päätäntävalta saattaa olla rajoitettua, jolloin sahaustoiminta perustuu pääasiallisesti massateollisuuden kuituraaka-aineen saantiin ja kustannusten minimointiin (Suomen puutuoteteollisuus 2020... 2007). Siten suurten metsäteollisuuskonsernien puunhankinnan ensisijainen tavoite ei välttämättä ole raaka-aineen hankinta sahateollisuuden käyttöön. Itsenäiset sahat puolestaan pyrkivät hankkimaan hyvälaatuista puuraaka-ainetta ensisijaisesti sahatavaran tuotantoon, vaikka myisivätkin hankkimaansa raakapuuta ja sahausken sivutuotteita eteenpäin massa- ja paperiteollisuudelle. Epätäydellisen kilpailun kuitupuumarkkinoiden on todettu vaikuttavan siihen, että integraattisahat kasvavat suuremmiksi kuin itsenäiset sahayritykset (Kallio 2001). Tukkipuumarkkinoilla ostajapuoli on kuitenkin vähemmän keskittynyt kuin kuitupuumarkkinoilla, ja itsenäisillä sahoilla on raakapuumarkkinoiden kilpailun lisäämisessä alueellisesti merkittävä rooli. Näin ollen itsenäisten sahojen toimintaa voivat ohjata erilaiset tavoitteet kuin suurten konsernien teollisuussahojen toimintaa ja ne saattavat myös kohdata erilaisen toimintaympäristön.

Itsenäisen sahateollisuuden osuus Suomen sahatavaran viennistä ja tuotannosta on merkittävä. Lisäksi 2000-luvulla suurten metsäteollisuuskonsernien tuotannon osuus Suomen sahateollisuuden kokonaistuotannosta on pienentynyt, kun taas itsenäisten sahojen keskimääräiset tuotantomäärät ovat nousseet ja itsenäisten sahojen merkitys on kasvanut. Vuonna 2000 Suomen sahatavaran kokonaistuotanto oli 13,3 miljoonaa kuutiometriä, josta suurten metsäteollisuuskonsernien<sup>2</sup> osuus oli 7,3 miljoonaa kuutiometriä eli 54 prosenttia kokonaistuotannosta (Metsäteollisuus ry 2001, Metsätalastollinen vuosikirja 2001). Käänteisesti suurten metsäteollisuuskonsernien ulkopuolella toimivien sahojen osuus sahatavaran kokonaistuotannosta oli 46 prosenttia. Vuonna 2007 suurten metsäteollisuuskonsernien sahojen osuus oli arviolta enää vain reilut 40 prosenttia Suomen sahatavaran 12,4 miljoonan kuutiometrin tuotannosta (UPM-Timber Oy, Stora Enso Timber Oy Ltd, Finncor, Vapo Timber Oy vuosikertomukset ja internet-sivut) ja muiden sahojen vajaa 60 prosenttia.

---

<sup>2</sup> UPM-Timber Oy, Stora Enso Timber Oy Ltd, Finncor ja Vapo Timber Oy.

Kokonaisuudessaan sahaiteollisuuden<sup>3</sup> yritysten, toimipaikkojen ja henkilöstön lukumäärä on laskenut 2000-luvulla. Henkilöstön määrä toimialalla on pienentynyt yli neljänneksen ja yritysten määrä laski noin viidenneksen (taulukko 1). Tuotantomäärät eivät kuitenkaan ole vähentyneet samaan tahtiin, joten keskimäärin sahojen tuotanto on kasvanut. Kuitenkin työntekijämäärällä mitattuna muutokset kokoluokasta toiseen ovat olleet vähäisiä. Vuonna 2005 toimialan työpaikoista 59 prosenttia oli yli 50 henkeä, 26 prosenttia 10–49 ihmistä työllistävissä toimipaikoissa ja 15 prosenttia alle 10 henkeä työllistävissä toimipaikoissa (Aravuo 2007). Toimialan kokonaisliikevaihdosta merkittävin osa, 70 prosenttia, muodostui yli 50 henkilöä työllistävillä sahoilla ja 23 prosenttia 10–49 henkilöä työllistävissä yrityksissä (Aravuo 2007).

**Taulukko 1.** Toimialan 201 (sahaus, höyläys, ja kyllästys) yritysten määrän kehitys. Lähde: Tilastokeskus.

Vuosi	Yrityksiä	Toimipaikat	Palkattu henkilöstö	Liikevaihto 1000 €
2000	1242	1294	9 794	3 006 016
2001	1175	1229	9 016	2 814 245
2002	1159	1220	8 835	2 901 354
2003	1129	1178	8 585	3 025 093
2004	1099	1151	8 296	3 016 596
2005	1076	1130	7 793	2 908 359
2006	1025	1076	7 581	3 149 746
2007	1030	1094	7 809	3 538 108
2008	990	1033	7 242	2 736 070
Muutosprosentti 2000–2008	-20,29	-20,17	-26,06	-8,98

Teollisuussahojen, joiden puunkäyttö on yli 10 000 kuutiometriä, määrä on lisääntynyt 2000-luvulla. Vuonna 1998 Suomessa toimi kaikkiaan 2 239 sahalaitosta. Tuolloin teollisuussahojen määrä oli vain 151 (Suomen piensahat 1998). Vuonna 2000 teollisuussahojen määrä oli laskenut 128:aan. (Metsätilastollinen vuosikirja 2001). Vuoteen 2008 mennessä teollisuussahojen määrä oli noussut jälleen arviolta 170:een. Piensahoja on ollut lukumäärällisesti eniten 2000-luvulle asti, mutta niiden osuus vuotuisesta sahaiteollisuuden puun käytöstä on ollut alle 10 prosenttia (Metsätilastollinen vuosikirja 2009).

<sup>3</sup> Toimialaluokituksen (TOL 2002) toimiala 201: sahaus, höyläys, ja kyllästys.

## 2.3 Suomen sahateollisuuden kilpailukyky

### 2.3.1 Sahateollisuuden kilpailuympäristön muutokset

Sahateollisuus on suhdanneherkkä toimiala ja suhdannekäänteet tapahtuvat usein nopeasti (Hänninen ja Viitanen 2007). Sahateollisuuden tuotteet ovat muiden teollisuuden alojen raaka-ainetta ja välituotteita. Puutuotteet ja sahateollisuus eivät kilpaile ainoastaan oman teollisuudenalansa tuotteiden kanssa, vaan rakennusraaka-aineena puu on esimerkiksi teräksen ja betonin rinnalla vain yksi vaihtoehtoista (Aravuo 2007). Sahatavaran käyttö asukasta kohden onkin laskenut maailmanlaajuisesti 1960-luvulta 2000-luvulle (FAOSTAT 2009). Sahatavaran näennäiskulutus<sup>4</sup> on ollut 2000-luvulla maailmassa keskimäärin 0,08 m<sup>3</sup> henkeä kohden vuodessa (FAOSTAT 2009). Suomessa on maailman korkein sahatavaran kulutus henkeä kohden ja maailmanlaajuisesta kehityssuunnasta poiketen Suomessa sahatavaran kotimainen kulutus<sup>5</sup> nousi 2000-luvulla korkeaksi, 1,06 m<sup>3</sup>:iin henkeä kohden vuodessa pitkäaikaisesta noin 0,5–0,6 m<sup>3</sup> vuosikulutuksesta (Metsätilastollinen vuosikirja 2009). Tosin vuonna 2008 kulutus supistui 0,88 m<sup>3</sup>:iin henkeä kohden (Metsätilastollinen vuosikirja 2009). Koska sahatavaran tärkeimpiä käyttökohteita ovat rakentamisen eri osa-alueet ja rakennuspuusepänteollisuus, vaikuttavat sahatavaran ja sen jatkojalosteiden kysyntään erityisesti asuntojen uudis- ja korjausrakentamisen kehityssuunnat.

Sahateollisuuden kilpailuympäristössä on 1990-luvulta alkaen tapahtunut globalisaation ja kehittyvien talouksien lisääntyneen kilpailun myötä suuria muutoksia. Venäjä on kasvattanut vientiansa Eurooppaan ja myös EU:n itälaajeneminen on tuonut markkinoille kilpailevaa tuotantoa uusista jäsenmaista. Euroopan sahatavaramarkkinoille on 2000-luvun alkupuoliskolla ollut tunnusomaista sahatavaran ylitarjonta, mikä on näkynyt myös Suomen sahatavaran viennissä. Myös sahatavaran kulutuksen kasvu Länsi-Euroopassa ja Japanissa on ollut maltillista. Suomessa ja muualla Euroopassa sahateollisuuden perustuotteiden reaalihintataso onkin laskenut pitkällä aikavälillä.

Suomalainen sahateollisuus on viime vuosina menettänyt markkina-asemaansa tuotannon kasvaessa muissa maissa. Suomalaisten sahayritysten kanssa kilpailevat ensisijaisesti muut havumetsävyöhykkeen sahatavarantuottajat – erityisesti alhaisten kustannusten itäisen Euroopan maat sekä Venäjä. On muun muassa arvioitu, että raakapuun viennille asettettujen tullien takia raakapuun vienti Venäjältä vähenee ja näin ollen venäläiset sahat hyötyvät edullisen raaka-

---

<sup>4</sup> Näennäiskulutuksella tarkoitetaan tietyssä maassa tuotettua sahatavaran määrää, josta on vähennetty vientiin mennyt sahatavara ja lisätty ulkomailta tuotu sahatavara.

<sup>5</sup> Näennäiskulutuksesta poiketen Suomen kotimaisessa kulutuksessa on huomioitu myös havusahatavaran varaston muutokset.

aineen tuomasta kilpailuedusta. Venäjän viennin kannalta suotuisa valuuttakurssikehitys voi myös vauhdittaa Venäjän sahateollisuuden kehitystä (Hänninen ym. 2007). Myös Ruotsin kilpailuasema vahvistui vuonna 2009 muun muassa edullisen valuuttakurssikehityksen seurauksena (Metsäsektorin suhdannekatsaus 2009–2010). Toisaalta Suomen metsäteollisuudessa eletään rakennemuutoksen aikaa kuitupuuta käyttävän teollisuuden supistuessa ja siirtyessä edullisimpien raaka-aineiden lähelle, mikä osaltaan vaikuttaa Suomen raakapuumarkkinoihin ja sitä kautta myös sahateollisuuden toimintaympäristöön.

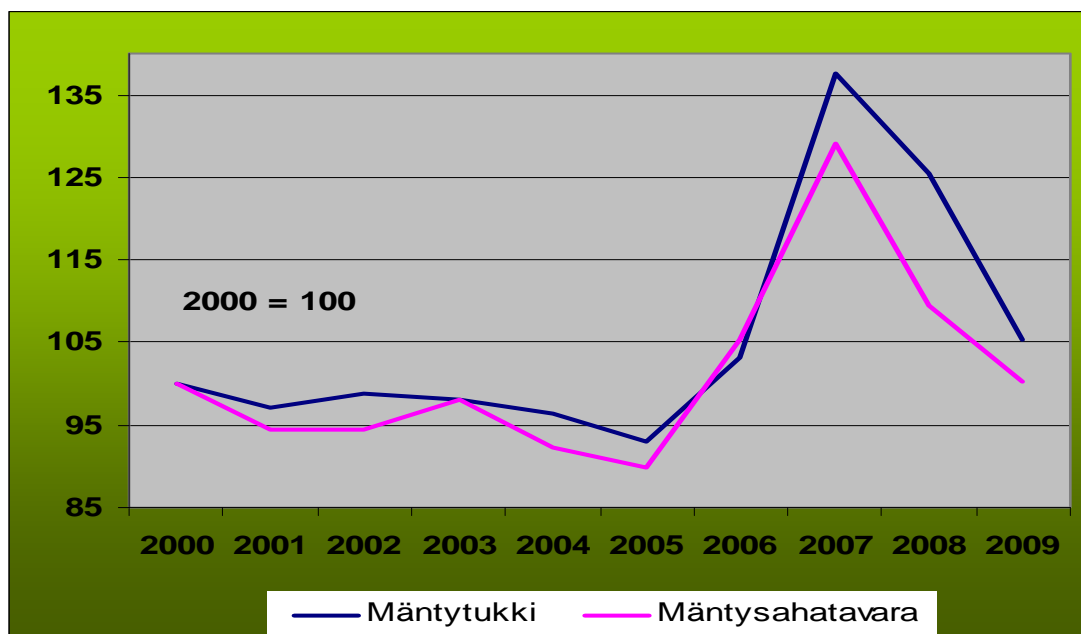
2000-luvun ensimmäisen vuosikymmenen viimeisten vuosien talousnäkömät ovat olleet heikkoja ja luottamus talouteen on ollut koetuksella. Vuonna 2008 Suomen sahateollisuuden tuotanto oli viidenneksen edeltävää vuotta alhaisempi ja sahatavaran vientihinnat laskivat huomattavasti maailmanlaajuisen taantumien seurauksena. Vuonna 2009 sahatavaran tuotanto tippui 1990-luvun alun tasolle. Erityisesti rakennusteollisuudessa uusien investointien määrä on vähentynyt huomattavasti. Jo vuoden 2007 lopulla vienti Länsi-Eurooppaan hiipui juuri rakentamisen vähenemisen seurauksena, jolloin sahatavarasta oli ylitarjontaa ja sahatavaran hinnat laskivat. Myös kotimaassa sahateollisuudelle merkittävä omakotirakentaminen ja loma-asuntojen rakentaminen on vähentynyt viime aikoina merkittävästi. Suuret metsäteollisuuskonsernit (UPM-Kymmene, Metsäliitto ja Stora Enso) ovat parin viime vuoden aikana ilmoittaneet tuotantorajoituksista ja kapasiteetin sulkemisista sahateollisuudessa. Myös itsenäiset sahat ovat rajoittaneet tuotantoaan.

### **2.3.2 Sahateollisuuden kustannusrakenne**

Vaikean markkinatilanteen vuoksi sahateollisuuden kilpailukyky ja keinot sen ylläpitämiseksi ovat olleet viime aikoina näkyvästi esillä. Ensisijaisesti sahateollisuuden kilpailukykyyn vaikuttavat raaka-aineeseen liittyvät tekijät kuten laatu ja hinta. Sahateollisuuden haasteena ovat myös pitkät kuljetusmatkat päämarkkina-alueille. Myös asiakasrakenteen muutokset, sahatuotteita ostavien ja jakelevien yritysten keskittyminen sekä kuluttajakunnan pirstoutuminen, väestön ikääntyminen ja kaupungistuminen asettavat uusia vaatimuksia sahateollisuudelle (Hänninen ym. 2007).

Sahateollisuuden raaka-ainekustannusten suuri osuus kokonaiskustannuksista ja lopputuotteen arvosta on ollut suurin yksittäinen kilpailukykyyn vaikuttava tekijä. Kilpailu on sahatavaramarkkinoilla kovaa, eivätkä yksittäiset sahatavaran tuottajat pysty juurikaan vaikuttamaan tuotteiden markkinahintoihin esimerkiksi tuotantoa rajoittamalla. Kustannustason kurissapidon merkitystä on korostettu suomalaisen metsäteollisuuden kilpailukykyvyyden tärkeänä tekijänä (Metsäteollisuuden ajankohtaiskatsaus 2008). Suomessa mäntysahatavaran

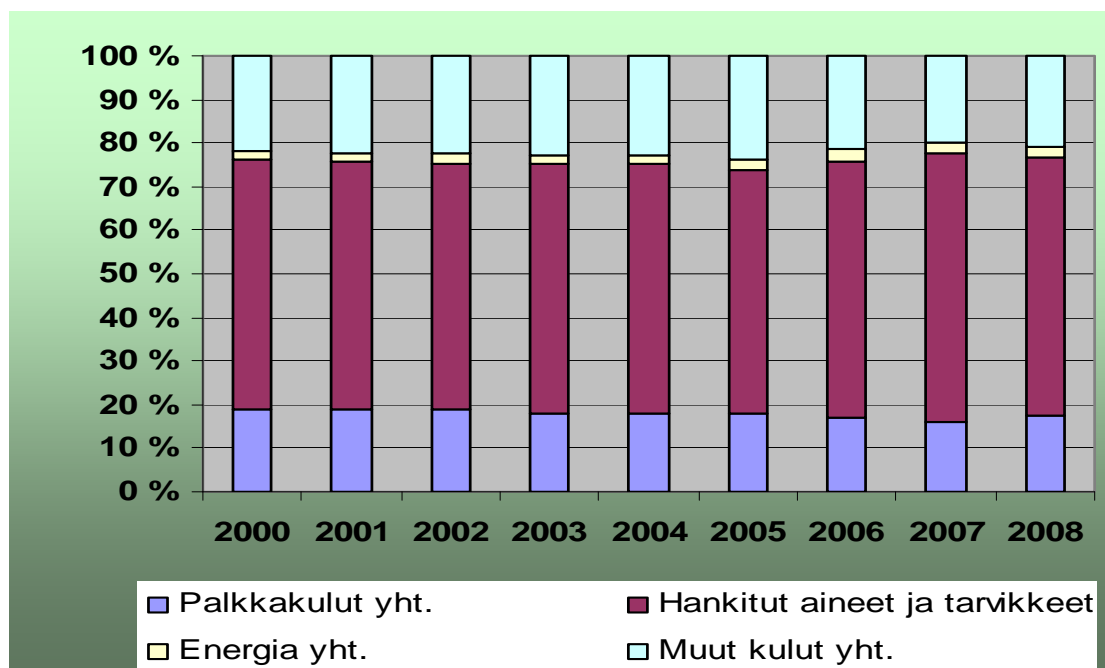
vientihintojen nousu on ollut selvästi hitaampaa kuin mäntytukkien kantohintojen kehitys, mikä on vaikuttanut kannattavuuteen merkittävästi raaka-aineintensiivisellä toimialalla (kuva 2).



**Kuva 2.** Mäntytukin ja sahatavaran hintaindeksin kehitys. Lähde: Metla.

Sahateollisuuden raakapuun käytöstä keskimäärin noin 10 prosenttia on ollut 2000-luvulla tuontipuuta (Metsätalastollinen vuosikirja 2009). Tärkein raakapuun tuontimaa on ollut Venäjä. Arvioiden mukaan Venäjän asettamien raakapuutullien täysimääräisen voimaantulon aiheuttama tuontipuun määrän väheneminen voi johtaa myös kotimaan hakkuiden, kantohintojen ja kantorahatulojen nousuun, mikäli Venäjän tuontipuuta ei voida korvata muualta tuodulla puulla (Honkatukia ym. 2008). On tosin huomioitava, että talouskehityksen, vähentyneiden tuotantomäärien ja metsäteollisuuden rakennekehityksen vuoksi raaka-ainetarve Venäjältä ei näyttäisi olevan niin merkittävä kuin ennen.

Kuvassa 3 on esitetty suurimmat sahatteollisuuden kuluerät. Suomen sahatteollisuuden yksittäisistä kulueristä suurin on aineskulut, jotka ovat vuosittaisista kuluista keskimäärin 60 prosenttia. Aineskuluista taas suurin osa muodostuu puuraaka-aineesta, joka on suurin yksittäinen kuluerä. Toiseksi merkittävin kuluerä Suomen sahatteollisuudessa ovat palkkakulut, jotka ovat olleet 2000-luvulla keskimäärin lähes 20 prosenttia kokonaiskuluista. Energiakulut ovat keskimäärin kahden prosentin luokkaa. Muut kulut muodostavat noin 20 prosenttia kokonaiskuluista. Muista kuluista suurimmat ovat kuljetus- ja varastointikulut, keskimäärin 10 prosenttia kokonaiskuluista. Muut kulut -jaotteluun kuuluvat esimerkiksi teetetyt korjaus-, kunnossapito- ja asennustyöt, vuokratulot ja markkinointikulut.



Kuva 3. Sahateollisuuden kulurakenne 2000-luvulla. Lähde: Tilastokeskus.

### 2.3.3 Suomen sahatteollisuuden hintakilpailukyky ja tuotannon tehokkuus

Suomen sahatteollisuuden kilpailuedun todetaan usein perustuvan raaka-aineen hyvään laatuun, osaamiseen sekä tehokkaaseen tuotantoon. Tuotantokustannusten nousua on Suomen metsäteollisuudessa perinteisesti korvattu tuottavuuden kasvulla. Tuotannon tehokkuuden lisäämisen mahdollisuuksien on kuitenkin todettu olevan rajallisia ja on arvioitu, ettei kansainvälisen kilpailukykyyn ylläpitäminen Suomessa onnistu enää yksikkökustannuksia alentamalla. Muuan muassa Hänninen ym. (2007) ovat arvioineet sahatavaran tuotannon asettuvan 2000-luvun alun keskimääräistä tasoa alemmaksi vuoteen 2015 mennessä.

Tehokkaan tuotannon kehittämisen kannalta ongelmallista Suomessa on sahatteollisuuden huono kannattavuus, joka heikentää tulo-rahoitusta ja mahdollisuuksia uusiin investointeihin. Samanaikaisesti Suomen sahatteollisuuden tulisi voida voittaa kilpailijansa tehokkuudessa ja tuottavuudessa ja näin kompensoida korkeampia kustannuksiaan (Aravuo 2007). Suomessa sahatteollisuuden etujärjestöt ovat esittäneet kevennyksiä teollisuuden energiaverotukseen, joka on muissa Euroopan maissa - kuten Ruotsissa - huomattavasti Suomea kevyempää. Suomen sahatteollisuuden rooli energian hajatuottajana on myös tuotu esille yhtenä kannattavuuden parantamisen mahdollisuutena. Suomen sahatteollisuuden kilpailijamaissa onkin otettu käyttöön sähköntuotantoon investoiville sahoille takuuhintamenettely.

Kilpailukyvyn avaintekijöiksi on nostettu sahateollisuuden arvonlisän kasvattaminen lisäämällä tuotekehitystä, tuotteisiin liittyviä palveluita ja jatkojalostusta. Sahojen taloudellisen suoriutumisen parantamiseksi on vaadittu arvokkaampia jatkojalosteita ja asiakaslähtöisyyttä massatuotteiden ja raaka-ainelähtöisyyden sijaan (esim. Korhonen ja Niemelä 2005). Liiketoiminnan kehittämisen kannalta merkittävänä on nähty myös tiivis yhteistyö arvoketjun eri vaiheissa toimivien yritysten kanssa (Hänninen ym. 2007). Rautanen (2009) esittää kolme tulevaisuusskenaariota Suomen sahateollisuudelle. Ensimmäisessä skenaariossa sahateollisuus perustaa toimintansa perustuotteille. Toisessa skenaariossa sahateollisuus tuottaa jatkojalostustuotteita ja toimii yhteistyössä puunjalostusteollisuuden kanssa. Kolmannessa perussahatavaraa tuottava sahateollisuus tekee yhteistyötä bioenergia-klusterin kanssa.

