

ETLA

ELINKEINOELÄMÄN TUTKIMUSLAITOS

THE RESEARCH INSTITUTE OF THE FINNISH ECONOMY

Lönnrotinkatu 4 B 00120 Helsinki Finland Tel. 358-9-609 900

Telefax 358-9-601 753 World Wide Web: <http://www.etla.fi/>

Keskusteluaiheita - Discussion papers

No. 692

Juha Honkatukia - Pekka Sulamaa

**TEKNINEN TEHOKKUUS JA
KOKONAISTUOTTAVUUS SUOMEN
SÄHKÖJAKELUVERKKOTOIMINNASSA**

1996 - 1998

HONKATUKIA, Juha – SULAMAA, Pekka: TEKNINEN TEHOKKUUS JA KOKONAISTUOTTAVUUS SUOMEN SÄHKÖJAKELUVERKKOTOIMINNASSA 1996-1998. Helsinki: ETLA, Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos, The Research Institute of the Finnish Economy, 1999, 69 s. (Keskusteluaiheita, Discussion Papers, ISSN 0781-6847; no. 692).

TIIVISTELMÄ: Tämän raportin tavoitteena on kehittää Suomen olosuhteisiin soveltuva sähköjakeluverkkotoiminnan tehokkuuden arviointimenetelmää. Suomen jakeluverkkotoiminnan tehokkuuden ja tuottavuuden arviointia varten oli käytettävissä jakeluyhtiökohtainen tuotos- ja panosaineisto vuosilta 1996 - 1998. Tehokkuutta päädyttiin mittaamaan ei-parametrisellä lineaariseen ohjelmointiin perustuvalla Data Envelopment Analysis (DEA) menetelmällä. Tehokkuuden lisäksi raportissa laskettiin kokonaistuottavuuden kehitys aikajaksoina 1996-1997 ja 1997-1998. Kokonaistuottavuutta mitattiin Malmquist-indeksillä. Valitussa DEA-mallissa oli kolme tuotosmuuttujaa (siirretty energia, asiakkaiden lukumäärä ja jakelualueen tiekilometrien määrä) ja kolme panosmuuttujaa (työ, jakelulinjojen pituus ja muuntamokapasiteetit). DEA-mallin antamat tulokset osoittivat, että yhtiöillä on keskimäärin n. 15-20 % (oletuksista riippuen) panosten vähentämistarve teknisen tehokkuuden saavuttamiseksi. Tehottomuus ei kuitenkaan riippunut skaalautujen käyttämättä jättämisestä. Jakeluyhtiöt toimivat skaalatehokkaalla (lähellä vakioskaalatuottojen mukaista) tuotannon tasolla. Tulosten perusteella näyttäisi myös siltä, että maaseutuyhtiöt olisivat taajamayhtiöitä hieman tehokkaampia. Tuottavuustulokset osoittivat, että kokonaistuottavuuden kehitys vuosina 1996-1997 ja 1997-1998 oli suhteellisen maltillista. Simuloidut luottamusvälit kokonaistuottavuuden ja sen tehokkuuskomponentin muutoksien keskiarvoille osoittivat, että nämä eivät olleet tilastollisesti merkitsevästi poikkeavia arvosta yksi eli muutokset eivät olleet tilastollisessa mielessä merkitseviä.

HONKATUKIA, Juha – SULAMAA, Pekka: TEKNINEN TEHOKKUUS JA KOKONAISTUOTTAVUUS SUOMEN SÄHKÖJAKELUVERKKOTOIMINNASSA 1996-1998. Helsinki: ETLA, Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos, The Research Institute of the Finnish Economy, 1999, 69 pgs. (Keskusteluaiheita, Discussion Papers, ISSN 0781-6847; no. 692).

ABSTRACT: This report analyses technical efficiency and productivity change in Finnish electricity distribution sector during 1996-1998. The used database consisted of input-output data on all Finnish electricity distribution companies. The chosen method for the analysis was Data Envelopment Analysis (DEA). Total factor productivity was measured with Malmquist index. DEA-model that turned out to be robust with respect to its specification and identified well efficiency included three output variables (energy delivered, number of customers and total road mileage within the distribution area) and three input variables (labour, length of the lines, transformer capacity). Technical efficiency scores indicated that an average technical efficiency was 0.75-0.8 depending on assumptions made. Scale efficiency turned out to be very high, with averages over 0.90. Productivity changes turned out to be moderate, a 1.8 % fall during 996-1997 and 0.4 % rise during 1997-1998. Simulated confidence intervals showed that these values were not significantly different from one i.e. no significant productivity change has occurred.

ESIPUHE

Uuden sähkömarkkinalain myötä Suomi siirtyi sähköjärjestelmään, jossa sähkön tuotanto, myynti sekä vienti ja tuonti määräytyvät vapaasti kilpailluilla markkinoilla. Sähköjärjestelmään kuuluvat verkkopalvelut (sähkön siirto) toimivat edelleen säännellyillä markkinoilla näiden monopoliluonteen takia. Sähkön siirron hinnoittelun valvonta perustuu Suomessa sähkömarkkinalakiin ja kilpailurajoituslakiin. Hinnoittelun kohtuullisuuden valvonta onkin 1995 perustetun sähkömarkkinaviranomaisen, Sähkömarkkinakeskuksen, keskeisiä tehtäviä.

Suomessa verkkopalvelujen hinnoittelun valvontaa toteutetaan tapauskohtaisesti. Verkko-toiminnan arviointia on tarkoitus kehittää tulevaisuudessa ja huomioida verkkotoimintojen tehokkuus hinnoittelun kohtuullisuuden arvioinnissa. Tämä edellyttää tehokkuuden analyysimenetelmien kehittämistä, ja tehokkuutta koskevan tiedon yhdistämistä nykyisiin valvontakriteereihin.

Tämän raportin tavoitteena on kehittää Suomen olosuhteisiin soveltuvaa jakeluverkkotoiminnan tehokkuuden arviointimenetelmää. Suomen jakeluverkkotoiminnan tehokkuuden ja tuottavuuden arviointia varten oli käytettävissä vuosien 1996 - 1998 jakeluyhtiökohtainen tuotos- ja panosaineisto.

Raportti on tehty Elinkeinoelämän Tutkimuslaitoksessa (ETLA) Sähkömarkkinakeskuksen toimeksiannosta. ETLA:ssa raportin valmistumisesta on vastannut KTT Juha Honkatukia. Raportin on laatinut VTL Pekka Sulamaa yhdessä Juha Honkatukian kanssa. Sähkömarkkinakeskuksessa työtä on valvonut ylitarkastaja Kari Lavaste.

Käytetyn aineiston osalta tekijät haluavat erityisesti kiittää ylitarkastaja Antti Paanasta Sähkömarkkinakeskuksesta sekä tilastosuunnittelijoita Terho Savolaista ja Heikki Kangasta Adato Energia Oy:stä. Tekijät haluavat lisäksi kiittää Matti Raekalliota ja Risto Rasi- simusta Tielaitokselta tiestöaineiston osalta.

Haluamme kiittää raporttia kommentoineita, erityisesti johtaja Asta Sihvonen-Punkkaa, ylitarkastajia Kari Lavastetta, Antti Paanasta ja Pekka Luosujärveä Sähkömarkkinakeskuksesta, sekä professori Leena Korpista ja tutkija Tuija Mannilaa Tampereen Teknilliseltä Korkeakoululta.

Kaikki raportissa olevat mahdolliset virheet ja tehdyt johtopäätökset ovat raportin tekijöiden vastuulla.

Helsingissä 27.9.1999

SISÄLLYSLUETTELO

1	JOHDANTO	1
1.1	SÄHKÖMARKKINAUDISTUS SUOMESSA	1
1.2	KANNUSTINPERUSTEISEN SÄÄNTELYN TARPEESTA	2
1.3	RAPORTIN TAVOITE JA RAKENNE	4
2	SÄHKÖN JAKELU - TOIMINNAN KUVAUS JA RAKENNE	4
2.1	JAKELUVERKKOTOIMINNAN KUVAUS	5
2.1.1	Verkkotoiminnan tuotoksista ja panoksista	6
2.1.2	Toimintaolosuhteet	7
2.2	VERKON RAKENNE	7
3	TEHOKKUUDEN JA TUOTTAVUUDEN MITTAAMISESTA	8
3.1	TEHOKKUUDEN JA TUOTTAVUUDEN MÄÄRITELMÄT	8
3.1.1	Tekninen tehokkuus	9
3.1.2	Allokatiivinen tehokkuus	9
3.1.3	Kustannustehokkuus (kokonaistehokkuus)	9
3.1.4	Skaalatehokkuus	10
3.1.5	Tuottavuus11	
3.2	TUOTTAVUUDEN MITTAAMINEN MALMQUIST-INDEKSILLÄ	12
3.3	TEHOKKUUDEN MITTAAMINEN - KATSAUS ERI MENETELMIIN	13
3.3.1	Suhdelukuanalyysi	13
3.3.2	Parametrinen ohjelmointi (PPA)	14
3.3.3	Ei-parametrinen ohjelmointi (DEA)	15
3.3.4	Deterministinen rintamamalli (DSA)	16
3.3.5	Stokastinen rintamamalli (SFM)	17
3.4	MENETELMÄN VALINTA	17
4	TEHOKKUUDEN MITTAAMINEN DEA-MENETELMÄLLÄ	19
4.1	DEA-MENETELMÄN KUVAUS	19
4.1.1	DEA – menetelmän graafinen kuvaus	20
4.1.2	DEA-menetelmän matemaattinen kuvaus	22
4.2	DEA-TUTKIMUKSIA JAKELUVERKKOJEN TEHOKKUUDESTA	24
4.2.1	Norjan jakeluverkkotoiminnan tehokkuutta koskevia tutkimuksia	24
4.2.2	Ruotsin jakeluverkkotoimintaa koskeva tutkimus	26
4.2.3	Englannin ja Walesin jakeluverkkotoiminnan tehokkuutta koskevia tutkimuksia	27
4.2.4	Yhteenveto kansainvälisistä DEA-tutkimuksista	28
4.3	DEA-MALLIN RAKENNE JA SEN TESTAAMINEN	29
5	TUOTOS- JA PANOSMUUTTUJAT JAKELUVERKKOTOIMINNAN TEHOKKUUDEN MALLINTAMISESSA	31
5.1	TUOTOKSET	31
5.1.1	Siirretyn sähkön määrä	31
5.1.2	Verkon kapasiteetti	32
5.1.3	Asiakasmäärä	32
5.1.4	Siirtoetäisyys ja jakelualueen koko	33
5.1.5	Sähkön laatu	34
5.1.6	Ympäristötekijät	34
5.1.7	Ilmasto-olosuhteet	34
5.2	PANOKSET	34
5.2.1	Työ	34
5.2.2	Siirtohäviöt	35
5.2.3	Pääoma	35
5.3	TUOTOKSET JA PANOKSET KANSAINVÄLISISSÄ TUTKIMUKSISSA	35
6	AINEISTON KUVAUS	36
7	TULOKSET	39
7.1.1	Malli 1 - kaikki tuotokset ja panokset	41
7.1.2	Malli 2 - tuotokset ja panokset ilman keskeytyksiä	42
7.1.3	Malli 3 - jännitetasoerittely, tuotokset ilman tiekilometrejä ja panokset ilman keskeytyksiä	45
7.1.4	Malli 4 - tuotokset ja panokset ilman häviöitä ja keskeytyksiä	46
7.2	MALLIVAIHTOEHDON VALINTA	47
7.3	KOKONAISTUOTTAVUUS 1997-96 JA 1998-97	48
7.3.1	Luottamusvälit tuottavuuden keskiarvoille	51
8	YHTEENVETO	52
9	JOHTOPÄÄTÖKSET	53
10	LÄHDELUETTELO	55
11	LIITTEET	57

1 JOHDANTO

1.1 Sähkömarkkinaudistus Suomessa

Sähkömarkkinalaki astui voimaan Suomessa 1.6.1995. Se avasi sähkömarkkinat kilpailulle vaiheittain. Ensimmäisessä vaiheessa 1.11.1995 kilpailun piiriin tulivat suuret sähkökäyttäjät, kun siirtovelvollisuus asetettiin yli 500 kW:n teholla sähköä ostaviin käyttöpaikoihin. 1.1.1997 alkaen kaikki sähkökäyttäjät tulivat kilpailun piiriin, mutta edellytyksenä oli rekisteröivän tuntimittarin käyttö siirryttäessä kilpailluille sähkömarkkinoille. Syyskuun alussa 1998 tuntimittausvaatimus poistettiin kotitalouksilta ja 1.11.1998 muilta pieniltä sähkökäyttäjiltä¹. Lain myötä sähkömarkkinoilla vallinnut sääntely purettiin sähkön tuotannon ja sähkön myynnin osalta. Sähköjärjestelmään kuuluvat verkkopalvelut jäivät kilpailun ulkopuolelle monopoliluonteensa takia. Aikaisemmin myös sähkön tuotantoa pidettiin ns. luonnollisena monopolina, eli toimialana, jonka kustannusrakenne edellyttää yhden yrityksen toimialarakennetta. Luonnollisessa monopolissa toimialan tuotannon kustannustehokkuus saavutetaan, kun yksi yritys tuottaa toimialan tuotoksen. Tehokkaampien generaattoreiden² kehityksen myötä 1980-luvulla on kuitenkin voitu sähkön tuotantoyksikköjen kokoa pienentää huomattavasti ja samalla tuottaa sähköä kustannustehokkaasti myös suhteellisen pienillä yksiköillä (200 MW, Casten 1995)³. Tämä kehitys mahdollisti uusien tuottajien markkinoille tulon (tai sen uhan) suhteellisen pienillä investoinneilla, mikä puolestaan mahdollisti kilpailun myös tuotannossa.

Sähköverkkotoiminta on lakiin perustuvaa monopolitoimintaa johtuen sähköverkkojen luonteesta luonnollisina monopoleina. Rinnakkaisten verkkojen rakentaminen ei ole taloudellisesti tehokasta eikä ympäristön kannalta suotavaa. Sähköverkkotoimintaa saa edelleenkin harjoittaa vain sähkömarkkina-viranomaisen antamalla luvalla. Sähköverkko voidaan jakaa jännitteen suuruuden mukaan kantaverkkoon, jonka Suomessa omistaa kantaverkkoyhtiö Fingrid Oyj, alueverkkoon ja jakeluverkkoon, jota hallinoi n. 110 jakeluverkkoyhtiötä⁴. Sähköverkkoluvassa kullekin jakeluyhtiölle määritellään maantieteellinen vastuualue, jonka sisällä jakelusiirto on paikallisen jakeluyhtiön monopolitoimintaa.

Sähkömarkkinalain tarkoituksena on varmistaa edellytykset tehokkaasti toimiville sähkömarkkinoille siten, että kohtuuhintaisen ja riittävän hyvälaatuisen sähkön saanti voidaan turvata. Tavoitteen saavuttamisen ensisijaisina keinoina ovat terveen ja toimivan taloudellisen kilpailun turvaaminen sähkön tuotannossa ja myynnissä sekä kohtuullisten ja tasapuolisten palveluperiaatteiden ylläpito sähköverkkojen toiminnassa.

Lähes kaikilla jakeluyhtiöillä on sähkönmyyntiä. Lisäksi noin puolella yhtiöistä on myös omaa sähkön tuotantoa. Sähkömarkkinalain 28 §:n 1. momentti vaatii, että *verkonhaltijan ja sähkönmyyjän on eriytettävä verkkotoiminta, sähkön myyntitoiminta ja sähkön tuotanto toiminta toisistaan sekä muista liiketoiminnoista*. Tällöin siis yrityksen toiminnat jaetaan

¹ Pienkäyttäjänä pidetään sähkökäyttäjiä, joiden pääsulakkeen koko on enintään 3x63 A ja tehontarve enintään 45 kW.

² Tuotantoteknologian kehityksen myötä (esim. combined cycle gas turbine) sähkön tuotannon skaalaedut saavutetaan jo pienilläkin laitoksilla (200 MW).

³ Casten T.R. (1995), Whither Electric Generation? A Different View, The Energy Daily.

⁴ Kanta- ja jakeluverkon lisäksi on ns. alueverkko, joka koostuu niistä 110 kV johdoista, jotka eivät kuulu kantaverkkoon, muodostavat joko alueverkon tai ovat kiinteästi liittyneet jakeluverkkoon. Alueverkon määrittely ei ole yksiselitteinen.

tilinpäätöksessä omiin tuloslaskelmiinsa ja osin myös taseisiin, jolloin kilpailun piirissä olevat toiminnot eriytyvät käytännössä monopolitoiminnoista.

Sähkömarkkinalain mukaan verkonhaltijan on myytävä sähkön siirtopalveluja kohtuullista korvausta vastaan niitä tarvitseville verkkonsa siirtokyvyn rajoissa. Lisäksi verkkopalveluiden myyntihintojen ja niiden määräytymisperusteiden on oltava tasapuolisia ja syrjimättömiä kaikille verkon käyttäjille. Sähkön siirtohinnoittelun valvonta perustuu Suomessa sähkömarkkinalakiin ja kilpailurajoituslakiin. Sähkön siirron hinnoittelun kohtuullisuuden valvonta kuuluu pääasiassa 1995 perustetulle Sähkömarkkinakeskukselle. Verkkotoiminnan hinnoittelun valvonnan osalta Sähkömarkkinakeskuksen ja Kilpailuviraston toimivaltuudet ovat kuitenkin päällekkäiset. Kilpailurajoituslaki on yleislaki ja sen säännökset koskevat lähes kaikkia maamme talouden osa-alueita. Sen sijaan sähkömarkkinalaki on erityislaki ja sen noudattamista valvovan erityisvalvontaviranomaisen Sähkömarkkinakeskuksen toimivalta on rajoitetumpi. Sähkömarkkinalain perusteella Sähkömarkkinakeskus valvoo nimenomaan sähköverkkotoimintaa ja sen hinnoittelun kohtuullisuutta ja tasapuolisuutta sekä lisäksi toimitusvelvollisuuden piirissä olevan sähkönmyynnin hinnoittelua.

Hinnoittelun kohtuullisuutta arvioidaan tapauskohtaisesti. Arvioinnin periaatteena on, että hinnoittelun tulisi vastata toiminnan kustannuksia. Hinnoittelun kohtuullisuuden arvioinnissa tulisi kohtuullisuus ymmärtää kustannusvastaavuutena nimenomaan suhteessa tehokkaaseen toiminnan tasoon. Mikäli korkea kustannus- ja siten hintataso johtuu toiminnan tehottomuudesta, kuten yli-investoinneista tai tarpeettoman korkeasta varmuus- tai muusta laatutasosta, tulee Sähkömarkkinakeskuksen puuttua asiaan. Lain esitöissä onkin valvonnan osalta erikseen todettu, että sähkömarkkinaviranomaisen tehtävänä olisi muun muassa verkkotoiminnan hinnoittelun ja toiminnan tehokkuuden valvonta.

Verkkoyhtiön tehokkuuden huomioon ottaminen sähkön siirron hinnoittelun kohtuullisuuden arvioinnissa tavalla, joka edistää koko verkkotoiminnan tehokkuutta, tulee olemaan yksi Sähkömarkkinakeskuksen keskeisiä tavoitteita. Sähkömarkkinakeskus onkin sisällyttänyt verkkotoiminnan tehokkuuden valvonnan yhdeksi toiminta- ja taloussuunnitelman kolmesta painopistealueesta seuraavan viiden vuoden ajalle. Tähän mennessä verkkopalveluiden hinnoittelun kohtuullisuutta on arvioitu lähinnä pääoman tuoton avulla⁵.

Sähkön siirron hinnoittelun kohtuullisuuden arvioinnin ja valvonnan perustuessa vain liiketoiminnan tuoton kohtuullisuuden arviointiin on ongelmana se, ettei yrityksille anneta kannustimia kehittää toimintansa tehokkuutta ja että valvonta saattaa kohdella epätasapuolisesti ja tavoitteiden vastaisella tavalla tehottomia ja tehokkaita verkkoyhtiöitä.

1.2 Kannustinperusteisen sääntelyn tarpeesta

Monien toimialojen olosuhteet ovat sellaiset, että niille syntyy paikallisia monopoleja toimialan teknisten ja alueellisten erityispiirteiden vuoksi. Tällöin yksi yritys, luonnollinen monopoli⁶, pystyy tuottamaan toimialan tuotannon alemmalla kokonaiskustannustasolla

⁵ Sähkömarkkinakeskus on antanut ennakkopäätöksen koskien Megavoima Oy:n sähkön jakelusiirron hinnoittelua. Päätöksessä todettiin, että Megavoima Oy:n jakeluverkkoliiketoimintaan sitoutuneen pääoman tuotto on ylittänyt kohtuullisuuden perustana olevan sijoitetun pääoman tuoton 2,8 miljoonalla markalla vuonna 1996. Vuonna 1997 ylituoton suuruus arvioitiin 1,9 miljoonaksi markaksi.

⁶ Luonnollinen monopoli määritellään (esim. Sharkey 1982), kustannusten sub-additiivisuusominaisuuden perusteella: monopoliyritys tuottaa pienemmillä kustannuksilla, C , saman tuotoksen, Y , kuin n erillistä yritystä eli: $C(Y) < C_1(Y_1) + C_2(Y_2) \dots + C_n(Y_n)$.

kuin useampi yritys pystyisi. Tällaisessa markkinarakenteessa yrityksellä ei ole markkinoilta tulevaa painetta toiminnan tehokkuuden saavuttamiseksi. Monopolin voiton maksimointi johtaa kuluttajien kannalta epäedulliseen tasapainoon. Monopoli tuottaa vähemmän ja kalliimmalla kuin kilpailtu toimiala. Toisaalta luonnollista monopolia ei tule verrata kilpailutasapainoon sen kustannusrakenteen vuoksi. Kilpailutasapainossahan yritykset noudattavat rajakustannushinnoittelua, joka luonnollisen monopolin tapauksessa johtaisi tapioilliseen toimintaan⁷.

Perinteisessä tuottosääntelyssä (Rate of return regulation) pääoman tuotolle määritellään katto, jonka puitteissa säännelty yritys saa vapaasti hinnoitella tuotettaan. Samalla rajoitetaan yrityksen voittojen suuruutta. Tuottosääntelyn ongelmana on, että se ei välttämättä anna kannustinta tuotannon tehokkuuden saavuttamiseksi. Esimerkiksi Averch ja Johnson (1962)⁸ osoittavat, että pääoman-tuottosääntelyssä yritykset kasvattavat pääomakantansa suuremmaksi kuin kustannusten minimointi edellyttäisi. Tutkijoiden mukaan yritykset saattavat kasvattaa pääomakantaansa suureksi, koska sallittua tuottoa saa koko pääomalle, ja siten suurempi pääomakanta takaa suuremman absoluuttisen tuoton.