Raaka-aineen laadullisen heterogeenisuuden vuoksi sahojen mahdollisuudet erikoistumiseen tai tukeutuminen tiettyyn kilpailustrategiaan ovat kuitenkin rajallisia, koska sahojen lopputuotteet sijoittuvat monille markkinoille ja myös sahan koko vaikuttaa strategiavalintaan (Niemelä ja Smith 1997). Yhdysvaltojen sahateollisuuden markkinointistrategioihin keskittyneen tutkimuksen mukaan pienille sahoille, jotka kamppailevat niukkojen resurssien kanssa, useille markkinoille suuntautuminen ei tuota liikemenestystä (Hansen ym. 2002). Vaikka erikoistuminen saattaisi olla pienille yrityksille strategisesti otollista, suuremmat yritykset ovat toteuttaneet arvonlisänluomisstrategioita hanakammin kuin pienemmät yritykset (Smith ym. 2004). Tulevaisuudessa Suomen sahateollisuuden toimintastrategiat ja liiketoiminnalliset suuntaukset saattavatkin muodostua monenlaisiksi. Kokonaistehokkuus ja tuotannon tehokkuus tulevat kuitenkin säilymään jatkossakin toimialan keskeisinä kilpailutekijöinä, joihin kyetään vaikuttamaan yritys- ja toimialatasolla.

### **3 Metsäsektorin tuotannon tehokkuuden mittaaminen**

#### **3.1 Kansainvälinen metsäalan tehokkuuden tutkimus**

Tuotantoteoreettinen tehokkuuden tutkimus on viime vuosina yleistynyt ja tehokkuuden mittaamisen menetelmiä on sovellettu monille sektoreille. Eräänä syynä tähän ovat markkinoille tulleet uudet ohjelmistosovellukset (esim. Sauer ja Hockmann 2005). Tehokkuustarkastelua on sovellettu runsaasti esimerkiksi terveydenhuolto-organisaatioiden (esim. Greene 2003, Rosko 2001, Linna 1998) ja oppilaitosten vertailuun (Pereira ja Moreira 2007, Kirjavainen 2007) sekä maatalous- (Sipiläinen 2008) ja energiasektoreilla (Honkatukia ja Sulamaa 1999, Pollitt 1995). Tehokkuuden eri lajeista tekninen tehokkuus on ollut tutkijoiden kiinnostuksen kohteena erityisesti vertailtaessa julkisen hallinnon tehokkuutta. Keskeisenä syynä tähän on ollut se, että



tehokkuuden toisen lajin, kustannustehokkuuden, tarkastelu vaatii kattavat hintatiedot. Julkisen hallinnon käyttämien tuotantopanosten hintoja on kuitenkin vaikeaa ellei mahdotonta määrittää.

Metsäsektorilla tehokkuustarkastelu on ollut suhteellisen vähäistä. Vallitsevana käytäntönä puutuoteteollisuuden teknologista rakennetta, teknistä muutosta ja tuottavuuden kasvua tarkasteltaessa ovat olleet tuotanto- ja kustannusfunktiolähestymistavat. Tehokkuustarkastelua metsäsektorilla ovat tehneet Kiinassa ja Taiwanissa Kao (1994, 1998, 2000) sekä Kao ja Yang (1991, 1992), jotka tarkastelivat metsäsektorin julkishallinnon tehokkuutta DEA-menetelmän avulla. Suomessa Viitala ja Hänninen (1998) tutkivat alueellisten metsäkeskusten tehokkuutta kaksivaiheisella DEA-menetelmällä. Tulosten mukaan tehokkuuden tärkeimmät selittävät tekijät olivat johtamistapa ja johtamisen tuki. Siry ja Newman (2001) puolestaan tarkastelivat Puolan valtionmetsien puuntuotannon teknistä tehokkuutta ja yksityistämisen vaikutuksia vuodesta 1993 vuoteen 1995 stokastisen tuotantorintamafunktioanalyysin (SFA) avulla. Tulokset viittasivat tuotannon tehokkuuden kasvuun yksityistämisen myötä.

Yksityismetsänomistajien hakkuukäyttäytymisen teknistä tehokkuutta on tutkittu Norjassa SFA-menetelmällä (Grundbrand ym. 2006). Tutkimuksen mukaan tehostamisen mahdollisuuksia on huomattavasti, ja muun muassa metsätalouden ulkopuolisten tulojen todettiin vaikuttavan tehokkuutta vähentävästi. Kaksivaiheista SFA-menetelmää on sovellettu Yhdysvaltojen puunkorjuun tehokkuuden mittaamiseen. Carter ja Cubbage (2005) esittivät, että yritysten keskimääräinen tehokkuus oli 60 prosentista. Lisäksi henkinen pääoma, teknologia ja tuotantoskaala selittivät yritysten välisiä eroja tuotannon tehokkuudessa.

Hakuni (1994) tutki DEA-menetelmää hyödyntäen Suomen sulfaattiselluloosateollisuuden tehokkuutta vuosina 1972–1990 ympäristöpäästöt huomioiden. Tulosten mukaan sulfaattiselluloosatehtaiden keskimääräinen tekninen tehokkuus oli tarkastelujaksolla 96 prosentista. Huomionarvoista tuloksissa oli, että ympäristöpäästöjen huomiotta jättäminen vaikutti tehokkuutta vähentävästi. Hetemäki (1996) taas tutki ympäristösäätelyn vaikutusta Suomen massateollisuuden tuotannon tehokkuuteen SFA-menetelmän sovelluksella ja päätteli muun muassa, että ympäristösäätelyllä oli tehokkuutta vähentävä vaikutus. Yin (1998, 2000) on puolestaan tutkinut kansainvälisen massateollisuuden tehokkuutta sekä DEA- että SFA-menetelmien avulla ja havaitsi eroja eri menetelmillä saatavien tehokkuuslukujen välillä.

### 3.2 Sahateollisuuden tehokkuuden tutkimus

Sahateollisuutta koskeva tehokkuustarkastelu on aktivoitunut vasta 2000-luvulla. Nyrud ja Bergseng (2002) sekä Nyrud ja Baardsen (2003) sovelsivat ensimmäisten joukossa tehokkuustarkastelua Norjan sahatteollisuuteen. Tutkimuksissa huomioon otetut tuotantopanokset olivat tuotannossa käytetyt työtunnit (h), sähkö (1000 kWh), polttoöljy (t), sahatukit (m<sup>3</sup>), höylätukit (m<sup>3</sup>) ja pääoma (1000 NOK). Tuotoksista huomioitiin sahatavara (m<sup>3</sup>) ja höylätty sahatavara (m<sup>3</sup>) sekä sahaake ja sahanpuru (m<sup>3</sup>). Tutkijat päättelivät, että pienemmät sahat toimivat Norjassa tehottomammin kuin suuremmat sahat (Nyrud ja Bergseng 2002). Nyrud ja Baardsen (2003) tarkastelivat lisäksi Norjan sahatteollisuuden tehokkuuden ja tuottavuuden kehitystä 1970-luvulta 1990-luvun alkuun. Aineiston 200 sahasta noin kolmannes toimi DEA-laskelmiin perustuen tehokkaasti. Laskelmissa huomioitiin tuotannontekijöinä tuotannon työtunnit (h), sähkö (1000 kWh), polttoöljy (t), raakapuu (m<sup>3</sup>), höyläykseen käytetty puutavara (m<sup>3</sup>) ja pääoma (1000 NOK) sekä lopputuotteista (m<sup>3</sup>) sahatavara, höylätty sahatavara ja sahaake.

Helvoigt (2006) käsitteli tutkimuksessaan Yhdysvaltojen Oregonin ja Washingtonin osavaltioiden sahatteollisuuden tuottavuuden kehitystä 1960-luvun lopulta 2000-luvun alkuun. Tutkimuksessa käytettiin SFA-menetelmää. Tuotoksena oli sahatavara ja tuotannontekijöinä olivat raakapuu, työvoima (kokonaistyötunnit), pääoma (asennettu tuotantokapasiteetti/8-tunnin työvuoro) sekä muut panokset (energia ja operaatio- ja ylläpitokustannukset deflatoituna vastaavilla kustannuskehitystä kuvaavilla indekseillä). Sahakohtainen paneeliaineisto käsitti sahatavaran tuotannon, raakapuun käytön sekä tuotantokapasiteetin. Sahatason aineisto yhdistettiin alueelliseksi aggregaateiksi ja aineistoa täydennettiin alueellisella tiedolla työvoimasta ja muista panoksista. Tutkimuksessa vertailtiin tuottavuuden osatekijöiden, tuotannon tehokkuuden, teknisen kehityksen ja skaalatehokkuuden vaikutusta tuottavuuskehitykseen tarkasteluajanjaksolla. Tulosten mukaan tehokas tuotantorintama oli noussut eli siirtynyt teknologisen kehityksen vuoksi, mutta keskimääräinen tuotannon tehokkuus oli laskenut eli etäisyys rintamasta oli kasvanut. Toisin sanoen uuden tekniikan potentiaalia ei ollut kokonaan hyödynnetty.

Helvoigt ja Adams (2008, 2009) osoittivat DEA ja SFA-menetelmillä, että Yhdysvaltojen luoteisten alueiden sahatteollisuuden tehokkuuden erot ovat kasvaneet alueellisesti 1960-luvulta lähtien 2000-luvun alkuun. Tutkijat esittävät, että suurin osa tuottavuuden kasvusta johtui tuotantoteknologian muutoksesta, kun taas skaalatehokkuuden parannusten merkitys ja teknisen tehokkuuden muutos olivat olleet vähäisiä. Fotiou ja Stamou (2000) arvioivat kreikkalaisten

sahojen teknistä tehokkuutta pääoman ja työvoiman käytön suhteen. Tutkimuksen tulosten mukaan vain vajaa kolmannes aineiston 44 sahasta toimi tehokkaasti vuonna 1991.

Suomessa sahojen tuotannon tehokkuutta ei ole juurikaan tutkittu, mihin syynä lienee tarvittavan sahakohtaisen aineiston vaikea saatavuus. Suomalaisten sahojen taloudellista suoriutumista ja liiketoimintastrategioita on kuitenkin tutkittu 2000-luvulla. Suomalaisten suurten ja keskisuurten sahojen lyhyen aikavälin taloudellisen menestyksen ja kustannustehokkuuden välillä on todettu olevan yhteys, kun taas pitemmän aikavälin taloudelliseen suoriutumiseen vaikuttaisi arvonalisän luominen (Lähtinen ja Toppinen 2008). Suurten ja keskisuurten sahojen liikemenestykseen vaikuttavista strategisista resurssivalinnoista merkittäviksi osoittautuivat aineettomien resurssien joukosta yhteistyö, teknologinen osaaminen, maine ja palvelut sekä aineellisista raaka-aine ja maantieteellinen sijainti (Lähtinen ym. 2008).

Perttola (2006) tarkasteli tutkimuksessaan sahayritysten laajentamisen kannattavuutta. Aineiston sahojen tilinpäätöstietojen perusteella mittakaavaetua saavutettiin henkilökuluissa sahoilla, joiden liikevaihto asettui välille 15–25 miljoonaa euroa. Rautanen (2009) kartoitti Suomen sahateollisuuden kysynnän ja asiakasrakenteen nykytilannetta ja tulevaisuusskenaarioita ja päätteli, että Suomen sahateollisuuden keskeisinä tulevaisuuden muutostekijöinä voidaan pitää ilmastomuutosta, metsäteollisuuden rakennemuutosta ja Itä-Euroopan sahateollisuuden kehitystä. Suomen sahateollisuuden toimintaympäristöä ja tuotantostrategioita on siten tutkittu viime aikoina jonkin verran eri näkökulmista, mutta sahateollisuuden tuotannon tehokkuustarkastelua ei ole tehty.

## **4 Teoreettinen viitekehys**

### **4.1 Uusklassisen talusteorian lähtökohdat**

Hicks (1935) esitti, että kilpailullisilla markkinoilla tuotannon tehokkuus on toiminnan jatkumisen edellytys, mutta kilpailun vähentyessä esimerkiksi monopolin vallitessa se menettää merkitystään. Talusteoreettisesti yrityksen pyrkimys voiton maksimointiin edellyttää tuotannon sekä teknistä että allokatiivista tehokkuutta ja siten myös kokonaistehokkuutta. Reaalimaailmassa yritykset eivät kuitenkaan aina – jos koskaan – onnistu voiton maksimointitehtävässään, vaan tehottomuutta esiintyy ja tuotanto ei ole annetuilla tuotantopanoksilla ja -teknologialla suurin mahdollinen. Tämä tarkoittaa, että yrityksen kaikkia tuotantomahdollisuuksia ei hyödynnetä ja yritysten voimavarat ovat vajaakäytössä (esim.

Kumbhakar ja Lovell 2000). Tähän huomioon perustuu tehokkuuden tai kääntäen tehottomuuden tutkimus ja mittaus.

Uusklassisen teorian oletus, jonka mukaan yritys pyrkisi aina maksimoimaan voittoa, on saanut osakseen myös runsaasti kritiikkiä. Yritykset eroavat toisistaan esimerkiksi omistus-, hallinto- ja organisaatorakenteiden sekä informaatiokulun ja konfliktien ratkaisutapojen osalta. Hansmann (1988) jaotteli yrityksiä omistusmuodon mukaan: investoijien omistamat, asiakkaiden omistamat, työntekijöiden omistamat ja voittoa tavoittelemattomat yritykset. Tuhansien ihmisten omistamassa pörssiyrityksessä yhden ihmisen vaikutusvalta, tavoitteet ja taloudellinen vastuu eivät ole samaa luokkaa kuin muutaman ihmisen omistamassa perheyriityksessä. Yrityksen hierarkiatasojen lukumäärän kasvaessa eri tasojen tavoitteet saattavat olla ristiriidassa ja informaatio ei ole täydellistä. Tällöin myös kokonaiskuva toiminnan tavoitteesta hämärtyy ja kokonaisuus ei toimi tehokkaasti.

Täydellisen kilpailun vallitessa tehottomat yritykset poistuvat markkinoilta. Vain harvojen toimialojen yritykset toimivat kuitenkin täysin kilpailullisilla markkinoilla. Usein todellinen tilanne eroaa täydellisestä kilpailusta ja tehottomuutta voi ilmetä toimialalla pitkiäkin aikoja. Tehottomuutta esiintyy erityisesti toimialoilla, joita säännöstellään valtiovallan toimesta. Tehottomuutta esiintyy myös, jos toimialan osatekijät ja toimintaympäristö pysyvät muuttumattomina pitkän aikaa, markkinoille tulo tai poistuminen on hankalaa tai ei-taloudelliset tekijät vaikuttavat tuotantopäätöksiin (katso tarkemmin Gravelle ja Rees 2004). Esimerkiksi puumarkkinoilla ei-taloudellisia tekijöitä ovat metsänomistajien kokemat metsiin liittyvät virkistys- ja maisema-arvot.

Tehokkuustarkastelun taustalla vaikuttavan talousteorian esittelyn lähtökohtana voidaan pitää tuotantoteknologian kuvausta. Yritys muuttaa panokset välituotteiksi tai tuotoksiksi eli lopputuotteiksi eli hyödykkeiksi vallitsevan tuotantoteknologian mahdollistamissa puitteissa. Tuotantoteknologiaa voidaan kuvata esimerkiksi tuotantoyoukon, tuotantofunktion ja samatuotokäyrän avulla. Uusklassisessa tuotantoteoriassa yritysten tuotantoteknologiaa kuvataan usein tuotantofunktiolla eli tuotantomahdollisuuksien käyrällä tai maksimaalisella tuotantorintamalla, joka osoittaa erilaisilla tuotantopanosten yhdistelmillä saavutettavan suurimman mahdollisen lopputuotteen tuotannon määrän. Yrityksen käyttämiä tuotantotekijöitä eli tuotantopanoksia ovat tyypillisesti pääoma, työvoima, raaka-aine ja energia. Pääoma koostuu fyysisestä pääomasta (koneet, laitteet ja rakennukset) ja rahoituspääomasta. Tuotoksia luokitellaan taloustieteessä harvemmin, vaikka yritysten tuotokset eroavat todellisuudessa paljonkin toisistaan.

## 4.2 Tehokkuuden määrittely

Tehokkuuden ja tuottavuuden käsitteet liittyvät läheisesti toisiinsa, ja käsitteitä käytetäänkin arkikielessä harhaanjohtavasti synonyymeina. Taloustieteessä tehokkuus ja tuottavuus voidaan määritellä monella tavoin. Seuraavassa on käsitelty tehokkuuden ja tuottavuuden käsitteitä tämän tutkimuksen kannalta olennaisin osin.

Tuottavuus käsitetään lopputuotteiden ja tuotantopanosten välisenä suhteena eli tuotoksen määrän ja laadun suhteena käytettyjen tuotantopanosten määrään ja laatuun. Kokonaistuottavuudella (*total factor productivity*) tarkoitetaan lopputuotteiden ja kaikkien panosten välistä suhdetta (Rogers 1998). Lovell (1993) luokittelee tuottavuuden vaihteluun vaikuttavat tekijät eroina *i*) tuotantoteknologiassa, *ii*) tuotantoprosessin tehokkuudessa ja *iii*) tuotantoympäristössä. Nishimizu ja Page (1982) erittelevät tuotantoprosessin tuottavuuden muutoksen *i*) teknologiseen kehitykseen eli tuotantomahdollisuuksien muutokseen ja *ii*) teknisen tehokkuuden muutokseen.

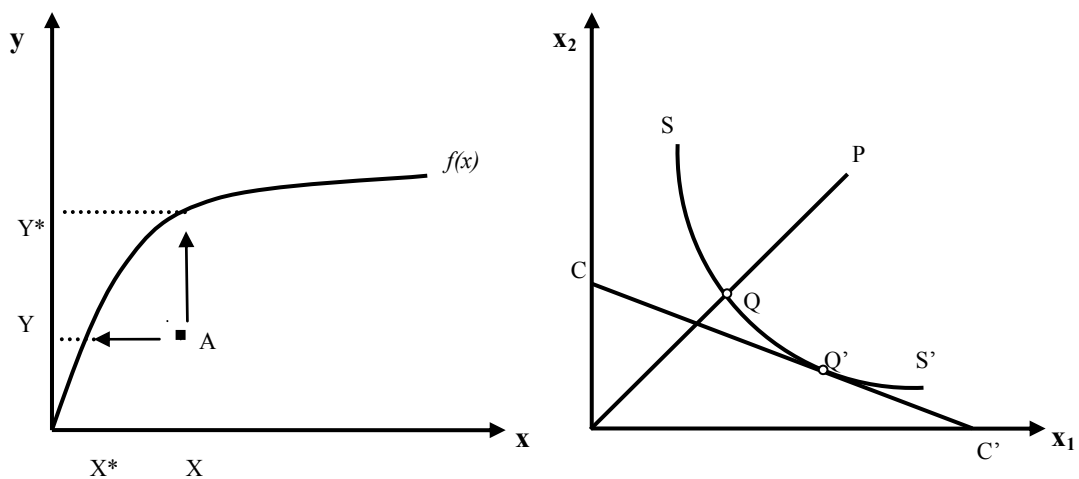
Tehokkuus on tuottavuuden alakäsite ja tärkeä osa tuottavuutta. Tehokkuustutkimuksen keskeisimpiin oletuksiin kuuluu, että yritykset eivät välttämättä toimi täysin tehokkaasti. Tehokkuutta parantamalla voidaan parantaa tuottavuutta ja yrityksen taloudellista suoriutumista olemassa olevilla resursseilla ilman uutta tietoa tai teknologian muutosta. Tämä mahdollisuus on ratkaisevaa yrityksen tai toimialan kilpailukyvyn parantamisen kannalta.

Mikrotalousteorian tehokkuuskäsitteitä ovat muun muassa *i*) tekninen tehokkuus (*technical, physical efficiency*), *ii*) allokatiivinen tehokkuus (*allocative, price efficiency*) ja *iii*) kustannustehokkuus (*cost efficiency*) eli kokonaistehokkuus (*economic efficiency*) (esim. Farrell 1957). Tehokkuutta voidaan tarkastella yksinkertaisesti fyysisten ja teknisten tuotantomahdollisuuksien eli teknisen tehokkuuden rajoissa. Tuotannon teknisellä tehokkuudella tarkoitetaan toteutuneen lopputuotemäärän ja maksimaalisen lopputuotemäärän (suurin mahdollinen tuotantomäärä) välistä suhdetta (Greene 1999). Tässä tutkimuksessa keskitytään tuotannon teknisen tehokkuuden tarkasteluun. Näin määriteltynä yritys on teknisesti tehokas, jos se tuottaa suurimman mahdollisen lopputuotteiden määrän käytössään olevilla tuotantopanoksilla ja tuotantoteknologialla.

Koopmansin (1951) määritelmän mukaan yrityksen tuotanto on teknisesti tehokasta, jos yrityksen ei ole mahdollista lisätä lopputuotteen tuotantoa vähentämättä jonkun toisen lopputuotteen tuotantoa tai vastaavasti lisäämättä vähintään yhden panoksen käyttöä. Toisin ilmaistuna yrityksen tuotanto on teknisesti tehokasta, jos yrityksen ei ole mahdollista vähentää

yhden panoksen käyttöä lisäämättä toisen panoksen käyttöä tai vähentämättä vähintään yhden lopputuotteen määrää. Yritys, jonka tuotanto on teknisesti tehotonta, pystyy tehostamaan tuotantoaan ja tuottamaan saman määrän lopputuotteita, vaikka käyttäisi tuotannossa vähintään yhtä tuotantopanosta vähemmän. Vastaavasti tällainen yritys pystyy tehostamaan tuotantoaan tuottamalla samalla tuotantopanosten määrällä enemmän lopputuotteita. Debreun (1951) ja Farrellin (1957) laajemman tehokkuusmääritelmän mukaan tuotanto on teknisesti tehokasta, kun tuotantopanosten pysyessä ennallaan yrityksen ei ole mahdollista lisätä kaikkien lopputuotteiden määrää samassa suhteessa. Yksinkertaistetusti tekninen tehokkuus tai tehottomuus on yrityksen havaitun tuotannon etäisyys tehokkaasta tuotantorintamasta eli teknisesti maksimaalisesta tuotannosta.

Edellä mainitulla allokatiivisella tehokkuudella viitataan tuotantopanosten oikeanlaiseen yhdistelmään ja lopputuotteiden oikeaan valmistussuhteeseen. Allokatiivinen tehokkuus kuvaa yrityksen panosvalintojen onnistumista suhteessa kustannusten minimointitavoitteeseen tai voittojen maksimointitavoitteeseen. Allokatiivinen tehokkuus toteutuu sellaisella panosyhdistelmällä, joka minimoi yrityksen kustannukset tai maksimoi voiton (Greene 1999). Kustannustehokkuus tai kokonaistehokkuus on mahdollista vain, jos tuotanto on sekä teknisesti että allokatiivisesti tehokasta (Farrell 1957). On siis huomioitava, että teknisesti tehokas tuotanto ei siis ole välttämättä kustannustehokasta.