Viimeaikainen sääntelyteoriaa koskeva kirjallisuus painottaa kannustinten vaikutusta tehokkaan tuotannon saavuttamiseksi (Laffont ja Tirole 1993)⁹. Tässä kehikossa päämies (sääntelijä) pyrkii luomaan agentin (säänneltävän yrityksen) kanssa sellaisen sopimuksen, joka antaa kannustimen tehokkaaseen toimintaan. Ongelmana sääntelijän ja säänneltävien yhtiöiden välisen sopimuksen toteutuksessa on kuitenkin informaation epätäydellisyys. Sääntelijän pääinformaation lähde on sääntelyn alaisena toimivat yhtiöt. Säänneltävillä yhtiöillä on periaatteessa monopoli-asema omaa yritystään koskevan sääntelijälle annetun informaation suhteen, joten tämä informaatio saattaa olla 'valikoitua'¹⁰ etenkin kun yhtiöt pyrkivät maksimoimaan voittonsa sääntelyrajoitusten puitteissa. Sääntelijän on vaikea todeta kustannuksia ja kysyntää koskevan informaation oikeellisuus ja toisaalta valvoa sitä, kuinka säännelty yritys pyrkii toimimaan niin että kustannuksia minimoitaisiin (Laffont ja Tirole, 1993). Edellistä kutsutaan piilotetun informaation ongelmaksi (the problem of hidden information) ja jälkimmäistä piilotetun toiminnan (the problem of hidden action) ongelmaksi.

Kannustinperusteista sääntelyä, on kuitenkin viime aikoina ruvettu soveltamaan jakeluverkkotoiminnan sääntelyyn. Esimerkiksi Englannin ja Walesin sähkömarkkinoiden jakelusektorilla käytetty RPI-x¹¹ sääntelyssä jakeluyhtiöiden hintakehitys rajoitetaan yleisen hintakehityksen suuruiseksi (RPI = Retail Price Index) vähennettynä tuottavuuden potentiaalilla paranemisella (x). Yrityksillä on tässä sääntelymallissa kannustin parantaa tuotannon tehokkuuttaan, koska ne saavat ennakoitua suuremman tuottavuuden paranemisen luoman ylijäämän itselleen.

⁷ Eräs sääntelytavoite luonnollisen monopolin tapauksessa on keskiarvokustannushinnoittelu, jossa hinnoittelu juuri kattaa tuotannon kustannukset.

⁸ Averch H. ja Johnson L. (1962), Behaviour of the Firm Under Regulatory Constraint, American Economic Review, 52.

⁹ Laffont J-J. ja Tirole J. (1993), A Theory of Incentives in Procurement and Regulation, MIT Press.

¹⁰ Sääntelijälle annetun informaation hajontaa kuvaa Englannin ja Walesin sähkömarkkina-viranomaisen, OFFERin kysely¹⁰ jossa jakeluyhtiöiltä pyydettiin arviota alan tulevasta kustannus-kehityksestä vuoteen 2000 mennessä. Arviot vaihtelivat kustannusten odotetusta 17 prosentin laskusta kustannusten 33 prosentin nousuun.

¹¹ Tästä on myös RPI-x+Y versio, missä Y on kaasusta johtuva kustannuserä, joka siis hyväksytään sellaisenaan hinnoitteluun.

Myös Norjan jakeluverkkotoiminnan sääntely perustuu osaksi toiminnan tehokkuuden kannustimiin. Norjassa jakeluyhtiöiden sallittu tulotaso määritellään vuodeksi kerrallaan etukäteen viiden vuoden sääntelyperiodin sisällä. Tulotasoon vaikuttaa mm. verkkotoiminnan tehokkuus, joka lasketaan yhtiökohtaisesti. Norjassa siirtyminen tuottosääntelystä kannustinperusteiseen sääntelyyn onkin parantanut jakeluyhtiöiden toiminnan tehokkuutta¹².

1.3 Raportin tavoite ja rakenne

Tämän raportin tavoitteena on kehittää Suomen tilanteeseen soveltuvaa jakeluverkkotoiminnan tehokkuuden arviointimenetelmiä. Menetelmän valintakriteereitä ovat yleisyys (menetelmän alkuoletuksien tulisi vaikuttaa mahdollisimman vähän tehokkuuden mittauksen tuloksiin), soveltuvuus Suomen olosuhteisiin (menetelmän tulee olla sellainen, että mahdolliset Suomen erityisolosuhteet voidaan ottaa huomioon tehokkuuden mittauksessa), tasapuolisuus (yhtiöitä tulee verrata toisiinsa huomioiden mahdolliset erot ulkoisissa ympäristötekijöissä sekä niiden panosrakenteissa) ja vertailumahdollisuus kansainvälisiin tutkimuksiin (menetelmä, jota käytetään muuallakin, antaa vertailukohteen myös Suomen tuloksille).

Menetelmällä lasketaan jakeluyhtiökohtaiset tehokkuusluvut käyttäen hyväksi vuosien 1996 - 1998 tuotos- ja panosaineistoa. Tulosten herkkyysanalyysin perusteella valitaan panos-tuotos-rakenne, jolla tehokkuutta pystytään mittaamaan mahdollisimman tasapuolisesti ja tarkasti.

Raportin luvussa kaksi esitetään Suomen sähköverkon rakenne, erityisesti jakeluverkon osalta. Jakeluverkon rakenteen lisäksi analysoidaan jakeluyhtiöiden jakautumista eri omistusmuotoihin eri toimintaympäristöissä. Tässä luvussa esitetään myös jakeluverkkotoiminnan yleinen kuvaus tuotosten, panosten ja toimintaympäristön osalta.

Luvussa kolme tarkastellaan tehokkuuden ja tuottavuuden mittaukseen käytettyjä menetelmiä ja niiden soveltuvuutta Suomen jakeluverkkotoiminnan tehokkuuden analyysiin. Luvussa päädytään Data Envelopment Analysis (DEA) menetelmän käyttöön, jota kuvataan luvussa neljä yksityiskohtaisemmin. Luvussa viisi valitaan mallissa käytettävät panos- ja tuotosmuuttujat. Luku kuusi kuvaa tässä raportissa käytettyä aineistoa joidenkin tunnuslukujen avulla. Luvussa seitsemän analysoidaan tehokkuus- ja tuottavuuslukuja. Herkkyysanalyysin (mallin tuotos-panos-rakenteen ja tulosten suhteen) perusteella valitaan mallirakenne kuvaamaan jakeluverkkotoiminnan tehokkuutta Suomessa. Luvussa kahdeksan esitetään yhteenveto ja luvussa yhdeksän johtopäätökset.

2 SÄHKÖN JAKELU - TOIMINNAN KUVAUS JA RAKENNE

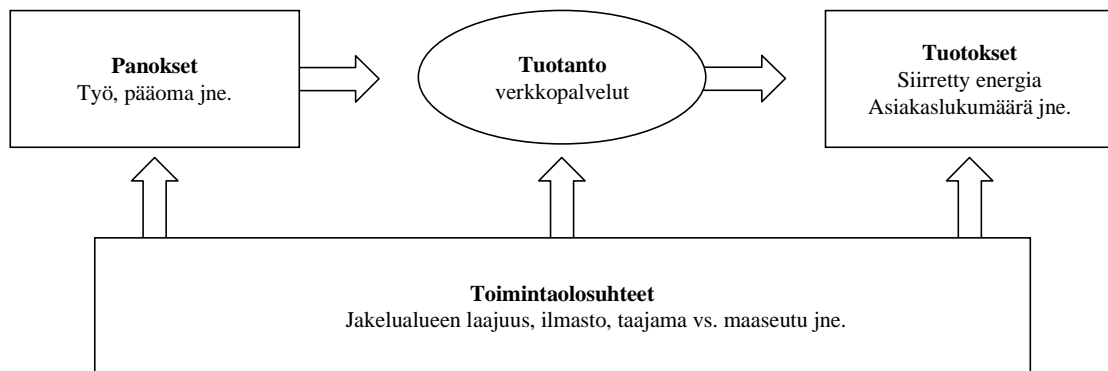
Tässä luvussa sähköverkkotoimintaa kuvataan ensin yleisellä tasolla (luku 2.1), jonka jälkeen kuvataan yksityiskohtaisemmin jakeluverkkotoiminnan tuotantoa (luku 2.1.1) ja jakeluyhtiöiden toimintaolosuhteita (luku 2.1.2) Suomessa. Suomen sähköverkon rakenne esitetään luvussa 2.2. Tarkempi jakeluverkkotoiminnan tuotantoprosessin kuvaus on analysoitu luvussa 2.3., jonka jälkeen käytettävissä olevaa aineistoa on kuvattu luvussa 2.4.

¹² Norjan sääntelyjärjestelmä on kuvattu tarkemmin liitteessä 1.

2.1 Jakeluverkkotoiminnan kuvaus

Sähkön siirto jakeluverkossa on toimintaa, jossa jakeluverkkoyhtiö siirtää sähkön myyjiltä tullutta sähköä jakeluverkkoa pitkin sähkön ostajille. Sähköverkossa siirretään sähköenergiaa ja jalostetaan se kullekin käyttäjälle sopivaan muotoon. Siirto- ja jakelujärjestelmä on suunniteltu siten, että kuluttaja saisi tarvitsemansa sähköenergian mahdollisimman kohtuullisin kustannuksin ja luotettavasti. Tämä edellyttää tarkoituksenmukaista siirtojännitteiden porrastusta siten, että mitä suurempi siirtoetäisyys sitä suurempaa siirtojännitettä käytetään. Sähkön jakelu on se osa sähkön siirtoa, joka tapahtuu jakeluverkkoyhtiöiden toimesta kuluttajille.

Alla oleva kuvio havainnollistaa jakelusiirtotoimintaa tuotantoprosessina. Kuten kaikissa taloudellista toimintaa harjoittavissa yksiköissä, myös jakeluyhtiöissä siirtopalveluiden tuottaminen vaatii resurssien (panoksien) yhdistämistä tietyllä teknologialla (tuotantoprosessi) lopputuotteen (energian siirto) saavuttamiseksi. Tuotantoprosessiin vaikuttavat osaltaan yrityksestä riippumattomat seikat, joita kuvaavat toimintaolosuhteet.



Sähkön jakeluverkkotoiminta eli sähkön siirto keski- ja pienjänniteverkoissa eri asiakasryhmille vaatii useita eri panoksia eri toimintaympäristössä. Panoksien valinta riippuu osaksi jakeluyhtiön johdon päätöksistä ja osaksi toimintaympäristöstä. Samoin tuotokset riippuvat asiakasryhmästä ja vaaditusta palvelusta. Osa jakeluyhtiöistä siirtää suuren määrän sähköä pienelle määrälle asiakkaita, kun taas osalla on suuri määrä asiakkaita. Kysyntä- ja tarjontaolosuhteet siis eroavat toisistaan huomattavasti, ja nämä tulee huomioida analysoitaessa yhtiöiden tehokkuutta. Lisäksi on tärkeää huomioida, että kaksi eri yhtiötä voivat olla tehokkaita erilaisilla panosrakenteilla. Sähkön siirto yleensä on monimutkaisempi tuotantoprosessi kuin esimerkiksi sähkön tuotanto, joka riippuu yksiselitteisemmin muutamista panoksista kuten työstä, pääomasta ja polttoaineiden määristä. Siirron lopputuotteen, eli energian siirtoon sitä tarvitseville, vaikuttavat ainakin seuraavat tekijät: siirtoetäisyys, jännitetaso, toimintaolosuhteet (vuoristo, vesiesteet, lumen määrä jne.), asiakkaiden lukumäärä jne. Suomessa erityistekijöitä voivat olla järvien määrä, jakelualueen koko ja erot sääolosuhteissa, etenkin lumen määrän ja laadun suhteen.

2.1.1 Verkkotoiminnan tuotoksista ja panoksista

Luokittelu tuotoksiin ja panoksiin tehdään yleensä seuraavan periaatteen mukaisesti: tuotos on tuotantoprosessin osa, jonka lisääminen edellyttää joidenkin panosten lisäämistä tai muitten tuotosten vähentämistä annetuilla resursseilla. Panos puolestaan on luoteeltaan resurssi (työ, pääoma, maa-alue jne.), jonka lisäys mahdollistaa, teknologiasta riippuen, saman tai korkeamman tuotannon tason kuin ennen muutosta.

Verkkotoiminnan kuvausta monimutkaistaa tuotosten ja panosten potentiaalisesti suuri lukumäärä. Tekninen lähestymistapa suosii panosten ja tuotosten erottelua useisiin eri tyypeihin, esimerkiksi muuntamotyypeihin, johto- ja kaapelityyppisiin, asiakasluokkiin, ympäristömuuttujiin jne. Hyvin yksityiskohtainen toiminnan kuvaus johtaa kuitenkin ongelmiin sekä aineiston saatavuuden että sen laajuuden suhteen.

Siirretty sähköenergian määrä on keskeisin tuotos jakeluverkkotoiminnassa. Tämä on jakeluliiketoiminnan ydin. Energian siirtoon ja verkkopalveluun yleensä vaikuttavat monet tekijät kuten: siirtoetäisyys, jakelusiirron jännitetaso, asiakkaiden lukumäärä, asiakastiheys, maantieteelliset tekijät, ilmastotekijät ja siirtokapasiteetti. Osa näistä tekijöistä voidaan mieltää panoksina, osa tuotoksina ja osa ympäristömuuttujina.

Asiakasmäärä luokitellaan tuotokseksi, koska sen kasvu vaatii lisäresursseja¹³ jakeluyhtiöltä. Lisäksi asiakasmäärän kasvattaminen on eräs yrityksen tavoitemuuttujista, mikä puoltaa sen luokittelua tuotokseksi.

Jakelusiirtotoiminnan panokset on tyypillisesti jaettu henkilöstö- ja pääomapanoksiin sekä siirtohäviöihin. Henkilöstöpanos koostuu tehdyistä työtunneista ja henkilöstön määrästä. Myös jakeluhäviöt siirrossa voidaan luokitella panoksiksi, koska häviön vähentäminen merkitsee samaa kuin resurssien lisääminen, sillä häviöt oletetaan verkkoyhtiölle kuuluvaksi kustannuksiksi. Verkkoyhtiö joutuu hankkimaan häviöihin kuluvaan sähkön.

Merkittävin kustannuserä jakeluverkkotoiminnassa syntyy kuitenkin pääomasta. Pääomalla tässä yhteydessä tarkoitetaan fyysisistä pääomaa eli koneita, laitteita, rakennuksia yms. eikä finanssipääomaa (arvopapereita, velkakirjoja). Sähkön jakeluverkko koostuu jakelujohdoista ja -kaapeleista, muuntajista sekä sähköasemista. Muuntajilla voidaan muuntaa sähköverkon jännitettä sekä eristää kaksi eri jännitteistä verkkoa toisistaan. Jakelumuuntamot muuntavat jakeluverkkojen siirtojännitteet sähkönkuluttajien käyttöön soveltuvaksi pienjännitteeksi. Jakelumuuntamoiden jännitteet Suomessa ovat yleensä 20/0,4 kV tai 10/0,4 kV (Korpinen: 'sähköverkko-opus' Tampereen Teknillinen Korkeakoulu).

Joskus ero panosten, tuotosten ja ympäristötekijöiden välillä on häilyvä. Esimerkkinä tästä on jakeluverkkotoimintaa kuvaavan tuotantoprosessin pääomapanos, jonka voidaan ajatella koostuvan mm. jakelulinjojen pituudesta ja muuntajien kapasiteeteista. Toisaalta jakelulinjojen pituus liittyy myös toimintaympäristöön läheisesti, koska mitä suuremmalla alueella yritys toimii, sitä suurempi on sen linjojen pituus keskimäärin. Tästä seuraa, että linjojen pituus riippuukin jakelualueen ominaispiirteistä eikä yhtiön omasta päätöksestä.

¹³ Verkkotoimintoon liittyviä kiinteitä asiakaskustannuksia ovat mm. mittarointi, laskutus sekä asiakaspalvelu.

2.1.2 Toimintaolosuhteet

Jakelualueiden koko vaihtelee Suomessa suuresti. Alueen pinta-ala ei välttämättä kuitenkaan anna oikeaa kuvaa jakelun etäisyydestä, koska jakeluverkon pituus on yleensä alueen pinta-alaa selvästi suppeampi. Esimerkiksi pohjoisessa pinta-alaltaan suuret osat yritysten jakelualueista ovat asumattomia, ja sähkön jakelu keskittyy huomattavasti suppeammalla alueelle.

Suomessa suuri järvitiheys saattaa paikoitellen nostaa jakeluverkon rakennuskustannuksia keskimääräistä selvästi korkeammiksi, koska järvet pääsääntöisesti joudutaan kiertämään. Kun kahta muutoin samanlaista jakelualuetta verrataan, on tiheämpivesistöisellä alueella todennäköisesti korkeammat verkon rakennus- ja ylläpitokustannukset.

Sääolosuhteista lumen määrä saattaa olla eräs sellainen paikallinen tekijä, joka vaikuttaa sähkön jakeluun. Pohjoisessa lumen määrä on keskimäärin etelää suurempi. Lumi vaikeuttaa selvästi jakeluverkon huoltamista ja korjaamista. Itä- ja Etelä-Suomessa on tykkylumen muodostuminen on yleisempää, mikä lisää johtojen katkeamisia ja lisää siten korjaustarvetta.

Viime talven kovaa pakkasta voidaan pitää ääritapauksena. Pohjoisimmissa kunnissa, joissa pakkaslukemat nousivat lähelle -50 astetta, jakelulinjoja katkesi metallin supistuessa kylmyydessä. Tällaisten ääriolosuhteiden toistumista ei kuitenkaan voida pitää todennäköisenä. Suomessa ei erityisen vaikeita tuuliolosuhteita myöskään voida paikallistaa tiettyyn osaan maata, vaan esimerkiksi trombit osuvat melko satunnaisesti eri puolille koko maata. Tuuliolosuhteilla ei siis ole merkittävää riippuvuutta yksittäisestä jakelualueesta.

2.2 Verkon rakenne

Sähkön siirtoketju voimalaitoksilta kuluttajille voidaan jakaa jännitetason perusteella kahteen osakokonaisuuteen: sähkön siirtoon ja jakeluun. Siirtoverkko muodostuu kantaverkosta, joka koostuu suurjännitejohdoista (400, 220 ja 110 kV). Suurjännitejohdot sekä sähköasemat muodostavat koko maan kattavan kantaverkon. Kantaverkon omistaa 29.11.1996 perustettu Fingrid Oyj, joka on valtakunnallinen kantaverkkoyhtiö. Fingrid Oyj vastaa Suomen sähköjärjestelmän teknisestä toimivuudesta ja myy kantaverkkopalveluja tasapuolisin ehdoin kaikille sähkömarkkinaosapuolille. Fingrid Oyj:n omistaa Fortum Oyj (25%), PVO Oy (25%), Suomen valtio (12 %) sekä institutionaaliset omistajat (38 %), jotka ovat lähinnä vakuutusyhtiöitä.

Kantaverkkoon kuulumattomat 110 kV johdot ja sähköasemat sekä jotkin 30 ja 45 kV johdot muodostavat eri sähköyhtiöiden omistaman alueverkon. Alueverkko koostuu pääasiassa 110 kV johdoista yksittäisten suurkuluttajien, jakeluverkkojen ja kantaverkon välillä. Alueverkon määritelmä ei sinänsä ole yksiselitteinen ja sen osuus koko sähkön siirtojärjestelmässä on pieni.

Jakeluverkko koostuu kanta- ja alueverkosta syötetystä keskijänniteverkosta (0.6-70 kV) ja pienjänniteverkosta (0.6 kV). Jakeluverkkoa käytetään sähkön siirtoon pienille ja keskisuurille sähkökäyttäjille. Jakeluverkkoon kuuluvat jakelujohtojen lisäksi keskijännite- ja pienjänniteverkon yhdistävät muuntamot, jakokaapit ja liittymisjohdot. Jakelumuuntamot muuntavat jakeluverkkojen siirtojännitteet sähkönkuluttajien käyttöön soveltuvaksi pienjännitteeksi. Jakelumuuntamoiden jännitteet Suomessa ovat yleensä 20/0,4 kV tai 10/0,4 kV.

Jakelujohtojen pituudet vuonna 1995 on esitetty alla olevassa taulukossa. Pienjännitejohtoja (0.4 kV) oli 215 023 km, ja keskijännitejohdoista suurin osa oli 20 kV jännitetason johtoja (122 437 km).

Taulukko 2.1 jakelujohtojen pituudet 1998

1998	0,4 kV	6-10 kV	20 kV	30-70 kV	Yhteensä
JOHTOPITUUDET km	220 916	6 454	124 755	2 071	354 196

Asennustavan perusteella jakelujohtot voidaan jakaa kaapeleihin ja ilmajohtoihin. Ilmajohtot ripustetaan kiinnikkeiden avulla pylväiden varaan. Kaapelit lasketaan suoraan maahan tai veteen tai sijoitetaan kaapelikanaviin. Kaapeleita käytetään yleensä taajamien ja kaupunkien jakeluverkoissa.

Taulukko 2.2 jakelujohtojen pituudet johtotyypeittäin 1998

pituudet km	ILMAJOHDOT		KAAPELIT		yhteensä
	avojohdo	riippujohdo	maakaapeli	vesistökaapeli	
0,4 kV	13 424	146 356	60 825	311	220 916
6 - 70 kV	120 948	350	11 341	641	133 280

Jakeluyhtiöiden asiakkaiden lukumäärän jakautuminen eri asiakasryhmiin on esitetty alla. 1998 asiakkaiden lukumäärä oli 2.935 miljoonaa.

Taulukko 2.3 sähkön jakelusiirto kuluttajaryhmittäin 1998

SÄHKÖN KÄYTTÄJÄT 1000 kpl	YKSITYINEN	MAATALOUS	JALOSTUS	PALVELU	JULKINEN	YHTEENSÄ
1000 kpl	2 557	142	29	150	57	2 935
Osuus	87.1	4.9	1.0	5.1	1.9	100

Pääosa Suomen n. 110 jakeluyhtiöstä on kunnallisessa omistuksessa ja noin puolella yhtiöistä on myös omaa sähkön tuotantoa. Omistus pohja jakautuu yksityisiin osakeyhtiöihin (n. 30 %), osuuskuntiin (alle 1 %), julkisiin yhtiöihin (n. 45 %) ja julkisiin liikelaitoksiin (n. 20 %). Yksittäisillä jakeluyhtiöillä on myös muita yhtiömuotoja.

3 TEHOKKUUDEN JA TUOTTAVUUDEN MITTAAMISESTA

Tässä luvussa esitetään tuottavuuden sekä tuotannon tehokkuuden käsitteiden määritelmien lisäksi lyhyt katsaus eri metodeihin, joita on käytetty näiden mittaamiseen.

3.1 Tehokkuuden ja tuottavuuden määritelmät

Tehokkuuden käsite viittaa havaintopisteen suhteeseen johonkin määriteltyyn optimitasoon, kun taas tuottavuus-käsite määritellään tuotosten ja panosten suhteena.

3.1.1 Tekninen tehokkuus

Tuotannossa sanotaan vallitsevan *teknisen tehokkuuden*, kun yhden tuotoksen lisääminen vaatii joko jonkun muun tuotoksen vähentämistä tai jonkun panoksen lisäämistä. Teknistä tehokkuutta mikrotaloustieteen tuotantoteoriassa vastaa *tuotantofunktio*. Farrell¹⁴ (1957) esitti ensimmäisenä teknisen tehokkuuden mittaa, joka vastaa maksimaalista kaikkien panosten samansuhteista vähentämistä siten, että tietty tuotantotaso voidaan vielä saavuttaa.

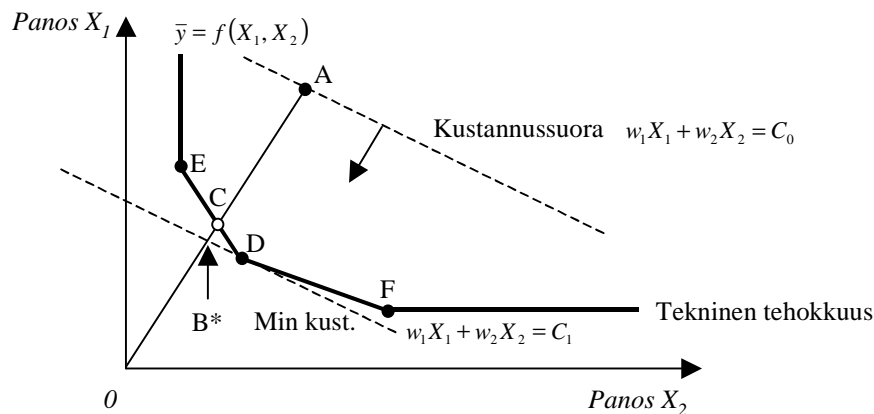
3.1.2 Allokatiivinen tehokkuus

Tuotannon allokatiivinen tehokkuus saavutetaan sillä tuotannon panosyhdistelmällä, joka minimoi yrityksen kustannukset. Allokatiivinen tehokkuus on osa kokonaistehokkuutta.

3.1.3 Kustannustehokkuus (kokonaistehokkuus)

Kustannustehokkuus tai kokonaistehokkuus saadaan teknisen ja allokatiivisen tehokkuuden tulona. Tämä pitää sisällään molemmat tehokkuuskomponentit. Kustannustehokkuus tarkoittaa havaittujen kustannusten tason ja kustannuksia minimoivan tason suhdetta. Kustannustehokas panosten käyttö on myös teknisesti tehokasta, mutta päinvastainen ei päde. Tekninen tehokkuus ei takaa kustannustehokkuutta. Kustannustehokkuus on siten vaativampi kriteeri toiminnan tehokkuudelle kuin tekninen tehokkuus. Tehokkuuskäsitteitä voidaan havainnollistaa graafisesti kahden panoksen tapauksessa.

Kuva 3.1 Tekninen, allokatiivinen ja kustannustehokkuus



Kuvassa 3.1 lihavoitu rajapinta (tehokkuusrintama) kuvaa teknisesti tehokasta panoskäyttöä annetulla tuotannon tasolla, \bar{y} . Tällä käyrällä panokset X_1 ja X_2 ovat teknisessä mielessä tehokkaassa käytössä eli panoksia ei voida vähentää ja samalla tuottaa tuotantotaso \bar{y} .

¹⁴ Farrell M. (1957), The Measurement of Productive Efficiency, Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General.

Yksikkö (esimerkiksi jakeluyhtiö) A on *teknisesti tehoton*, koska se käyttää enemmän molempia panoksia tehokkuusrintamaan nähden. Farrellin esittämä mitta teknisestä tehokkuudesta lasketaan pisteelle A suhdelukuna OC/OA . Tämä tehokkuusmitta on ns. radiaalinen mitta, mikä tarkoittaa, että käytetty panosten suhde pysyy samana sekä havainto- että vertailupisteessä. Yksikköä A verrataan teknisesti tehokkaaseen panosyhdistelmään C , joka leikkaa tehokkuusrintaman ja suoran origosta pisteeseen A . Yksikköä C sanotaan yksikön A viiteyksiköksi.

Kuviossa on esitetty myös kaksi kustannussuoraa, jotka kuvaavat panosyhdistelmiä tietyllä kustannusten tasolla. Yksikön A panoskäyttö vastaa kustannustasoa C_0 . Tähän vaikuttavat panosten määrien lisäksi panosten hinnat (w_1 ja w_2). Mitä ulompana kustannussuora on origosta, sitä korkeampi on kustannustaso. Yritys, joka minimoi kustannuksiaan, pyrkii valitsemaan tehokkuusrintamalta panosyhdistelmän, jota vastaava kustannussuora on mahdollisimman lähellä origoa. Allokatiivinen tehokkuus, eli kustannuksia minimoiva panoskäyttö, saavutetaan pisteessä D . Tämän pisteen läpi kulkeva kustannussuora vastaa kustannusten tasoa C_1 ($<C_0$). Allokatiivista tehokkuutta yksikölle A mitataan suhdeluvulla OB^*/OC eli kustannusten minimitasoa vastaavan panoskäytön (missä panosten suhde on sama kuin alkuperäisessä havaintopisteessä A) ja teknistä tehokkuutta vastaavan panoskäytön suhteena. Piste B^* vastaa samaa panossuhdetta kuin yksiköllä A , mutta minimikustannustasolla C_1 . Kustannustehokkuus saadaan allokatiivisen ja teknisen tehokkuuden tulona eli $OC/OA \times OB^*/OC = OB^*/OA$. Kuten huomataan, teknisesti tehokas viitepiste C ei minimoi kustannuksia ja on näin ollen kustannustehoton. *Kustannustehokkuus on siis vaativampi kriteeri toiminnan tehokkuudelle kuin tekninen tehokkuus.*

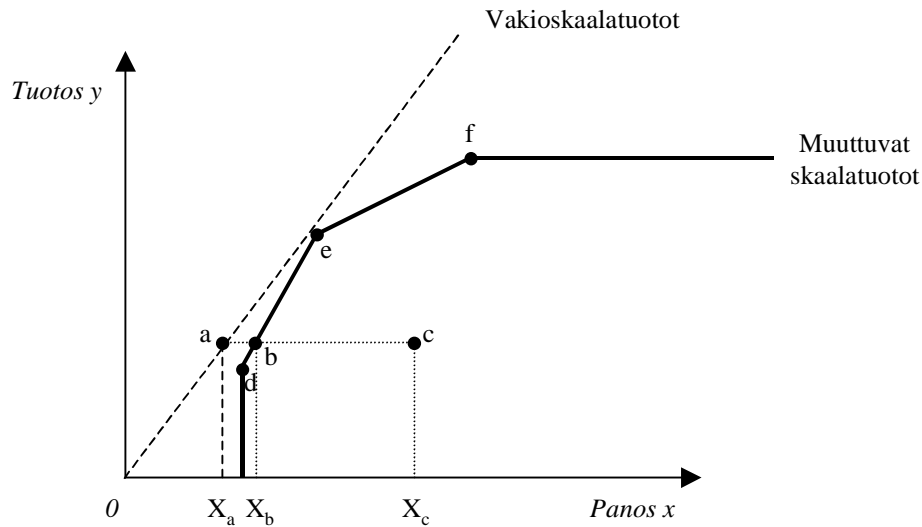
3.1.4 Skaalatehokkuus

Skaalatehokkuus liittyy tuotannon skaalaetuihin. Tuotannon skaala- eli mittakaavaetu kertoo tuotoksen muutoksen, kun kaikkien panosten käyttöä muutetaan samassa suhteessa. Mikäli tuotantokin muuttuu samassa suhteessa sanotaan tuotannossa vallitsevan *vakioskaalatuottojen*; mikäli tuotanto kasvaa suhteessa vähemmän (enemmän) kuin panosten muutos, kyseessä ovat *alenevat (nousevat) skaalatuotot*. *Muuttuvien skaalatuottojen* teknologiassa vallitsevat alhaisilla tuotannon tasoilla nousevat skaalatuotot ja korkeammilla tuotannon tasoilla laskevat skaalatuotot.

Yllä määritelty tekninen tehokkuus voidaan jakaa puhtaaseen tekniseen tehokkuus- ja skaala-tehokkuuskomponentteihin. Skaalatehokkuudella tarkoitetaan vakioskaalatuottoa vastaavan tuotannon tason saavuttamista. Puhdas tekninen tehokkuus mitataan havaintopisteen etäisyytenä muuttuvien skaalatuottojen tehokkuusrintamasta.

Alla skaalatehokkuutta kuvataan graafisesti yhden tuotoksen ja yhden panoksen tapauksessa.

Kuva 3.2 Skaalatehokkuus



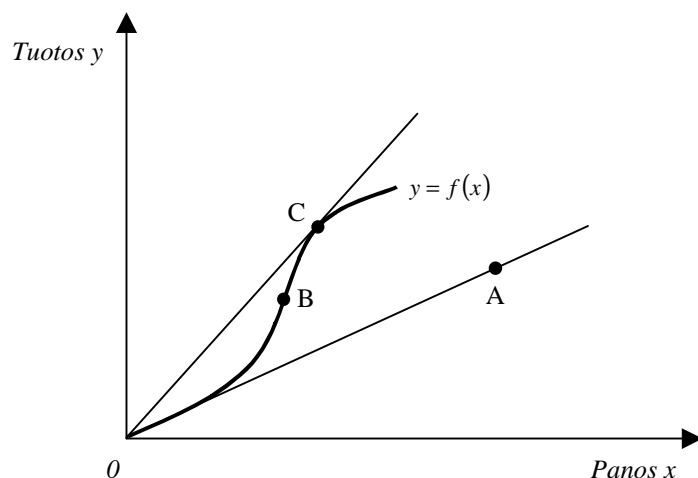
Vakioskaalatuotto-oletuksella tehokkuusrintama on suora. Yksikkö c on teknisesti tehoton ja saa tehokkuusluvuksi vakioskaalatuottomallilla arvon $OX_a/OX_c < 1$. Muuttuvilla skaalatuotoilla tehokkuusrintaman muoto on paloittain lineaarinen suora, joka kulkee pisteiden d, e, f kautta. Muuttuvien skaalatuottojen teknologiassa yksikkö c saa tehokkuusluvuksi arvon $OX_b/OX_c < 1$. Skaalatehokkuus pisteelle c saadaan vakio- ja muuttuvien skaalatuottojen tehokkuuslukujen suhteena $OX_d/OX_b < 1$. Yllä puhdas tekninen tehokkuus on OX_b/OX_c .

3.1.5 Tuottavuus

Tuottavuudella tarkoitetaan tuotosten ja panosten suhdetta. Jos tuotantoon liittyy useampi kuin yksi tuotos, tuottavuus voidaan määrittellä joko *kokonaistuottavuutena* (Total Factor Productivity, TFP), jolloin otetaan huomioon kaikki tuotokset ja panokset, tai *osittaistuottavuutena* (Partial Factor Productivity, PFP), jolloin tarkastellaan tuotosten ja vain yhden panoksen suhdetta. Tuottavuus on laajempi käsite siinä mielessä, että tehokkuus on yksi tuottavuuden komponentti. Tuottavuuteen vaikuttavat tehokkuuden lisäksi mm. teknologinen kehitys ja muutokset toimintaympäristössä.

Kuva 3.3. esittää tuottavuuden, teknisen tehokkuuden ja skaalatehokkuuden suhdetta yhden tuotoksen ja yhden panoksen tapauksessa. Tuottavuus mitataan tuotoksen suhteena panokseen eli y/x . Graafisesti tulkittuna tuottavuus on origosta lähtevän suoran kulmakerroin. Käyrä $y = f(x)$ kuvaa tuotantofunktiota, jolla siis saavutetaan tekninen tehokkuus. Käyrän muodosta seuraa, että tuotannossa on muuttuvat skaalatuotot. Aluksi tuotannossa vallitsevat nousevat skaalatuotot (Y:n tasoilla 0-c), jonka jälkeen saavutetaan vakioskaalatuotot (piste c) ja lopulta vallitsevat laskevat skaalatuotot.

Kuva 3.3 Tuottavuus ja tehokkuus



Yhtiö, joka toimii pisteessä A, on teknisesti tehoton, koska panoksen x käyttö on suurempi kuin tekninen tehokkuus, $y = f(x)$, edellyttäisi. Vähentämällä panoskäyttöään yksikkö saavuttaa teknisen tehokkuuden esimerkiksi pisteessä B. Teknisen tehokkuuden kasvu johtaa myös yrityksen tuottavuuden kasvuun, koska tuotosta syntyy pisteessä B enemmän suhteessa panoksiin kuin pisteessä A. Graafisesti tämä näkyy siten, että origosta piirretyn suoran kulmakerroin (eli y/x) kasvoi kun siirryttiin pisteestä A pisteeseen B

Tuottavuuteen vaikuttavat tuotannon tehokkuuden lisäksi teknologinen kehitys (esimerkiksi siirtohäviöiden väheneminen siirtoteknologian kehittyessä) sekä toimintaympäristössä tapahtuneet muutokset (esimerkiksi kilpailun lisääntyminen).

3.2 Tuottavuuden mittaaminen Malmquist-indeksillä

Tuottavuutta analysoidaan usein tuottavuuden muutoksen kautta, mikä edellyttää kahden tai useamman periodin havaintoja tuotoksista ja panoksista. Perinteinen kasvuteoreettinen tarkastelu olettaa tehokkaan tuotannon tason, joten tuottavuuden kasvu selittyy teknologisen kehityksen muutoksella.

Malmquist-indeksi mittaa kokonaistuottavuuden muutosta olettamatta tehokasta tuotantoa. Indeksillä on määritelty kahden eri periodin, t ja $t+1$, etäisyysfunktion¹⁵, $D^t_1(\cdot, \cdot)$, suhteena,

$$M^t_1(y^t, x^t, y^{t+1}, x^{t+1}) = \left[\frac{D^t_1(y^{t+1}, x^{t+1})}{D^t_1(y^t, x^t)} \right]$$

¹⁵ Missä etäisyysfunktio $D^t_1(x^t, y^t) = \max \left\{ \delta : \left(\frac{x^t}{\delta}, y^t \right) \in L(y) \right\}; D^t_1(x^t, y^t) \geq 1$

Etäisyysfunktion käänteisluku vastaa Farrellin teknistä tehokkuutta, joten Malmquist-indeksi voidaan laskea DEA menetelmällä (Färe et al. 1996)¹⁶.

Indeksistä voidaan laskea teknisen kehityksen ja teknisen tehokkuuden komponentit erikseen. Nämä komponentit vastaavat tuotantofunktion siirtymistä ja yksiköiden etäisyyden muutosta tehokkuusrintamaan nähden tarkasteltavien periodien välillä.

Malmquist-indeksi sopii erityisen hyvin julkisen sektorin tuottavuusanalyysiin, koska indeksiä varten ei tarvita hintamuuttujia. Toisaalta indeksissä täytyy olettaa tuotannon vakio-skaalatuotot, koska muutoin indeksi ei kuvaa kokonaistuottavuuden muutosta¹⁷.

Indeksin arvo tulkitaan siten, että kun indeksi saa arvon yksi, ei tuottavuudessa ole muutosta. Yhtä suurempi arvo merkitsee tuottavuuden nousua ja vastaavasti yhtä pienempi arvo tarkoittaa tuottavuuden heikkenemistä. Samoin tulkitaan indeksin osakomponentit: tehokkuus-komponentin arvo yksi tarkoittaa muuttumatonta tehokkuutta, arvo yli yhden tehokkuuden paranemista ja arvo alle yhden tehokkuuden heikkenemistä.

3.3 Tehokkuuden mittaaminen - katsaus eri menetelmiin

Tehokkuuden mittauksesta käytetään usein englanninkielistä yleisnimitystä benchmarking, jolloin myös taloustieteellinen tehokkuuden määritelmät (edellinen luku) ovat osa tätä. Benchmarking yleisellä tasolla kattaakin eri menetelmät, joilla tehokkuutta voidaan mitata. Benchmarking esiintyy myös suppeammassa analyysikehikossa, erityisesti liiketaloustieteellisessä kirjallisuudessa ja konsulttiyritysten käyttämänä. Benchmarking tällöin tarkoittaa prosessia, jossa eri yksiköiden/yhtiöiden paremmuutta selvitetään 'parhaimmaksi' valitun yhtiön suhteen, joka toimii muiden vertailukohtana. Benchmarking koostuu tällöin mm. tietokannan keruusta, sen muokkauksesta, sen analysoinnista, ns. benchmarking-indeksien muodostamisesta, yksiköiden vertailusta indeksien avulla ja mahdollisesta seurannasta. Benchmarking-indeksit saattavat olla kvalitatiivisia tai perustua tilipidon tunnuslukuihin.

Tässä raportissa tehokkuuden mittauksella tarkoitetaan taloustieteelliseen määritelmään perustuvaa analyysiä. Alla esitellään keskeisimmät menetelmät joita on käytetty tehokkuuden mittauksessa.

3.3.1 Suhdelukuanalyysi

Suhdelukuanalyysissä muodostetaan osittaistehokkuusluvut (partial efficiency measures), joiden avulla tehdään yksiköiden tehokkuusvertailu. Osittaistehokkuusluvut ovat suhdelukuja (esim. liikevaihto/pääoma), joiden avulla saadaan informaatiota otoksessa vallitsevista tehokkuuseroista. Yleensä suhdeluvut kuvaavat tuotos-panos suhdetta, jolloin ne tulee tulkita osittaistuottavuuksina. Kuten yllä mainittiin tuottavuus on tehokkuutta laajempi käsite siinä mielessä, että tehokkuus on tuottavuuden yksi komponentti. Suhdelukuanalyysin hyvänä puolena voidaan kuitenkin pitää suhdelukujen suhteellisen helppoa laskentaa sekä

¹⁶ Färe R., Grosskopf S. and Norris M (1996), Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialised Countries: Reply, American Economic Review 87 (5).

¹⁷ Grifell-Tatje, E. and C. Lovell (1995) "A Note on the Malmquist productivity index," Economics Letters 47, 169-75.

analyysimenetelmän ymmärrettävyyttä. Menetelmää onkin usein käytetty ensiarvion saamiseksi toimialalla vallitsevista tuottavuuseroista.

Suhdelukuanalyysi saattaa kuitenkin myös johtaa virheellisiin johtopäätöksiin kokonaistehokkuudesta (kustannustehokkuudesta), koska suhdeluvuissa otetaan yleensä huomioon vain osa panoksista ja osa tuotoksista. Esimerkkinä tarkastellaan neljää sähköjakeluyritystä, joille on laskettu suhdeluvut ylläpitokustannuksista sekä pääomasta suhteessa siirrettyyn energiaan.

	Kustannus/GWh	Sijoitus	Pääoma/GWh	Sijoitus
Yritys 1	0.50	1	0,50	2
Yritys 2	0.67	3	0.54	3
Yritys 3	0.58	2	0.75	4
Yritys 4	1.50	4	0.33	1

Yritys1 voidaan helposti luokitella tehokkaaksi, koska tämä on molemmilla mittareilla arvioiden suhteellisen tehokas. Yritykset 3 ja 4 ovat ongelmallisia, koska ne ovat tehokkaita vain toisen suhdeluvun mukaan. Kokonaistehokkuuden mittaaminen vaatii kaikkien panoksien ja tuotoksien huomioimista. Suhdelukuanalyysin ongelmaksi muodostuukin sellaisen indeksin muodostus, jossa kaikkien panosten ja tuotosten painotus olisi mahdollisimman edustava.

Suomen jakelusähköyhtiöiden tehokkuutta on analysoitu suhdelukuanalyysin avulla sähköenergialiitto Senerin teettämässä tutkimuksessa¹⁸. Tässä tutkimuksessa on myös kehitetty ns. verkostoyksikön määritelmää pidemmälle ja tarkemmaksi. Verkostoyksikön avulla saatetaan verkon eri komponentit yhteismitallisiksi.

Tutkimuksen alustavat johtopäätökset olivat:

- Haja-asutusalueiden yhtiöt olivat yleisesti ottaen tehokkaampia kuin taajamissa toimivat yhtiöt
- Kohtuullinen tariffitaso korreloi negatiivisesti tehokkuuden kanssa
- Yhtiön suuruus ei korreloi tehokkuuden kanssa.

Suhdelukuanalyysia on syytä täydentää tehokkuuden analysoinnilla, jossa otetaan huomioon tuotannon optimaalinen taso ja kaikki olennaiset panos- ja tuotostekijät. Tehokkuuden mittaamiseen käytettyjä eri menetelmiä voidaan luokitella neljään eri ryhmään: parametriseen ohjelmointiin ja ei-parametriseen ohjelmointiin perustuvat menetelmät sekä deterministiset ja stokastiset rintamamallit. Alla kutakin menetelmää tarkastellaan erikseen, jonka jälkeen pyritään tarkastelemaan menetelmien vahvuuksia ja heikkouksia tehokkuuden mittaamisessa.

3.3.2 Parametrinen ohjelmointi (PPA)

Tässä menetelmässä tehokkuusrintamaa kuvaavan tuotantofunktion (tai kustannusfunktion) parametrinen muoto valitaan ennen tehokkuuden mittaamista. Menetelmässä teknistä te-

¹⁸ Kuusisto (1998)'Verkkoyhtiöiden tehokkuuden mittaaminen ja kustannuslaskenta'

hokkuutta vastaavalle tuotantofunktiolle annetaan tyypillisesti mahdollisimman yleinen funktiomuoto (esimerkiksi translog) ja jäännöstermit, poikkeamat tuotantofunktion tasosta, tulkitaan tekniseksi tehokkuudeksi. Tuotantofunktion parametrien arvot lasketaan siten, että absoluuttiset jäännöstermit (tuotantofunktioarvo vs. havaittu arvo) minimoidaan lineaarisena ohjelmointina. Kun parametrien arvot on laskettu lasketaan kustannustehokkuus ratkaisemalla kustannusten minimointiongelma (edellä ratkaistuja parametrejä hyväksikäyttäen) ja verrataan havaittuja kustannustasoja saatuun minimi-kustannustasoon.

PPA:n soveltuvuus

Hyvänä puolena PPA-menetelmässä pidettiin 1960-luvun lopulla ja 1970-luvun alussa ennalta määrätyn funktiomuodon mahdollistamaa kontrollia skaalatuotto-oletusten suhteen. Lisäksi mallin suhteellisen vaivaton laskenta puolsi tätä menetelmää. Ongelmaksi muodostuivat kuitenkin tapaukset, joissa tuotoksia oli enemmän kuin yksi. Ongelman voi kiertää käyttämällä kustannusfunktiota ja laskemalla poikkeamat kustannusrintamasta tehokkuuden analysoimiseksi. Mutta tällöin vaaditaan tietoa panoshinnoista myös teknisen tehokkuuden laskemiseksi.