**Kuva 4.** Tehottomuuden ja tehokkuskäsitteiden kuvaus

Kuva 4 havainnollistaa tuotannon tehokkuutta tuotantorintaman tai -funktion  $f(x)$  avulla siten, että yritys käyttää määrän  $x$  panoksia ja tuottaa määrän  $y$  lopputuotetta. Vasemmanpuoleisessa

kuviossa yrityksen tuotanto on tehotonta pisteessä A, koska se pystyisi samalla panosmäärällä X tuottamaan enemmän lopputuotetta eli yritys toimii tuotantorintaman  $f(x)$  alapuolella. Yritys pystyisi tuottamaan saman määrän lopputuotetta vähemmällä panosmäärällä ( $X^*$ ) tai samalla panosmäärällä tuottamaan enemmän lopputuotetta ( $Y^*$ ).

Kuvan 4 oikeanpuoleisessa kuviossa esitetään tehokkuuskäsitteiden väliset suhteet. Tarkastelu soveltuu yhtä lopputuotetta tuottavan ja kahta panosta käyttävän yrityksen tehokkuuden kuvaamiseen. Kuvassa ovat samatuotuskäyrä ( $SS'$ ), panosvektori (P) ja samakustannusuora ( $CC'$ ), jonka kulmakerroin kertoo panosten hintasuhteen. Vaikka pisteessä Q yrityksen tuotanto on Farrellin (1957) määritelmän mukaisesti teknisesti tehokasta, taloudellisesta näkökulmasta katsottuna ei ole kuitenkaan mielekäästä toimia tässä pisteessä. Teknisen tehokkuuskäsitteen puute onkin, että panosten määrän muutos on aina suhteessa sama. Kuvasta nähdään, että muuttamalla panosten käyttösuhdetta päästäisiin suurimpaan mahdolliseen tuotantomäärään pienemmillä kustannuksilla. Piste Q' on siten sekä allokatiivisesti että teknisesti tehokas eli kokonais- tai kustannustehokas. (Greene 1999)

### 4.3 Tehokkuuden mittaamisen menetelmät

Varhaisia tuotannon tehokkuuden teoreettisia tarkasteluja esittivät Koopmans (1951), Debreu (1951) ja Shephard (1953). Varsinaisesti tuotannon tehokkuuden mittaamisen kehittäminen alkoi kuitenkin vasta Farrellin (1957) määrittelemästä kustannustehokkuudesta, joka voidaan jakaa tekniseen ja allokatiiviseen tehokkuuteen. Farrell (1957) määrittäi tuotantolaitoksen tehokkuuden lineaarisen ohjelmoinnin avulla käyttäen aineistonaan Yhdysvaltojen maataloustuotantoon liittyviä tuotantotietoja.

Tuotannon tehokkuuden empiiriseen mittaamiseen on myöhemmin kehitetty useita malleja ja menetelmiä, jotka voidaan karkeasti jakaa stokastisiin ja deterministisiin tai parametriin ja ei-parametriin menetelmiin. Tutkimusmenetelmistä on runsaasti sovelluksia ja variaatioita, ja jotkut menetelmät sisältävät useampien menetelmien piirteitä, minkä vuoksi menetelmät voidaan jaotella myös monella eri tavalla. Taulukossa 2 on jäsennetty tehokkuustutkimuksen malli- ja menetelmäkenttää. Tässä tutkimuksessa sovelletaan parametriin, ekonometriin menetelmiin kuuluvaa SFA:ta (*Stochastic Frontier Analysis*), joka pohjautuu Meeusen ja Van den Broekin (1977) sekä Aigner ym. (1977) esityksiin. Toinen paljon käytetty menetelmä on ei-parametrinen DEA (*Data Envelopment Analysis*), jonka Charnes ym. (1978) esittivät vain vuotta myöhemmin.

**Taulukko 2.** Tehokkuustarkastelun menetelmien ja mallien jaottelua.

TUOTANTO- TEKNOLOGIAN KUVAUS	TEHOTTOMUUDEN JA SATUNNAISVAIHTELUN EROTTELU	
	Deterministinen (satunnaisvaihtelu sisältyy tehottomuuteen)	Stokastinen (sekä satunnaisvaihtelu että tehottomuus huomioitu)
<b>Parametrinen/ määrätty funktio</b>	<p><b>Ekonometrinen estimointi:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• COLS (korjattu pienimmän neliösumman menetelmä)</li> <li>• MOLS (Modified Ordinary Least Squares)</li> <li>• Suurimman uskottavuuden menetelmä</li> </ul> <p><b>Tutkimuksia:</b> Esimerkiksi Afriad (1972), Richmond (1974), Greene (1999)</p>	<p><b>Ekonometrinen estimointi:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MOLS</li> <li>• Suurimman uskottavuuden menetelmä</li> </ul> <p>→ <i>Stokastinen tuotantorintamafunktioanalyysi (SFA)</i></p> <p><b>Tutkimuksia:</b> Esimerkiksi Aigner ym. (1977), Meeusen ja Van den Broek (1977), Battese ja Coelli (1992)</p>
<b>Ei-parametrinen/ ei määrättyä funktio</b>	<p><b>Matemaattinen optimointi:</b></p> <p><i>Data Envelopment Analysis (DEA)</i></p> <p><b>Tutkimuksia:</b> Esimerkiksi Charnes ym. (1978), Nyrud ja Baardsen (2003)</p>	<p><b>Matemaattinen optimointi:</b></p> <p><i>Stochastic Data Envelopment Analysis (SDEA)</i></p> <p><b>Tutkimuksia:</b> Esimerkiksi Land ym. (1993), Olesen ja Petersen (1995)</p>

Perusperiaatteena tehokkuuden mittaamisessa on, että valitun tarkastelumenetelmän avulla estimoidaan aluksi empiiristen havaintojen perusteella teoreettinen tehokas tuotantorintama. Seuraavassa vaiheessa empiirisen aineiston havaintoja verrataan estimoituun teoreettiseen tehokkuusrintamaan. Tyypillisesti vertaillaan tuotantolaitosten suorituksia toisiinsa ja suhteessa teoreettisesti tehokkaaseen tuotantorintamaan. Eri menetelmien lähtökohdissa on kuitenkin selkeä periaatteellinen ero. Ei-parametrisissa menetelmissä oletuksena on, että tuotannon tehokkaasta rintamasta eroavat havainnot ovat seurausta ainoastaan tehottomuudesta. Esimerkiksi tehokkuuden mittaamisen empiirisessä tutkimuksessa runsaasti sovellettu ei-parametrinen, matemaattiseen ohjelmointiin perustuva DEA-menetelmä hyödyntää tätä oletusta. Tässä tutkimuksessa käytettävä SFA-menetelmä perustuu puolestaan ajatukseen, että tehokkaasta rintamasta eroavien havaintojen etäisyys tehokkaasta rintamasta voidaan jakaa varsinaisesta tehottomuudesta sekä satunnaisuudesta aiheutuviin komponentteihin (esim. Kumbhakar & Lovell 2000 ja Färe ym. 1994). Tehokkuustarkastelussa termillä deterministinen



viitataan siihen, että mallin satunnaisvaihtelu sisältyy kokonaisuudessaan tehottomuustermiin. Stokastisuudella tarkoitetaan taas sitä, että malli sisältää sekä satunnaisvirhetermin että tehottomuustermin, jonka jakaumasta voidaan tehdä erilaisia oletuksia.

Ekonometrisissä ja ohjelmointipohjaisissa tehokkuustarkasteluissa on menetelmäkohtaiset vahvuutensa ja heikkoutensa. Koska stokastisissa, ekonometrisissä menetelmissä sovitetaan aineistoon tuotantofunktio tilastotieteellisiä menetelmiä hyväksikäyttäen, tulkinnan rajoitteena on sitoutuminen tiettyyn funktiomuotoon. Tällöin virheellisesti valittu funktiomuoto saattaa aiheuttaa vääriä tulkintoja tehottomuudesta. Lisäksi tehottomuustermin jakaumasta on tehtävä *a priori* -oletuksia (esim. Lovell 1993). Ei-parametrisissä menetelmissä aineistoon sovitetaan deterministinen ei-parametrinen reunafunktio matemaattista ohjelmointia hyväksikäyttäen. DEA-menetelmän vahvuutena on juuri ei-parametrisuus eli mallia ei sidota tiettyyn funktiomuotoon, mutta haittana on mallin deterministisyys eli satunnaisvaihtelua ja tehottomuutta ei pystytä erottamaan mallissa (Lovell 1993). SFA-mallissa satunnaistermin vaihtelu ja tehottomuus ovat eroteltavissa toisistaan ja tulokset ovat tulkittavissa ja arvioitavissa tilastotieteellisillä menetelmillä.

#### 4.4 Tuotantorintamafunktioanalyysi

SFA-malli esitellään tässä Kumbhakar ja Lovelin (2000) mukaisesti kahdessa osassa. Ensimmäisessä, deterministisessä osassa tehottomuuskomponentti kuvaa etäisyyttä estimoidusta tuotantorintamasta. Jälkimmäisessä, stokastisessa osassa esitetään, kuinka tämä komponentti on jaettavissa kahteen osaan, jolloin myös satunnainen tuotannon vaihtelu huomioidaan mallissa. Tässä esitetään tuotantorintamafunktio mallit yksinkertaisuuden vuoksi sovellettuna poikkileikkausaineistoon.

##### 4.4.1 Deterministinen tuotantorintamafunktio

Yksinkertaisin esitys tuotantorintamafunktiosta huomioiden tuotannon tehottomuus voidaan esittää yhden lopputuotteen suhteen siten, että tuotantolaitokset (I) tuottavat lopputuotteen tuotantopanosten yhdistelmällä (N). Tällöin deterministinen tuotantofunktio voidaan kirjoittaa muotoon:

$$(1) \quad y_i = f(x_i, \beta) TE_i,$$

missä  $y_i$  on tuotantolaitoksen  $i$  ( $i = 1, \dots, I$ ) tuotos. Muuttuja  $x_i$  kuvaa tuotantolaitoksen  $i$  tuotantopanosten  $N$ -vektoria.  $f(x_i, \beta)$  kuvaa tuotantorintamaa ja  $\beta = (\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k)$  on tuotantotekniikkaa kuvaava vektori.  $TE_i$  kuvaa mallissa tehottomuutta. Voittoa maksimoivat yritykset pyrkivät tuottamaan tuotantopanoksillaan suurimman mahdollisen tuotannon määrän. Uusklassisen tuotantoteorian mukaisesti havaitun tuotantomäärän  $y_h$  tulisi sijaita tuotantorintamalla  $y_h = f(x_i, \beta)$ . Reaalimaailmassa havaittu tuotanto kuitenkin tavallisesti eroaa maksimaalisesta rintamasta eli tuotantofunktiosta siten, että havaittu tuotanto on pienempi kuin maksimaalinen tuotanto eli  $y_h < f(x_i, \beta)$ . Tällöin tuotanto on tehotonta.

Mallista voidaan johtaa Farrellin (1957) panosorientoitunut teknisen tehokkuuden mitta, joka saa arvon väliltä nolla ja yksi. Rintamafunktion avulla voidaan määrittää yrityksen  $i$  havaitun ja potentiaalisen tuotannon suhde:

$$(2) \quad TE_i = \frac{y_i}{f(x_i, \beta)}.$$

Tuotos  $y_i$  saavuttaa suurimman mahdollisen arvonsa  $f(x_i, \beta)$ , jos ja vain jos  $TE_i = 1$ . Kun  $TE_i < 1$ , se kertoo erosta suurimman mahdollisen tuotannon ja havaitun tuotannon välillä eli yrityksen tehottomuuden asteesta. Olettaen tuotannon noudattavan Cobb-Douglas -teknologiaa edellä kuvattu deterministinen, parametrinen rintamafunktioimalli voidaan esittää logaritmoimalla linearisoidussa muodossa (Aigner ja Chu 1968):

$$(3) \quad \ln(y_i) = \beta \ln x_i - u_i.$$

Kun tuotantopanosten arvot ovat tunnetut, mallista voidaan estimoida tuotantotekniikan vektorin  $\beta$  tuntemattomat parametrit. Termi  $u_i$  on ei-negatiivinen satunnaismuuttuja (koska  $TE_i < 1$ ), joka kuvaa mallissa tehottomuutta. Koska  $u_i \geq 0$ , myös  $y_i \leq f(x_i, \beta)$ . Mallia kutsutaan deterministikseksi, koska mallin satunnaiskomponentti sisältyy kokonaisuudessaan tehottomuustermiin  $u_i$ . Yhtälö (3) on siten lineaarinen regressiomalli, jossa on ei-negatiivinen virhetermi.

Tuntemattomat parametrit  $\beta$  voidaan laskea muun muassa matemaattisen ohjelmoinnin avulla. Lineaarisen ja kvadraattisen optimoinnin avulla (Aigner ja Chu 1968) vektorin  $\beta$  parametrit voidaan esimerkiksi laskea minimoimalla tuotantolaitosten havaittujen tuotosten etäisyyksien  $u_i$  summaa (tai neliöiden summaa) tuotantorintamasta. Schmidt (1976) kuitenkin osoitti, että

Aignerin ja Chun (1968) lineaarinen ja kvadraattinen ohjelmointi tuottaa suurimman uskottavuuden -menetelmän estimaatit, mikäli satunnaismuuttujat  $u_i$  ovat jakautuneet eksponentiaalisesti tai puolinormaalisti.

Winsten (1957) ehdotti Farrelin esityksen pohjalta, että deterministinen tuotantofunktio voitaisiin ratkaista kahdessa osassa. COLS-menetelmässä (*Corrected Ordinary Least Squares*) pienimmän neliösumman menetelmällä saatua vakiotermiä  $\beta_0$  korjataan siten, että estimoitu rintama rajaa havaintoaineistoa yläpuolelta, jolloin ainoastaan yksi yritys muodostaa tehokkuusrintaman ja muut yritykset tämän regressiosuoran alla luokitellaan tehottomiksi. Afriat (1972) estimoi deterministisen mallin kaksiosaisella COLS-menetelmän variaatiolla MOLS:lla (*Modified Ordinary Least Squares*) olettaen virhetermien jakaumaksi puolinormaalinen tai eksponentiaalisen ja korjasi pienimmän neliösumman menetelmällä estimoidun regressioyhtälön vakiotermiä jäännöstermien keskiarvolla.

Deterministinen malli on saanut kritiikkiä siitä, että mallissa ei huomioida mittausvirheitä ja muita satunnaistekijöitä. Mallissa yrityksen tuotannon eroa rintaman tuotantomäärästä oletetaan kokonaisuudessaan olevan seurausta tehottomuudesta. Hyvänä puolena on kuitenkin deterministisen mallin yksinkertaisuus. Kun mallissa huomioidaan satunnaisuuden mahdollisuus, se monimutkaistuu huomattavasti. (Coelli 1995, Greene 1999)

#### 4.4.2 Stokastinen tuotantorintamafunktio

Stokastisella tuotantorintama-analyysillä (SFA) voidaan tarkastella muun muassa teknistä tehokkuutta ja kustannustehokkuutta (esim. Kumbhakar & Lovell 2000 ja Färe ym. 1994). Tuotantofunktion estimoimiseen tarvitaan vain tieto lopputuotteen ja tuotantopanosten määristä. Estimoinnin aineisto voi olla poikkileikkausaineisto, jossa on havaintoja useasta havaintoyksiköstä, esimerkiksi useasta yrityksestä, tiettyinä ajankohtana. Tutkimusaineisto voi myös olla aikasarja-aineisto toimialakohtaisella aggregaattitasolla tai paneeliaineisto, jossa on useiden yritysten tietoja usealta ajankohdalta (Coelli ym. 1999).

Aigner ym. (1977) sekä Meeusen ja Van den Broeck (1977) esittivät lähes samanaikaisesti stokastisen tuotantorintamafunktio mallin perusteet. Deterministiseen rintamafunktio malliin verrattuna stokastiseen malliin sisältyy toinen – normaalijakautunut satunnaisvirhetermi  $v_i$  – ei-negatiivisen satunnaistermin  $u_i$  lisäksi. Otettaessa huomioon, että tuotannon määrään vaikuttavat myös satunnaiset tekijät, yhtälö (1) voidaan esittää muodossa

$$(4) \quad y_i = f(x_i, \beta) \exp\{v_i\} TE_i,$$

missä  $f(x_i, \beta) \exp\{v_i\}$  kuvaa stokastista rintamafunktiota, jossa on edellä esitetyn mukainen deterministinen osa  $f(x_i, \beta)$ , joka on kaikille tuotantolaitoksille sama. Mallissa on lisäksi tuotantolaitoskohtainen osa  $\exp\{v_i\}$ , joka ilmaisee tuotantolaitoksen tuotokseen satunnaisen vaihtelun. Ratkaisemalla yhtälöstä (4) termi  $TE_i$  saadaan

$$(5) \quad TE_i = \frac{y_i}{f(x_i, \beta) \exp\{v_i\}},$$

joka määrittelee teknisen tehokkuuden havaitun tuotoksen ja suurimman mahdollisen tuotoksen suhteena, kun huomioidaan myös satunnaisvaikutukset. Nyt  $y_i$  saavuttaa suurimman mahdollisen arvonsa  $[f(x_i, \beta) \exp\{v_i\}]$ , jos ja vain jos  $TE_i = 1$ . Kun  $TE_i < 1$ , suurimman mahdollisen tuotannon ja havaitun tuotannon välillä on eroa.

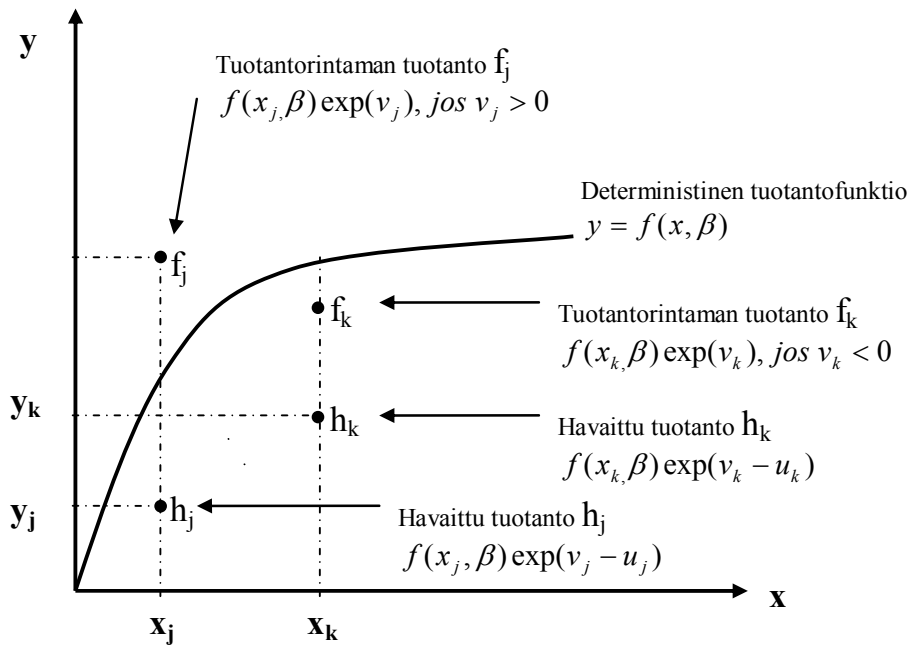
Olettaen jälleen tuotannon noudattavan Cobb-Douglas -teknologiaa stokastinen tuotantorintamafunktioimalli voidaan esittää logaritmoimalla linearisoidussa muodossa (Aigner ym. 1977)

$$(6) \quad \ln(y_i) = \beta \ln x_i + v_i - u_i,$$

missä satunnaistermi  $v_i$  kuvaa satunnaistekijöiden vaikutusta tuotoksen suuruuteen. Satunnainen vaihtelu voi johtua eri syistä, jotka eivät suoraan aiheudu tuottajasta tai tuotantoteknologiasta. Näitä tekijöitä ovat esimerkiksi sääolojen vaikutukset, lakot, shokit ja mittausvirheet. Satunnaismuuttujien  $v_i$  oletetaan olevan riippumattomasti ja identtisesti (*i.i.d.*) normaalijakautuneita, ja niiden keskiarvo on nolla ja varianssi vakio  $\sigma_v^2$  eli  $N(0, \sigma_v^2)$ . Satunnaismuuttujien  $v_i$  ja  $u_i$  oletetaan olevan riippumattomia toisistaan. Tehottomuustermin  $u_i$  jakaumaoletukset vaihtelevat stokastisen tuotantorintamafunktion eri mallivariaatioissa. Muuttujien  $u_i$  voidaan olettaa olevan, kuten Aigner ym. (1977) esittävät, *i.i.d.* puolinnormaalisti  $N^+(0, \sigma^2)$  jakautuneita satunnaismuuttujia. Stevenson (1980) esitteli vaihtoehtona katkaistun normaalijakauman  $N^+(\mu, \sigma^2)$  oletuksen. Termit  $u_i$  voidaan myös olettaa olevan

eksponentiaalisesti jakautuneita satunnaismuuttujia.<sup>6</sup> Mallia kutsutaan stokastiseksi, koska tuotoksen arvot ovat sidoksissa satunnaisvirhetermiin  $v_i$ , joka voi olla sekä positiivinen että negatiivinen, joten stokastinen tuotos voi vaihdella deterministisen rintaman  $f(x_i, \beta)$  molemmin puolin toisin kuin deterministisissä malleissa.

Kuvassa 5 havainnollistetaan SFA-mallin perusominaisuuksia. Kahden yrityksen  $j$  ja  $k$  panokset ja tuotokset tunnetaan. Panokset on esitetty  $x$ -akselilla ja tuotokset  $y$ -akselilla. Kuvassa  $y = f(x, \beta)$  kuvaa molempien yritysten determinististä tuotantoteknologiaa. Kuvasta nähdään yritysten  $j$  ja  $k$  havaitut panosten käytöt ja niitä vastaavat lopputuotteen määrät.



**Kuva 5.** Stokastisen rintamafunktiomallin perusominaisuuksia.

Yrityksen  $j$  havaittu tuotantomäärä pisteessä  $h_j$  on  $y_j$ . Stokastisen rintamafunktion arvo  $f(x_j, \beta) \exp(v_j)$  on  $f_j$ , joka sijaitsee deterministisen rintamafunktion yläpuolella, koska  $v_j$  on positiivinen. Toinen yritys  $k$  puolestaan käyttää  $x_k$  määrän panoksia ja tuottaa  $y_k$  määrän lopputuotetta. Yrityksen  $k$  stokastisen rintaman  $f(x_k, \beta) \exp(v_k)$  arvo  $f_k$ , on deterministisen rintaman alapuolella, koska  $v_k$  on pienempi kuin nolla. Stokastisen rintaman arvot  $f_j$  ja  $f_k$  eivät kuitenkaan ole havaittavissa, koska virhetermit eivät ole havaittavissa. Kuvasta nähdään, että

<sup>6</sup> Stokastisen tuotantorintamafunktion estimoinnista ja jakaumaoletuksista katso myös Kumbhakar ja Lovell (2000, s. 68–80 ja 95–116)

stokastisen rintamafunktion deterministinen osa sijoittuu stokastisten tuotantomäärien väliin. On huomattava, että yrityksen havaittu tuotantomäärä voi myös olla suurempi kuin mallin deterministinen osa, jos satunnaistekijä on suurempi kuin tehottomuustekijä ( $y_i > f(x_i, \beta)$  jos  $v_i > u_i$ .)

#### 4.4.3 Tuotantorintamamallien sovelluksia

Paneeliaineisto tuo tehokkuustarkasteluun lisää mahdollisuuksia, koska poikkileikkaus- ja aikasarja-aineiston yhdistelmä sisältää enemmän informaatiota. Paneeliaineiston tuomia etuja on esimerkiksi se, että tiukkoja jakaumaoletuksia voidaan löysentää. Kun käytettävissä on paneeliaineisto, tehokkuuslukujen lisäksi tuottavuuden muutos pystytään erottelemaan tekniseen muutokseen, teknisen tehokkuuden muutokseen ja skaalavaikutukseen (Esim. Kumbhakar ja Lovell 2000). Lisäksi olisi mahdollista tarkastella panosten käytön lisääntymisen merkitystä tuotoksen määrän kasvuun. Paneeliaineiston aikaulottuvuuden vuoksi voidaan olettaa, että tehokkuus kehittyy ajassa (Battese ja Coelli 1992). Toisaalta voidaan olettaa, että yritysten tehokkuus ajassa ei muutu tarkasteluajanjaksolla (Pitt ja Lee 1981).

Stokastiset tuotantorintamafunktioimallit paneeliaineistolle perustuvat tunnettuihin paneelimalleihin, joita on sovellettu esimerkiksi estimoitaessa eri teollisuudenalojen keskimääräisiä tuotantofunktioita. SFA-mallit voidaan näin ollen estimoida kiinteiden vaikutuksen malliin (*fixed effects model*) ja satunnaisten vaikutusten malliin (*random effects model*) perustuen. Tavanomaisissa paneelimalleissa sallitaan poikkileikkausyksiköiden välillä selittävistä muuttujista riippumattomia eroja eli otetaan huomioon, että muuttujien välillä saattaa olla eroja poikkileikkausyksiköiden ja aikasarjojen poikkileikkauspisteissä tai virhetermeissä.

Tavanomaisessa kiinteiden vaikutusten mallissa voidaan huomioida poikkileikkausyksiköiden väliset ajassa muuttumattomat erot, jolloin jokaiselle yritykselle estimoidaan erillinen vakio, johon osa yritysten välisistä ajassa muuttumattomista eroista sisältyy. Mallissa voidaan lisäksi huomioida aika lisäämällä aikamuuttujia, jolloin kaikille poikkileikkausyksiköille muutos ajassa on sama, kuten esimerkiksi muutos valuuttakurssissa (Asteriou ja Hall 2007). Tavanomaisessa satunnaisten vaikutusten mallissa taas osa yritysten välisestä vaihtelusta sisältyy satunnaisvirhetermiin. Satunnaisten vaikutusten mallissa oletetaan, että satunnaisvirhetermi ja tilastoyksiköiden väliset kiinteät vaikutukset eivät korreloi keskenään. (Pindyck ja Rubinfeld 1998, Asteriou ja Hall 2007)

Schmidt ja Sickles (1984) esittivät, että kun stokastinen tuotantorintama estimoidaan paneeliaineistolla, tehottomuuskomponentista ei tarvitse tehdä jakaumaoletuksia. Tavanomaisia paneelimallien estimointimenetelmiä on kritisoitu muun muassa siitä, että sekä tehottomat että tehokkaat yritykset vaikuttavat yhtäläillä tehokkuusrintaman muotoon, kun taas suurimman uskottavuuden menetelmää käytettäessä tehokkaammat yritykset vaikuttavat tehokkuusrintaman muotoon enemmän (Coelli ym. 1999). Toisaalta mikäli on aihetta olettaa, että tehottomuuskomponentit ja selittävät muuttujat eivät ole riippumattomia, voidaan käyttää kiinteiden vaikutusten mallia.

Greene (2005a, b) esittää kiinteiden ja satunnaisten vaikutusten stokastiset tuotantorintama-funktiomallit, jotka eroavat vastaavista tavanomaisista malleista. Esimerkiksi Greenen esittämässä todellisten satunnaisten vaikutusten mallissa (*true random effects model*) on yrityskohtainen vakio, johon sisältyy sekä yrityskohtainen satunnaistermi että kaikille yrityksille yhteinen vakiotermin. Greene (2005a, b) kritisoi tavanomaisten mallien tehottomuustermien vakio-oletusta, jonka vuoksi mahdollinen ajassa vakiona pysyvä firmojen välinen heterogeenisyys sisältyy näissä malleissa tehottomuuskomponenttiin. Mallien tehottomuustermi saattaa sisältää tehottomuuden lisäksi myös yritysten välisiä eroja tehottomuuden sijaan.

Tuotannon teknistä tehokkuutta on pyritty selittämään erilaisilla yritysten taustamuuttujilla, jolloin pyrkimyksenä on osoittaa tehokkuuden tason ja sen muutoksen ja tehokkuutta selittävien muuttujien välinen syy-seuraussuhde. Tällöin estimoidaan ensin tuotantofunktio ja sen jälkeen tuotantofunktion tehottomuuskomponenttia selittävä malli. Myös tehokkuutta selittävää mallinnusta voidaan soveltaa sekä poikkileikkaus- että paneeliaineistoon. Tehokkuutta voidaan pyrkiä selittämään yrityskohtaisilla ominaispiirteillä kuten henkilöstön osaamisella ja heidän sosioekonomisella taustalla. Tehokkuutta selittäviä taustamuuttujia voivat olla myös esimerkiksi yrityksen koko, johdon koulutustaso tai ikä.

Pitt ja Lee (1981) julkaisivat erään ensimmäisiä tehokkuuden syy-seuraussuhteiden tutkimuksista. He pyrkivät selittämään tehottomuutta kaksivaiheisella analyysillä, jossa ensimmäisessä vaiheessa määriteltiin stokastinen tuotantorintamafunktio ja tehokkuusluvut. Toisessa vaiheessa tehokkuuslukuja selitettiin taustamuuttujilla. Tämä on kuitenkin ristiriidassa SFA-mallin oletusten kanssa; mallin estimoinnin oletuksiin nimittäin kuuluu, että tehottomuustermi ovat itsenäisesti ja identtisesti jakautuneet. Toisen vaiheen regressiossa kuitenkin oletetaan, että tekniset yrityskohtaiset tehottomuustermi muodostavat tehokkuuslukuja funktion, mikä viittaa siihen, että tehottomuustermi eivät olisi identtisesti jakautuneet. Tehottomuusrintamamalleja, joissa stokastinen rintamafunktiomalli ja

tehottomuusmalli estimoidaan yhtäaikaisesti, ovat esittäneet Kumbhakar ym. (1991), Huang ja Liu (1994), Battese ja Coelli (1995), Carter ja Cubbage (2005) ja Sipiläinen (2008).

## 5 Aineisto

### 5.1 Tutkimuksen toteutus

Tutkimusta varten kerättiin paneeliaineisto itsenäisiltä suomalaisilta suurilta ja keskisuurilta sahoilta. Poikkileikkaus- ja aikasarja-aineistojen yhdistelmän etu on havaintojen suurempi määrä verrattuna pelkkiin poikkileikkaus- tai aikasarja-aineistoihin. Paneeliaineisto yleisesti koostuu  $N$  kappaleesta poikkileikkausyksiköitä (sahayritykset) ja poikkileikkausyksiköiden aikasarjoista (vuosia)  $T$ . Tutkimuksessa tarkasteltiin vuosia 2000–2007 eli kahdeksan vuoden ajanjaksoa.

Kyselylomakkeesta (ks. liite 1) pyrittiin tekemään mahdollisimman selkeä ja yksiselitteinen. Tuotantopanoksia ja tuotoksia kartoittavien kysymysten lisäksi kyselylomaketta täydennettiin sahalaitoksia kuvailevilla kysymyksillä. Jotta sahojen lopputuotteiden ja tuotannontekijöiden laadusta sekä tehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä saataisiin tietoa, tiedusteltiin lisäksi muun muassa tuotannon laatujakaumaa ja tuotannossa käytetyn raakapuun ominaisuuksia.

### 5.2 Sahojen tuotannontekijät

Tuotantofunktion kuvaukseen tarvitaan tieto keskeisimpien tuotantopanosten määristä sekä lopputuotteen tai -tuotteiden määristä. Sahat tuottavat perussahatavaraa ja erilaisia jatkojalosteita. Sahauksen sivutuotteena syntyy sahanpurua ja haketta, josta osa myydään muille metsäteollisuuden toimijoille. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin sahojen pääasiallista tuotosta eli perussahatavaraa. Tuotannon merkittävimmät tuotannonpanokset valittiin aiempien tehokkuustutkimusten perusteella. Tarkasteltavia tuotantopanoksia ovat raaka-aine, työ, energia ja fyysinen pääoma. Edellä mainittuja tuotannonpanoksia kuvaamaan valittiin niin ikään aikaisempien tutkimusten perusteella tuotannossa käytetty raakapuun määrä ( $\text{m}^3/\text{vuosi}$ ), tuotannon työtunnit ( $\text{h}/\text{vuosi}$ ), ulkopuolelta ostettu sähkö ( $\text{MWh}/\text{vuosi}$ ) ja tuotannon kapasiteetti ( $\text{m}^3/\text{vuosi}$ ).



### 5.3 Tekniseen tehokkuuteen vaikuttavat tekijät

Tutkimuksessa selvitettiin myös tuotantoon ja tuotantoympäristöön liittyviä tietoja, joiden oletettiin vaikuttavan sahojen tekniseen tehokkuuteen. Näitä tietoja olivat muun muassa pääasiallinen tuotantoteknologia, tukkipuun osuus käytetystä raaka-aineesta, tuotannossa käytetyn raakapuun keskimääräiset mitat, tuontipuun osuus käytetystä raakapuusta, tuotantolaitteiston ikä/aika viimeisimmästä investoinnista sekä oliko yritys panostanut omaan tuotekehitykseen vai ei. Lisäksi kyselyssä selvitettiin sahojen tuotannon rakennetta tiedustelemalla eri tuotteiden valmistusmääriä (perussahatavara, höylätty sahatavara ja muut jatkojalosteet) sekä tuotetun sahatavaran laatujaakamaa.

Tätä tutkimusta varten kerätyn aineiston lisäksi käytössä oli kyseisistä sahoista aiempi haastatteluaineisto, jota uskottiin voitavan hyödyntää sahojen tehokkuuseroja selitettäessä. Lähtisen ym. (2008) vuonna 2007 keräämä haastatteluaineisto perustui sahojen toimitusjohtajien näkemyksiin, miten sahoilla arvostettiin eri tuotannontekijöitä. Tuotannontekijät ryhmiteltiin Lähtisen ym. (2008) tutkimuksessa aineettomiin ja aineellisiin tuotannontekijöihin. Aineelliset tuotannontekijät olivat sijainti, raaka-aine, työvoima, tehdas ja talous. Aineettomiin tuotannontekijöihin kyselytutkimuksessa lukeutuivat johtaminen, henkilöstö, yhteistyö, tiedonhallinta, teknologia ja maine. Liitteessä 2 esitetään tarkempi kuvaus muuttujista.

### 5.4 Tutkimukseen valikoituneet sahat

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin suomalaisten, suuriin kansainvälisiin metsäteollisuuskonserneihin kuulumattomien, itsenäisten sahojen tuotannon tehokkuutta. EU:n komission suosituksen (2003/361) mukaan keskisuudessa yrityksessä on enintään 250 työntekijää ja sen liikevaihto on enintään 50 miljoonaa euroa. Pienen yrityksen määritelmän mukaan työntekijöitä on enintään 50 eikä liikevaihto tai taseen loppusumma ylitä kymmentä miljoonaa euroa. Pienet ja keskisuuret yritykset (pk-yritykset) jaotellaan edelleen riippumattomiin yrityksiin, omistusyhteisyhtiöihin ja sidosyrityksiin. Tutkimuksen otokseen valittiin 30 suomalaista itsenäistä sahaa, joiden pääasiallinen tuote on perussahatavara, ja jotka kokonaisuudessaan edustavat suurinta osaa Suomen keskisuurista itsenäisistä sahoista. Kyseiset sahat valittiin Balance Consultingin Oy:n (2005) sahoihin liittyvässä tilinpäätösselvityksessä olleiden sahojen joukosta.

Tutkimuksen aineisto kerättiin joulukuun 2008 ja maaliskuun 2009 aikana sähköpostikyselynä. Yhteyshenkilöiksi pyrittiin saamaan tuotantoon perehtynyt sahan toimitusjohtaja tai tuotannosta vastaava esimiestason työntekijä. Valittujen yhteyshenkilöiden yhteystiedot etsittiin internetistä tai tiedusteltiin numeropalvelusta. Yrityksiin otettiin yhteyttä puhelimitse ja kerrottiin Metsäntutkimuslaitoksen hankkeesta ”Kansainvälistymisen vaikutus Suomen puumarkkinoihin ja sahateollisuuden liiketoimintaan” ja tiedusteltiin yrityksen halukkuutta osallistua kyselyyn. Monet sahoista olivat jo osallistuneet hankkeen aikaisempaan haastattelututkimukseen. Yhteistyöhalukaille yrityksille lähetettiin sähköpostitse kysely, joka pyydettiin palauttamaan sähköpostitse, faksilla tai postitse. Vastauksia saatiin kymmeneltä sahalta, jolloin vastausprosentiksi tuli 33 prosenttia. Kerätty aineisto on luottamuksellinen eikä yksittäisten sahojen tietoja esitellä tutkimuksessa. Tietoja sahojen tuotoksesta, tuotannontekijöiden käytöstä ja muihin tekniseen tehokkuuteen vaikuttavista tekijöistä ei saatu kaikilta sahoilta jokaiselta tarkasteluvuodelta, joten paneeliaineisto oli teknisessä mielessä epätasapainoinen (*unbalanced*).

## 5.5 Aineiston sahojen ja muuttujien luonnehdinta

Tuotantofunktion estimoinnissa käytetyt muuttujat on esitetty taulukossa 3. Lopputuote on sahatavara ja tuotannontekijät raakapuu, työvoima, sähkö ja pääoma. Kaikista muuttujista tehtiin ennen estimointeja logaritmuunnokset Cobb-Douglas -tuotantoteknologiaoletuksen mukaisesti. Sahatavaran tuotannosta ja raakapuun käytöstä saatiin tieto koko tarkasteluajanjaksolle lähes kaikista yrityksistä. Yhden yrityksen puuttuva kapasiteettitieto saatiin täydennettyä yrityksen kotisivuilta.

**Taulukko 3.** Aineiston muuttujien esittely.

Muuttuja	Lyhenne	Kuvaus
Sahatavara	s	Sahatavaran tuotanto, m <sup>3</sup>
Raakapuu	l	Raakapuun käyttö tuotannossa, m <sup>3</sup>
Työvoima	p	Sahan henkilöstön määrä, kpl
Sähkö	e	Ostettu sähkö, MWh
Pääoma	c	Suurin mahdollinen tuotanto vuodessa, m <sup>3</sup>

Vain osa yrityksistä ilmoitti sähkön ja työvoiman käytön, ja useimmat yrityksistä ilmoittivat tiedon vain joiltakin vuosilta. Osa yrityksistä jätti kuitenkin työvoiman käytön kokonaan ilmoittamatta, joten työvoiman käyttö (työntekijämäärä) saatiin Balance Consultingin tietokannasta (2005, 2006, 2007). Sähkön käyttö saatiin yhdeksältä yritykseltä. Tutkimuksen analyyseissa käytettiin näin ollen yhdeksän yrityksen tiedoista koostuvaa epätasapainoista

paneeliaineistoa, jossa oli minimissään neljän ja maksimissaan kahdeksan vuoden havainnot sahaa kohden. Yhteensä havaintoja oli 54, joten aineistosta puuttui 17 havaintoa täydellisestä, tasapainoisesta 72 havainnon paneelistä. Vuosien 2004–2006 aineisto oli täydellinen, mutta vuosien 2000–2002 ja 2007 aineisto oli epätäydellinen. Taulukossa 4 on kuvattu havaintojen sijoittuminen aineistossa.

**Taulukko 4.** Epätasapainoisen aineiston havaintojen kuvaus (sahatavara, raakapuuta, sähkö, pääoma ja työvoima).

<b>Vuosi Yritys</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>Havaintoja/ yritys</b>
<b>1</b>	0	0	1	1	1	1	1	0	5
<b>2</b>	1	1	1	1	1	1	1	0	7
<b>3</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	8
<b>4</b>	1	1	1	1	1	1	1	0	7
<b>5</b>	0	0	0	1	1	1	1	0	4
<b>6</b>	1	1	1	1	1	1	1	0	7
<b>7</b>	1	1	1	1	1	1	1	0	7
<b>8</b>	0	0	0	0	1	1	1	1	4
<b>9</b>	0	0	1	1	1	1	1	0	5
<b>Havaintoja/ vuosi</b>	5	5	7	8	9	9	9	2	<b>Havaintoja yht. 54</b>

Tutkimusaineiston yhdeksästä sahasta neljä tuotti ainoastaan perussahatavaraa. Perussahatavaran lisäksi höylättyä sahatavaraa tuotti kolme yritystä ja kaksi perussahatavaran ja höylätyn sahatavaran lisäksi myös muita jatkojalosteita. Kaikki sahat olivat havusahatavaran tuottajia. Sahoilla oli tarkastelujaksolla keskimäärin 65 työntekijää, tuotantokapasiteetti oli keskimäärin 171 581 kuutiota sahatavaraa ja tuotettu määrä 105 840 kuutiota. Raakapuuta tuotannossa käytettiin vuosittain keskimäärin 252 322 kuutiota ja sähköä ostettiin keskimäärin 7 734 MWh. Kaikki aineiston yritykset kuuluivat EU:n luokituksessa pieniin tai keskisuuriin yrityksiin. Suomen mittakaavassa voidaan myös puhua keskisuurista ja suurista sahoista.

Vuonna 2003 aineiston sahojen tuotanto vastasi yhteensä kahdeksaa prosenttia koko Suomen havusahatavaran tuotannosta ja vuonna 2006 kymmentä prosenttia (taulukko 5). Aineistoa voidaankin pitää tuotannon määrässä mitattuna kohtuullisen edustavana. Liikevaihdossa ja työntekijöiden määrässä mitattuna aineiston sahojen osuudet koko sahatteollisuuden liikevaihdosta ja työntekijämäärästä olivat vuonna 2006 vastaavasti 6 ja 7,6 prosenttia. Yritysten keskimääräinen henkilöstön määrä oli 64–67 vuosina 2003–2006. Liikevaihto oli taulukossa 5 esitetyllä ajanjaksolla korkeimmillaan vuonna 2006 keskimäärin 25,4 miljoonaa euroa.

**Taulukko 5.** Aineiston sahojen kuvaus verrattuna Suomen sahateollisuuteen. Lähteet: Tilastokeskus 2008a, b, Balance Consulting 2007, Metsäteollisuus ry 2008b.

	2003	2004	2005	2006
<b>Tutkimuksen aineisto</b>				
Yritysten määrä	9	9	9	9
Liikevaihto (milj €)	203,6	206,9	227,6	228,8
Työntekijät	575	602	593	580
Tuotanto (1000 m <sup>3</sup> )	1 101	1 156	1 209	1 227
Liikevaihto/yritys (milj €)	22,6	23,0	25,3	25,4
Työntekijät/yritys	64	67	66	64
Tuotanto/ yritys (1000 m <sup>3</sup> )	122	128	134	136
<b>Suomen sahateollisuus</b>				
Yritysten määrä	1129	1099	1076	1025
Liikevaihto (milj €)	3275	2908	2917	3792
Työntekijät	8585	8296	7793	7581
Tuotanto (1000 m <sup>3</sup> )	13 645	13 460	12 190	12 145
Liikevaihto/yritys (milj €)	2,9	2,6	2,7	3,7
Työntekijät/yritys	7,6	7,5	7,2	7,4
Tuotanto/ yritys (1000 m <sup>3</sup> )	12,1	12,2	11,3	11,8

## 6 Tutkimusmenetelmät

### 6.1 Aineiston alustavat analyysit

Aineiston ominaisuuksia analysoitiin Stata 9.2 -ohjelmistolla (StataCorp 2005). Ensin tarkasteltiin aineiston tilastollisia perusominaisuuksia ja muuttujien välisiä regressiokertoimia. Perusregressioanalyysillä eli pienimmän neliösumman menetelmällä (PNS) tutkittiin eri tuotannontekijöiden painoarvoja määriteltäessä tuotantofunktioon kuuluvia muuttujia (ks. Pindyck ja Rubinfeld 1988). Koska mahdollisia tuotannontekijöitä oli neljä, aluksi kokeiltiin eri tuotannontekijöiden yhdistelmiä ja estimoitiin useita erilaisia malleja, joista vain muutama esitetään tutkimuksen tuloksissa. Lisäksi tarkasteltiin mahdollisia sahojen tuotantoprosesseihin liittyviä eroja dummy-muuttujien avulla. Yksittäisten muuttujien regressiokerrointen tilastollista merkitsevyyttä tarkasteltiin t-testien avulla.