1980-luvun alussa DEA-menetelmän kehittyminen johti kasvavaan kritiikkiin PPA-menetelmän vaatimaa funktiomuodon etukäteisvalintaa kohtaan. Kritiikki on siinä mielessä oikeutettua, että menetelmällä ei saada parametriestimaattien keskihajontaa selville, joten parametrien merkittävyyttä ei voida todeta toisin kuin tilastolliseen estimointiin perustuvissa rintamamalleissa.

3.3.3 Ei-parametrinen ohjelmointi (DEA)

Data Envelopment Analysis (DEA) -menetelmässä tuotanto- tai kustannusfunktion muotoa ei tarvitse valita ennen tehokkuuden mittaamista, vaan tehokkuusrintama määräytyy havainto-aineiston perusteella. Tehokkuuden laskenta perustuu lineaarisen ohjelmointiin, missä lasketaan kullekin tarkasteltavalle yksikölle tehokkuusluku, joka kuvaa yksikön tehokkuutta. Tehokkuusluku saa arvoja väliltä 0 - 1. Se kuvaa yksikön suhteellista tehokkuutta verrattuna otoksen kaikkein tehokkaimpiin yksiköihin. Tehokkuusluvulla on selkeä geometrinen tulkinta: se saadaan tutkittavan yksikön ja otoksen tehokkaimpien yksiköiden etäisyksien suhtena panos-tuotos-avaruudessa.

DEA:n soveltuvuus

DEA-menetelmä on yleisempi menetelmä verrattuna PPA-menetelmään, koska tehokkuusrintaman muotoa ei tarvitse ennalta määrätä. DEA-menetelmässä ei myöskään tarvita hintatietoja teknisen tehokkuuden laskemiseen, vaikka tuotoksia olisi useampia. Menetelmä mahdollistaa kokonaistehokkuuden jakamisen puhtaaseen tekniseen tehokkuuteen ja skaalatehokkuuteen. Lisäksi menetelmä antaa luonnollisen vertailukohteen tehottomille yksiköille. DEA-menetelmä laskee jokaiselle tehottomaksi osoittautuneelle yksikölle viiteyksikön, jolla on sama panossuhde kuin tehottomalla yksiköllä. Tämä viiteyksikkö sijaitsee tehokkuusrintamalla ja on joko jokin tehokkaista yksiköistä tai tehokkaiden yksiköiden yhdistelmä.

DEA-menetelmä on laskennallisesti vaativa, mutta tämä ei nykyään ole rajoittava tekijä tietokone-kapasiteetin kasvun myötä. DEA:n käytössä joudutaan kiinnittämään huomiota toisentyypisiin ongelmiin kuin muissa rintamamalleissa, mutta osin mallintamiseen liittyvät ongelmat ovat samantyyppisiä. Eräitä tärkeitä kysymyksiä ovat: i) mikä on analyysiin sisällytettävien muuttujien enimmäismäärä havaintojen lukumäärään nähden, ii) kuinka valita oikeat muuttujat, iii) analyysin herkkyys poikkeavien havaintojen suhteen. Mikäli panosten ja tuotosten lukumäärä havaintojen lukumäärään nähden on hyvin suuri, ei DEA menetelmäkään pysty erottamaan tehottomia yksiköitä tehokkaista.

3.3.4 Deterministinen rintamamalli (DSA)

Estimointiin perustuvissa menetelmissä tehokkuutta verrataan estimoituun keskiarvoyksikköön (jota kuvaa regressiosuora). DSA-menetelmässä estimoidaan tehokkuusrintamaa kuvaavan funktion parametrit havaintoaineistosta olettaen, että kaikki poikkeamat heijastavat teknistä tehottomuutta. Tässä, kuten PPA-menetelmässä, täytyy regressiosuoran funktio-muoto valita etukäteen. Esimerkiksi Aigner ja Chu¹⁹ (1968) estimoivat pienimmän neliösumman menetelmällä yksikertaista DSA-mallia (Cobb-Douglas tuotantofunktio), jossa malli on muotoa

$$\ln(y_i) = x_i \beta - \mu_i$$

missä β on estimoitava parametrivektori ja μ_i on ei-negatiivinen satunnaismuuttuja, joka heijastaa tehottomuutta. Teknistä tehokkuutta vastaa havaitun tuotannon ja maksimituotannon suhde yriykselle i eli

$$TE = \frac{y_i}{\exp(x_i \beta)} = \frac{\exp(x_i \beta - \mu_i)}{\exp(x_i \beta)} = \exp(-\mu_i)$$

Afriat²⁰ (1972) estimoi DSA-mallin siten, että pienimmän neliösumman menetelmällä estimoidun regressioyhtälön vakiotermiä nostetaan käyttäen hyväksi jäännöstermejä. Tällöin ainoastaan yksi yritys muodostaa tehokkuusrintaman ja muut (regressiosuoran alla olevat) luokitellaan tehottomiksi.

DSA:n soveltuvuus

PPA- ja DEA-menetelmiin verrattuna DSA-malli on helppo 'ratkaista' eli estimoida tuotantofunktion parametrit. Lisäksi estimoitujen parametrien merkitsevyyden testaus helpottaa mallin rakenteen valintaa tehokkuuden analyysiä varten.

¹⁹ Aigner, D. and S.-F. Chu (1968) "On Estimating the Industry Production Function," American Economic Review 58, 826-39.

²⁰ Afriat, S. (1972) "Efficiency Estimation of Production Functions," International Economic Review 13, 568-98.

DSA-menetelmän heikkona puolena on, että jäännöstermit tulkitaan sellaisinaan tehottomuudeksi. Osa jäännöstermeistä saattaa kuitenkin heijastaa esimerkiksi muuttujien mittausvirheitä tai muuta satunnaisuutta koskien muuttujien valintaa tai muutoksia yhtiön toimintaympäristössä. Tämän vuoksi stokastinen rintamamalli on DSA-mallia parempi vaihtoehto.

3.3.5 Stokastinen rintamamalli (SFM)

SFM-menetelmässä DSA-malliin lisätään toinen virhetermi, joka kuvaa satunnaisuutta koskien muuttujien arvojen ja ulkoisten toimintaympäristön muutosten yms. vaikutuksia. Malli on yksinkertaisimmillaan muotoa

$$\ln(y_i) = x_i\beta + v_i - \mu_i$$

missä v_i kuvaa virhetermin komponenttia, joka kuvaa tuotokseen vaikuttavista satunnaisista tekijöistä, kuten muuttujien mittausvirheestä johtuvia muutoksia. Virhetermi v_i voi olla positiivinen tai negatiivinen. SFM-mallin kaksi tärkeintä oletusta ovat tehokkuusrintaman funktiomuoto ja virhetermien jakauma.

SFM-mallia voidaan estimoida pienemmän neliösumman menetelmää tehokkaammalla estimointimenetelmällä, kuten suurimman uskottavuuden menetelmällä (maximum likelihood estimation). Jondrow et. al (1982)²¹ esittivät, kuinka yksikkökohtainen tehokkuuskomponentti pystytään erottamaan jäännöstermistä.

Yleensä SFM-menetelmää (ja DSA-menetelmää) on käytetty keskiarvotehokkuuden mittaamiseen. Viimeaikaiset SFM-mallien sovellukset ovat kuitenkin mitanneet myös yhtiökohtaisia tehokkuuslukuja.

SFM - hyviä ja huonoja puolia

SFM-menetelmä on edellistä DSA-menetelmää realistisempi siinä mielessä, että jäännöstermit jaetaan tehokkuuskomponenttiin ja muuhun satunnaisuuteen, jotka vaikuttavat havaitun tuotostason poikkeamaan tehokkaasta tasosta. Toisaalta SFM-mallin estimointi on hankalampaa ja lisäksi siinä täytyy virhetermin jakauma olettaa.

3.4 Menetelmän valinta

Kaikki nämä menetelmät ovat kukin olleet suosittuja omana aikanaan. DSA- ja PPA-menetelmät olivat yleisesti käytettyjä 1960- ja 1970-lukujen loppuun asti. Estimointimenetelmien kehitys ja tietokonekapasiteetin halpeneminen ja kasvu ovat johtaneet SFM- ja DEA-menetelmien yleistymiseen 1980 ja -90 luvuilla. Menetelmän valinta supistuu nykyään lähinnä valintaan SFM- ja DEA-menetelmän välillä.

²¹ Jondrow, Lovell, Materov and Schmidt (1982), "On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model," *Journal of Econometrics* 19, 233-8.

DEA-menetelmä on PPA-menetelmää tarkempi ja yleisempi tuotannon tehokkuuden mittaukseen mm. seuraavista syistä:

- DEA-menetelmässä ei tarvitse valita tehokkuusrintaman funktionaalista muotoa. Tällä on merkitystä tehokkuuden mittauksessa. Funktiomuodon valinta vaikuttaa tehokkaiden yksiköiden löytämiseen, joten DEA-menetelmä on PPA-menetelmää yleisempi.
- DEA-menetelmässä sekä teknisen että kustannustehokkuuden laskeminen on suhteellisen helppoa. Lisäksi tekninen tehokkuus voidaan jakaa skaalatehokkuuteen ja puhtaaseen tekniseen tehokkuuteen. PPA-menetelmässä kustannustehokkuuden laskeminen vaikeutuu, jos tehokkuusrintaman muodoksi valitaan ns. joustava funktiomuoto.
- DEA-menetelmää voidaan käyttää tapauksissa, joissa tuotoksia on useampia kuin yksi.

SFM-menetelmä on DSA-menetelmää parempi ja yleisempi koska:

- SFM-menetelmässä otetaan huomioon satunnaisuus muuttujien arvojen suhteen.
- DSA-menetelmässä kaikki poikkeamat tehokkuusrintamasta tulkitaan tekniiseksi tehokkuudeksi, kun taas SFM-menetelmässä poikkeama jaetaan tekniseen tehottomuuteen ja muuhun satunnaisuuteen. SFM-menetelmä tuottaa siten enemmän informaatiota tehokkuudesta kuin DSA-menetelmä.

DEA- ja SFM menetelmien vertaaminen:

- SFM-menetelmä ottaa huomioon satunnaisuuden, kun taas DEA-menetelmä on deterministinen.
- SFM-menetelmässä voidaan kunkin muuttujan merkitsevyyttä testata, kun taas DEA-menetelmän mallin valinta on monimutkaisempaa.
- SFM-menetelmässä valittu virhetermien jakauma vaikuttaa teknisen tehokkuuden mittaukseen.
- Joustavien funktioiden käyttö SFM-menetelmässä mahdollistaa yleisen estimaatin tehokkuusrintamalle, mutta parametrien suuri määrä tekee kustannustehokkuuden laskemisen erittäin työlääksi.
- DEA-menetelmä soveltuu erityisesti julkisten tai muuten säännellyillä markkinoilla toimivien yhtiöiden teknisen tehokkuuden arviointiin, koska hintatietoja ei tarvita.
- SFM-menetelmässä tehokkuusrintaman funktionaalinen muoto täytyy kuitenkin etukäteen valita, kun taas DEA-menetelmässä tämä ratkaistaan ai-neistosta.

Gong ja Sickles (1992)²² analysoivat SFM-menetelmän rajoituksia käyttämällä useita eri funktiomuotoja SFM-malleissa. Tulokset osoittivat, että SFM-menetelmä on hyvin herkkä tuotantoteknologiaoletuksille. Ferrier ja Lovell (1990)²³ puolestaan huomauttavat, että DEA-menetelmän huonona puolena on se, että usean muuttujan valinta malliin johtaa luokitteluun, jossa suurin osa yksiköitä on tehokkaita.

Pollitt (1995)²⁴ vertaa kaikkia neljää edellä mainittua menetelmää teknisen ja allokaatiivisen tehokkuuden mittaamisessa. Tutkimuksessa analysoidaan sähkön tuotannon tehokkuutta yli 700 lämpövoimalan otoksella. Eri menetelmien antamat tehokkuusluvut korreloivat vahvasti keskenään. Yleisesti ottaen estimointimenetelmien antamat tehokkuusluvut olivat hieman DEA:ta sekä parametrisen ohjelmoinnin lukuja korkeampia. Pollitt päätyy suosittamaan DEA-menetelmää, koska menetelmässä ei tarvitse valita tehokasta tuotannon tasoa kuvaavaa funktion parametristä muotoa kuten estimointimenetelmissä. Pollitt pitää tehokkuusrintamaa kuvaavan funktiomuodon valintaa rajoittavana tekijänä muissa menetelmissä ja siksi suosittaa DEA-menetelmän käyttöä.

Monet syyt siis puoltavat DEA-menetelmän käyttämistä. SFM-menetelmää puoltaa lähinnä se, että siinä huomioidaan satunnaisvaihtelu DEA-menetelmää tarkemmin, mutta muut SFM-menetelmässä tehtävät oletukset tekevät menetelmästä DEA-menetelmää rajoitetumman. Tässä raportissa tullaan siksi käyttämään DEA-menetelmää. Raportin tekijöiden kanta on, että esimerkiksi muuttujien mittausvirheistä johtuva satunnaisuus ei ole merkittävää Suomen tapauksessa. Tämä pätee erityisesti teknisen tehokkuuden mittaamiseen, johon ei tarvita panoshintoja. Lisäksi DEA-menetelmään voidaan sisällyttää toimintaympäristössä tapahtuvia/olevia muutoksia/eroavuuksia kuvaavia ympäristömuuttujia. Useimmat jakeluverkkotoiminnan tehokkuutta analysoivat kansainväliset tutkimukset soveltavat DEA-menetelmää. Alla tarkastellaan DEA-menetelmää tarkemmin.

4 TEHOKKUUDEN MITTAAMINEN DEA-MENETELMÄLLÄ

4.1 DEA-menetelmän kuvaus

DEA menetelmä yleistää tuotos-panos suhdelukuanalyysia tapauksiin, joissa tuotoksia ja panoksia on useita. Menetelmässä käytetään lineaarista ohjelmointia tehokkaan tuotantotason, tehokkuusrintaman, muodostamiseksi.

Tehokkuusrintama määräytyy aineiston perusteella, eli käsillä olevassa tapauksessa jakeluyhtiöiden verkkotoimintaa kuvaavien tuotosten ja panosten perusteella. Tekninen tehotteisuus mitataan etäisyytenä tästä rintamasta. DEA:ssa lasketaan kullekin tarkasteltavalle yksikölle tehokkuusluku, joka kuvaa yksikön tuotannollista tehokkuutta. Tehokkuusluku saa arvoja väliltä 0 - 1.

²² Gong, B. and R. Sickles (1989) "Finite Sample Evidence on the Performance of Stochastic Frontier Models Using Panel Data," *The Journal of Productivity Analysis* 1, 229-61.

²³ Ferrier G. and Lovell C. (1990), *Measuring Cost Efficiency in Banking: Econometric and Linear Programming Evidence*, *Journal of Econometrics*, 46; 229-267.

²⁴ Pollit M. (1997), *Technical Efficiency in Electric Power Plants*, DAE Working Paper No.9422, University of Cambridge.

DEA:ssa verrataan toisiinsa yksiköitä, joilla on mahdollisimman samankaltainen panos-tuotosrakenne. DEA-tehokkuuslukujen avulla voidaan arvioida tutkittavien yksiköiden panosten säästämis-mahdollisuuksia tai tuotosten lisäämismahdollisuuksia. Jos valitaan panosten minimointinäkökulma, tarkoittaa tehokkuusluku 0.75 sitä, että tarkasteltavan yksikön tulisi kyetä tuottamaan sama määrä tuotosta 75 %:lla nykyisistä panoksista.

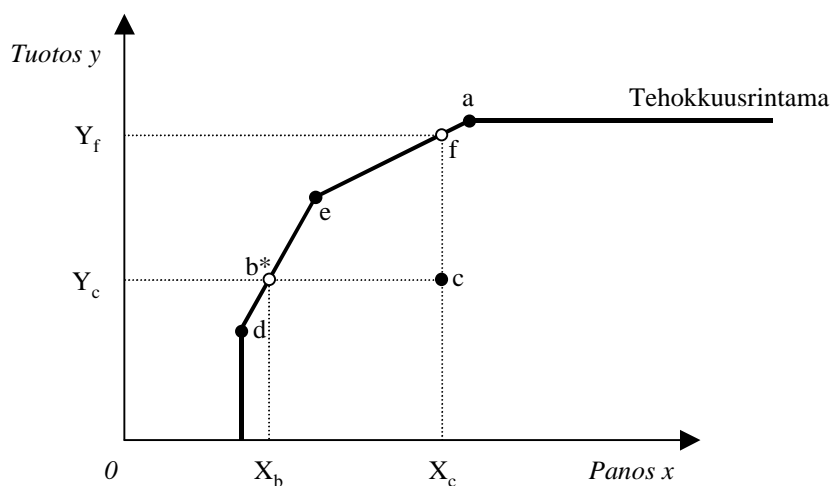
Yleensä DEA:lla lasketaan vain yksikkökohtaiset tehokkuusluvut. DEA -mallin avulla voidaan kuitenkin saada muutakin hyödyllistä tietoa tutkittavasta tuotantoteknologiasta. DEA:n menetelmällinen perusta, lineaarinen ohjelmointi, on varsin monipuolinen ja kuvaamiskykyinen väline erilaisten tuotanto-teknologioiden mallintamiseen.

4.1.1 DEA – menetelmän graafinen kuvaus

DEA – menetelmää voidaan havainnollistaa graafisesti yksinkertaisessa yhden tuotoksen ja yhden panoksen tapauksessa.

Tarkastellaan neljän jakeluyhtiön (a,c,d ja e) tuotos-panos aineistoa

Kuva 4.1 Tekninen tehokkuus



Oletuksena on että tuotannossa on muuttuvat skaalatuotot, mistä seuraa kuvan vahvalla piirretyn tehokkuusrintaman muoto eli paloittain lineaarinen suora, joka kulkee pisteiden a, e, d kautta. DEA-menetelmässä lasketaan kullekin yhtiölle erikseen lineaarisen ohjelmoinnin ratkaisu, josta saadaan yhtiön tehokkuusluku. Menetelmä tunnistaa ne yhtiöt, joilla tuotos-panos-suhte on suhteellisesti korkein, ja muodostaa tehokkuusrintaman (vahva käyrä) näiden yhtiöiden perusteella.

DEA-menetelmässä kullekin yhtiölle lasketaan tuotosten ja panosten painot siten, että yhtiön tehokkuus suhteessa muihin yhtiöihin maksimoituisi. Siten DEA-menetelmä analysoi yritysten tehokkuutta mahdollisimman suosiollisessa valossa. Ne yhtiöt, jotka luokitellaan teknisesti tehokkaiksi saavat arvon yksi, kun taas tehottomat yhtiöt saavat arvon alle yksi.

Tehokkuusluvut voidaan laskea joko panosten tai tuotosten muutosten suhteen, riippuen siitä, kumpaa on realistisempaa pitää annettuna. Mikäli tuotantoa pidetään annettuna muuttujana, tehokkuuslukua kutsutaan *panosorientoituneeksi*, ja jos taas panosten käyttöä pidetään annettuna, tehokkuuslukua kutsutaan *tuotosorientoituneeksi*. Yllä yhtiö, joka toi-

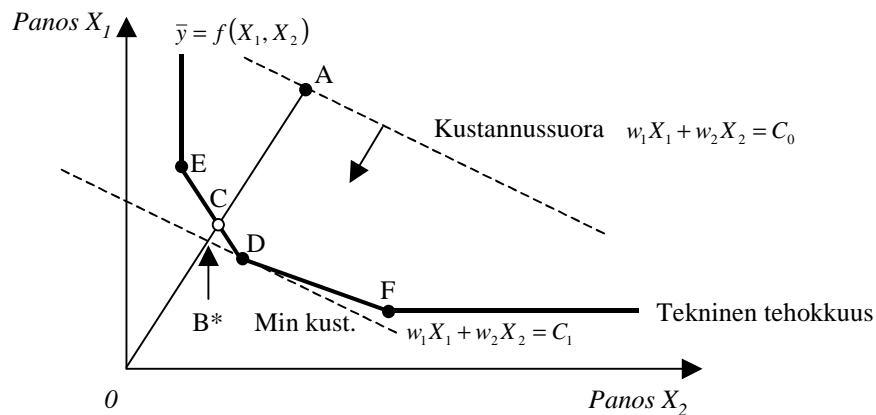
mii pisteessä c saa panos-orientoituneella DEA mallilla tekniseksi tehokkuusluvuksi $OX_b/OX_c < 1$ ja tuotosorientoituneella DEA mallilla $OY_d/OY_f < 1$. Tässä raportissa käytetään panosorientoitunutta DEA-mallia eli tuotoksia käsitellään annettuina ja panoksia muuttuvina muuttujina. Jakeluverkkotoiminnassa tämä on realistisempi vaihtoehto kuin tuotosorientoitunut malli, jossa panokset ovat annettuina ja tuotokset muuttuvia.

DEA-menetelmässä kullekin tehottomaksi osoittautuneelle yhtiölle ratkaistaan viiteyksikkö, joka on tehotonta yhtiötä vastaava tehokas yhtiö, eli yhtiö, jolla panosten suhde on sama. Yllä yksikön c viiteyksikkönä toimii piste b^* , joka on tehokkaiden yksiköiden d ja e lineaariyhdistelmä. Näitä tehokkaita yksiköitä sanotaan tehottoman yksikköä c dominoiviksi yksiköiksi.

Tehottomiksi osoittautuneita yksiköitä tuleekin verrata juuri näihin dominoiviin yksiköihin, koska niiden panosrakenne on mahdollisimman samankaltainen keskenään.

Tuotannon kokonaistehokkuus, allokatiiivinen tehokkuus ja tekninen tehokkuus on esitetty kuvassa 4.2. Teknistä tehokkuutta esittää vahvalla piirretty tuotantofunktiota kuvaava samatuotuskäyrä. Kaikilla panosyhdistelmillä vahvalla piirretyllä suoralla saadaan aikaan tuotannontaso \bar{y} joka kulkee yksiköiden E , C , D ja F kautta. Kustannussuora esittää niitä panosten X_1 ja X_2 yhdistelmiä, joilla kokonaiskustannusten taso on vakio. Panosten hinnat, w_1 ja w_2 , oletetaan annetuiksi. Mitä lähempänä kustannussuora on origoa, sitä alhaisempi kokonaiskustannusten taso on. Kustannussuoran kulmakerroin puolestaan määräytyy panoshintojen suhteena. Yritys, joka minimoi kustannuksiaan, pyrkii valitsemaan käyrältä $\bar{y} = f(X_1, X_2)$ panosyhdistelmän, jolla kustannussuora on mahdollisimman lähellä origoa. Kuvassa 4.2. kustannuksia minimoiva panoskäyttö vastaa yhtiön D panoskäyttöä.