## 6.2 Sahojen stokastisen tuotantorintamafunktiomallin estimointi

Tutkimuksessa estimointiin neljä vaihtoehtoista stokastista tuotantorintamafunktiomallia mukailien Battesen ja Coellin (1992) lähestymistapaa Frontier 4.1. -ohjelmalla (Coelli 1996). Mallit sekä estimointimenetelmä soveltuvat epätasapainoisen paneeliaineiston käsittelyyn. Stokastinen tuotantorintamafunktiomalli ja sen sovellukset on esitelty teoreettisen viitekehyksen yhteydessä (yhtälöt 4–6). Perusmuodoissaan estimoitava malli voidaan kirjoittaa

$$(7) \quad y_{it} = f(x_{it}, \beta) \exp(v_{it} - u_{it})$$

ja

$$(8) \quad u_{it} = \eta_{it} u_i = \{\exp[-\eta(t-T)]\} u_i, \quad t \in \mathfrak{S}(i); i = 1, 2, \dots, N,$$

missä  $y_{it}$  on yrityksen  $i$  periodin  $t$  tuotanto,  $x_{it}$  on tuotantopanosten vektori yrityksen  $i$  tuotannolle vuotena  $t$ . Vektori  $\beta$  kuvaa estimoitavia deterministisen tuotantofunktion parametreja. Virhetermien  $v_{it}$  oletetaan olevan itsenäisesti ja identtisesti jakautuneita  $N(0, \sigma_v^2)$ . Tehottomuutta kuvaavien virhekomponenttien  $u_{it}$  oletetaan olevan itsenäisesti ja identtisesti  $N(\mu, \sigma_u^2)$  jakautuneita ja ei-negatiivisia katkaistulla normaalijakaumalla. Estimoitava parametri  $\eta$  kuvaa yritysten tehokkuuden ajallista kehitystä. Termi  $\mathfrak{S}(i)$  esittää, mitkä havainnot yrityksestä  $i$  on havaittu eli periodit  $T_i$  kaikkien periodien joukosta  $T$ . Battesen ja Coellin (1992) ajallisen muutoksen mallissa (*time varying model*) ei-negatiiviset yritysکوhtaiset vaikutukset  $u_{it}$  vähenevät, pysyvät vakiona tai lisääntyvät ajan kuluessa  $t$ :n kasvaessa eli  $\eta > 0$ ,  $\eta = 0$  tai  $\eta < 0$ .

Sahojen paneeliaineistosta estimoitava empiirinen, stokastinen tuotantorintamafunktio on muotoa

$$(9) \quad \ln(y_{it}) = \beta_0 + \beta_1 \ln(l_{it}) + \beta_2 \ln(e_{it}) + \beta_3 \ln(c_{it}) + \beta_4 \ln(p_{it}) + v_{it} - u_{it}$$

Alaindekseillä  $i$  ja  $t$  tarkoitetaan yrityksen  $i$  (1–9) vuoden  $t$  (2000–2007) havaintoa.  $y$  kuvaa sahatavaran vuosituotantoa kuutiometreinä,  $l$  tuotannossa käytettyä raakapuun kuutiomäärää,  $e$  sahan ulkopuolelta ostettua sähköä (MWh),  $c$  tuotannon kapasiteetin määrää,  $p$  henkilöstön

määrää ja  $\beta_0$  on vakio.  $v_{it}$  ja  $u_{it}$  ovat yrityskohtaisia satunnaismuuttujia, joiden jakaumaoletukset on esitelty aiemmin.

Aineistosta estimoitavat viisi erillistä mallia ovat:

- Ensimmäinen malli on Battesen ja Coellin (1992) stokastinen tuotantorintamafunktioimalli, joka sallii tehokkuuden muuttumisen ajassa yhtälön 9 mukaisesti. Tehottomuusermin  $u_{it}$  jakaumaoletus on ei-negatiivinen katkaistu normaalijakauma, jonka odotusarvo on  $\mu$  ja varianssi  $\sigma_u^2$ .
- Toisessa mallissa oletetaan edellisestä poiketen, että  $\mu = 0$  eli tehottomuusvirhetermin  $u_{it}$  on edelleen ei-negatiivinen, mutta puolinormaalisti jakautunut.
- Kolmannessa mallissa oletetaan, että  $\eta = 0$  eli ajassa ei tapahdu tehokkuuden muutoksia yksittäisen yrityksen kohdalla (Battese ym. 1989).
- Neljäs malli olettaa, että  $\mu = \eta = 0$  eli tehokkuusermi on ajassa vakio ja tehottomuusermin jakaumaoletus on puolinormaali (Pitt ja Lee 1981).
- Viidennen mallin oletuksiin kuuluu, että  $\gamma = \mu = \eta = 0$  eli malli vastaa keskimääräistä tuotantofunktiota, jossa ei huomioida yrityskohtaisia tekijöitä  $u_{it}$ . Yrityskohtaista tehottomuutta ei siis esiinny.

Mallit tuottavat parametriestimaatit deterministiselle tuotantofunktiolle sekä mallit 1–4 yrityskohtaiset tehottomuusermit. Virhetermin  $v_{it}$  oletetaan olevan normaalisti jakautunut  $N(0, \sigma_v^2)$  kaikissa estimoiduissa malleissa (1–5).

### 6.3 Sahojen tehottomuutta selittävän mallin estimointi

Sahojen välisiä tehokkuuseroja voidaan pyrkiä myös selittämään, jolloin estimoidaan yhtäaikaaisesti sekä stokastinen tuotantorintama että tehokkuuslukuja selittävä malli. Tämä voidaan tehdä esimerkiksi Frontier 4.1. -ohjelmalla. Battese ja Coelli (1995) esittivät paneeliaineiston tehottomuusrintamamallin (*inefficiency frontier model*), jonka avulla voidaan analysoida yrityskohtaisten tehokkuuserojen syitä. Tällöin mallinnetaan tehokkuusermejä selittävillä muuttujilla tavanomaisen regressioanalyysin tapaan. Stokastisen

tuotantorintamafunktiomallin (yhtälö 9)  $u_{it}$  -termit<sup>7</sup> muodostavat tehottomuutta selittävien muuttujien  $z_{it}$  -termien funktion

$$(10) \quad u_{it} = z_{it}\delta + w_{it}$$

$u_{it}$  -termit ovat ei-negatiivisia tuotannon teknistä tehottomuutta kuvaavia satunnaismuuttujia ja ne ovat jakautuneet  $N(z_{it}\delta, \sigma_u^2)$ . Termi  $\delta$  kuvaa estimoituja kertoimia ja muuttujat  $z_{it}$  ovat tehottomuutta selittäviä muuttujia. Satunnaismuuttuja  $w_{it}$  määritetään katkaistun normaalijakauman keskiarvolla nolla ja varianssilla  $\sigma_u^2$ . Jakauman katkaisun kohta määrittyy  $-z_{it}\delta$  siten, että  $w_{it} \geq -z_{it}\delta$ .  $w_{it}$  -satunnaismuuttujien oletuksiin ei kuulu, että muuttujat olisivat identtisesti jakautuneet eikä ei-negatiivisuusrajoite päde. Termien  $u_{it}$  ja  $v_{it}$  jakaumien riippumattomuusoletus (kaikille  $t = 1, 2, \dots, T$  ja  $i = 1, 2, \dots, N$ ) on edelleen Battesen ja Coellin (1995) mallissa voimassa.

Tekniset tehottomuusvaikutukset  $u_{it}$  voidaan määritellä tähän tutkimukseen sovelletussa mallissa (10) seuraavasti:

$$(11) \quad u_{it} = \delta_0 + \delta_1 z_{it} + \delta_2 z_{it} + \delta_3 z_{it} + w_{it}$$

Tällöin  $\delta_0$  on vakio ja  $\delta_1, \delta_2$  ja  $\delta_3$  ovat estimoituja kertoimia. Termit  $z_{it}$  ovat sahojen tekniseen tehottomuuteen vaikuttavia tekijöitä. Näitä voivat olla esimerkiksi johtajuuden arvostus, tukkipuun osuus käytetystä raakapuusta ja a-laatuksen sahatavaran määrä tuotannossa (kts. liite 2). Mikäli muuttujilla  $z_{it}$  ei ole vaikutusta tehottomuuden selittämisessä ja vektorin  $\delta$  arvoksi muodostuu nolla, tällöin Aigner ym. (1977) mukaan tehottomuustermien normaali-puolinormaali -malli soveltuu aineiston kuvaukseen. Estimoitujen parametrien – muuttujien vaikutuksen suunta tehottomuuteen – eli käytännössä parametrien etumerkki on tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä analysoitaessa keskeisin. Esimerkiksi tukkipuun osuusmuuttujalle estimoidun parametrin etumerkin ollessa negatiivinen tuotannossa käytetyn tukkipuun osuuden lisääntyessä tehottomuus vähenisi. Tällöin tulkinta olisi, että tukkipuuta tuotannossa enemmän käyttävien yritysten tuotanto olisi tehokkaampaa kuin vähemmän tukkipuuta tuotannossa käyttävien.

<sup>7</sup> Tuotannon tekninen tehokkuus yritykselle  $i$  hetkellä  $t$  määritellään siten, että

$$TE_{it} = \exp(u_{it}) = \exp(-z_{it}\delta - w_{it})$$

## 6.4 Tutkimuksen mallien vertailu ja tehottomuuskomponentin testaus

Tässä tutkimuksessa stokastinen tuotantorintamamalli estimoidaan suurimman uskottavuuden menetelmällä käyttäen Frontier 4.1. -ohjelmaa. SFA:n perusmallia voidaan kutsua virhekomponenttien oletusten mukaisesti normaali-puolinormaalimalliksi. Virhetermien  $v_i$  oletetaan olevan normaalisti jakautuneita ja satunnaismuuttujien  $u_i$  taas puolinormaalisti jakautuneita  $N^+(0, \sigma_u^2)$ . Siten oletetaan, että teknisen tehottomuuden moodi<sup>8</sup> on nolla ja suurempien tehottomuusarvojen todennäköisyys on aleneva. Lisäksi satunnaismuuttujien  $v_i$  ja  $u_i$  oletetaan olevan riippumattomia toisistaan ja selittävästä muuttujista. Yksinkertaisuuden vuoksi seuraavassa ei huomioida virhekomponentin mahdollista ajallista kehitystä.

Aigner ym. (1977) esittivät maksimoitavan logaritmoidun uskottavuusfunktion yhtälölle (7) kahden varianssiparametrin avulla:

$$(12) \quad \sigma_s^2 = \sigma^2 + \sigma_v^2$$

ja

$$(13) \quad \lambda = \frac{\sigma}{\sigma_v}.$$

Battese ja Corra (1977) käyttivät muotoilua

$$(14) \quad \gamma = \frac{\sigma^2}{\sigma_s^2},$$

joka saa arvon yhden ja nollan väliltä, kun taas  $\lambda$  saa minkä tahansa positiivisen arvon.  $\gamma$  kertoo siis satunnaisen vaihtelun ja tehottomuustermin osuuden kokonaisvirhetermistä  $\varepsilon$ .<sup>9</sup> Suurimman uskottavuuden estimaatit saadaan etsimällä uskottavuusfunktion maksimi.<sup>10</sup>

Kun  $\lambda \rightarrow 0$ , joko  $\sigma_v^2 \rightarrow +\infty$  tai  $\sigma^2 \rightarrow 0$ , jolloin aineiston perusteella ei voida osoittaa tehottomuutta tuotannossa ja pienimmän neliösumman menetelmällä voidaan estimoida tavanomainen keskimääräinen tuotantorintamafunktio. Tällöin yritysten voidaan todeta

---

<sup>8</sup> Arvo, joka maksimoi todennäköisyysfunktion arvon.

<sup>9</sup> Tosin testisuure gamma ei vastaa suoraan prosentuaalista osuutta kokonaisvirheestä. Tarkemmasta  $\gamma$ :n määritelmästä, katso Coelli (1995).

<sup>10</sup> Liitteessä 3 on esitelty uskottavuusfunktio mukailien Kumbhakaria ja Lovellia (2000).



toimivan keskimäärin tehokkaasti. Jos taas kaksipuolinen virhetermi lähestyy nollaa,  $\sigma_v^2 \rightarrow 0$ , aineistolla voidaan kuvata deterministinen, ainostaan tehottomuudesta aiheutuvan vaihtelun sisältämä, tuotantofunktio. Virhetermit  $\sigma$  ja  $\lambda$  estimoidaan samanaikaisesti teknologiaparametrien  $\beta$  kanssa siten, että malli todennäköisimmin vastaa oletettujen virhetermien jakaumia. Parametriarvojen estimoinnin jälkeen voidaan laskea tehokkuusestimaatit  $u_i$ , koska tiedossa ovat estimaatit  $\varepsilon_i = v_i - u_i$ .<sup>11</sup>

On oleellista osoittaa tehottomuuden olemassaolo eli tehottomuustermin kuulumisen malliin. Tämä voidaan tehdä testaamalla tilastollisesti, onko  $\lambda = 0$ . Mikäli voidaan hylätä nollahypoteesi, että teknistä tehottomuutta ei ole ( $\lambda = 0$ ), tehottomuustermi tulee sisällyttää malliin. Mikäli nollahypoteesi jää voimaan, tehottomuuskomponentti ei kuulu malliin. Tällöin yritysten voidaan olettaa toimivan keskimääräisesti tehokkaasti. Wald-testiä ja uskottavuusosamäärätestiä (LR-testiä eli likelihood ratio -testiä) voidaan käyttää nollahypoteesin testaamiseen. Coellin (1995) mukaan tulisi kuitenkin käyttää yksisuuntaista uskottavuusosamäärätestiä testattaessa tehottomuustermin puolinormaali-oletusta, kun sovelletaan suurimman uskottavuuden menetelmää. Uskottavuusosamäärätestissä verrataan nollahypoteesia ( $H_0$ ) vaihtoehtoiseen hypoteesiin ( $H_1$ ):

$$(15) \quad LR = -2\{\ln[L(H_0)/L(H_1)]\} = -2\{\ln[L(H_0)] - \ln[L(H_1)]\},$$

missä  $L(H_0)$  ja  $L(H_1)$  ovat vastaavien mallien uskottavuusfunktioiden maksimoidut arvot. Coellin (1995) mukaan raja-arvotapauksessa ( $\lambda = 0$ ) yleistetty uskottavuusosamäärän tilastollinen arvo tulisi tulkita niin, että uskottavuusosamäärällä on asympotoottinen jakauma, joka on  $\chi^2$ -jakaumien yhdistelmä ( $\frac{1}{2}\chi_0^2 + \frac{1}{2}\chi_1^2$ ). Coellin ym. (1999, s. 192) mukaan keskimääräistä PNS-mallia ( $H_0$ ) verrataan malliin, jossa on kaksiosainen virhetermi ( $H_1$ ). Vapausasteiden määrällä tarkoitetaan tällöin rajoitteiden määrää eli yhtä. Lisäksi tehottomuuskomponentin katkaistun puolinormaalijakauman  $N^+(\mu, \sigma^2)$  oletusta voidaan testata olettaen, että  $H_0: \lambda = 0$ . Mikäli  $H_0$  saa tilastollista tukea, tiheysfunktio vastaa normaalijakaumaa. Paneelianoineistossa voidaan myöskin tutkia, kehittykö tehottomuus ajassa. Eri mallivaihtoehtojen testaamisen tarkoituksena on arvioida, mikä malleista soveltuu parhaiten empiirisen aineiston kuvailuun.

---

<sup>11</sup> Teknisten tehokkuuslukujen laskemisesta katso lisää Kumbhakar ja Lovell (2000)

## 7 Tulokset ja tulosten tarkastelu

### 7.1 Aineiston kuvaus

Keskeisimmät logaritmoitujen muuttujien tilastollisia ominaisuuksia kuvaavat tunnusluvut on esitetty taulukossa 6. Vinous<sup>12</sup> ja huipukkuus<sup>13</sup> kuvaavat aineiston muuttujien jakaumaa. Negatiivinen etumerkki muuttujilla sahatavara, raakapuu ja pääoma kertovat, että jakaumat ovat vasemmalle vinoja eli jakauman vasen häntä on oikeaa pidempi. Muuttujien sähkö ja henkilöstö etumerkit ovat positiivisia ja jakaumat ovat puolestaan vasemmalle vinoja. Jarque-Bera -testisuure<sup>14</sup> viittaa siihen, että vain sahatavara ja kapasiteetti olisivat normaalijakautuneet. Normaalisuustestien tulosten tulkinnassa on kuitenkin huomioitava aineiston pienuus.<sup>15</sup> Suurimman uskottavuuden estimointi ei sinänsä vaadi aineiston normalisuutta, mutta tällä kuitenkin on merkitystä estimointitulosten luotettavuutta arvioitaessa.

**Taulukko 6.** Aineiston tunnuslukuja.

	ln(s)	ln(l)	ln(e)	ln(c)	ln(p)
Keskiarvo	11,34	12,21	9,01	11,85	3,83
Mediaani	11,35	12,28	8,29	11,83	3,61
Minimi	9,35	10,07	7,02	10,04	2,77
Maksimi	12,57	13,39	12,98	12,98	5,45
Keskihajonta	0,87	0,87	1,70	0,75	0,87
Vinous	-0,48	-0,94	1,36	-0,61	0,77
Huipukkuus	2,98	3,71	3,85	3,42	2,16
Jarque-Bera	2,06	9,06*	18,39*	3,71	6,96*
Havainnot	54	54	54	54	54

\* Tilastollinen merkittävyys 5% merkitsevyystasolla

H = jakauma normaalijakautunut

Aineiston muuttujien korrelaatiomatriisi esitetään taulukossa 7. Korrelaatio on voimakkainta sahatavaran ja tukkipuun välillä (0,97). Kapasiteetin, sähkön käytön ja henkilöstön korrelaatio sahatavaran kanssa on myös melko voimakasta (0,90, 0,79 ja 0,81). Tuotannontekijöiden väliset korrelaatiot ovat pääasiassa hieman alle 0,8. Kuitenkin raakapuun ja kapasiteetin sekä henkilöstön ja sähkön käytön välillä on vielä korkeampi korrelaatio (0,92 ja 0,91), mikä voi viitata tuotannontekijöiden väliseen multikollineaarisuuteen. Tämä saattaa vaikeuttaa muuttujien vaikutusten erottelua toisistaan, jolloin esimerkiksi estimoituihin kertoimiin tulee

<sup>12</sup> Vinous  $S = (1/N) \sum x_i^3 / s^3$

<sup>13</sup> Huipukkuus  $K = (1/N) \sum x_i^4 / s^4$

<sup>14</sup> Jarque-Bera  $JB = [N/6][S^2 + (K-3)^2/4]$

<sup>15</sup> Liitteessä 4 on esitelty muuttujien jakaumat.

suhtautua kriittisesti ja toisaalta kertoimien luottamusvälit voivat muodostua suuriksi (Pindyck ja Rubinfeld 1998).

**Taulukko 7.** Aineiston muuttujien väliset korrelaatiot.

	ln(s)	ln(l)	ln(c)	ln(e)	ln(p)
Sahatavara ln(s)	1,00				
Raakapuu ln(l)	0,97	1,00			
Pääoma ln(c)	0,90	0,92			
Energia ln(e)	0,79	0,76	0,79	1,00	
Työvoima ln(p)	0,81	0,78	0,78	0,91	1,00

Tuotannontekijöiden ja lopputuotteen välistä yhteyttä analysoitiin ennen varsinaista stokastisen tuotantorintamafunktiomallin estimointia pienimmän neliösumman menetelmällä, joka tuottaa keskimääräisen tuotantofunktion (kts. tulokset liitteestä 5). PNS-estimoinnin perusteella sahatavaran tuotannon tärkein selittäjä on raakapuu. Muiden muuttujien lisääminen perusregressiomalliin ei oleellisesti parantanut mallin selitysasetta. Mallin selitysasete oli 0,95, kun kaikki neljä tuotannontekijää ovat mallissa selittäjänä. Raakapuuta lukuun ottamatta muut muuttujat eivät olleet tilastollisesti merkitseviä, mikä voi esimerkiksi osaltaan olla seurausta edellä mainitusta multikollineaariudesta. Toisaalta perussahatavaran tuotannossa raakapuun kustannusosuus lopputuotteen arvosta on suuri, mikä heijastunee myös estimointituloksiin. Tuotantofunktiossa tulisi kuitenkin olla kaikki oleelliset tuotannontekijät, ja koska tässä tutkimuksessa kiinnostuksen kohteena ei niinkään ollut tuotantoteknologian rakenne vaan tuotantoteknologian selittämättä jättämä tuotannon vaihtelu, sisällytettiin kaikki neljä tuotannontekijää estimointeihin.

On perusteltua olettaa, että eri sahatekniikoita käyttävien sahojen tuotantorintamat saattavat olla eri tasoilla sen vuoksi, että sahat käyttävät erilaisia sahaustekniikan yhdistelmiä (pelkkahakkuri, pyörösaha ja vannesaha). Lisäksi sahoilla on eri määrä sahalinjoja. Näiden eroavaisuuksien merkitystä testattiin dummy-muuttujien avulla. Tuotantoteknologialla ja sahalinjoilla ei kuitenkaan todettu tutkimusaineiston perusteella olevan vaikutusta tuotannon tasoon. Osa aineiston sahoista tuottaa perussahatavaran lisäksi merkittävässä määrin myös höyläsahatavaraa ja/tai muita jatkojalosteita. Jatkojalostustuotteita merkittävässä määrin tuottavien sahojen tuotantorintaman tasoa suhteessa pelkästään perussahatavaraa tuottavien sahojen tuotantorintamaan testattiin lisäämällä tuotantofunktioon jatkojalostusta kuvaava dummy-muuttuja. Tämä dummy-muuttuja osoittautui tilastollisesti merkitseväksi.

## 7.2 Sahojen stokastinen tuotantorintamafunktio

Taulukossa 8 esitetään estimoidut sahojen stokastiset tuotantorintamafunktiomallit (1–4) ja keskimääräinen tuotantofunktio (5), jossa oletuksena on sahojen tehokas tuotanto. Kaikissa malleissa raakapuulla  $\ln(l)$  on suurin kerroin, joka on malleissa positiivinen ja vaihtelee välillä 0,68–0,85. Kerroin voidaan tulkita logaritmuunnoksen ansiosta joustoksi. Siten esimerkiksi mallissa yksi raakapuun käytön lisääntyessä prosentin sahatavaran tuotanto lisääntyisi 0,68 prosenttia ja mallissa 2 sahatavaran tuotanto lisääntyisi 0,85 prosenttia. Raakapuun on myös kaikissa malleissa tilastollisesti merkitsevä yhden prosentin merkitsevyystasolla. Tulokset ovat teorian mukaisia ja kuvastavat hyvin sahateollisuuden raaka-aineorientoitunutta tuotantoa.

Sähkö  $\ln(e)$  on mallia 2 lukuun ottamatta merkitsevä muuttuja vähintään 5 prosentin merkitsevyystasolla. Muuttujan  $\ln(e)$  kertoimet saavat arvoja väliltä 0,07–0,23. Näin ollen vuotuinen prosentin lisäys sähkön käytössä lisäisi sahatavaran tuotantoa 0,07 prosentista 0,23 prosenttiin. Tosin malleissa 1,3 ja 4 kerroin on lähellä arvoa 0,2 eli huomattavasti suurempi kuin mallissa 2. Kertoimet ovat kuitenkin melko pieniä, joten muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina, pelkästään sähkön vaikutus on pieni.<sup>16</sup> Sahatavaran kuivaukseen käytettävän sähkön määrä saattaa vaihdella jonkin verran vuosittain tuotettavan sahatavaran laadusta riippuen. Pääomaa kuvaava muuttuja  $\ln(c)$  ei ole tilastollisesti merkitsevä malleissa ja sen kerroin on hyvin pieni. Pääoman kertoimen etumerkki on kuitenkin teorian mukainen eli positiivinen lukuun ottamatta perusmallia 5. Työvoimaa kuvaavan muuttujan  $\ln(p)$  kerroin vaihtelee positiivisesta negatiiviseen: stokastisissa tuotantorintamafunktiomalleissa (mallit 1–4) työvoiman kerroin on välillä -0,10–0,02, kun taas perusmallissa 5 se on 0,22. Muuttuja ei ole malleissa kuitenkaan tilastollisesti merkitsevä lukuun ottamatta perusmallia 5. Dummy-muuttuja kuvaa sahojen lopputuotteiden tuotannon eroja. Sahoilla, joiden tuotannosta myös merkittävä osa on muita sahatuotteita, dummy saa arvoja välillä -0,43 ja 0,037. Dummy-muuttuja on tilastollisesti merkitsevä malleissa 1, 3 ja 5. Näin ollen tulokset viittaisivat siihen, että jatkojalostusta harjoittavien sahojen tuotantorintama sijaitsisi alempana kuin perussahatavaraa tuottavien, mikä on loogista, koska tässä tarkastelussa käsitellään ainoastaan perussahatavaran tuotantoa. Mikäli huomioitaisiin myös jatkojalosteiden tuotanto, jatkojalostusta merkittävässä määrin harjoittavien sahojen kokonaistuotantomäärät olisivat oletettavasti suhteessa suurempia. Erot voivat näin ollen ilmentää suhteellista tuotantotehtävien tarvetta tuotettua sahatavaraa tuotantokohden. Esimerkiksi työpanos kuvaa tässä tutkimuksessa henkilöstön kokonaismäärää eikä pelkästään perussahatavaran tuotantoon kohdistuvaa työpanosta.

---

<sup>16</sup> On myös huomioitava muuttujien kausaalisuus. Sahatavaran lisätuotanto ja jalostus vaativat sähkön käytön lisäystä eikä päinvastoin.

**Taulukko 8.** Sahojen stokastisen tuotantorintamafunktiomallin estimointitulokset.

Suurimman uskottavuuden estimaatit malleille						
		Ajassa muuttuva tehottomuusermi		Vakioinen tehottomuusermi		Keskimääräinen tuotantofunktio
		Malli 1	Malli 2	Malli 3	Malli 4	Malli 5
Muuttuja	Parametri	Battese & Coelli 1992		Battese ym. 1989	Pitt & Lee 1981	
Vakio	$\beta_0$	<b>1,43</b> 0,84	<b>-0,62</b> 0,89	<b>0,84</b> 0,59	<b>0,52</b> 0,69	<b>2,61 **</b> 0,35
ln(l)	$\beta_1$	<b>0,68 **</b> 0,092	<b>0,85 **</b> 0,11	<b>0,73 **</b> 0,083	<b>0,74 **</b> 0,10	<b>0,63 **</b> 0,052
ln(e)	$\beta_2$	<b>0,23 **</b> 0,06	<b>0,068</b> 0,11	<b>0,21 **</b> 0,066	<b>0,18 *</b> 0,09	<b>0,14 **</b> 0,023
ln(c)	$\beta_3$	<b>0,021</b> 0,077	<b>0,089</b> 0,078	<b>0,04</b> 0,071	<b>0,051</b> 0,08	<b>-0,08</b> 0,053
ln(p)	$\beta_4$	<b>-0,085</b> 0,096	<b>0,025</b> 0,065	<b>-0,102</b> 0,092	<b>-0,056</b> 0,097	<b>0,22 **</b> 0,043
D_jalostus	dummy	<b>-0,43 **</b> 0,14	<b>0,037</b> 0,17	<b>-0,32 *</b> 0,13	<b>-0,22</b> 0,15	<b>-0,51 **</b> 0,05
	$\sigma_s^2 = \sigma_v^2 + \sigma^2$	<b>0,025</b> 0,021	<b>0,11</b> 0,059	<b>0,036</b> 0,028	<b>0,081</b> 0,048	<b>0,011 **</b>
	$\gamma = \frac{\sigma^2}{\sigma_s^2}$	<b>0,88 *</b> 0,11	<b>0,97 **</b> 0,018	<b>0,91 **</b> 0,072	<b>0,96 **</b> 0,025	
	$\mu$	<b>0,22 **</b> 0,10		<b>0,23</b> 0,13		
	$\eta$	<b>0,019</b> 0,025	<b>-0,044</b> 0,036			
	Log (likelihood )	<b>62,99</b>	<b>62,89</b>	<b>62,69</b>	<b>62,49</b>	<b>49,26</b>
	Keskimääräinen tekninen tehokkuus	<b>0,78</b>	<b>0,88</b>	<b>0,78</b>	<b>0,81</b>	

Kertoimen alla on ilmoitettu estimaatin keskivirhe. \* ilmaisee tilastollista merkitsevyyttä 5 % merkitsevyystasolla ja \*\* 1 % merkitsevyystasolla.

Cobb-Douglas -tuotantofunktion oletusten perusteella voidaan osoittaa, että tuotantoteknologian estimoidut parametrit voidaan tulkita myös tuotantopanosten kustannusosuuksiksi teollisuudenalan tuotannon arvosta (ks. esimerkiksi Kuuluvainen ja Valsta 2009). Tässä tutkimuksessa estimoitujen mallien parametrien kertoimet ovat pääosin linjassa Tilastokeskuksen raportoimien sahatuotannon kuluosuuksien kanssa, kuten luvussa 2.3.2 esitettiin. Keskimäärin aineskulut ovat olleet 60 prosenttia vuosina 2000–2006. Lisäksi on huomioitava, että kuljetus- ja varastointikustannuksista (10 prosenttia kokonaiskuluista) osa kohdistuu raakapuuhun. Näin ollen mallien raakapuun kertoimet osuvat lähelle toimialan keskimääräisiä kustannuksia (0,68–0,85). Raakapuun merkitys onkin selvästi korostunut aineistosta estimoiduissa malleissa. Kun tarkastellaan toimialan kustannusosuuksia, muiden tuotantopanosten kustannusosuudet eivät estimoiduissa malleissa täysin mukaile Tilastokeskuksen lukuja. Tilastokeskuksen raportoima työvoiman kuluosuus oli 2000-luvulla keskimäärin 20 prosenttia. Estimoiduissa malleissa osuudet olivat pääasiassa tätä pienempiä, eivätkä ne olleet tilastollisesti merkitseviä. Energian osuus oli noin kaksi prosenttia 2000-luvulla. Osassa malleista sähkön osuus oli taas tätä huomattavasti korkeampi eli estimoiduissa stokastisissa tuotantofunktioissa sähkön osuus tuotannossa korostui verrattaessa sitä koko toimialan kustannusosuuksiin.

Taulukon 8 alaosassa on esitetty kaksiosaiseen virhetermiin liittyvät suureet. Termi  $\sigma_s^2$  on kokonaisvirheen varianssi. Termi  $\gamma$  on suhdeluku, joka kertoo tehottomuusvirhetermin varianssin osuuden kokonaisvirheestä. Suhdeluku  $\gamma$  on kaikissa malleissa (1–4) melko suuri eli lähellä yhtä, mikä viittaisi siihen, että merkittävä osa kokonaisvirheestä olisi aiheutunut tuotannon teknisestä tehottomuudesta. Malleissa 2 ja 4 termi  $\mu$ , joka kertoo katkaistun normaalijakauman odotusarvon, on rajoitettu nolnaan eli tehottomuustermien jakaumaoletuksena on puolinormaalijakauma.  $\eta$ -termi kuvaa tehottomuuden kehitystä. Keskimääräinen tehokkuus on malleissa 0,78 ja 0,88 välillä. Ennen johtopäätelmien tekoa on kuitenkin testattava, mikä estimoiduista malleista sopii parhaiten tutkimuksen aineiston kuvailuun.

Estimoituja tuotantorintamafunktiomalleja voidaan verrata keskenään uskottavuusosamäärän avulla. Taulukossa 9 on esitetty sahatuotantoon vaikuttaviin  $u_{it}$  liittyvien hypoteesien testaus. Aluksi tutkitaan, kuuluvatko yrityskohtaiset tehottomuustermi malliin. Verrattaessa mallia 1 malliin 5 voidaan nollahypoteesi hylätä ja tehdä johtopäätös, että yrityskohtaiset  $u_{it}$ -termit kuuluvat malliin ja stokastista tuotantorintamafunktiota voidaan pitää parempana esityksenä tuotantoteknologiasta kuin keskimääräistä tuotantofunktiota.

Seuraavaksi testataan, kuuluuko tuotantofunktioon tehottomuuden kehitystä ajassa kuvaava termi  $\eta$  vertailemalla mallia 1 malliin 3. Uskottavuusosamäärätestin perusteella aikatrendi ei kuulu malliin. Taulukosta 9 nähdään, että aikatrendien kertoimet ovat pieniä ja niillä on eri etumerkki. Seuraavaksi tutkitaan, kuvaako tehottomuustermiä paremmin puolinormaalijakauma vai katkaistu normaalijakauma. Verrattaessa malleja 3 ja 4 ei voida hylätä nollahypoteesia, jonka mukaan  $\mu$ :n odotusarvo olisi nolla. Uskottavuusosamäärätestien mukaan yrityskohtainen tehottomuustermi on ajassa vakio ja se noudattaa puolinormaalijakaumaa. Siten malli 4 sopii parhaiten aineiston kuvailuun.<sup>17</sup>

**Taulukko 9.** Sahakohtaisten tehottomuusvaikutusten testaus.

Oletus	Nollahypoteesi $H_0$	$\chi^2$	$\chi^2_{0,95}$	Päätös
Malli 5 vr malli 1	$\gamma = \mu = \eta = 0$	27,46	7,81	Hylkää $H_0$
Malli 3 vr malli 1	$\eta = 0$	0,60	3,84	Hyväksy $H_0$
Malli 4 vr malli 3	$\mu = 0$	0,41	3,84	Hyväksy $H_0$

Taulukossa 10 on esitetty mallin 4 tehokkuusluvut, jotka kuvaavat skaalalla 0–1 yrityksen tehokkuutta. Mitä suurempi tehokkuusluku, sen tehokkaampi yritys. Keskimääräinen yritysten tehokkuusluku on 0,81, eli tulosten perusteella keskimäärin sahat voisivat kasvattaa tuotantoaan lähes 20 prosenttia teknistä tehokkuutta lisäämällä. Luvuissa on kuitenkin vaihtelua yritysten välillä. Kahdella yrityksellä tehokkuusluku on 0,97 eli erittäin korkea. Alhaisin tehokkuusluku 0,57. Tulosten mukaan yli puolet aineiston yrityksistä toimisi yli 80-prosenttisen tehokkaasti.

**Taulukko 10.** Mallin 4 tehokkuusluvut suurimmasta pienimpään.

Järjestys	Yritys	Tehokkuusluku
1	6	0,97
2	9	0,97
3	1	0,89
4	3	0,85
5	4	0,83
6	2	0,76
7	8	0,74
8	7	0,69
9	5	0,57
<b>Keskiarvo</b>		<b>0,81</b>

<sup>17</sup> Yksisuuntaisen uskottavuusosamäärätestin perusteella tekninen tehottomuustermi  $u_{it}$  on merkitsevä

### 7.3 Sahojen tehokkuutta selittävä malli

Stokastisen tuotantorintamallin estimointitulosten perusteella huomattava osa tuotantovaihteluista oli seurausta teknisestä tehottomuudesta. Lisäksi tehokkuuslukuissa oli selviä sahojen välisiä eroja. Tutkimuksen seuraavassa vaiheessa pyrittiin mallintamaan näiden erojen syitä. Sahakohtaisia tehokkuuslukuja selittävän mallin estimoinnissa kokeiltiin monenlaisia selittävien tekijöiden yhdistelmiä (tuloksia ei tässä raportoida), mutta selvien syy-seuraussuhteiden löytämisessä ei onnistuttu. Tähän merkittävänä syynä lienee aineiston pienuus.

### 7.4 Sahojen tehokkuusestimoinnin tarkastelua

Tutkimuksen tulosten mukaan tehottomuuden huomioiva stokastinen tuotantorintama-analyysi soveltuu keskimääräistä tuotantorintama-analyysiä paremmin suomalaisten keskisuurten ja suurten yksityisten sahojen tuotannon kuvaukseen. Merkittävä huomio on, että oletus sahojen toimimisesta keskimäärin tehokkaasti eli tuotantorintamalla sekä oletus, että tuotantotasojen vaihtelut aiheutuisivat ainoastaan satunnaisuudesta, voitiin osoittaa vääräksi. Sahojen tuotannon kuvauksessa on siten huomioitava yrityskohtainen tehottomuus. Käytetyllä SFA-menetelmällä on useita etuja suhteessa muihin tehokkuusanalyysin työkaluihin (esim. DEA). Tärkeimpänä etuna on kaksiosaisen virhetermin suoma mahdollisuus siihen, että yksittäisen yrityksen tuotannon voi sijaita satunnaisesti myös deterministisen tuotantorintaman yläpuolella. Parametrisenä menetelmänä SFA:han liittyy kuitenkin useita rajoittavia oletuksia, jotka on otettava huomioon myös tämän tutkimuksen tuloksia tulkittaessa. Toisaalta parametrisuus mahdollistaa tulosten luotettavuuden arvioinnin tilastollisin menetelmin.

#### 7.4.1 Tuotannotekijöiden painoarvo malleissa

Tuotantofunktion estimoinnissa tulisi huomioida kaikki oleelliset tuotantoon vaikuttavat tuotantopanokset. Todellisuudessa tuotantopanoksia on paljon enemmän kuin tässä tutkimuksessa huomioitua. Tutkimuksen aineisto on pienehkö, joten tulokset voivat olla varsin epästabiileja, jolloin esimerkiksi poikkeava havainto saattaa muuttaa estimointituloksia huomattavasti. Estimoitaessa tuotantofunktiota, jossa tarkastelun kohteena on tekninen tehokkuus, multikollineaarisuus saattaa myös olla ongelma. Tähän viittäisi tuloksissa se, että esimerkiksi työvoima ja kapasiteetti eivät saaneet malleissa tilastollista merkitsevyyttä ja kertoimet olivat ei-merkitseviä. Kustannustehokkuutta estimoitaessa multikollineaarisuus ei ole



yhtä yleistä, koska kustannusfunktio muodostuu sekä tuotantopanosten käytöstä että tuotantopanosten hinnoista. Tässä yhteydessä kustannustehokkuusmallin estimointi olisi ollut mielenkiintoista. Tällöin olisi päästy tarkastelemaan esimerkiksi tuotannon laatuajakaumaa, mitä ilmentää myytyjen lopputuotteiden hinta. Tutkimuksen aineisto ei kuitenkaan mahdollistanut kustannusfunktion estimointia.

Odotetusti sahojen tärkein tuotannontekijä oli kaikissa malleissa raakapuu. Sähkökin oli tilastollisesti merkitsevä useissa malleissa, mutta sen kerroin oli huomattavasti raakapuun kerrointa pienempi. Ostettua sähköä saatetaan käyttää sahoilla sahatavaran kuivaamiseen, mikä taas vaikuttaa ensisijaisesti tuotetun sahatavaran laatuun ja siihen, kuinka nopeasti se voidaan myydä. Voidaankin siis olettaa, että sähkö ei olisi kovin merkittävä tuotannon tekniseen tehokkuuteen vaikuttava tekijä. Henkilöstön määrä sahoilla ei ole muuttunut kovin paljon tarkasteluajanjaksolla eikä sitä pidetä lyhyellä aikavälillä joustavana tuotannontekijänä. Lisäksi kokonaistyöntekijämäärä ei välttämättä kerro suoraan tuotannon teknisestä tehokkuudesta, koska aineiston henkilöstöstä ei ole eroteltu tuotannon työntekijöitä ja esimerkiksi toimihenkilöitä. Henkilöstön määrä saattaa myös vaihdella merkittävästi yritysten välillä esimerkiksi, jos yrityksellä on jatkojalostusta. Myöskään pääomaa kuvaava tuotantokapasiteetti ei saanut malleissa kuin pieniä kertoimia eikä ollut tilastollisesti merkitsevä. Pääomaa voidaan kuvata monella tavalla, ja saattaa olla, että jokin muu suure olisi kuvannut kyseistä tuotantopanosta osuvammin.

#### **7.4.2 Tuotantofunktion tehottomuuskomponentti**

Tässä tutkimuksessa esitetyt tehottomuusluvut perustuvat tulokseen, että sahojen tekninen tehokkuus ei ole vaihdellut yrityskohtaisesti ajan myötä. Tarkasteluajanjakso ei ollut kovin pitkä, pisimmillään kahdeksan vuotta, eikä tuossa ajassa välttämättä ollut tapahtunut kovin suurta muutosta yritysten tehokkuudessa. Toisaalta muutamat tutkimuksen yrityksistä investoivat tuotantoteknologiaan 2000-luvulla, jolloin on mahdollista, että näiden yritysten tuotannon tehokkuudessa olisi tapahtunut sahaehtaisia muutoksia uuden teknologian ja tuotannon teknisten parannusten myötä. Tätä mallissa ei kuitenkaan voitu huomioida.

Termien  $v_{it}$  ja  $u_{it}$  jakaumien riippumattomuus (kaikille  $t = 1, 2, \dots, T$  ja  $i = 1, 2, \dots, N$ ) on mallissa yksinkertaistava ja rajoittava oletus. Lisäksi virhetermien ja selittäjien riippumattomuusoletus on ongelmallinen, koska yritykset tietävät luultavasti jonkin verran teknisestä tehokkuudestaan, mikä puolestaan voi vaikuttaa yritysten tuotantopanosten käyttöön. Battese ja Coelli (1995)

esittävätkin, että tarvitaan vaihtoehtoisia malleja, jotta voidaan huomioida mahdollinen teknisen tehottomuuden ja virhetermin korrelaatio.

Stokastisessa tuotantorintamafunktioanalyysissä myös homoskedastisuus eli virhetermien varianssin vakio-oletuksen toteutumattomuus saattaa olla ongelma. Virhetermien suuruus saattaa esimerkiksi vaihdella yrityksen koon mukaan tai ajassa. Heteroskedastisuutta saattaa esiintyä kummassa tahansa virhekomponenteista, mikä saattaa aiheuttaa vääristymää tuotantoteknologiaparametreihin, virhekomponentteihin ja tehokkuuslukuihin (Kumbhakar ja Lovell 2000). Heidän mukaansa heteroskedastisuus aiheuttaa ongelmia erityisesti poikkileikkausmalleissa. Paneelimalleissa, joissa tehottomuuskomponentin oletetaan olevan tarkasteluajanjaksolla vakio, vain satunnaisvirhetermi  $v_{it}$  voi olla heteroskedastinen.

#### **7.4.3 Aineiston sahojen välisen heterogeenisuuden huomioiminen**

Malliin 4 sisältyy ajassa muuttumaton yritysکوhtainen tehottomuusermi. On mahdollista, että yritysten välisestä mittaamattomasta heterogeenisyydestä johtuvia eroja sisältyy myös tehottomuusermiin  $u_{it}$ . Mikäli tällaista heterogeenisuutta esiintyy, se saattaa olla mukana tehottomuusermissä, jolloin myös tehottomuusermien tulkinta saattaa olla virheellinen. Greenen (2005a, b) muotoilemassa "varsinaisessa" satunnaisten vaikutusten SFA-mallissa yritysten välillä sallitaan enemmän heterogeenisyyttä. Greenen mallissa yritysکوhtainen vakioetermi jaetaan vakioetermiin ja yritysکوhtaiseen satunnaistermiin, joka kuvaa yritysten välisiä eroja ja tehottomuusermiin, joka vaihtelee ajassa. Toisaalta Greene (2005a) tuo esille mahdollisuuden, että vakioetermi yritysten väliselle heterogeenisyydelle voi vastaavasti sisältää tehottomuuteen liittyviä elementtejä, jolloin ei kumpikaan - tässä tutkimuksessa käytetyt mallimuotoilut eikä todellisten satunnaisten vaikutusten malli - onnistu kuvaamaan tehottomuutta täysin onnistuneesti.

Voidaan myös kysyä, kuinka yksinkertainen sahojen tuotantofunktio onnistuu kuvaamaan sahojen tuotantoympäristössä kohtaamia eroja. Sipiläinen (2008) on esimerkiksi osoittanut, että säilörehuntuottajien tuotannon tehokkuutta mitattaessa tuottajien tuotantorintamat erosivat erilaisen tuotantotekniikan vuoksi. Hänen johtopäätöksensä oli, että teknistä tehokkuutta ei tulisi tulkita eroavaisuuksina liikkeenjohdollisissa taidoissa, mikäli tuottaja ei pysty vaikuttamaan kaikkiin tuotantoympäristön tekijöihin. Huomioitaessa taustamuuttajat ja erot tuotantoympäristössä tehottomuusluvut laskivat merkittävästi. Huomionarvoista oli myös, että kun tuottaja hyödynsi tuottoisampaa korjuutekniikkaa, tuotannon tekninen tehokkuus saattoi olla keskimääräistä alhaisempi. Vaikka esimerkki onkin maataloudesta, voidaan myös sahojen

tuotannon tehokkuutta estimoitaessa kysyä, pitäisikö sahojen tuotantoympäristöä kuvaavat muuttujat ja taustamuuttujat huomioida laajemmin ja sisällyttää stokastiseen tuotantofunktioon vaiko selittämään eroja tehokkuudessa. Sipiläisen (2008) tutkimuksen tulokset puoltavat lähestymistapaa, missä tuotantofunktioon sisällytettäisiin tuotantoympäristöön vaikuttavat tekijät, jolloin esimerkiksi sahoja ei verrattaisi samaan ”best practise –tuotantorintamaan”. Kyseinen tarkastelu jää kuitenkin jatkotutkimuksen aiheeksi.