Kuva 4.2 Tekninen tehokkuus vs. kustannustehokkuus



Ympäristöä ja laatua kuvaavien muuttujien käsittely

Joissakin tapauksissa tarkasteltavilla yksiköillä on niiden omasta toiminnasta riippumattomat erilaiset mahdollisuudet tuotannolliseen toimintaan. Yhtiöiden käyttämät panokset voivat olla laadultaan erilaisia tai tuotantoympäristö voi olla poikkeava. DEA:ssa voidaan laatua kontrolloida samaan tapaan kuin ekonometrisissa analyyseissä: malliin voidaan lisätä panosmuuttujaksi laatua kuvaava ympäristömuuttuja.

Jakeluverkkotoimintaan liittyviä mahdollisia ympäristömuuttujia on käyty läpi DEA-mallin muuttujia kuvaavassa luvussa. Periaatteessa ympäristön ominaispiirteiden tai laatu-muuttujien vaikutus DEA-tehokkuuslukuihin voidaan 'tasoittaa' joko jakamalla otos ympäristötekijän mukaisiin luokkiin ja ratkaisemalla tehokkuusluvut kussakin luokassa erikseen tai käyttämällä ympäristömuuttujia. Koska otoskoon pieneneminen saattaa johtaa tehokkuuden erotteluongelmaan, tässä tutkimuksessa on pääasiallisesti pyritty käyttämään ympäristömuuttujia.

4.1.2 DEA-menetelmän matemaattinen kuvaus

Tarkastellaan tehokkuuslukujen laskentaa DEA-menetelmällä tapauksessa, jossa on n kappaletta päätöksentekoyksiköitä, m kappaletta tuotoksia ja k kappaletta panoksia. Yksikön j havaittua tuotosvektoria merkitään m -ulotteisella vektorilla $y_j = (y_{j1}, y_{j2}, \dots, y_{jm})$, ja panoksia k -ulotteisella vektorilla $x_j = (x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jk})$. Tekninen tehokkuus saadaan maksimoimalla kunkin yksikön painotettua tuotosten ja panosten suhdetta. Merkitään tuotosten painoja vektorilla $u_s = (u_1, u_2, \dots, u_m)$ ja panosten painoja vektorilla $v_i = (v_1, v_2, \dots, v_k)$, jolloin tehokkuuslukujen laskeminen voidaan esittää muodossa

$$\begin{aligned} \max_{u,v} h_0 &= \frac{\sum_{s=1}^m u_s y_{j0s}}{\sum_{i=1}^k v_i x_{j0i}} \\ \text{ehdolla} & \\ \frac{\sum_{s=1}^m u_s y_{js}}{\sum_{i=1}^k v_i x_{ij}} &\leq 1 \quad j = 1, 2, \dots, n \\ u_s, v_i &\geq 0 \quad ; \forall s, i \end{aligned} \tag{1}$$

Jokaiselle yksikölle o lasketaan sellaiset tuotosten (y) ja panosten (x) painot²⁵ u_s ja v_i , joilla painotettu tuotosten ja panosten suhde maksimoituu.

Yllä olevalle optimointiongelmalle ei ole yksiselitteistä ratkaisua, koska panosten ja tuotosten painot voidaan aina kertoa vakiolla. Ongelman ratkaisu saadaan yksiselitteiseksi normeeraamalla painotettujen panosten summa yhdeksi, jolloin (1) voidaan esittää lineaarisena optimointiongelmana.

²⁵ Panokset ja tuotokset ovat optimointiongelman kannalta vakioita, vain niiden painoja varioidaan.

$$\begin{aligned}
\max h_0 &= \sum_s^m u_s y_{sj} \\
\text{ehdolla} \\
\sum_i^k v_i x_{i0} &= 1 \\
\sum_s^m u_s y_{sj} &\leq \sum_i^k v_i x_{ij} \quad ; \quad j = 1, \dots, n \\
u_j, v_i &\geq 0 \quad ; \quad \forall j, i
\end{aligned} \tag{2}$$

Lineaarisen optimointiongelman (2) ratkaisu saadaan myös sen duaalimuodosta

$$\begin{aligned}
\text{Min } \theta \\
\theta, \lambda \\
\sum_s^m y_{sj} \lambda_j &\geq y_{s0} \quad ; \quad s = 1, \dots, m \\
\theta x_{i0} &\geq \sum_i X_{ij} \lambda_j \quad ; \quad i = 1, \dots, k \\
\lambda_j &\geq 0 \quad ; \quad j = 1, \dots, n
\end{aligned} \tag{3}$$

missä parametrin θ arvo ($\theta \leq 1$) vastaa teknistä tehokkuutta. Yllä on esitetty panosorientoitunut malli, jossa parametri θ esiintyy panosvektorin x kertoimena rajoitteessa $\theta x_{i0} \geq \sum_i X_{ij} \lambda_j$. Ratkaistu arvo $1 - \theta$ kertoo kuinka paljon (prosentteina) yksikön tulee vähentää kaikkia panoksiaan (samassa suhteessa), kun tuotanto säilyy muuttumattomana, teknisen tehokkuuden saavuttamiseksi. Jakeluyhtiöiden verkkotoimintojen tehokkuuden arvioinnissa on yleensä käytetty panosorientoitunutta mallia, jossa verkkotoimintojen tuotokset oletetaan annetuiksi.

Kertoimet λ määrittävät viiteryhmän kullekin tehottomalle yksikölle tehokkuusrintamalta. Kertoimien avulla saadaan selville ne tehokkaat yksiköt tehokkuusrintamalta, joihin tehotonta yksikköä verrataan ja joiden mukaan tehokkuusluvun arvo määräytyy. Kun painojen λ rajoitteena on pelkkä ei-negatiivisuusehto, vastaa tämä tuotantofunktion osalta vakio-skaalatuotto-oletusta. Jos painojen summa rajoitetaan yhdeksi, vastaa malli muuttuvien skaalatuottojen teknologiaa.

Eräs DEA-menetelmän hyvistä puolista on se, että sillä voidaan ottaa huomioon samanlaisesti kaikki eri panos-tuotossuhteet. Suhdelukuanalyysissä tehokkaimpien yksiköiden erottelu voi olla vaikeaa, koska tehokkuusluvut riippuvat käytetystä suhdeluvusta. DEA-menetelmällä voidaan löytää sellaisia tehottomuuksia, jotka jäisivät huomaamatta suhdelukuanalyysissä.

Toisaalta DEA-menetelmän tulokset ovat herkkiä muuttujavalinnoille, ja muuttujan jääminen pois analyysistä voi muuttaa kuvaa toimialan tehokkuudesta. DEA-menetelmän muodostama tehokkuus-rintama on tehokkaiden yksiköiden rajapinta, joten tulokset ovat myös herkkiä aineistossa oleville mittausvirheille.

4.2 DEA-tutkimuksia jakeluverkkojen tehokkuudesta

Tässä luvussa luodaan katsaus joihinkin keskeisiin jakeluverkkotoiminnan tehokkuutta käsitteleviin tutkimuksiin, joissa on käytetty DEA-menetelmää (tai useampia menetelmiä DEA-menetelmän lisäksi). Mukana on Ruotsin, Norjan, Englannin ja Walesin sekä yhdistetty Englannin ja USA:n sähkön jakelumarkkinat. Kattavan katsauksen jakeluverkkojen tehokkuudesta voi löytää internetistä sivulta <http://www.ipart.nsw.gov.au/> (Final Annex 3 – Literature review Annex).

4.2.1 Norjan jakeluverkkotoiminnan tehokkuutta koskevia tutkimuksia

4.2.1.1 Før Sundin ja Kittelsenin tutkimus

Før Sundin ja Kittelsenin²⁶ tutkimuksessa analysoitiin Norjan sähkönjakelusektorin kokonaistuottavuuden muutosta vuosien 1983 ja 1989 välillä. Tarkasteluperiodi edustaa säänneltyä markkinaa, josta tutkijat halusivat selvittää tuottavuuden kehityksen vertailukohtaksi kilpailuille markkinoille. Kokonais-tuottavuuden muutos laskettiin Malmquist-indeksillä, joka mahdollisti tuottavuuden muutoksen erittelyn tehokkuuden muutoksen ja teknologisen kehityksen komponentteihin. Malmquist-indeksi laskettiin DEA-menetelmällä olettaen vakioskaalatuotot.

Tutkimuksessa käytetyn mallin muuttujien valinta perustui aiempaan tutkimukseen (Kittelsen 1993²⁷). Mallin rakenne oli seuraava:

Tuotokset	Panokset
etäisyysindeksi	työ
asiakkaiden lukumäärä	siirtohäviöt
energian kokonaissiirto	pääoma
	materiaalit

Aineisto koostui 157 jakelulaitoksen tiedoista kahdelta vuodelta, 1983 ja 1989.

Tutkimuksessa käytetty etäisyysindeksi oli laskettu kunkin alueen keskimääräisestä matkustusajasta alueen asutuskeskukseen. Tutkijoiden mukaan etäisyysindeksi on parempi muuttuja kuvaamaan alueen laajuutta kuin esim. jakeluverkon pituus, koska etäisyysindeksi on aidosti riippumaton muuttuja yhtiön kannalta. Tutkimuksessa käytettiin panos-orientoitunutta tehokkuuden mittausta.

²⁶ Før Sund F. and Kittelsen S. (1998), Productivity Development of Norwegian Electricity Distribution Utilities, Resource and Energy Economics, 20.

²⁷ Kittelsen S (1993), Stepwise DEA. Choosing Variables for Measuring Technical Efficiency in Norwegian Electricity Distribution. Memorandum No 6/93, University of Oslo.

Malmquist-indeksin keskiarvo 1983-1989 oli 1.12 mikä tarkoittaa, että kokonaistuottavuuden muutos on ollut n. 12 % 1983-1989. Malmquist-indeksin arvohan tulkittiin siten, että arvo yksi merkitsee muuttumatonta tuottavuuden muutosta. Vuositasolla luku 1.12 vastasi hieman yli 2 %:n tuottavuuden kasvua periodilla 1983-1989. Kasvu on johtunut lähinnä teknisen tehokkuuden paranemisesta, toisin sanoen tehokkuusrintaman siirtymisestä. Malmquist-indeksin tehokkuuskomponentin arvo oli lähellä yhtä.

Tuottavuuslukujen jakauma osoitti pienten yhtiöiden olleen ylliedustettuina negatiivisen kasvun puolella, mutta toisaalta myös korkeimman kasvuluvun huipussa (edusti vähemmän kuin 1% kapasiteetista).

Tuottavuusindeksin komponenttien jakaumat osoittivat, että tuotannon tehokkuuden muutoksissa huonoiten pärjäivät pienet yksiköt. Tekninen tehokkuus laski keskimäärin pienissä yksiköissä. Toisaalta samoin kuin kokonaisindeksin jakaumassa, pienet yksiköt dominoivat myös tehokkuuskomponentin jakauman kaikkein suurimman tehokkuuden kasvun luokassa.

Johtopäätöksenä tutkimuksessa todetaan, että tuottavuuden kasvu on ollut lähes 2 % vuositasolla, mikä on pääasiassa johtunut teknologisesta kehityksestä eikä tuotannon tehokkuuden paranemisesta.

4.2.1.2 NVE – tutkimus

NVE-tutkimuksessa²⁸ analysoitiin Norjan jakeluverkkotoiminnan kustannustehokkuutta 1995. Tutkimus osoitti, että Norjassa keskiarvo kustannustehokkuusluku oli 0.79, eli jakeluyhtiöillä on keskimäärin 21 % kustannusten karsimistarve kustannustehokkuuden saavuttamiseksi.

Mallissa käytetään neljää tuotosta ja neljää panosta.

Tuotokset	Panokset	Panoshinnat
Siirretty energiamäärä (MWh)	Työpanos (työtunnit)	Työn hinta
Kuluttajien lukumäärä	Siirtohäviö (MWh)	Siirtohäviön hinta (keskiarvo spot-systeemihinta)
Jakelulinjojen pituus (km) (1-24 kV) ilma ja maakaapelit	Pääoma (mk)	Pääoma – user-cost kustannus
Jakelulinjojen pituus (km) (1-24 kV) merikaapelin pituus	Tavarat ja Materiaalit	Materiaali

Tutkimuksessa tarkastellaan kahta eri pääomapanosvaihtoehtoa: tilinpitoarvoon perustuva sekä nykyarvoon perustuva pääomapanos. NVE jakaa maa ja merikaapelit eri tuotoksiksi, koska rannikolla on yleensä korkeammat kustannukset kuin sisämaassa.

²⁸ Langset T. ja Torgersen A.M. Effektivitet i distribusjonsnettene 1995²⁸, NVE publikasjon Nr 15 1997

4.2.2 Ruotsin jakeluverkkotoimintaa koskeva tutkimus

Hjalmarsson ja Veiderpass²⁹ ovat selvittäneet Ruotsin jakeluverkkotoiminnan tehokkuutta. Tässä tutkimuksessa analysoitiin jakeluyhtiöiden verkkotoimintojen teknisen tehokkuuden sekä tuottavuuden kehitystä vuosina 1970-1986 Ruotsissa. Tuottavuutta mitattiin Malmquist-indeksillä olettaen teknologialle vakioskaalatuotot. Aineisto koostui 289 jakelulaitoksen verkkotoimintojen tuotos- ja panostiedoista. Käytännössä analyysissä oli kuitenkin mukana 73-162 yhtiön tiedot tarkasteluvuodesta riippuen. Tutkimuksessa huomioitiin vain ne jakelulaitokset, joilla oli vähintään 500 asiakasta pienjänniteverkossaan.

Käytetty malli koostui neljästä tuotoksesta ja neljästä panoksesta:

Tuotokset	Panokset
Toimitettu sähkö (MWh) pienjänniteverkossa	tehdyt työtunnit
Toimitettu sähkö (MWh) keskijänniteverkossa	pienjännitelinjojen pituus (km)
Asiakkaiden lukumäärä pienjänniteverkossa	keskijännitelinjojen pituus (km)
Asiakkaiden lukumäärä keskijänniteverkossa	muuntajakapasiteetti (kVA)

Toisin kuin Førsundin ja Kittelsenin (1998) tutkimuksessa, ei jakelun etäisyyttä kuvaavaa muuttujaa oltu muodostettu erikseen.

Hjalmarsson ja Veiderpass raportoivat myös aineistosta laskettuja osittaistuottavuuksia. Laskettujen suhdelukujen valossa siirretty asiakaskohtainen energiamäärä kasvoi tasaisesti periodilla 1970-86. Työn tuottavuuden kasvu riippui tuotoksen mittaustavasta: kasvu oli positiivista, kun tuotosta mitattiin energian määrällä, ja negatiivista, kun sitä mitattiin asiakkaiden lukumäärällä.

DEA-menetelmällä lasketut Malmquist-indeksit osoittivat, että kokonaistuottavuus kasvoi keskimäärin n. 5% vuositasolla periodin 1970-1986 aikana. Periodilla 1978-1986 tuottavuuden kasvu oli selvästi hitaampaa, n. 2.5 % vuositasolla, mikä on samaa suuruusluokkaa kuin Norjassa Førsundin ja Kittelsenin tutkimuksessa. Malmquist-indeksin analyysin mukaan tuottavuuden kasvu on johtunut lähinnä teknisestä kehityksestä. Indeksien tehokkuuskomponentin keskiarvo oli hieman alle yhden. Tekninen tehokkuus olisi tutkimuksen mukaan siis hieman alentunut.

Aineistoa analysoitiin myös eri yritysluokkien mukaan. Kokonaistuottavuuden kehitystä tarkasteltiin taajama- ja maaseutuluokkien välillä. Taajamakategoriaan valittiin yhtiö, jolla oli yli 5000 asiakasta. Maaseutuyhtiöiden keskimääräinen tuottavuuden kasvu oli 7 % vuodessa, kun se taajama-yhtiöille oli 5.5%.

Ruotsissa sähkön siirron jakeluosuudet ovat jakautuneet varsin heterogeenisesti yhtiömuodon suhteen: kuntapohjaiset yhtiöt kattoivat n. 65 %, yksityiset n. 20 %, valtion omistamat

²⁹ Hjalmarsson L. and Veiderpass A. (1991), Productivity in Swedish Electricity Retail Distribution, Scandinavian Journal of Economics.

yhtiöt n. 10% ja muut (esim. yhteenliittymät) yhtiöt 5% jakelusta. Analyysi tehtiin myös eri omistusmuotojen välillä, joiksi valittiin: yksityinen, valtion ja kunnallinen liikelaitos sekä osuuskunnat. Tuottavuuserot eivät olleet merkittäviä eri omistusmuotojen välillä.

4.2.3 Englannin ja Walesin jakeluverkkotoiminnan tehokkuutta koskevia tutkimuksia

4.2.3.1 Weymanin ja Jonesin tutkimus

Weyman ja Jones³⁰ ovat selvittäneet kahdentoista Englannin ja Walesin jakeluyhtiön teknistä tehokkuutta vuosina 1986 ja 1987. Nämä yhtiöt yksityistettiin vuonna 1990. Tutkimuksessa käytettiin panosorientoitunutta DEA-menetelmää teknisen tehokkuuden laskemiseksi.

Käytetty malli koostui kolmesta tuotoksesta ja kahdesta panoksesta:

Tuotokset	Panokset
sähkön myynti kotitalouksille (kWh)	työ (työntekijöiden lkm)
sähkön myynti teollisuudelle (kWh)	a) pääoma1 (linjojen pituus km)
sähkön myynti muille (commercial customers) (kWh)	b) pääoma2 (tilinpitoarvo)

Pääomapanokseksi valittiin kaksi eri vaihtoehtoa: fyysinen pääoma (a) ja tilinpitoarvoon perustuva pääomapanos (b). Tekninen tehokkuus vaihteli 79 %:sta 100 %:iin. tilinpitoarvoon perustuvalla pääomapanoksella tehokkuusluvut olivat keskimäärin korkeammat kuin fyysiseen pääomaan perustuvalla pääomapanoksella. Kahdeksan jakelulaitosta luokiteltiin teknisesti tehokkaiksi tilinpitopääomalla, kun taas fyysisen pääoman käyttö johti viiden yhtiön luokittamiseen teknisesti tehokkaaksi. Tutkijan mukaan fyysinen pääoma erottelee tarkemmin yhtiöt, jotka ovat teknisesti tehokkaita, kuin kirjanpitoarvoihin perustuva pääomapanos.

4.2.3.2 Pollittin tutkimus

Pollitin³¹ tutkimuksessa sähkön jakelun tehokkuutta analysoitiin sekä DEA-menetelmällä että estimoidun kustannusfunktion avulla. Aineisto koostui 145 Yhdysvaltalaisen jakeluyhtiön tuotantoluvuista vuodelta 1990. Kokonaisotos jaettiin kolmeen ryhmään työntekijälukumäärän mukaan: $L > 1000$, $1000 > L > 300$ ja $L < 300$. Perusteluna jaolle Pollittin mukaan olivat:

³⁰ Weyman-Jones T. (1991), Productive Efficiency in a Regulated Industry: the Area Boards of England and Wales, Energy Economics.

³¹ Pollit Michael (1995), "productive efficiency in Transmission and Distribution", Chapter 8 in D.Phil Dissertation.

- Suurempien ja pienempien yritysten vertailu (työntekijämäärällä mitattuna) keskenään ei ole mielekästä koska suuremmilla yhtiöillä eri tuotoksien tarjonta on laajempi kuin pienemmällä yrityksillä.
- DEA-tehokkuuslukujen variaatio pienenee jakamalla kokonaisotos
- DEA-lukujen laskenta helpottuu pienemmällä otoksilla.

Pollitt käytti seuraavaa DEA-mallia jakeluverkkotoiminnan tehokkuuden mittaamiseen:

Tuotokset	Panokset
asiakkaiden lukumäärä	työntekijöiden lukumäärä
myynti kotitalouksille (residential sales kWh)	muuntajat (MVA)
myynti muille (kWh)	linjojen pituus (km)
jakelualueen koko (km ²)	
maksimiteho (MW)	

Panostiedoista puuttuivat siirtohäviötiedot, joita tähän tutkimukseen ei ollut saatavilla. Pollittin mallissa tuotoksiin sisällytettiin maksimi teho, joka kuvaa kysynnän kuormituskäyrävaikutusta, eli maksimi kysyntä on voitava tyydyttää. Lisäksi tässä tutkimuksessa analysoitiin panos- ja tuotosmuuttujien riippumattomuutta ratkaisemalla malli kolmella eri lisäversiolla, joissa osa muuttujista oletettiin yhtiön päätösvallasta riippumattomiksi. Mallit ratkaistiin siten, että nämä muuttujat oletettiin vakioiksi. Mallien kolme versiota olivat:

1. Siirtolinjojen pituus ja jakelualueen koko vakioita.
2. Edellisten lisäksi maksimiteho myös vakio.
3. Ja 2. lisäksi muuntajakapasiteetti vakio.

Tutkimuksessa haluttiin analysoida tulosten herkkyyttä mallin rakenteen suhteen, koska sähkön jakelussa osa muuttujista voidaan ajatella ns. ympäristömuuttujiksi, joihin vaikuttavat esim. alueen maantieteelliset ominaisuudet enemmän kuin yrityksen oma toiminta.

Teknisen tehokkuuden keskiarvo koko otoksessa oli 0.8517, ja kolmessa osa-otoksessa (työntekijämäärän suhteen jaettu) keskiarvot olivat: $L < 300$ 0.8944, $1000 < L < 300$ 0.879 ja $L > 1000$ 0.8108.

Malliversiolla yksi keskiarvo tekniselle tehokkuudelle oli 0.934 ja malliversiolla kolme keskiarvo oli 0.9822. Julkisten ja yksityisesti omistettujen yhtiöiden välillä ei ilmennyt merkittäviä tehokkuuseroja.

4.2.4 Yhteenveto kansainvälisistä DEA-tutkimuksista

Kansainvälisistä tutkimuksista voidaan tehdä seuraavia yleistyksiä:

- Jakeluverkkotoiminnan tehokkuutta tulee mitata panosorientoituneella mallilla. Yhtiöiden kannalta tuotostasot ovat annettuja muuttujia ja tehokkuuteen pyritään vähentämällä panoskäyttöä.
- Panokset jaetaan yleensä kolmeen kategoriaan: työ, pääoma ja muut (esim. ylläpitoon liittyviä). Fyysistä pääomaa edustavat jakelulinjojen pituus ja muuntajakapasiteetit.
- Tuotoksina esiintyy: siirretty energia, asiakkaiden lukumäärä, huippukuorma, jakelualueen koko.
- Toimintaympäristöä on mallinnettu mm. asiakastiheydellä, energiantiheydellä, säädöksillä, korroosioindeksillä sekä alueen kokoa kuvaavilla muuttujilla.