#### **7.4.4 Funktiomuodon vaikutukset estimointituloksiin**

On hyvä huomioida, että valittu funktiomuoto saattaa aiheuttaa vääristymää myös tehokkuuslukuihin, mikäli jokin muu funktiomuoto kuvaisi tuotantoteknologiaa paremmin. Tässä tutkimuksessa estimointiin saha-aineistosta Cobb-Douglas -tuotantofunktio, joka on sahaehtoisuuteen sovellettuna oletuksiltaan rajoittava. Cobb-Douglas on kuitenkin suosittu funktiomuoto taloustieteessä sen yksinkertaisuuden vuoksi; tuotantofunktion logaritimuunnos on lineaarinen ja yksinkertainen estimoida. Vakioskaalatuotto-oletus pitkällä aikavälillä tarkoittaa, että tuotannon lisäys ei tuo yritykselle skaalaetua teollisuudenalalla tuotannossa. Tuotantopanosten käytön lisääntyessä myös yrityksen tuotanto lisääntyy samassa suhteessa kuin panosten käyttö. Vakioinen panosten substituutiojousto kertoo puolestaan panosten korvautuvuudesta toisillaan tuotannon pysyessä samana. Substituutiojouston ollessa yksi panosten välillä vallitsee täydellinen korvautuvuus. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi henkilöstön määrää laskettaessa voidaan lisätä vastaavasti jotakin muuta tuotantopanosta ja pitää sama tuotannontaso. (Coelli ym. 1999)

Tehokkuustarkasteluissa myös translog-funktio on ollut käytetty funktiomuoto. Tämän tutkimuksen aineistoon yritettiin soveltaa myös translog-funktiomuotoa, mutta funktiomuoto ei soveltunut pienen aineiston estimointiin. Lisäksi tarkastelu haluttiin pitää yksinkertaisena. Translog-funktio ei aseta skaalatuotto- ja substituutorajoituksia, mutta multikollineaarisuus ja vapausasteet muodostuvat ongelmaksi pienessä aineistossa.

#### **7.4.5 Menetelmän soveltuvuus sahaehtoisuuden tarkasteluun**

Vaikka saatuja tutkimustuloksia ei voi suoraan yleistää koskemaan koko Suomen sahaehtoisuutta, tutkimusta voidaan kuitenkin pitää ensimmäisenä askeleena Suomen sahaehtoisuuden tuotannon tehokkuuden mallinnuksessa. Tutkimuksessa havaittiin selviä

tehokkuuseroja sahojen välillä. Yksi tehokkuuden tutkimuksen suurimmista haasteista tulee tulevaisuudessa edelleenkin olemaan tarpeeksi kattavan ja laajan tutkimusaineiston kerääminen.

On myös suhtauduttava kriittisesti tämän tutkimuksen aineistoon ja siihen, miten kyselylomakkeen kysymyksenasettelussa onnistuttiin. Vaikka kysymykset pyrittiin laatimaan yksiselitteisiksi, on mahdollista, että aineistossa on silti virheitä. Nämä saattavat johtua esimerkiksi siitä, että sahat dokumentoivat tuotantoon liittyviä seikkoja eri tavalla. Kaikki kyselyyn vastanneet sahat eivät ole pystyneet antamaan tarkkoja lukuja kysymyksiin, jolloin aineiston tarkkuudessa voi olla jonkun verran vaihtelua. Lisäksi inhimilliset virheet raportoinnissa tai kyselylomakkeen täytössä ovat mahdollisia.

#### **7.4.6 Vertailua aikaisempiin tutkimuksiin**

Tietävästi Suomen sahateollisuuden tuotannon tehokkuutta ei ole mallinnettu aikaisemmin. Sen sijaan muissa Pohjoismaissa ja Yhdysvalloissa on jonkun verran tutkittu sahateollisuuden tehokkuutta. Nyrudin ja Baardsenin (2003) DEA-tarkastelussa Norjan sahateollisuudessa keskimääräinen tuotannon tehokkuus vaihteli 80 ja 90 prosentin välillä 1970-luvulta 1990-luvulle. Helvoigt (2006) esitti, että Luoteis-Amerikan sahateollisuuden keskimääräinen tuotannon jousto 1970-luvulta 1990-luvulle on ollut keskimäärin 0,65 tukkipuun suhteen, pääoman suhteen 0,042, työvoiman suhteen 0,049 ja muille panoksille 0,284. Tutkimuksen sahat toimivat koko tarkastelujaksolla miltei sataprosenttisen tehokkaasti, mutta kuitenkin niin, että 1990-luvulla tehokkuusluvut keskimäärin hieman pienenevät. Näitä tutkimuksia ei luonnollisestikaan pystytä vertailemaan suoraan Suomen sahateollisuuteen, koska ne ovat muista maista ja sijoittuvat eri aikaan. Voidaan kuitenkin todeta, että myös Norjan ja Amerikan sahateollisuudessa on havaittu tehottomuutta. Myös Helvoigtin (2006) joustojen arvot ovat likimain tämän tutkimuksen mallien tasolla, tosin tuotannontekijä ”muut” sisälsi energiakustannusten lisäksi myös operaatio- ja ylläpitokustannukset.

## **8 Johtopäätökset**

Suomen sahateollisuus toimii koko metsäsektorin tavoin muuttuvassa kansainvälisessä toimintaympäristössä. Vuosien 2008–2009 heikko talouskehitys on ollut erityisen vaikeaa Suomen sahateollisuudelle. Koska yksittäiset suomalaiset sahat eivät pysty vaikuttamaan sahatavaran maailmanmarkkinahintoihin, kalliin tuotantopanoksen, kuten raakapuun, tehokas hyödyntäminen tuotannossa on ensisijaisen tärkeää. Tehokkuus, tuottavuuden osa-alue, on siten keskeinen yritysten ja toimialojen kilpailukykyyn vaikuttava tekijä.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin suomalaisten itsenäisten sahojen teknistä tehokkuutta stokastisen tuotantorintama-analyysin avulla. Tutkimusta varten kerättiin paneeliaineisto, jossa havaintoyksiköitä oli yhdeksän ja havaintoja 54. Tuotannon mittarina tutkimuksessa oli vuositason tuotetun sahatavaran kuutiomäärä. Tuotantopanoksia olivat puolestaan tuotannossa käytetty raakapuu, henkilöstön määrä, ostettu sähkö ja tuotantokapasiteetti. Aineistosta estimoitiin useita vaihtoehtoisia tehokkuusmalleja erilaisilla tuotantopanosten yhdistelmillä.

Tutkimuksessa pyrittiin erityisesti selvittämään, onko suomalaisten itsenäisten sahojen välillä eroja tuotannon tehokkuudessa ja jos on, mistä tekijöistä erot aiheutuvat. Tutkimuksen tärkein tulos on, että suomalaisten sahojen tuotannossa esiintyy yrityskohtaista tehottomuutta. Tämän vuoksi perinteinen, keskimääräinen tuotantorintamafunktio on liiallinen yleistys sahaustoimialan tuotannon kuvaukseen. Tulosten mukaan tarkasteluajanjaksolla vuosina 2000–2007 tuotannon tehokkuudessa ei ollut tapahtunut tilastollisesti merkitsevää muutosta. Huomionarvoista on myös, että sahakohtaiset tehokkuuserot muodostuivat melko suuriksi. Cobb-Douglas -tuotantoteknologiaoletusten mukaisesti estimoitujen mallien kertoimet vastasivat puuraaka-aineen osalta sen kustannusosuutta sahateollisuuden tuotannossa. Aineiston sahoista yli puolet toimi vuosina 2000–2007 tuotantoteknisesti yli 80-prosenttisen tehokkaasti, mutta tehokkuudessa oli suuria yrityskohtaisia eroja. Aineiston pienuuden vuoksi tehottomuuserojen taustalla olevia syitä ei kuitenkaan pystytty selvittämään.

Metsäsektorin murroksen myötä puutuoteteollisuuden ja sen tärkeimmän osan sahauksen kansantaloudellinen merkitys tulee korostumaan. Samalla tarve toimialan syvälliseen tuntemukseen ja toiminnan tehokkuuden lisäämiseen kasvaa. Nyt tehtyä tutkimusta voidaan pitää ensimmäisenä askeleena suomalaisen sahateollisuuden toiminnan tehokkuuden tarkastelussa parametrisin menetelmin. Jatkotutkimusten haasteena on havaittujen tehokkuuserojen syiden analysointi. Nyt havaitut erot teknisessä tehokkuudessa eivät toisaalta kerro sahojen toiminnan kokonaistehokkuudesta eli siitä, miten sahat onnistuvat taloudellisten tavoitteiden ja tuotannon tehokkuuden yhdistämisessä. Siten sahojen kokonaistehokkuuden arviointi on myös tärkeä tulevien tutkimusten aihe. Olisi myös otollista vertailla esimerkiksi Suomen itsenäisten sahojen ja metsäteollisuuskonserneihin kuuluvien sahojen välisiä eroja tehokkuudessa. Mielenkiintoinen tutkimusaihe olisi myös Suomen ja kilpailijamaiden sahateollisuuden makrotason tuotannon teknisen tehokkuuden ja kokonaistehokkuuden vertailu.

## Lähteet

- Afriat, S.N. 1972. Economic estimation of production functions. *International Economic Review* 13(3):568–598.
- Aigner, D.J ja Chu, S.F. 1968. On estimating the industry production function. *American Economic Review* 58(4): 826–39.
- Aigner, D.J. Lovell, C.A.K. ja Schmidt, P. 1977. Formulation and estimation of stochastic frontier production functions. *Journal of Econometrics* 6: 21–37.
- Aravuo, K. 2007. Puun sahaus, höyläys ja kyllästys. Toimialaraportti 4/2007. KTM:n ja TE-keskusten julkaisu. 52 s. Saatavilla internetissä: <http://www.toimialaraportit.fi/>.
- Asteriou, D. and Hall. S.G. 2007. *Applied Econometrics*. Palgrave. 386 s.
- Balance Consulting Oy. 2005. Tilinpäätösanalyysit suomalaisille keskiuurille ja suurille yksityisesti omistetuille sahoille 2000–2004 [Tehty 24.3.2006]. Tilattavissa internetistä: <http://www.balanceconsulting.fi/esittely/>.
- Balance Consulting Oy. 2006. Rankinraportti. Sahat. Tilinpäätösanalyysit suomalaisille keskiuurille ja suurille yksityisesti omistetuille sahoille 2002–2005 [Tehty 12.12.2006]. Tilattavissa internetistä: <http://www.balanceconsulting.fi/esittely/>.
- Balance Consulting Oy. 2007. Rankinraportti. Sahat. Tilinpäätösanalyysit suomalaisille keskiuurille ja suurille yksityisesti omistetuille sahoille 2003–2006 [Tehty 13.11. 2007]. Tilattavissa internetistä: <http://www.balanceconsulting.fi/esittely/>.
- Battese, G.E. ja 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. ja Coelli, T.J. 1995. A model for technical inefficiency in a stochastic production function for panel data. *Empirical Economics* 20: 325–332.
- Battese, G.E., Coelli, T.J. ja Colby, T.C. 1989. Estimation of frontier production functions and the efficiency of Indian farms using panel data from ICRISAT's village level studies. *Journal of Quantitative Economics* 5: 327–348.
- Battese, G.E. ja Corra, G.S. 1977. Estimation of a production frontier model: with application to the pastoral zone off Eastern Australia. *Australian Journal of Agricultural Economics* 21: 169–179.
- Carter, D.G. ja Cabbage, F.W. 2005. Stochastic frontier estimation and sources of technical efficiency in southern timber harvesting. *Forest Science* 41 (3): 576–593.
- Charnes, A., Cooper W.W. ja Rhodes E. 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 2(6): 429–444.
- Coelli, T. 1995. Estimators and hypothesis tests for a stochastic frontier function: a monte carlo analysis. *Journal of Productivity Analysis* 6(4): 247–268.
- Coelli, T. 1996. A guide to FRONTIER version 4.1: a computer program for stochastic frontier production and cost function estimation. CEPA Working papers 7/96. Department of Econometrics University of New England.
- Coelli, T., Rao, P.D.S. ja Battese, G.E. 1999. An introduction to efficiency and productivity analysis. Kolmas painos. Kluwer Academic Publishers, Boston. 275 s.
- Debreu, G. 1951. The coefficients of resource utilization. *Econometrica* 19(3): 273–292.
- Euroopan Unionin komission suositus (2003/361). Mikroyritysten sekä pienten ja keskiuurten yritysten määritelmästä [Viitattu 30.11.2009]. <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:124:0036:0041:FI:PDF>.
- FAOSTAT. 2009. Food and Agriculture Organization of the United Nations [viitattu 23.3.2009]. <http://faostat.fao.org/site/626/DesktopDefault.aspx?PageID=626#ancor>.
- Farrell, M.J. 1957. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)* 120(3):253–290.
- Finnforest. Metsäliiton vuoden 2007 vuosikertomus 2007 [Viitattu 10.1.2009]. <http://www.finnforest.fi/Pages/Default.aspx>.
- Fotiou, S.I. ja Stamou, N.I. 2000. Proceedings of IUFRO International Symposium 2000, Information Management in Forest Enterprises. Freising, Germany, April 2000.

- Färe, R., Grosskopf, S. ja Lovell, K. C. A. 1994. *Production frontiers*. Cambridge University Press, Cambridge. 296 s.
- Gravelle, H. ja Rees, R. 2004. *Microeconomics*. Kolmas painos. Pearson Education Limited, Essex, England. 738 s.
- Greene, W.H. 1999. Frontier production functions. Teoksessa: Pesaran, M.H ja Schmidt, P. *Handbook of applied econometrics, Volume II: Microeconometrics*. Blackwell Publishers Ltd. 453 s.
- Greene, W. 2003. Distinguishing between heterogeneity and inefficiency: stochastic frontier analysis of the world health organisation's panel data on national health care systems. NYU working paper No EC-03-10. Department of Economics, Stern School of Business, New York University.
- Greene, W. 2005a. Fixed and Random Effects in Stochastic Frontier Models. *Journal of Productivity Analysis* 23: 7–23.
- Greene, W. 2005b. Reconsidering heterogeneity in panel data estimators of the stochastic frontier model. *Journal of Econometrics* 126: 269–303.
- Grundbrand, L. Storsdal, S. ja Baarden Sjur. 2006. Private forest owners harvesting behaviour and technical efficiency: effects of other income sources. Proceedings of IUFRO 3.08 Conference hosted by Galway-Mayo Institute of Technology, Small-scale Forestry and Rural Development: The Intersection of Ecosystems, Economics and Society. Galway, Ireland, kesäkuu 2006.
- Hakuni, Mika. 1994. Tehokkuus Suomen sulfaattiselluteollisuudessa vuosina 1972–1990: Ei-parametrisen tehokkuusanalyysin sovellus saastuttavaan tuotannonalaan. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja nro 517.
- Hansen, E., Seppälä, J. ja Juslin, H. 2002. Marketing strategies of softwood sawmills in western North America. *Forest Products Journal* 52(10): 19–25.
- Hansmann, H. 1988. Ownership of the firm. *Journal of law, economics and organisation* 4(2): 267–304.
- Helvoigt, T.L. 2006. Productivity growth, technical change, and time-varying elasticity of substitution in the northwest sawmill industry: a stochastic frontier approach. Teoksessa: *An analysis of technical efficiency and productivity growth in the pacific northwest sawmill industry*. Thesis of Doctor of Philosophy.
- Helvoigt, T.L. ja Adams, D.M. 2008. Data envelopment analysis of technical efficiency and productivity growth in the US Pacific Northwest sawmill industry. *Canadian Journal of Forest Research* 38: 2553–2565.
- Helvoigt, T.L. ja Adams, D.M. 2009. A stochastic frontier analysis of technical progress, efficiency change and productivity growth in the Pacific Northwest sawmill industry. *Forest Policy and Economics* 11: 280–287.
- Helvoigt, T.L. ja Grosskopf, S. 2005. Productivity growth, technical efficiency and returns to scale in Washington State sawmill industry. *International Journal of Information Technology and Decision Making* 4(3): 477–490
- Hetemäki, L. 1996. Essays on the impact of pollution control on a firm: a distance function approach. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja nro 609. Helsinki 162 s.
- Hicks, J.R. 1935. The theory of monopoly: A survey. *Econometrica* 3(1): 1–20.
- Honkatukia, J. , Kallio, M., Hänninen, R. ja Pohjola, J. 2008. Venäjän puutullien vaikutukset Suomen metsäsektoriin ja kansantalouteen. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2008:159–176.
- Honkatukia, J. ja Sulamaa, P. T 1999. Tekninen tehokkuus ja kokonaistuottavuus.
- Huang, C.J., ja Liu J-T. 1994. Estimation of a non-neutral stochastic frontier production function. *Journal of Productivity Analysis* 5(2): 171–180.
- Hänninen, R., Toppinen, A. Verkasalo, E., Ollonqvist, P., Rimpler, T., Enroth, R. ja Toivonen, R. 2007. Puutuoteteollisuuden tulevaisuus ja puurakentamisen mahdollisuudet. Metlan työraportteja nro 49.
- Hänninen, R. ja Viitanen, J. 2007. Sahatavaramarkkinoiden suhdannevaihtelut Euroopassa 1970–2007. Metsäsektorin suhdannekatsaus 2007–2008, 49–51.
- Kallio, M. 2001. Interdependence of the sawlog, pulpwood and sawmill chip markets: an oligopsony model with an application to Finland. *Silva Fennica* 35(2): 229–243.
- Kao, C. 1994. Efficiency improvement in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research* 73:487–494.

- Kao, C. 1998. Measuring the efficiency of forest districts with multiple working circles. *Journal of Operational Research Society* 49: 583–590.
- Kao, C. 2000. Measuring the performance improvement of Taiwan forests after reorganisation. *Forest Science* 46: 577–584.
- Kao, C. ja Yang, Y.C. 1991. Measuring the efficiency of forest management. *Forest Science* 37(5): 1239–1252.
- Kao, C. ja Yang, Y.C. 1992. Reorganisation of forest districts via efficiency measurement. *European Journal of Operational Research* 58(3): 456–362.
- Kirjavainen, T. 2007. Efficiency of Finnish upper secondary schools: an application of stochastic frontier analysis with panel data. VATT-keskustelualoitteita 428. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus.
- Koopmans, T.C. 1951. An analysis of production as an efficient combination of activities. Teoksessa: Koopmans, T.C. (toim.). *Activity analysis of production and allocation*. Cowles Commission for Research Economics. Monograph No 13. New York: Wiley.
- Korhonen, S. ja Niemelä, J. 2005. A conceptual analysis of capabilities: indentifying the sources of competitive advantage in the wood industry. *Liiketaloudellinen aikakauskirja* 54: 11–47.
- Kumbhakar, S., Ghosh, S. ja McGuckin, J. A. 1991. A generalized production frontier approach for estimating determinants of inefficiency in US dairy farms. *Journal of Business and Economic Statistics* 9: 279–286.
- Kumbhakar, S. A. ja Lovell, C.A.K. 2000. *Stochastic frontier analysis*. Cambridge University Press, Cambridge. 333 s.
- Kuuluvainen, J. ja Valsta, L. 2009. *Metsäekonomian perusteet*. Gaudeamus Helsinki University Press, Helsinki. 332 s.
- Land, K.C., Lovell, C.A.K ja Thore, S. 1993. Chance-constrained data envelopment analysis. *Managerial and Decision Economics* 14(6): 541–554.
- Linna, M. 1998. Measuring hospital cost efficiency with panel data models. *Health Economics* 7: 415–427.
- Lovell.C.A.K. 1993. Production frontiers and productive efficiency. Teoksessa: Fried. H.O, Lovell.C.A.Km Schmidt.S.S (toim.). *The measurement of productive efficiency*. Oxford University Press. 426 s.
- Lundmark, R. ja Söderholm, P. 2004. Estimating and decomposing the rate of technical change in the Swedish pulp and paper industry: a general index approach. *International Journal of Production Economics* 91: 17–35.
- Lähtinen, K ja Toppinen, A. 2008. Financial performance in Finnish large- and medium-sized sawmills: The effects of value-added creation and cost-efficiency seeking. *Journal of Forest Economics* 14: 289–305.
- Lähtinen, K., Haara, A., Leskinen, P. and Toppinen, A. 2008. Assessing the relative importance of tangible and intangible resources: Empirical results from the forest industry. *Forest Science* 54(6): 607–616.
- Lähtinen, K., Toppinen, A., Leskinen, P. & Haara, A. 2009. Resource usage decisions and business success: A case study of Finnish large- and medium-sized sawmills. *Journal of Forest Products Business Research* 6(3): 1-18.
- Meeusen, W. ja Van den Broek, J. 1977. Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review* 18(2):435–444.
- Metla, Metinfo tilastopalvelu. <http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/>.
- Metsäsektorin suhdannekatsaus 2008–2009. 2008. Metsäntutkimuslaitos. 67 s.
- Metsäsektorin suhdannekatsaus 2009–2010. 2009. Metsäntutkimuslaitos. 58 s.
- Metsäteollisuuden ajankohtaiskatsaus 2008. Metsäteollisuus ry [viitattu 25.2.2009]. [http://www.metsateollisuus.fi/juurinyt/Documents/Tiedotteet/metsateollisuus\\_ajankohtaiskatsaus.pdf](http://www.metsateollisuus.fi/juurinyt/Documents/Tiedotteet/metsateollisuus_ajankohtaiskatsaus.pdf).
- Metsäteollisuus ry. 2001. Ympäristönsuojelun vuosikirja. Saha- ja levyteollisuus. Vuoden 2000 tilastot. 56 s. [Viitattu 24.3.2006] [http://www.forestindustries.fi/files/julkaisut/pdf/saha\\_ja\\_levy2000.pdf](http://www.forestindustries.fi/files/julkaisut/pdf/saha_ja_levy2000.pdf).
- Metsäteollisuus ry. 2008a. Metsäteollisuus ry:n jäsenyritysten sahat Suomessa. Metsäteollisuuden tilastopalvelu, [viitattu 10.11.2008]. <http://www.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu/Tilastokuviot/>



- Perustietoa/Forms/DispForm.aspx?ID=122&RootFolder=%2ftilastopalvelu%2fTilastokuviot%2fPerustietoa%2fJulkainen-FI.
- Metsäteollisuus ry. 2008b. Metsäteollisuustuotteiden tuotantomäärät Suomessa 1997–2006. Metsäteollisuuden tilastopalvelu [viitattu 10.11.2008]. <http://www.metsateollisuus.fi/tilastopalvelu/Tilastotaulukot/Vuositilastot/Forms/AllItems.aspx>.
- Metsätalastollinen vuosikirja 2001. Metsäntutkimuslaitos. 372 s.
- Metsätalastollinen vuosikirja 2007. Metsäntutkimuslaitos. 443 s.
- Metsätalastollinen vuosikirja 2008. Metsäntutkimuslaitos. 458 s.
- Metsätalastollinen vuosikirja 2009. Metsäntutkimuslaitos. 452 s.
- Niemelä, J. ja Smith, P. 1997. A multinational analysis of competitive strategies of softwood sawmills. *Scandinavian Journal of Forest Research* 12:295–301.
- Nishimizu, M ja Page, J.M. 1982. Total factor productivity growth, technological progress and technical efficiency change: dimensions of productivity change in Yugoslavia, 1965–78. *Economic Journal* 92(368): 920–936.
- Nyrud, A.Q. ja Baardsen, S. 2003. Production efficiency and productivity growth in Norwegian sawmilling. *Forest Science* 49(1): 89–97.
- Nyrud, A.Q. ja Bergseng, E.R. 2002. Production efficiency and size in Norwegian sawmilling. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17 (6): 566–575.
- Olesen, O.B. ja Petersen, N.C. 1995. Chance constrained efficiency evaluation. *Management Science* 41(3): 442–457.
- Pereira, C.P. ja Moreira, S. 2007. A stochastic frontier analysis of secondary education output in Portugal. Working papers 6/2007. Banco de Portugal.
- Perttola, T. 2006. Sahayrityksen laajentamisen kannattavuus. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Diplomityö.
- Pindyck, R.S. ja Rubinfeld, D.L. 1998. *Econometric models and economic forecasts*. Fourth edition. McGraw-Hill International Editions. 634 s.
- Pitt, M. & Lee, M. 1981. The measurement and sources of technical inefficiency in the Indonesian weaving industry. *Journal of Development Economics* 9: 43–64.
- Pollitt, M. 1995. Technical efficiency in electrical power plants. Cambridge Working Papers in Economics 9422. Faculty of Economics, University of Cambridge.
- Rautanen, M. 2009. Suomen sahateollisuuden kysyntä ja asiakasrakenne –nykytila ja tulevaisuuden skenaariot. Helsingin yliopisto. Pro gradu- työ.
- Richmond, J. 1974. Estimating the Efficiency of Production. *International Economics Review* 15(2): 515–521.
- Rogers, M. 1998. The Definition and Measurement of Productivity. Melbourne Institute Working paper No. 9/98. Melbourne Institute of Applied Economic and Social Research, the University of Melbourne.
- Rosko, M.D. 2001. Cost efficiency of US hospitals: A stochastic frontier approach. *Health Economics* 10: 539–551.
- Sauer, S, ja H. Hockmann. 2005. The need for theoretically consistent efficiency frontiers. The XIth European Association of Agricultural Economists (EAAE) Congress. Kööpenhamina, Tanska, elokuu 2005.
- Schmidt, P. 1976. On the statistical estimation of parametric frontier production functions. *Review of Economics and Statistics* 58(2): 238–239.
- Schmidt, P. ja Sickles, R.C. 1984. Production frontiers and panel data. *Journal of Business and Economic Statistics* 2(4): 367–374.
- Shephard, R.W. 1953. *Cost and Production Functions*. Princeton: Princeton University Press.
- Sipiläinen, T. 2008. Components of productivity growth in Finnish Agriculture. Agrifood Research Reports 116. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Doctoral Dissertation. 153 s.
- Siry, P. ja Newman, D. 2001. A stochastic production frontier analysis of Polish state forests. *Forest Science* 47(4): 526–533.