Alla olevassa taulukossa on esitetty eri muuttujajyhdistelmiä, joita on käytetty jakeluverkkotoimintojen tehokkuuden analysoimiseksi. Siirretty energia esiintyy kaikissa tutkimuksissa tuotoksena. Lisäksi asiakasmäärä esiintyy useimmissa tutkimuksissa omana tuotoksestaan. Jakelu-alueen kokoa on mallinnettu etäisyysindeksillä, jakelulinjojen pituudella ja alueen pinta-alalla. Panoksina ovat tyypillisesti työ, siirtolinjojen pituus ja muuntajakapasiteetti. Häviöt ovat myös panos ja niissä tutkimuksissa, joissa tätä muuttujaa ei ole, on häviön puuttumisen yleisimpänä syynä aineiston saatavuusongelmat.

Taulukko 4.1 Yhteenveto tehokkuustutkimuksista

Panos	Tuotos	Asiakkaiden lukumäärä	Siirretty energia	Etäisyys-Indeksi	Max. teho	Alueen koko	Linjojen pituus
Työ		☀ ○ □ ■	☀ ○ ■ □ ■	☀	■	■	□
Siirtohäviöt		○	○ □				□
Pääoma (mk)		☀	☀ ■ □	☀			□
Siirtolinjojen pituus		○ ■	○ ■ ■		■	■	
Muuntajakapasiteetti		○ ■	○ ■		■	■	
Materiaalit (mk)		☀	☀	☀			

■ = Pollitt

☀ = Førsund ja Kittelsen

□ = NVE

○ = Hjalmarsson & Veiderpass (jako pien- ja suurjännite siirtoon / asiakkaisiin)

■ = Weyman-Jones

4.3 DEA-mallin rakenne ja sen testaaminen

Ongelmana kaikissa (ei vain DEA-menetelmässä) tehokkuustutkimuksissa on päättää, mikä malli on mahdollisimman 'oikea' kuvaamaan jakeluverkkotoiminnan tehokkuutta. Osassa tutkimuksista suositetaan yleisempää (vähemmän muuttujia) ja osassa yksityiskohtaisempaa (useita muuttujia) mallia. Valintaan vaikuttaa luonnollisesti aineiston saatavuus ja sen laajuus (montako yksikköä).

Tätä raporttia varten on käytössä kansainvälistenkin mittapuiden mukaan erittäin kattava aineisto, joten aineiston saatavuus ei ole päällimmäinen ongelma. Tuotosten ja panosten

määrä on kuitenkin syytä pitää mahdollisimman rajattuna, jotta mallissa olisi riittävästi vapausasteita³² aineiston lukumäärään nähden. Yleinen nyrkkisääntö on, että mallissa, jossa on n tuotosta ja m panosta, $n \times m$ yksikköä luokitellaan tehokkaiksi. Aineistossa olevien yksiköiden määrän tulee siis olla panosten ja tuotosten tuloa selvästi suurempi.

Fären ja Primontin (1987)³³ mukaan DEA-mallissa, jossa panokset ovat summa yksityiskohtaisen DEA-mallin panoksista, tehokkuusluku ei voi olla suurempi kuin yksityiskohtaisemmalla mallilla saatu arvo. Yksityiskohtaisemman mallin tehokkuusluku E_1 on siis aina korkeampi tai yhtä korkea kuin vähemmän panosmuuttujia sisältävällä mallilla saatu tehokkuusluku E_0 . Nollahypoteesina voidaan siis pitää $H_0 : E_0 = E_1; H_1 : E_0 < E_1$.

Tätä hypoteesia on tilastollisesti pyritty testaamaan. Perusoletuksena on, että yleisempi malli sisältää yksityiskohtaisemman mallin erikoistapauksenaan.

Kittelsen (1993) esittää asteittain ratkaistavaa DEA-menetelmää muuttujien valitsemiseksi. Oletuksena on, että panoskombinaatiot ovat riippumattomasti ja samalla tavalla jakautuneita. Kittelsen soveltaa tilastollisia testejä, kuten Mann-Whitney-testi, F-testi ja t-testi, mallin tehokkuusluvun arvон muutoksen (kun panos- tai tuotosmuuttujia lisättiin) merkitsevyyden testaamiseen. Ongelmana tässä menetelmässä on kuitenkin se, että DEA-luvut eivät ole normaalijakautuneita eivätkä riippumattomasti jakautuneita. Kaikissa testeissä oletettiin kuitenkin tehokkuuslukujen riippumattomuus toisistaan. Kittelsenin mukaan Monte Carlo -simuloinnit osoittivat, että tehokkuuslukujen keskinäinen korrelaatio laski testisuureiden arvoa. Kittelsenin panos-tuotos -aineisto käsittää laajimmillaan seuraavat muuttujat:

Taulukko 4.2 Kittelsenin tutkimuksen muuttujat

Tuotokset	Panokset	Ympäristömuuttuja
Siirretty energia (energia-intensiiviselle teollisuudelle ja sähkö-laitoksille)	Tehdyt työtunnit	Etäisyysindeksi
Siirretty energia (muulle teollisuudelle)	Siirtohäviöt	Korroosioindeksi
Asiakkaiden lukumäärä	Muuntajakapasiteetti	Sääindeksi
Maksimi teho	Siirtolinjat	
	Muut materiaalit	

Tilastomatemattisen analyysin pohjalta päädyttiin malliin, jossa tuotosmuuttujina olivat siirretty energia yhteensä (summattu yhdeksi muuttujaksi) ja asiakkaiden lukumäärä sekä etäisyysindeksi ja panosmuuttujina kaikki taulukon 4.2. panokset.

³² Mikäli DEA-malliin valitaan hajautetusti suuri määrä eri tuotos- ja panosmuuttujia, menetelmä erottelee tehokkaiksi kaikki ne yksiköt (eli lähes kaikki yksiköt), joilla joku muuttujista edustaa otoksen ääripäätä. On sekä mallin ymmärrettävyyden että sen ratkaisemisen tehokkuuden kannalta hyvä sisällyttää malliin vain tuotannon tehokkuuden kannalta keskeiset muuttujat.

³³ Färe, R. and D. Primont (1987), Efficiency Measures for Multiplant Firms with Limited Data, in Eichhorn (toim.) Measurement in Economics, (Physica-verlag, Heidelberg).

Toinen tapa saada informaatiota mallitulosten merkitsevyydestä on simuloida tehokkuusluville otosjakauma ja muodostaa luottamusvälit näille. Näin voidaan tarkastella kunkin tehokkuusluvun tilastollista merkitsevyyttä. Simar ja Wilson (1995)³⁴ esittävät tällaista simulointimetodia (bootstrap), jolla muodostetaan luottamusvälit yksittäisille tehokkuusluville tehokkuuden merkitsevyyden toteamiseksi. Bootstrap-simuloinnissa DEA-tehokkuusluvuista otetaan satunnaisotos ja näillä DEA-tehokkuusluvuilla kerrotaan panosaineisto, jonka jälkeen lasketaan uudet tehokkuusluvut muokatulla aineistolla. Tämä toistetaan 1000-2000 kertaa, jolloin saadaan otosjakauma tehokkuusluville. Otosjakaumasta voidaan testata tehokkuuslukujen merkitsevyyttä. Simarin ja Wilsonin käyttämä bootstrap-simulointi on kuitenkin laskennallisesti erittäin vaativa.

5 TUOTOS- JA PANOSMUUTTUJAT JAKELUVERKKOTOIMINNAN TEHOKKUUDEN MALLINTAMISESSA

Tässä luvussa esitetään keskeisimpiä tuotoksia ja panoksia jakeluverkkotoiminnan tehokkuuden ja tuottavuuden mittaamiseen. Luvussa esitetään tuotokset ja panokset, jotka liittyvät keskeisesti jakeluverkkotoimintaan. Lisäksi esitetään perustelut, miksi Suomen jakeluverkkotoiminnan analyysiä varten on tehty valinta niistä muuttujista, joita tässä raportissa käytetään.

5.1 Tuotokset

Sähköä käytetään moniin eri tarkoituksiin ja hyvin erilaisissa olosuhteissa. Sähkönjakelu pyrkii täyttämään näitä eri tarpeita ja siksi sen tuotosta joudutaan tarkastelemaan monesta näkökohdasta. Tällaisia tuotoksia voivat olla siirretyn sähkön määrä, verkon kapasiteetti, asiakasmäärä, siirtoetäisyys ja siirretyn sähkön laatu.

Teoreettisesti tuotokseksi määritellään muuttuja, jonka lisääminen vaatii yritykseltä lisäresursseja ja/tai alempaa muiden tuotosten tuotannon tasoa.

5.1.1 Siirretyn sähkön määrä

Jakeluverkkotoiminnan ydin on sähkön siirto. Siirretty sähkömäärä on siten tärkein tuotostuuttuja myös jakeluverkkotoiminnan tuottavuuden ja tuotannon tehokkuuden mittauksessa.

Siirrettyä sähköä voidaan mitata vuoden aikana siirretyn energian määrällä (GWh). Siirretty sähkö voidaan myös jakaa omiksi tuotoksikseen pienjännitejakelun (0.4 kV) ja keskijännitejakelun (6-70 kV) suhteen (kuten esimerkiksi Hjalmarssonin ja Veiderpassin tutkimuksessa tehtiin). Perusteluna jaolle jännitetason mukaan voidaan käyttää pienjännitesiirron suurempia jakeluhäviöitä ja erilaisia asiakastyyppejä keskijännitejakeluun nähden. Keskijännitetason asiakkaat ovat tyypillisesti keskisuuria teollisuuslaitoksia, kun taas pienjännitejakelun piiriin kuuluvat kotitaloudet ja muut pienasiakkaat.

³⁴ Simar L. and Wilson P (1995), Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Non-parametric Frontier Models, Management Science.

Suomessa sähkön siirron osuus pienjänniteverkossa on n. 2/3 ja keskijännite verkossa n. 1/3 koko jakelusiirrosta (taulukot 6.1 - 6.3).

Käytännössä ongelmaksi muodostuu kuitenkin se, että pienjänniteverkon asiakkaat käyttävät epäsuorasti keskijänniteverkkoa, joten keskijännitesiiroissa on mukana myös pienjännitesiiroon menevää sähköä.

Sähkön siirto per kilometri per jännitetaso on pääomakustannuksiltaan kalliimpaa keskijänniteverkossa kuin pienjänniteverkossa, mutta toisaalta siirtohäviöt ovat alhaisemmalla jännitetasolla suuremmat. Yleensä tehokkuustutkimuksissa kokonaissiiroa onkin arvioitu ilman jännitetason mukaista painotusta.

Mallintamisen kannalta on tärkeää, että tehokkuus pystytään identifioimaan tehottomuudesta, mikä puoltaa tuotoksien ja panoksien määrän rajoittamista kaikkein olennaisimpiin. Siten siirron jako esimerkiksi johtotyyppien (ilmajohdot (avojohdot ja riippujohdot) ja kaapelit (maakaapeli ja riippujohto)) mukaan omiksi tuotoksiin johtaisi ongelmiin, koska havaintoaineoston määrä suhteessa muuttujien määrään kävisi liian pieneksi, että tehokkuutta voitaisiin erotella.

Sähkön siirron voidaan ajatella olevan eri tuotos eri asiakkaille. Siten sähkön siirron jakautuminen eri asiakastyyppeihin on eräs mahdollinen peruste siirretyn sähkön jakamiseksi eri tuotoksiin. Siirretyn sähkön määrä kotitalouksille, teollisuudelle, muille kuin kotitalouksille ja teollisuudelle, energiaintensiiviselle teollisuudelle ja sähkölaitoksille ja muille kuin energiaintensiiviselle teollisuudelle ja sähkölaitoksille voisivat kukin olla omana tuotoksenaan. On kuitenkin epäselvää, kuinka nämä eroavat toisistaan tuotoksena yrityksen kannalta katsottuna. Siirretyn energian jako asiakastyypeittäin tuotoksikseen ei tuo lisäinformaatiota yrityksen tuotoksista verrattuna tuotoksiin jännitejaon mukaan. Asiakasmäärää onkin parempi tarkastella omana tuotoksenaan.

5.1.2 Verkon kapasiteetti

Siirretyn sähkön määrän lisäksi jakelusiirron hetkellistä palvelukykyä voidaan pitää sen tärkeänä tuotoksena. Tätä kykyä kuvaa jakeluverkon kapasiteetti, joka voidaan periaatteessa ilmaista verkon hetkellisenä siirtotehona. Tietoa siirtotehosta ei ollut tätä tutkimusta varten käytettävissä, eikä sitä sellaisenaan ole käytetty monissa muissakaan tutkimuksissa. Esim. Pollitt (luku 4.2.3.2.) kuvaa verkon kapasiteettia epäsuorasti käyttämällä tuotoksena sähkön huippukysyntää, joka verkon on voitava tyydyttää. Huippukysyntä vaikuttaa jakeluverkon siirtokapasiteettiin ja sitä kautta pääomakuluihin. Panoksissa huippukysyntä näkyy siinä, kuinka suuri muuntajakapasiteetti (kVA) täytyy vähintään olla varattuna ja kuinka vahvat johdot siirtoa varten tarvitaan.

Tässä tutkimuksessa verkon kapasiteettia ei ole voitu käyttää tiedon puutteen vuoksi. Tämä ei luultavasti juurikaan vaikuta tuloksiin, koska Suomen kantaverkossa kapasiteetti ei yleensä ole ongelma ja jakelu- ja alueverkoissakin vain harvoin.

5.1.3 Asiakasmäärä

Jakelusiirron tuotoksen voidaan ajatella koostuvan myös palveluista asiakkaista. Asiakasmäärän kasvu vaatii lisäresursseja (esimerkiksi laskutus, mittarointi) ja, jos sama määrä energiaa voidaan siirtää samoilla panoksilla suuremmalle määrälle asiakkaita, jakeluyhtiön tuottavuus kasvaa. Asiakasmäärä on tuotoksena useimmissa kansainvälisissä tutkimuksis-

sa, joissa on analysoitu jakelusektorin verkkotoiminnan tehokkuutta, (esimerkiksi Førsund ja Kittelsen 1998³⁵, Hjalmarsson ja Veiderpass 1991, Pollit 1995).

Suomen jakeluverkolla on noin 2,9 miljoonaa asiakasta. Asiakasmäärä voi olla perusteltua jakaa eri asiakasryhmiin jännitetason mukaisesti, mikäli asiakastyyppeiden erot jännitetasoittain ilmenevät erilaisina tuotoksina tai erilaisina resurssien tarpeina asiakasmäärä kasvatettaessa. Suomen jakeluverkon asiakkaiden lukumäärä on mahdollista jakaa pienjänniteasiakkaisiin (0.4 kV) ja keskijänniteasiakkaisiin (6-70 kV). Jako on kuitenkin hankalaa edellä mainitun päällekkäisyyden vuoksi.

5.1.4 Siirtoetäisyys ja jakelualueen koko

Sähkön siirtoa eri etäisyyksille ja eri kokoisilla alueilla voidaan jossain määrin pitää eri tuotteina. Tätä voidaan perustella esimerkiksi sillä, että siirtoetäisyys ja siihen liittyvät siirtohäviöt vaikuttavat siihen, mitä jännitetasoa siirrosta käytetään. Tuottavuuden ja siirron tehokkuuden kannalta on siten tärkeää, että sähkön siirron etäisyys huomioidaan.

Siirtoetäisyyttä voidaan mitata useilla tavoilla. Ihanteellista olisi, että etäisyys ja jakelualueen koko voitaisiin kattaa sopivalla indeksillä. Førsund ja Kittelsen (1998) käyttävät tutkimuksessaan etäisyysindeksiä, joka oli laskettu kunkin alueen keskimääräisestä matkustusajasta alueen asutuskeskukseen. Tutkijoiden mukaan etäisyysindeksi on parempi muuttuja kuvaamaan alueen laajuutta kuin esim. jakeluverkon pituus, koska etäisyysindeksi on aidosti riippumaton muuttuja yhtiön kannalta. Tällaista indeksiä ei ollut käytettävissä tätä raporttia varten, vaan etäisyyttä oli pyrittävä arvioimaan epäsuorasti.

Jakelualueiden koot vaihtelevat suuresti pinta-alaltaan Suomessa. Tämä ei kuitenkaan merkitse pinta-alan suoraa korrelaatiota siirtoetäisyyksien kanssa. Pinta-alaltaan suuret jakelualueet, erityisesti Pohjois-Suomessa ovat haja-asutusseutuja, ja siirto on usein keskittynyt jakelualueita huomattavasti suppeammalle alueelle. Tämän vuoksi jakelualueen pinta-ala on huono muuttuja kuvaamaan siirron etäisyyttä. Suoraviivainen tapa mitata siirtoetäisyyttä on käyttää jakelulinjojen pituutta. Näin tekevät esimerkiksi Langset ja Torgersen (1995)³⁶. Tämä valinta ei kuitenkaan ole ongelmaton, koska jakelulinjojen voidaan myös ajatella muodostavan erään sähkönsiirron panoksista. Jakelujohtojen pituus voi olla ongelmallinen kuvaamaan siirron etäisyyttä siitakin syystä, että yhtiöt pystyvät periaatteessa vaikuttamaan johtopituuksiin, kun taas siirron etäisyys on toimintaympäristöä kuvaava muuttuja. Ympäristömuuttujan tulisi määritelmän mukaan olla aidosti yhtiöistä riippumaton muuttuja.

Jakelulinjojen pituus seuraa toisaalta luonnollisista syistä voimakkaasti jakelualueen tiestöä. Tässä tutkimuksessa siirron etäisyyttä kuvataan tiekilometrien määrällä jakelualueittain. Suomen tielaitoksen myötävaikutuksella tutkimuksessa oli käytettävissä jakelualueiden tiekilometristö. Tiedot kattoivat jakelualueiden valta-, kanta-, seutu-, ja yhdysteiden pituuden. Tiekilometrien määrä korreloi vahvasti esimerkiksi johtopituuksien kanssa, mutta kuvaa myös jakelualueen kokoa ja asutuksen tiehyttä.

³⁵ Førsund F. and Kittelsen S. (1998), Productivity Development of Norwegian Electricity Distribution Utilities, Resource and Energy Economics, 20.

³⁶ Langset T. ja Torgersen A.M. Effektivitet i distribusjonsnettene 1995, NVE publikasjon Nr 15 1997.

5.1.5 Sähkön laatu

Sähkön laadulla tarkoitetaan yleensä sen saatavuuden luotettavuutta. Sähkön laatua mitataan tässä raportissa keskimääräisellä vuoden aikana tapahtuneilla siirrosta tapahtuneilla keskeytyksillä. Tämä muuttuja voidaan mallissa ottaa huomioon panoksena tai tuotoksena riippuen muuttujan määritelmästä. Alla keskeytysten lukumäärä on mukana panoksena, jolloin niiden nousu korreloi tuottavuuden laskun kanssa positiivisesti. Mikäli muuttujaa käsitellään tuotoksena otetaan siitä käänteisarvo.

5.1.6 Ympäristötekijät

Merkittävä osa sähkön siirtoon vaikuttaneista tekijöistä, kuten keskeytyksistä, saattaa joutua yrityksestä riippumattomista syistä, kuten sääolosuhteista. Tämän vuoksi jakelukeskeytyksiä tulee analysoida tarkemmin, erityisesti niiden syitä. Jakeluyhtiöiden toimintaympäristössä saattaa olla huomattavia paikallisia eroja, jotka vaikuttavat jakeluverkkotoimintaan. Mitattaessa jakeluverkkotoiminnan tuottavuutta ja tehokkuutta on tärkeää huomioida kaikki tällaiset ympäristömuuttujat, jotta toiminnan arviointi olisi tasapuolista.

5.1.7 Ilmasto-olosuhteet

Siirtoetäisyyden lisäksi saattavat erot paikallisissa sääolosuhteissa olla merkittäviä tekijöitä tuotannon tehokkuuden kannalta. Lämpötilan vaihtelut, kosteus ja lumen määrä voivat olla tällaisia tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä, jotka heijastuvat sekä siirron tuotoksiin että panoksiin.

Suomessa erot lumen määrän suhteen pohjoisen ja etelän välillä voisi olla eräs tekijä, joka vaikuttaa siirron vaikeuteen. Ehkä lumen määrää tärkeämpi muuttuja saattaa olla ns. tykkylumen muodostuminen paikallisesti. Itä ja Etelä-Suomessa tykkylumen muodostuminen on yleisempää. Tykkylumi aiheuttaa linjojen katkeamisia. Lumen määrää tai tykkylumen esiintymistä kuvaavaa muuttujaa ei tätä raporttia varten ollut käytössä.

Norjassa tehdyssä tutkimuksessa (Kittelsen) käytettiin paikallisia ilmasto-olosuhteita kuvaamaan myös korroosioindeksiä, joka kuvasi Norjan rannikkokuntien sisämaata selvästi korroosioalttiimpaa ympäristöä. Suomessa korroosio ei ole samassa määrin alueellisesti jakautunut ongelma. Lisäksi Norjassa tärkeä ympäristötekijä on topografia. Suomessa korkeuserot jakelualueiden välillä eivät ole niin suuria, että topografiaa pitäisi erikseen ottaa tehokkuusanalyysissä huomioon.

5.2 Panokset

Jakeluverkkotoiminnan panokset voidaan karkeasti jakaa seuraaviin luokkiin: työpanos, pääomapanos sekä muut, esimerkiksi verkon ylläpitoon, ulkoisiin palveluihin jne. kuuluvat kuluerät.

5.2.1 Työ

Jakeluverkkotoiminta on hyvin pääomaintensiivistä toimintaa, eli työn osuus on suhteellisen pieni kokonaiskustannuksista. Työpanos on kuitenkin tärkeä huomioida kokonaistehokkuutta arvioidessa, jotta kaikki keskeiset panokset tulisivat huomioiduksi.

Työpanosta voidaan mitata joko työntekijöiden määrällä tai palkkamenoilla. Työntekijöiden määrä on siinä mielessä parempi muuttuja, että palkkamenoihin vaikuttavat yhtiöiden väliset palkkaerot, joilla ei kuitenkaan tulisi olla vaikutusta tekniseen tehokkuuteen. Tässä tutkimuksessa työpanosta kuvataan työntekijöiden lukumäärällä.

5.2.2 Siirtohäviöt

Osa sähkönsiirron tuotoksista menetetään siirtohäviöinä. Häviötä pidetään siis panoksena, koska se on luonteeltaan selkeästi kustannuserä. Vaikka häviö riippuukin selkeästi siirtoetäisyyksistä ja käytetyistä siirtolinjoista, on sen mittaaminen hyvin vaikeaa. Luotettavan arvion saamista vaikeuttaa myös se, että siirtoyhtiöiden välillä on eri tapoja mitata siirtohäviöitä. Häviöiden raportoidut määrät saattavat vaihdella vuodesta toiseen myös yhtiöiden sisällä.

5.2.3 Pääoma

Pääomaa on hyvin vaikea kuvata tarkasti. Jakelusiirtotoiminnan pääomaan kuuluu fyysinen pääoma (jakelujohtopituudet, muuntajakapasiteetti yms.), mutta toisaalta siitä on olemassa myös markkamääräistä tietoa. Fyysistä pääomaa on kirjanpidollista pääomaa helpompi mitata, koska esimerkiksi poistomenettelyt saattavat vaihdella suuresti yhtiöiden välillä, mikä vaikeuttaa kirjanpidollisiin arvoihin perustuvan pääoman mittaamista. Yritysten markkina-arvo saattaa sekin vaihdella, vaikkei fyysisessä pääomassa olisikaan tapahtunut muutoksia. Jakeluverkkotoiminnan pääomaintensiivisyydestä johtuen on kuitenkin tärkeää, että pääomapanos olisi mahdollisimman tarkasti otettu huomioon.

Tätä tutkimusta varten pääomapanosta arvioidaan siirtolinjojen pituudella sekä muuntajien kapasiteetilla. Tämä on perusteltua, koska tutkimuksessa analysoidaan pelkästään fyysistä pääomaa. Muuntajien kapasiteetit samoin kun johtokilometrien määrät summattiin omiksi muuttujikseen. Herkkyysanalyysissä siirtolinjojen pituutta käsitellään myös tuotoksena, jolloin pääomapanokseksi valitaan pelkästään muuntajakapasiteetit. Johtopituuksien sekä muuntajakapasiteettien keskiarvot on esitetty seuraavan kappaleen taulukoissa 6.4. - 6.6.

5.3 Tuotokset ja panokset kansainvälisissä tutkimuksissa

Yhteenvetotaulukko 5.1. esittelee niitä tuotoksia ja panoksia joita on käytetty keskeisissä kansainvälisissä jakeluverkkotoiminnan tehokkuutta koskevissa tutkimuksissa.

Taulukossa 5.1. on lueteltu käytetyt tuotokset (Y), tuotosten lukumäärä riippuen malliversiosta, käytetyt panokset ja niiden lukumäärä sekä viimeisessä sarakkeessa (TE) kussakin tutkimuksessa laskettu keskiarvo tekniselle tehokkuudelle. Weymanin ja Jonesin tutkimuksessa korkea keskiarvo selittyy pienestä otoksen koosta, kattaen vain 12 jakeluyhtiön havainnot. Tässä tutkimuksessa heikoin yhtiö sai teknisen tehokkuuden arvoksi 0.79, mikä tarkoittaa, että kakkia panoksia tulisi vähentää 21 prosenttia teknisen tehokkuuden saavuttamiseksi.

Taulukko 5.1 Yhteenvedo tehokkuustutkimusten mallirakenteista

Maa/tutkimus	Tuotokset (Y)	Y lkm.	Panokset (x)	X lkm.	TE*
NSW jakeluyhtiöt - London economics	Myyty energia GWh, asiakkaiden lkm. (Myös myyty energia kotitalouksille ja muille.)	2 3	Linjojen pituus, muuntajakapasiteetti Työ Muut (ylläpito)	4	0.7-0.8
US ja UK - pollitt	Myynti kotitalouksille ja muille, asiakkaiden lkm., jakelualan koko	4	Työ, muuntajakapasi- teetti, Linjojen pituus	3	0.7-0.85
Englanti ja Wales - Weyman-jones	Myynti kotitalouksiin, - teollisuuteen ja - muille. Asiakkaiden lkm.	4	Linjojen pituus, työ, muuntajakapasiteetti	3	0.97
Ruotsi - Hjalmarsson ja Veiderpass	Keski- ja pienjännite- myynti, Keski- ja pienjännite- asiakkaat	4	Työ, keski- ja pienjän- nitelinjojen pituus muuntajakapasiteetti	4	0.75-0.8
Norja - Försund ja kittelsen	Etäisyysindeksi, asiak- kaiden lkm. Siirretty määrä	3	Työ, jakeluhäviöt, Pääoma (arvo), muut	4	-

* keskiarvo

6 AINEISTON KUVAUS

Käytetty aineisto koostuu Suomen jakelusähköyhtiöiden verkkotoimintojen tuotos-panos tiedoista vuosilta 1996-1998. Aineisto perustuu osaksi Sähkömarkkinakeskuksen julkaise- miin tilinpitotietoihin ja osaksi Adato Energia Oy:n kautta saatuihin sähkötilastoa varten kerättyihin yhtiökohtaisiin muuntajatietoihin. Muuntajatietoja varten saatiin yhtiöiltä valta- kirjat tietojen käyttämiseen tätä tehokkuusanalyysia varten. Lisäksi Suomen Tielaitokselta saatiin käyttöön tiekilometristötiedot vastuualueittain. Tiekilometrejä tullaan käyttämään ympäristömuuttujana kuvaamaan jakelun etäisyyttä.

Aineistoa voidaan pitää erittäin kattavana ja luotettavana. Mukana olivat käytännössä lähes kaikki jakeluverkkotoimintaa harjoittavat yhtiöt. Taulukot 6.1.-6.3. esittävät keskiarvon, keskihajonnan sekä maksimi- ja minimiarvot tuotoksista kullekin vuodelle 1996-1998. Ai- neiston suuri hajonta heijastaa osaksi yhtiöiden kokoeroja sekä eroja asiakasprofiilissa.

Potentiaalisia tuotosmuuttujia ovat siirretty energiamäärä (MWh, pien- ja keskijännite), asiakaslukumäärä (pien- ja keskijännite) sekä tiekilometrit (km). Tiekilometrit ovat summa valtateiden, kantateiden, seututeiden ja yhdysteiden pituudesta jakelualueella.

Taulukko 6.1 Tuotokset 1996

	Siirretty sähkö pienjännite	Siirretty sähkö keskijännite	Siirretty yhteensä	Asiakas lkm. Pienjännite	Asiakas lkm. Keskijännite	Asiakas lkm. Yhteensä	Tiekkm
Keskiarvo	265.21	113.61	378.82	26328	26	26354	718.84
Keskihajonta	345.15	248.74	560.27	39959	57	40010	1263.33
Min	7.00	0.00	12.68	767	0	768	13.30
Max	2035.70	2032.30	4068.00	308322	508	308830	6097.20

Taulukko 6.2. Tuotokset 1997

	Siirretty sähkö pienjännite	Siirretty sähkö keskijännite	Siirretty yhteensä	Asiakas lkm. Pienjännite	Asiakas lkm. Keskijännite	Asiakas lkm. Yhteensä	Tiekkm
Keskiarvo	261.90	191.11	453.00	26336	25	26361	715.06
Keskihajonta	336.52	573.61	846.38	40006	56	40055	1258.03
Min	8.20	0.00	12.95	775	0	776	13.30
Max	1998.02	5003.67	7001.69	302970	503	303473	6097.20

Taulukko 6.3. Tuotokset 1998

	Siirretty sähkö pienjännite	Siirretty sähkö keskijännite	Siirretty yhteensä	Asiakas lkm. Pienjännite	Asiakas lkm. Keskijännite	Asiakas lkm. Yhteensä	Tiekkm
Keskiarvo	278.39	136.20	414.59	26835	28	26863	724.86
Keskihajonta	360.25	323.22	637.38	40504	62	40559	1267.79
Min	8.30	0.00	13.09	761	0	762	13.30
Max	2107.00	2862.10	4969.10	311368	567	311935	6097.20

Potentiaalisia panoksia ovat työ (henkilöstön lukumäärä), verkon pituus (pien- ja keskijännite), muuntajakapasiteetti (kVA), vuotuinen keskeytysaika (h/v), keskeytysten vuotuinen lukumäärä (kpl/vuosi) ja jakeluhäviöt (MWh).

Henkilöstön määrä on summa oman henkilökunnan määrästä ja toimintaan sitoutuneen muun henkilökunnan määrästä. Oma henkilöstö koostuu:

-omassa käytössä olevan sähköverkoston suunnittelu-, käyttö-, kunnossapito- ja rakentamishenkilöstöstä

-omassa käytössä olevien sähköasemien ja valvomoiden henkilökunnasta sekä varasto- ja kuljetushenkilöstöstä siltä osin, kun he palvelevat sähkön siirtoon liittyviä tehtäviä

-asiakastoiminnoista sähkön siirtoon liittyviä tehtäviä hoitavasta henkilöstöstä sekä sähkön siirron osuus hallinto- ja taloustoiminnan henkilökunnasta.

Sähkömarkkinakeskuksen tietokannassa verkkotoimintaan palkatun oman henkilökunnan määrä esitetään siten, että esimerkiksi osapäivätoimisten henkilöiden määrä ilmoitetaan henkilötyövuosina kyseisenä vuonna. Samoin niiden henkilöiden osalta, jotka ovat yhteisiä verkkotoiminnalle ja jollekin muulle eriyttävälle toiminnalle, esitetään verkkotoimintaan liittyvä työpanos henkilötyövuosina kyseisenä vuonna.

Toimintaan sitoutuneen muun henkilökunnan määräksi arvioidaan käytetyn ulkopuolisen henkilökunnan keskimääräinen henkilötyövuosimäärä kyseisenä vuonna.

Taulukoissa 6.4.-6.6. henkilökunnan määrä (työ) on oman henkilökunnan ja verkkotoimintaan sitoutuneen muun henkilökunnan yhteenlaskettu määrä.

Taulukko 6.4. Panokset 1996

	työ	Verkon pituus Pienjännite	Verkon pituus keskijännite	Verkon pituus yhteensä	Häviöt	Muuntaja kapasiteetti	Vuotuinen keskeytysaika	Kekseystysten lukumäärä
Keskiarvo	60.70	1926.38	1220.74	3147.12	14.00	180754.79	2.41	4.62
Keskihajonta	82.28	2857.13	2098.82	4858.62	19.50	273926.92	3.09	5.37
Min	2.50	81.00	41.00	122.00	0.13	5700.00	0.10	0.11
Max	521.50	15572.00	10913.00	24516.00	124.34	2137255.00	27.00	44.00

Taulukko 6.5. Panokset 1997

	työ	Verkon pituus Pienjännite	Verkon pituus keskijännite	Verkon pituus yhteensä	Häviöt	Muuntaja kapasiteetti	Vuotuinen keskeytysaika	Kekseystysten lukumäärä
Keskiarvo	58.83	1950.21	1234.66	3184.87	15.41	189930.45	2.05	4.14
Keskihajonta	78.66	2897.20	2126.49	4925.47	19.89	280803.94	1.63	3.58
Min	1.00	81.00	41.00	122.00	0.00	5750.00	0.16	0.15
Max	511.00	15433.00	11021.00	24415.00	123.50	2163900.00	7.76	21.48

Taulukko 6.6. Panokset 1998

	työ	Verkon pituus Pienjännite	Verkon pituus keskijännite	Verkon pituus yhteensä	Häviöt	Muuntaja kapasiteetti	Vuotuinen keskeytysaika	Kekseystysten lukumäärä
Keskiarvo	57.02	1986.53	1256.19	3242.71	16.81	194642.60	1.98	4.17
Keskihajonta	70.72	2964.07	2147.02	5014.05	21.23	287029.09	1.65	3.97
Min	2.50	81.00	41.00	122.00	0.70	5800.00	0.01	0.02
Max	406.00	15547.00	11076.00	24538.00	131.00	2226500.00	9.25	18.00

Taulukossa 6.7. on esitetty eri muuttujien välisiä korrelaatiokertoimia. Tiekilometrit korreloivat vahvasti (0.934) jakelujohtojen pituuden kanssa. Tämä viittaisi siihen, että tiekilometrien määrää voidaan käyttää ympäristömuuttujana kuvaamaan alueen jakelusiirron pituutta.

Taulukko 6.7 Korrelaatiokertoimet 1997 aineistolle

	siiryht	asyht	Tiekm	Havikit	pityht	työ	muuntaja
siiryht	1.000						
asyht	0.986	1.000					
Tiekm	0.409	0.422	1.000				
Havikit	0.948	0.947	0.586	1.000			
pityht	0.594	0.611	0.934	0.739	1.000		
työ	0.950	0.965	0.594	0.960	0.749	1.000	
muuntaja	0.952	0.956	0.446	0.924	0.613	0.934	1.000

Taulukko 6.8 Korrelaatiokertoimet 1998 aineistolle

	siiryht	asyht	Tiekm	Havikit	pityht	työ	muuntaja
siiryht	1.000						
asyht	0.982	1.000					
Tiekm	0.375	0.423	1.000				
Havikit	0.923	0.942	0.612	1.000			
pityht	0.543	0.601	0.935	0.755	1.000		
työ	0.912	0.939	0.621	0.938	0.765	1.000	
muuntaja	0.969	0.977	0.451	0.936	0.611	0.934	1.000

Tuotokset korreloivat vahvasti panoksien työ ja muuntajakapasiteetti kanssa ja hieman heikommin jakelujohtojen pituuden kanssa.

7 TULOKSET

Tässä luvussa analysoidaan DEA-menetelmällä laskettuja tehokkuuslukuja sekä tuottavuuden kehitystä 1996-1997 ja 1997-1998 Malmquist-indeksin avulla. Teknistä tehokkuutta mitataan eri panos- ja tuotosrakenteilla. Tulosten antamien tehokkuusluokitusten perusteella valitaan mallin rakenne, joka erottelee tehokkaat yhtiö tehottomista mahdollisimman tarkasti ja tasapuolisesti. Mallin rakenne pyritään pitämään mahdollisimman tiiviinä suhteessa aineiston määrään, jotta tehokkuuden arvioimiseen olisi tarpeeksi vapausasteita.

Tulosten herkkyyttä mallin rakenteen suhteen analysoidaan vertaamalla yhtiökohtaisten tehokkuusluokitusten eroja. Kvalitatiivisen analyysin lisäksi lasketaan Mann-Whitney U-testit yhtiökohtaisten tehokkuusjärjestysten erojen merkitsevyyksistä.

Tuottavuutta mitataan kokonaistuottavuutena huomioiden kaikki panokset ja tuotokset. Tuottavuutta mitataan Malmquist-indeksillä. Indeksien laskelmien pohjana on DEA-malli, joka valitaan herkkyyksianalyysin perusteella. Malmquist-indeksille ja sen tehokkuuskomponentille lasketaan 95 prosentin luottamusväli bootstrap-menetelmällä. Kuvassa 7.1. on esitetty eri malliversiot, joilla teknistä tehokkuutta mitattiin.

Kuva 7.1 Eri malliversiot

	siirretty energiamäärä yhteensä	siirretty energiamäärä pienjänniteverkossa (0.4 kV)	siirretty energiamäärä keskijänniteverkossa (6-70 kV)	asiakasmäärä yhteensä	pienjänniteverkon (0.4 kV) asiakasmäärä	keskijänniteverkon (6-70 kV) asiakasmäärä	tiestökilometrien määrä yhteensä jakelualueella	henkilöstön kokonaismäärä	jakelujohtojen pituus yhteensä	pienjännitejohtojen (0.4 kV) pituus	keskijännitejohtojen (6-70 kV) pituus	muuntajakapasiteetti yhteensä	Jakeluhäviöt	keskeytysten lukumäärä
Malli 1		T	T		T	T	T			P	P	P	P	P
Malli 1b		T	T		T	T	T			P	P	P	P	P
Malli 2	T			T			T	P	P			P	P	
Malli 2b	T			T				P	T		P	P		
Malli 2c	T			T			T	P	P		P	P		P/T
Malli 3		T	T		T	T		P		P	P	P	P	
Malli 4	T			T			T	P	P			P		

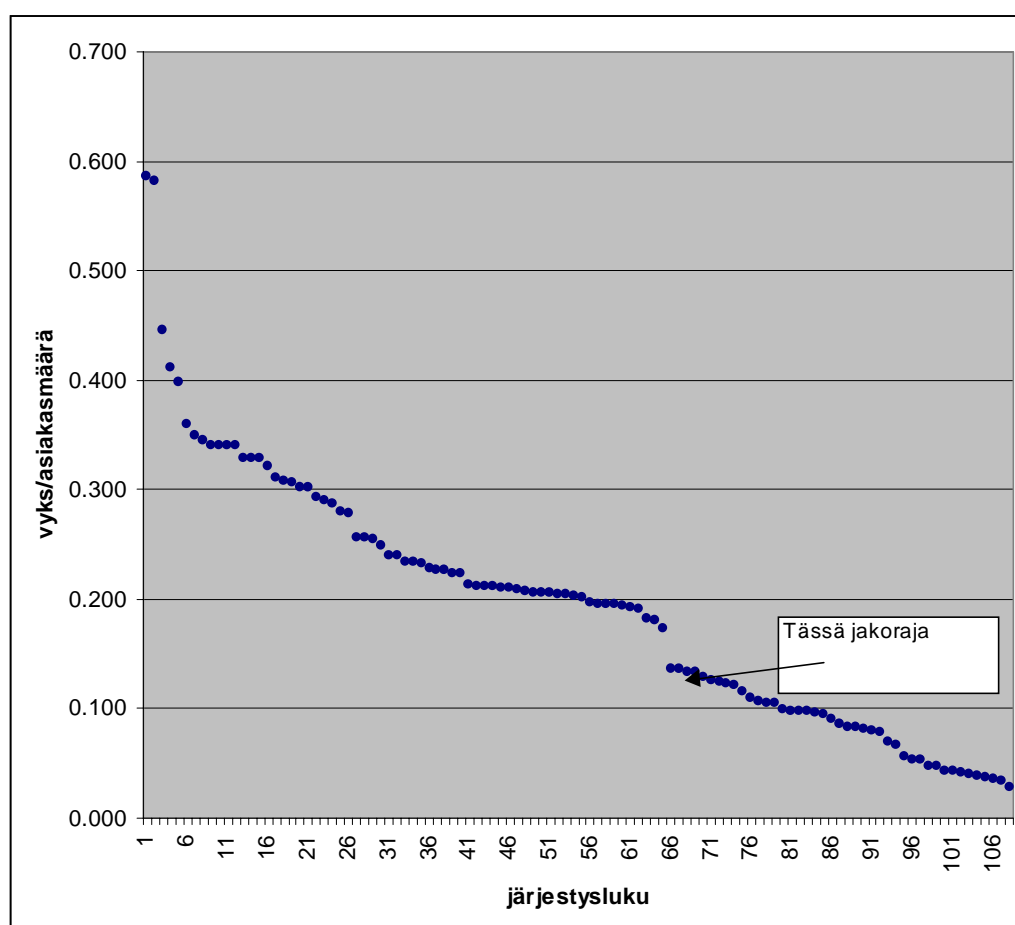
T=tuotos ja P= panos

Kaikki mallit ratkaistiin panosorientoituneina, eli tuotanto oletettiin annetuksi muuttujaksi ja tehokkuus mitataan panosten muutosten suhteen. Kaikille jakeluyhtiölle laskettiin tehokkuusluvut sekä vakio- että muuttuvilla skaalatuotoilla (katso luku 3.1.4). Näiden suhteena raportoidaan myös skaalatehokkuus. Mallituloksista raportoidaan seuraavassa luvussa keskiarvot (täydelliset tuloslistaukset ovat liitteessä 2).

Kullakin mallilla analysoitiin myös ,kuinka tekninen tehokkuus eroaa toisistaan toisaalta suurten ja pienten yhtiöiden välillä sekä toisaalta taajama ja haja-asutusseuduilla toimivien yhtiöiden välillä. Tätä varten tehokkuusluvut laskettiin osaotoksille, jotka kuvasivat näitä luokituksia. Taajama-/hajaseutuluokituksen perusteena käytettiin verkostoyksikön suhdetta asiakasmäärään jakelualueittain. Verkostoyksikön mittayksikkönä toimii 1 kilometri pienjänniteilmajohtoa, joka vastaa yhtä verkostoyksikköä (1 vy). Suhdelukua varten laskettiin kullekin yhtiölle verkostoyksikkömäärä kaavalla: $1 \times (\text{pienjännite-johtomäärä}) + 1.3 \times (\text{keskijännitejohtomäärä}) + 0.5 \times (\text{muuntajien lukumäärä})$. Kuvassa 7.2 on esitetty jakoperuste jaottelulle taajama- ja hajaseutuyhtiöihin vuonna 1998. Verkostoyksikkö per asiakasmäärä -kuvaaja tekee selvän siirtymän alaspäin arvolla 0,150, jota käytettiin luokituksen jakoperusteena.

Toisessa tapauksessa kokonaisotos jaettiin kahteen luokkaan yhtiön suuruuden mukaan lasketuna. Yhtiön suuruutta kuvattiin jakelusiirron kokonaismäärällä. Suuriksi yhtiöksi luokiteltiin ne, joilla yhteenlaskettu siirretty energiamäärä oli vähintään 156 GWh vuodessa.

Kuva 7.2. Verkostoyksikköä (vyks) per asiakaslukumäärä*



* Lähde SENER

7.1.1 Malli 1 - kaikki tuotokset ja panokset

Tuotokset (5): siirretty energiamäärä pienjänniteverkossa (0.4 kV), siirretty energiamäärä keskijänniteverkossa (6-70 kV), pienjänniteverkon (0.4 kV) asiakasmäärä, keskijänniteverkon (6-70 kV) asiakasmäärä ja tiestökilometrien määrä yhteensä jakelualueella.

Panokset (6): henkilöstön kokonaismäärä, pienjännitejohtojen (0.4 kV) pituus, keskijännitejohtojen (6-70 kV) pituus, muuntajakapasiteetti yhteensä, jakeluhäviöt ja keskeytysten lukumäärä.

Mallissa 1 tuotanto on mallitettu hyvin yksityiskohtaisesti aineistoon nähden. Mallissa on mukana kaikki saatavilla olevat muuttujat. Keskeytysten osalta huomioitiin sekä keskeytysten lukumäärä että keskeytysaika erikseen. Alla olevassa taulukossa on esitetty mallilla 1 laskettujen tehokkuuslukujen keskiarvot vuosilta 1996 - 1998 (täydellinen tuloslistaus on liitteessä 2). Kokonaisotoksien lisäksi raportoidaan keskiarvot tehokkuusluvuille, jotka saatiin jakamalla kokonaisotos eri osa-otoksiin (taajama-maaseutu ja pien-suuryritys). Malli 1 ratkaistiin erikseen kullekin osa-otokselle.

Taulukko 7.1 Malli 1: DEA-tulokset tekniselle tehokkuudelle

	1996			1997			1998		
	vakio	muuttuva	skaala	vakio	muuttuva	skaala	vakio	muuttuva	skaala
Malli 1	0.92	0.95	0.98	0.89	0.92	0.97	0.93	0.94	0.98
Min	0.65	0.65	0.71	0.56	0.68	0.78	0.59	0.69	0.83
Tehokkaita (lkm.)	47	48	62	38	41	45	49	60	58
Maaseutu	0.98	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	0.98	0.98	0.99
Taajama	0.95	0.97	0.99	0.93	0.97	0.96	0.95	0.98	0.98
Suuret	0.94	0.97	0.97	0.93	0.96	0.97	0.95	0.98	0.98
Pienet	0.97	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99	0.96	0.98	0.98

Keskiarvot teknisistä tehokkuusluvuista raportoidaan sekä oletuksella, että tuotannossa vallitsevat vakioskaalatuotot (sarake vakio) että oletuksella, että skaalatuotot ovat muuttuvia (sarake muuttuva). Skaalatehokkuus raportoidaan näiden kahden suhteena (sarakkeessa skaala). Skaalatehokkuus kuvaa yhtiön tuotannon tason suhteessa tuotannon vakioskaalatuotto tasoon. Lasketut skaalatehokkuusluvut osoittavat, että jakeluverkkotoiminnan tuotannon tasot ovat skaalatehokkaita. Tämä päti myös muille malleille. Tekninen tehokkuus voidaan jakaa eri osakomponentteihin, joista yksi on juuri skaalatehokkuus ja toinen ns. puhdas tekninen tehokkuus, joka mittaa yksiköiden etäisyyttä muuttuvien skaalatuottojen tehokkuusrintamaan. Tulosten perusteella tekninen tehottomuus on siis puhdasta teknistä tehottomuutta eikä skaalatehottomuutta. Voidaankin sanoa, että Suomen jakeluyhtiöiden verkkotoiminnot tuottavat keskimäärin tehokkaalla tuotannon tasolla skaalaetujen suhteen.