- Smith, P. ja Munn, I. 1998. Regional cost function analysis of the logging industry in the Pacific northwest and southeast. *Forest Science* 44: 517–525.
- Smith, P.M., Dasmohapatra, S. ja Luppold, W.G., 2004. A profile of Pennsylvania's hardwood sawmill industry. *Forest Products Journal* 54 (5): 43–49.
- Stevenson, R.M. 1980. Likelihood functions for generalized stochastic frontier estimation. *Journal of Econometrics* 13(1): 57–66.
- Stigler, G.J. 1976. The Existence of X-Efficiency. *American Economic Review*. 66(1): 213–216.
- Suomen piensahat 1998. Metsätilastotiedote 523. Metsäntutkimuslaitos, metsätilastollinen tietopalvelu. 7 s.
- Suomen puutuoteteollisuus 2020 – skenaario- ja strategiatyön loppuraportti. 2007. Metsäteollisuus ry.
- Suomen Sahat ry 2009. Kartta. [viitattu 30.1.2009]. [http://www.finnishsawmills.fi/jas\\_kartta.htm](http://www.finnishsawmills.fi/jas_kartta.htm).
- StataCorp. 2005. Stata Statistical Software: Release 9. College Station, TX: StataCorp LP.
- Stora Enso Timber Oy Ltd. Vuosikertomus 2007 [Viitattu 10.1.2009]. <http://www.storaenso.com/>.
- Tilastokeskus 2008a. Teollisuuden alue- ja toimialatilasto [viitattu 30.11.2008]. <http://www.stat.fi/meta/til/atoi.html>.
- Tilastokeskus 2008b. Statfin. Yritykset toimialoittain [viitattu 30.11.2008]. [http://pxweb2.stat.fi/Database/StatFin/yri/syr/010\\_yr/010\\_yr\\_fi.asp](http://pxweb2.stat.fi/Database/StatFin/yri/syr/010_yr/010_yr_fi.asp).
- UPM-Timber Oy. Vuosikertomus 2007 [Viitattu 10.1.2009]. <http://www.upm-kymmene.com/>.
- Vapo Timber Oy. Vuosikertomus 2007 [Viitattu 10.1.2009]. <http://www.vapotimber.fi/fi/etusivu/?id=1741>.
- Viitala, E.J. ja Hänninen, H. 1998. Measuring the efficiency of public sector forestry organisations. *Forest Science* 44: 298–307.
- Winsten, C.B. 1957. Discussion on Mr. Farrell's paper. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A, General*, 120(3): 282–84.
- Yin, R. 1998. DEA: A new methodology for evaluating the performance of forest products producers. *Forest Products Journal* 48(1): 29–34.
- Yin, R. 2000. Alternative measurements of productive efficiency in the global bleached softwood pulp sector. *Forest Science* 46(4): 558–569.

## Liite 1: Kyselylomake

### SAHOJEN TUOTANTO JA TUOTANTOPANOSTEN KÄYTTÖ Joulukuu 2008

#### Kyselylomake

Hyvä sahayrityksen edustaja,



Metsäntutkimuslaitoksessa (Metla) käynnissä olevassa hankkeessa (<http://www.metla.fi/hanke/3424/index.htm>) tutkitaan suurten metsäteollisuuskonsernien ulkopuolella toimivien sahojen liiketoimintaedellytyksiin vaikuttavia tekijöitä.

22 yritystä osallistui viime vuoden alussa haastatteluihin, joissa selvitettiin erilaisten aineellisten ja aineettomien tuotannontekijöiden merkitystä sahojen liiketoiminnassa. Haastatteluaineiston analyysin tiivistelmä on tämän kyselylomakkeen liitteenä.

Hankkeessa tehdään nyt jatkotutkimusta muun muassa pk-sahojen tuotannon tehokkuudesta ja siihen vaikuttavista tekijöistä. Tämän kysymyslomakkeen avulla pyritään täydentämään vuonna 2007 kerättyä haastatteluaineistoa. Tutkimusryhmä kerää ja analysoi tiedot luottamuksellisesti, eikä yksittäisten yritysten tietoja luovuteta ulkopuolisille. Tulokset esitetään niin, ettei niistä ole mahdollista tunnistaa kyselyyn osallistuneiden sahojen yrityskohtaisia tietoja. Kyselylomakkeessa on kaksi osaa, joista ensimmäinen osio koskee yrityksen tuotantolukuja ja toinen osio tuotantopanoksia. Kyselyyn vastaaminen vie arviolta puolisen tuntia. Pyydämme teitä vastaamaan kysymyksiin mahdollisimman huolellisesti ja kattavasti, jolloin aineiston käytettävyydestä ja erityisesti tulosten käytännön hyödynnettävyydestä tulee mahdollisimman hyvä.

Hankkeeseen liittyvien tutkimusten tuloksia raportoidaan tulevan vuoden aikana Katja Lähtisen (MMM) ja Anna Hyytiäisen (MMK) toimesta. Kyselyn aineistoa käytetään muun muassa Anna Hyytiäisen Helsingin yliopistoon tekeillä olevassa pro gradu -työssä.

Lisätietoja kyselystä antaa Anna Hyytiäinen, p. +358 44 534 0654. Täytetyn vastauslomakkeen voitte lähettää sähköpostitse osoitteeseen [anna.hyytiainen@metla.fi](mailto:anna.hyytiainen@metla.fi) tai paperiversion postitse Anna Hyytiäinen, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö, PL 68, 80101 JOENSUU tai faksilla +358 10 211 3251.

**Kiitos vastauksestanne!**

**Yhteystiedot**

**Yrityksen nimi:**

**Vastaajan nimi ja asema yrityksessä:**

## I YRITYKSEN TUOTANTO

1a. Kuinka paljon yrityksenne tuotti sahatavaraa vuosina 2000–2007?

Vuosi, m <sup>3</sup>	Puulaji	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Perus-sahatavaraa	Mänty								
	Kuusi								
	Koivu								
Höylättyä sahatavaraa	Mänty								
	Kuusi								
	Koivu								
Muita jatkojalosteita	Mänty								
	Kuusi								
	Koivu								
Yhteensä	<b>Kaikki</b>								

1b. Mikä oli yrityksenne tuottaman sahatavaran keskimääräinen laatujaakauma?

Vuosi, laatu	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
A/%								
B/%								
C/%								
D/%								

## II YRITYKSEN TUOTANTOPANOKSET

### 1 RAAKA-AINE

1a) Kuinka paljon yrityksenne käytti puuraaka-ainetta vuosina 2000–2007?

Vuosi, m <sup>3</sup>	Puulaji	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Kotimaista tukkipuuta	Mänty								
	Kuusi								
	Koivu								
Ulkomaista tukkipuuta	Mänty								
	Kuusi								
	Koivu								
Pikkutukkipuuta	Mänty								
	Kuusi								
	Koivu								
Yhteensä	<b>Kaikki</b>								

1b) Mikä oli näinä vuosina keskimääräinen tuotannossa käyttämänne tukin latvaläpimitta? Voitte merkitä kaikkien puulajien keskiarvon lisäksi halutessanne puulajikohtaisen keskiarvon.

Vuosi	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Kaikki/cm								
Mänty/cm								
Kuusi/cm								
Koivu/cm								

1c) Mikä oli näinä vuosina keskimääräinen tuotannossa käyttämänne tukin pituus? Voitte merkitä kaikkien puulajien keskiarvon lisäksi halutessanne puulajikohtaisen keskiarvon.

Vuosi	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Kaikki/cm								
Mänty/cm								
Kuusi/cm								
Koivu/cm								

1d) Mikä oli näinä vuosina tuotannossa käyttämänne raakapuun keskimääräinen tehdashinta? Voitte merkitä kaikkien puulajien keskiarvon lisäksi halutessanne puulajikohtaisen keskiarvon.

Vuosi	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Kaikki €/m <sup>3</sup>								
Mänty €/m <sup>3</sup>								
Kuusi €/m <sup>3</sup>								
Koivu €/m <sup>3</sup>								

## 2. TYÖVOIMA

2a) Mitkä olivat sahanne henkilöstön todellisten toteutuneiden työtuntien määrä (ei siis sisällä esim. sairauslomia, muita poissaoloja, mutta sisältää ylityöt)?

Vuosi	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Työtunnit/vuosi								

2b) Kuinka monessa vuorossa keskimäärin sahallanne tehtiin töitä näinä vuosina?

Vuosi	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Vuoroja/vuosi								

## 3. TUOTANTOTEKNOLOGIA

3a) Mikä oli sahatavaran suurin mahdollinen tuotantokapasiteettinne (ei sis. jatkojalosteita) vuositasolla jos sahallalla olisi työskennelty kolmessa vuorossa koko vuoden ympäri?

Vuosi	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
m <sup>3</sup> /vuosi								

3b) Kuinka monta sahalinjaa sahallanne oli vuosina 2000–2007? \_\_\_\_\_

3c) Minkälainen on ollut pääasiallinen tuotantokoneistonne vuosina 2000–2007? Merkitkää rastilla. Vannesaha\_\_\_\_, Pyörösaha\_\_\_\_, Pelkkahakkuri-saha\_\_\_\_.

3d) Sahakoneidenne investointivuodet: \_\_\_\_\_

3e) Harjoitetaanko yrityksessänne omaa tutkimus- ja kehitystoimintaa (kyllä vai ei)? \_\_\_\_\_

#### 4. ENERGIA

4a) Kuinka paljon yrityksenne käytti sahatavaran tuotannossa ulkopuolelta ostettua sähköä vuosina 2000–2007?

Vuosi	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Mwh/vuosi								

KOMMENTTEJA TUTKIMUKSEN TEKIJÖILLE:

Vastauksenne on meille arvokasta. Paljon kiitoksia osallistumisesta!

**Liite 2: Kuvaus muuttujista**

<b>Muuttujat ryhmiteltynä</b>	<b>Sisältö</b>
<u>Sahatavaran ja raakapuun laatu</u>	
A-sahatavaran osuus	A-laatuisten sahatavaran osuus sahatavaran tuotannosta, prosenttia
A-ja B sahatavaran osuus	A-ja B-laatuisten sahatavaran osuus sahatavaran tuotannosta, prosenttia
Tukkipuun osuus	Tukkipuun osuus tuotannossa käytetystä raakapuusta, prosenttia
D_Tuontipuu	Yritys käyttää tuotannossa tuontipuuta (1=kyllä, 0=ei)
<u>Tekniikka</u>	
Investoinnit	Aika investoinneista, vuosia
D_T&K	Yrityksen T&K toiminta, dummy (1=harjoitetaan T&K toimintaa, 0=ei)
D_pelkkahakkuri	Pääasiallinen tuotantoteknologia pelkkahakkuri, dummy (1=pelkkahakkuri, 0=muut)
D_vannesaha	Pääasiallinen tuotantoteknologia vannesaha, dummy (1=vanne, 0=muut)
<u>Yrityksen strategiavalinnat</u>	
Aineellisten ja aineettomien tuotannontekijöiden arvostuksesta tulee yhteensä 100 prosenttia yritystasolla	
<u>Aineettomat tuotannontekijät</u>	
Aineettomat	Kuinka paljon yrityksessä arvostetaan aineettomia tuotannontekijöitä suhteessa aineellisiin, (100 prosenttia=yrityksessä arvostetaan ainoastaan aineettomia tuotannontekijöitä, prosenttia
Johtaminen	Kuinka paljon yrityksessä arvostetaan johtamista suhteessa muihin tuotannontekijöihin, prosenttia
Teknologia	Kuinka paljon yrityksessä arvostetaan teknologiaa suhteessa muihin tuotannontekijöihin, prosenttia
<u>Aineelliset tuotannontekijät</u>	
Sijainti	Kuinka paljon yrityksessä arvostetaan sijaintoa suhteessa muihin tuotannontekijöihin, prosenttia
Tehdas	Kuinka paljon yrityksessä arvostetaan tehdasta suhteessa muihin tuotannontekijöihin, prosenttia
Raaka-aine	Kuinka paljon yrityksessä arvostetaan raaka-ainetta suhteessa muihin tuotannontekijöihin, prosenttia
Talous	Kuinka paljon yrityksessä arvostetaan taloudellisuutta suhteessa muihin tuotannontekijöihin, prosenttia

### Liite 3: Uskottavuusfunktio

Seuraavassa esitetään yksinkertaisuuden vuoksi uskottavuusfunktion muodostus poikkileikkausaineistolle. Paneelimalli, jossa on oletus vakioisesta tehottomuuskomponentista, eroaa poikkileikkausmallista vain virhetermin  $u_i$  osalta, jolloin se voi vaihdella ajassa ja yritysten välillä. Kun satunnaismuuttujat  $v$  ja  $u$  ovat riippumattomia, niiden yhteistiheysfunktio  $[f(v)*f(u)]$ , voidaan esittää:

$$(L1) \quad f(u, v) = \frac{2}{2\pi\sigma_u\sigma_v} \times \exp\left\{-\frac{u^2}{2\sigma_u^2} - \frac{v^2}{2\sigma_v^2}\right\}.$$

Mikäli erotus  $v - u$  määritellään siten, että  $\varepsilon = v - u$ , saadaan:

$$(L2) \quad f(u, \varepsilon) = \frac{2}{2\pi\sigma_u\sigma_v} \times \exp\left\{-\frac{u^2}{2\sigma_u^2} - \frac{(\varepsilon + u)^2}{2\sigma_v^2}\right\}$$

Rajatiheysfunktio  $f(\varepsilon)$  saadaan integroimalla yhtälö  $f(u, \varepsilon)$   $u$ :n suhteen:

$$(L3) \quad f(\varepsilon) = \int_0^{\infty} f(u, \varepsilon) du$$

$$= \frac{2}{\sqrt{2\pi}\sigma_v} \times \left[1 - \Phi\left(\frac{\varepsilon\lambda}{\sigma}\right)\right] \times \left\{-\frac{\varepsilon^2}{2\sigma^2}\right\}$$

$$= \frac{2}{\sigma} \times \phi\left(\frac{\varepsilon}{\sigma}\right) \times \Phi\left(-\frac{\varepsilon\lambda}{\sigma}\right),$$

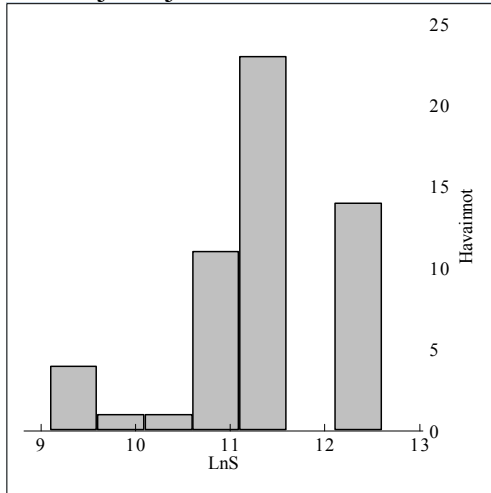
missä  $\sigma = (\sigma_u^2 + \sigma_v^2)^{0,5}$  ja  $\lambda = \frac{\sigma_u}{\sigma_v}$ ,  $\Phi(\cdot)$  ja  $\phi(\cdot)$  ovat standardoidun normaalijakauman kertymä- ja tiheysfunktiot. Uskottavuusfunktio stokastiselle tuotantorintamafunktiolle logaritimuodossa, kun poikkileikkausaineistossa on  $I$  yritystä, voidaan esittää (Kumbhakar ja Lovell 2000, s. 77):

$$(L4) \quad \ln L = \text{vakio} - I \ln \sigma + \sum_i \ln \Phi\left(-\frac{\varepsilon_i \lambda}{\sigma}\right) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_i \varepsilon_i^2.$$

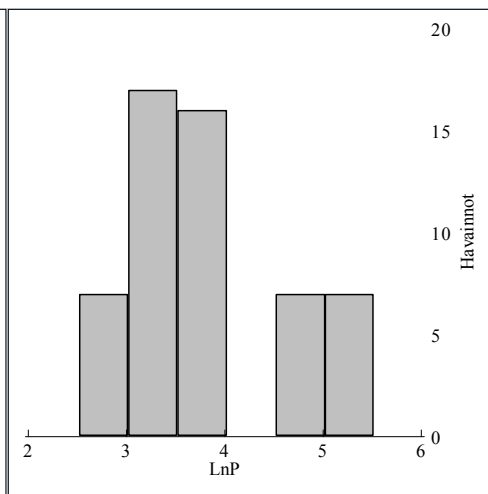
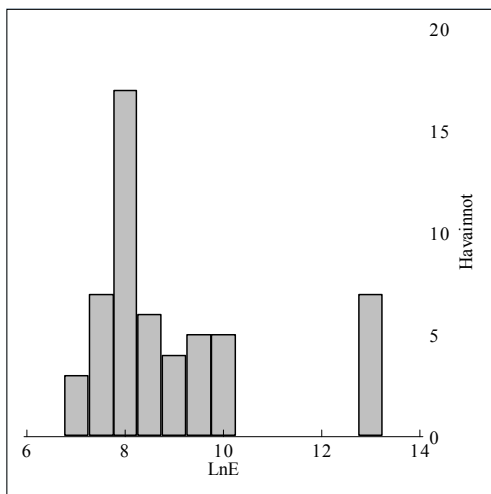
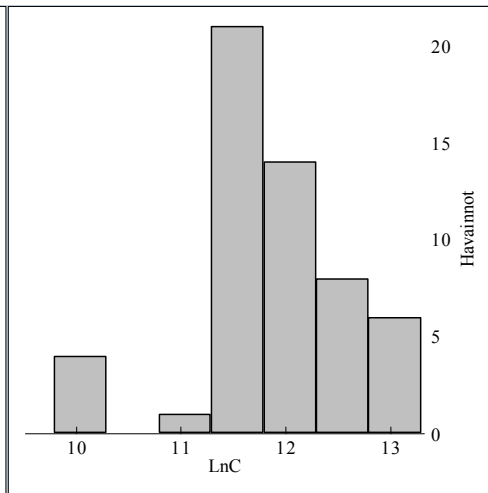
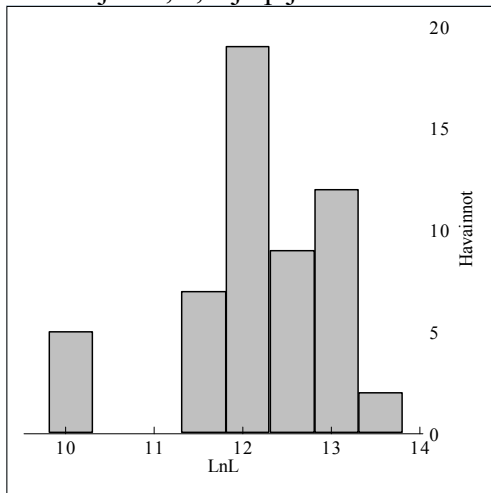


## Liite 4: Aineiston muuttujien jakaumat

Muuttujan s jakauma



Muuttujien l, c, e ja p jakaumat



## Liite 5: Regressioanalyysin tulokset

Tuotannontekijöiden ja lopputuotteen välisen regressioanalyysin (PNS) tulokset esitetään ohessa taulukossa. t-arvot ovat regressiokertoimien alapuolella. \* ilmaisee tilastollista merkitsevyyttä 5 prosentin merkitsevyydellä ja \*\* 1 prosentin merkitsevyydellä.

Muuttuja	Parametri	Keskimääräinen tuotantofunktio	
		Malli 1	Malli 2
Vakio	$\beta_0$	<b>0,49</b> 0,93	<b>2,60 **</b> 7,40
ln(L)	$\beta_1$	<b>0,93 **</b> 11,63	<b>0,63 **</b> 12,11
ln(E)	$\beta_2$	<b>0,04</b> 1,09	<b>0,14 **</b> 6,18
ln(C)	$\beta_3$	<b>-0,10</b> -1,06	<b>-0,078</b> -1,49
ln(P)	$\beta_4$	<b>0,09</b> 1,18	<b>0,22 **</b> 5,06
D_jalostus	$\beta_5$		<b>-0,5 **</b> -10,27
Korjattu R <sup>2</sup>		0,95	0,98