Taulukon 7.1 ensimmäinen rivi (malli 1) raportoi malli 1:llä saadut tehokkuusluvut koko otoksella. Vuonna 1996 mukana oli 108 jakeluyhtiön tiedot, vuonna 1997 otos koostui 107 jakeluyhtiön tiedoista ja vuonna 1998 mukana oli 106 jakeluyhtiön tiedot. Vuonna 1996 keskiarvo teknisestä tehokkuudesta vakioskaalatuotto-oletuksella (joka tuottaa aina alhaisemman tehokkuusluvut kuin muuttuvat skaalatuotot) oli 0.92, vuonna 1997 tämä luku oli 0.89 ja vuonna 1998 keskiarvotehokkuus oli 0.93. Toisin sanoen yrityksillä oli keskimäärin

vain 8 prosentin panosten (kaikkien) vähentämistarve vuonna 1996 teknisen tehokkuuden saavuttamiseksi (ja 11 % vuonna 1997 ja 7 % vuonna 1998). Tämä on keskiarvoksi hyvin pieni luku.

Taulukossa raportoidaan lisäksi koko otokselle minimitehokkuudet (rivillä Min) sekä tehokkaiden yksiköiden lukumäärät (rivillä Tehokkaita (lkm.)). Vuonna 1996 tehottomin jakeluyhtiö sai tehokkuusluvuksi 0.65, eli tällä yhtiöllä oli 35 prosentin panoksien vähentämistarve.

Vertailu maaseutu- ja taajamayhtiöiden välillä osoittaa, että maaseutuyhtiöt olivat keskimäärin hieman taajamayhtiöitä tehokkaampia. Erot olivat kuitenkin melko pieniä. Se, että molempien osaotosten keskiarvotehokkuudet ovat korkeampia koko otokseen verrattuna, selittyy osaotoksien havaintojen pienemmällä lukumäärällä suhteessa panosten ja tuotosten määrään. DEA-malleissa suurempi panosten ja tuotosten lukumäärä suhteessa aineiston määrään antaa korkeamman tehokkuuden keskiarvon. Tämä saattaa myös osaksi selittää mallin 1 antamat hyvin korkeat keskiarvot. Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että DEA-mallissa tehokkaiden yksiköiden määrä on panoksien ja tuotoksien lukumäärien tulo, eli mallissa 1 se olisi 30. Vuonna 1997 vakioskaalatuotoilla 38 jakeluyhtiötä erottui teknisesti tehokkaaksi eli yli kolmannes koko otoksesta, mitä voidaan pitää hyvin korkeana määränä.

Lisäksi raportoitiin tulokset suurten ja pienten yritysten välillä. Tässäkin tapauksessa otos jaettiin suurin piirtein kahteen yhtä suureen osa-otokseen yrityksen suuruuden mukaan. Kriteerinä käytettiin yhteenlaskettua jakelusiirron määrää. Suuriksi yhtiöksi luokiteltiin ne, joilla yhteenlaskettu siirretty energiamäärä oli vähintään 156 GWh vuodessa. Tehokkuuslukujen keskiarvojen perusteella pienemmät yhtiöt näyttivät olevan hieman suuria yhtiöitä tehokkaampia. Toisaalta erot ovat hyvin pieniä ja se, että skaalatehokkuus on koko otoksessa hyvin korkea lähes kaikilla yhtiöillä viittaa siihen, että yhtiön koko ei selitä tehottomuutta.

7.1.1.1 Malli 1b - Jakelukeskeytysten merkitys

Jakelukeskeytysten merkitystä haluttiin tarkastella erikseen. Keskeytysten lukumäärää käsiteltiin edellä panoksena. Mallissa 1b on keskeytysmuuttuja jätetty pois, mutta muuten malli on sama kuin edellä. Tulokset mallilla 1b osoittivat, että yhtiöiden tehokkuusjärjestyksessä ei tapahtunut suuria muutoksia malliin 1 verrattuna. Liitteessä 3 on esitelty mallin 1 ja mallin 1b tuottamat yhtiöiden tehokkuusjärjestykset tehokkaammasta tehottomimpaan. Vertailukohtana pidettiin malli 1 antamaa järjestystä. Mallien antamien tehokkuusluokitusten erot olivat huomattavan pieniä. Näyttäisi siltä, että keskeytysten merkitys ei tehokkuuden arvioinnin kannalta ollut merkittävä tekijä. Keskeytysmuuttujan merkitystä analysoidaan myös mallilla 2, jolloin muuttujaa tarkastellaan myös potentiaalisena tuotoksena. Tällöinhän muuttujan arvoksi tulee antaa keskeytyslukumäärän käänteisluku, jolloin suuri arvo korreloi korkeamman tuottavuuden kanssa.

7.1.2 Malli 2 - tuotokset ja panokset ilman keskeytyksiä

Tuotokset (3): siirretty energiamäärä yhteensä, asiakasmäärä yhteensä ja tiestökilometrien määrä yhteensä jakelualueella.

Panokset (4): henkilöstön kokonaismäärä, jakelujohtojen pituus yhteensä, muuntajakapasiteetti yhteensä ja jakeluhäviöt.

Mallissa 2 pyrittiin suppeampaan malliin, joka kykenisi erottelemaan tehokkaat ja tehottomat yhtiöt mallia 1 tarkemmin toisistaan. Mallin supistamiseksi pien- ja keskijännitetasoissa tapahtuvat siirrot on yhdistetty, samoin kuin asiakasluokat ja johtojen pituudet. On huomattava, että mallien 1 ja 2 keskiarvot eivät ole vertailukelpoisia keskenään. Tämä johtuu siitä, että mitä vähemmän muuttujia mallissa on, sitä alhaisemmat keskiarvot tehokkuusluvulle saadaan. Siksi keskiarvojen vertailu mallien välillä ei ole mielekästä. Tärkeämpää onkin tarkastella kuinka hyvin eri mallit erottelevat tehokkaat yksiköt tehottomista ja kuinka tämä luokitus vaihtelee mallien välillä.

Mallissa 2 kaksikymmentäyksi jakeluyhtiötä osoittautui teknisesti tehokkaaksi vakioskaalatuotto-oletuksella vuonna 1996 (taulukko 7.2). Kaikki nämä yhtiöt olivat tehokkaita myös mallilla 1. Yleinen tendenssi oli, että molemmilla malleilla samat yksiköt saivat myös alhaisimmat tehokkuusluvut. Kymmenestä heikoimmin menestyneestä yhtiöstä mallilla 2 oli seitsemän mallin 1 kymmenen heikoimman joukossa. Mallin 1 ja 2 välisten tehokkuusluokitusten vertailu on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 3. Nämä osoittavat, että mallilla 2 pystytään erottelemaan tehokkaat jakeluyhtiöt tehottomista yhtä hyvin kuin mallilla 1. Mallin 1 ja 2 antamien tehokkuusluokitusten eroille tehtiin myös ei-parametrinen Mann-Whitney -testi vuodelle 1997³⁷, joka raportoidaan luvussa 7.2.

Mallin 2 antama keskiarvotehokkuus vuonna 1996 oli 0.84 vakioskaalatuotto-oletuksella. Muuttuvien oletuksella muuttuvista skaalatuotoista keskiarvotehokkuudeksi saatiin 0.87. Vuonna 1997 vastaavat keskiarvot olivat 0.77 ja 0.82, ja vuonna 1998 0.84 ja 0.88.

Muista pohjoismaisista tutkimuksista mallia 2 lähinnä on NVE-malli, jota mm. Karlsson (1997)³⁸ käytti Malmquist-indeksien ja teknisen tehokkuuden mittaamiseen Norjan jakeluyhtiöille. Aineisto tässä tutkimuksessa koostui vuosien 1994 ja 1995 tuotoksista ja panoksista yhteensä 194 jakeluyhtiön osalta. Käytetty malli oli sama kuin aikaisemmin mainituksa NVE-tutkimuksessa eli tuotoksia on kolme (siirretty energia, asiakaslukumäärä ja linjojen pituus) ja panosten lukumäärä on neljä (työ, jakeluhäviöt, pääoma ja muut kustannuserät). Karlssonin tulokset olivat teknisen tehokkuuden osalta (vakioskaalatuotto-oletuksella) seuraavat:

Taulukko 7.2 Tekninen tehokkuus Norjassa 1994 ja 1995

	1994 Vakio	1995 vakio
NVE-malli	0.78	0.83
Min	0.48	0.56
Tehokkaita	25/194	32/194

Norjan tutkimuksessa jakelun etäisyyttä kuvattiin jakelulinjojen pituudella, kun taas tässä raportissa käytettiin jakelualan tiekilometrejä kuvaamaan jakelun etäisyyttä. Kuten yllä todettiin, korreloivat nämä kaksi muuttujaa vahvasti keskenään. Jakelujohtojen määrän katsottiin tässä raportissa kuitenkin olevan osa jakeluyhtiöiden pääomaa. Norjalaisessa tutkimuksessa todettiin, että jakelujohtojen pituus ei ole aidosti riippumaton muuttuja, jota ympäristömuuttujan tulisi määritelmän mukaan olla.

³⁷ Testiä ei ole vielä laskettu muille vuosille eikä muille mallikombinaatioille.

³⁸ Karlsson M (1997) "effektivitet och produktivitet I Norsk eldistribution", Nationalekonomiska Institutionen vid Lunds Universitet.

Taulukko 7.3 Malli 2: DEA-tulokset tekniselle tehokkuudelle

	1996			1997			1998		
	vakio	muuttuva	Skaala	vakio	muuttuva	skaala	vakio	muuttuva	skaala
Malli 2	0.84	0.87	0.97	0.77	0.82	0.94	0.84	0.88	0.96
Min	0.47	0.51	0.69	0.42	0.43	0.70	0.50	0.54	0.70
Tehokkaita (lkm.)	21	33	21	16	30	28	22	39	28
Maaseutu	0.92	0.95	0.97	0.91	0.94	0.97	0.92	0.95	0.98
Taajama	0.86	0.89	0.97	0.82	0.84	0.97	0.81	0.85	0.94
Suuret	0.87	0.90	0.96	0.85	0.89	0.95	0.88	0.93	0.95
Pienet	0.90	0.93	0.97	0.89	0.94	0.95	0.89	0.94	0.95

7.1.2.1 Malli 2b - jakelujohtojen pituus vs. tiekilometrit tuotoksena

Mallilla 2 testattiin jakeluetäisyyden kuvaamista eri muuttujilla. Malli 2 ratkaistiin siksi myös siten, että jakelujohtojen pituus valittiin tuotokseksi tiekilometrimuuttujan sijaan. Tässä versiossa johtojen pituus on nyt tuotos ja panoksia on siis yksi vähemmän (työ, häviöt ja muuntajakapasiteetti). Kaikki muut muuttujat ovat kuten mallissa 2.

Tehokkuuden keskiarvot mallissa 2b olivat vakioskaalatuotto-oletuksin seuraavat: 0.81 (1996), 0.72 (1997), ja 0.83 (1998).

Tätä mallia verrattiin malliin, jossa tiekilometrit olivat jakelun etäisyyttä kuvaavana tuotoksena ja jossa jakelujohtojen pituutta ei sisälletty panoksena. Kuten liitteen 3 taulukosta ilmenee, nämä mallit antavat hyvin samankaltaisen luokituksen yhtiöille. Tämän vuoksi tässä raportissa käytetään jakelun etäisyyttä kuvaavana muuttujana jakelujohtojen pituuden sijaan.

7.1.2.2 Malli 2c - jakelukeskeytysten merkitys

Malliversiolla 2c haluttiin analysoida keskeytysten merkitystä. Malli 2c oli muutoin sama kuin malli 2, mutta nyt siinä huomioidaan keskeytykset joko tuotoksena tai panoksena. Voidaan ajatella, että jakeluyhtiön yksi tavoitemuuttuja on mahdollisimman varma sähkön siirto ja siten siirron laatua tuotoksena voidaan kuvata vuoden aikana tapahtuneiden keskeytysten keskiarvolukumäärän käänteisluvulla. Toisaalta keskeytykset sellaisenaan vaikuttavat myös panoksen tavoin, koska niiden lisääminen laskee tuottavuutta.

Kun malliin 2 lisättiin keskeytysten lukumäärä panoksena, mallin antamat tulokset eivät muuttuneet kvalitatiivisesti kuin kolmella jakeluyhtiöllä. Tämä vahvisti mallista 1b tehtyä johtopäätöstä, että keskeytykset eivät vaikuta merkittävästi tehokkuuteen. Jakelukeskeytysmuuttuja tuotoksena puolestaan tuotti lähes identtiset tehokkuusluvut kuin malli 2. Esimerkiksi vuoden 1998 osalta vakioskaalatuotto-oletuksella keskiarvo tehokkuus oli 0.85 ja vain kolmella jakeluyhtiöllä oli kvalitatiivisesti erilainen tehokkuusluokitus. Kun mallissa 2 nämä yhtiöt olivat tehokkaita niin mallissa 2c niiden saamat tehokkuusluvut olivat 0.99, 0.97 ja 0.94 eli hyvin lähellä tehokkuusrintamaa. Tulosten perusteella sähkön jakelukeskeytyksiä ei pidetä merkittävänä tehokkuuden kannalta.

7.1.3 Malli 3 - jännitetasoerittely, tuotokset ilman tiekilometrejä ja panokset ilman keskeytyksiä

Tuotokset (4): siirretty energiamäärä pienjänniteverkossa (0.4 kV), siirretty energiamäärä keskijänniteverkossa (6-70 kV), pienjänniteverkon (0.4 kV) asiakasmäärä, keskijänniteverkon (6-70 kV) asiakasmäärä.

Panokset (5): henkilöstön kokonaismäärä, pienjännitejohtojen (0.4 kV) pituus, keskijännite-johtojen (6-70 kV) pituus, muuntajakapasiteetti yhteensä, jakeluhäviöt.

Mallilla 3 haluttiin analysoida tulosten herkkyyttä jakelun etäisyyttä kuvaavan muuttujan (tiekilometrit) suhteen. Mallin 3 rakennetta voidaan verrata Hjalmarssonin ja Veiderpassin Ruotsin jakelusektoriin soveltaman mallin tuotos-panos-rakenteeseen. Ruotsin jakeluverkotoimintaa koskevassa tutkimuksissa (Hjalmarsson ja Veiderpass 1992 ja 1991³⁹) käytettiin mallia, jossa tuotokset (siirretty energia ja asiakasmäärä) jaettiin pien- ja keskijännitetasoihin omiksi muuttujikseen (yhteensä neljä tuotosta) kuten mallissa 3. Panoksista Ruotsia koskevassa tutkimuksessa puuttuvat jakeluhäviöt (eli mukana oli työ, pien- ja keskijännitejohtopituudet ja muuntajakapasiteetti). Aineisto koostui vuosien 1970-1986 jakeluyhtiötiedoista ja mukana oli 74 - 162 yhtiötä, riippuen vuodesta. Teknisten tehokkuuslukujen keskiarvot vaihtelivat välillä 0.75 - 0.85 vakioskaalatuotto-oletuksella.

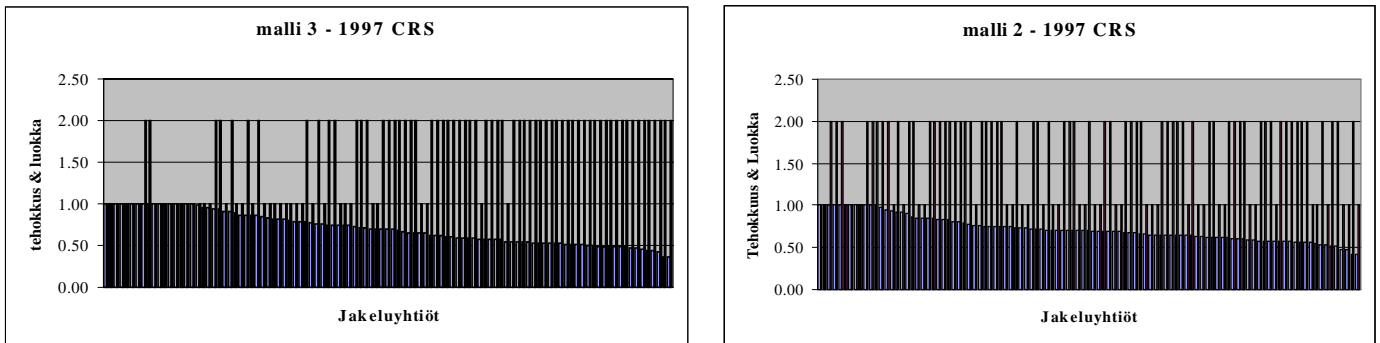
Taulukko 7.4 Malli 3: DEA-tulokset tekniselle tehokkuudelle

	1996			1997			1998		
	vakio	muuttuva	Skaala	vakio	muuttuva	skaala	vakio	muuttuva	skaala
Malli 3	0.83	0.88	0.95	0.71	0.79	0.90	0.84	0.88	0.95
Min	0.48	0.59	0.70	0.36	0.38	0.49	0.45	0.60	0.66
Tehokkaita (lkm.)	23.00	33.00	30.00	17.00	25.00	24.00	23.00	35.00	40.00
Maaseutu	0.90	0.95	0.95	0.88	0.95	0.93	0.94	0.96	0.97
Taajama	0.93	0.94	0.98	0.87	0.90	0.96	0.92	0.95	0.97
Suuret	0.88	0.91	0.97	0.74	0.82	0.91	0.89	0.92	0.97
Pienet	0.88	0.92	0.96	0.74	0.82	0.91	0.9	0.9	0.9

Tämä malli ei kyennyt erottelemaan tehokkuutta tasapuolisesti, koska maaseutuyhtiöt erottuivat selvästi tehottomammiksi kuin taajamayhtiöt. Niinpä maaseutuyhtiöt kärsivät jakeluetäisyyden huomiotta jättämisestä. Esimerkiksi vuonna 1996 oli 28 tehottomimman yhtiön joukossa oli 26 maaseutuyhtiötä ja vuonna 1997 kaikki 28 tehottominta olivat maaseutu yhtiöitä. Tehokkuuslukujen jakaumia mallin 3 ja mallin 2 välillä on esitetty alla kuvassa 7.3 vuoden 1997 osalta, joissa luokka 1 vastaa taajamayhtiötä ja luokka 2 maaseutuyhtiötä. Tehokkuusluvut ovat vakioskaalatuotto-oletuksin (CRS). Mallissa 3 tehottomimmat yhtiöt ovat maaseutuyhtiötä, kun taas mallissa 2 jakauma kahden eri ympäristön välillä on tasaisempi.

³⁹ Hjalmarsson L. ja Veiderpass A. (1991) "Productivity in swedish Electricity Retail Distribution" Memorandum No 151, University of Gothenburg.

Kuva 7.3 Malli 3 ja malli 2 tehokkuuslukujen jakauma vakioskaalatuotto-oletuksella



Kuvassa 7.3 on esitetty tekniset tehokkuusluvut, järjestyksessä suurimmasta pienimpään, sekä luokat,

7.1.4 Malli 4 - tuotokset ja panokset ilman häviöitä ja keskeytyksiä

Tuotokset (3): siirretty energiamäärä yhteensä, asiakasmäärä yhteensä ja tiestökilometrien määrä yhteensä jakelualueella.

Panokset (3): henkilöstön kokonaismäärä, jakelujohtojen pituus yhteensä, muunta-jakapasiteetti yhteensä.

Mallilla 4 tarkasteltiin häviöiden vaikutusta tehokkuusjärjestykseen. Kuten yllä mainittiin, häviöaineistoon saattaa liittyä epätarkkuutta, etenkin vuosimuutosten suhteen, koska näiden mittaaminen on hyvin vaikeaa. NVE-tutkimuksessa häviöt mitattiin kolmen vuoden liukuvina keskiarvoina jotta vuosittaiset suuret muutokset tasaantuisivat. Tähän ei tätä ollut mahdollisuutta tässä tutkimuksessa.

Malli 4 saatiin jättämällä jakeluhäviöt pois mallista 2. Yhtiökohtaiset tehokkuusluvut osoittivat, että malli 4 ja malli 2 eivät anna kvalitatiivisesti toisistaan kovinkaan poikkeavia tuloksia. Tehokkaat yhtiöt erottuivat melkein identtisesti näillä malleilla. Kolmen yhtiön kohdalla malli 4 luokitteli ne tehokkaiksi, kun malli 2 antoi tehokkuusarvot 0.99, 0.98 ja 0.83. Ottaen huomioon häviöaineistoon liittyvät mahdolliset epätarkkuudet voidaan mallia 4 pitää luotettavampana kuin mallia 2. Alla tuottavuuden muutos laskettiin mallilla 4.

Taulukko 7.5 Malli 4: DEA-tulokset tekniselle tehokkuudelle

	1996			1997			1998		
	vakio	muuttuva	skaala	Vakio	muuttuva	skaala	vakio	muuttuva	skaala
Malli 4	0.76	0.81	0.94	0.71	0.76	0.93	0.80	0.84	0.95
Min	0.46	0.51	0.61	0.37	0.38	0.60	0.45	0.49	0.67
Tehokkaita (lkm.)	11.00	23.00	11.00	12.00	25.00	12.00	14.00	28.00	14.00
Maaseutu	0.88	0.92	0.96	0.86	0.91	0.95	0.92	0.95	0.97
Taajama	0.82	0.85	0.97	0.75	0.78	0.97	0.83	0.85	0.98
Suuret	0.83	0.89	0.94	0.79	0.85	0.93	0.84	0.90	0.94
Pienet	0.87	0.91	0.96	0.86	0.92	0.94	0.87	0.92	0.94

7.2 Mallivaihtoehdon valinta

Mallin valintaa tehdessä huomioitiin seuraavia seikkoja: mallin tulee erotella tehokkaat yhtiöt tehottomista mahdollisimman tarkasti, kuitenkin siten, että kahdesta mallivaihtoehdosta, jotka antavat kvalitatiivisesti samanlaiset tulokset, suositaan suppeampaa malliversiota. Lisäksi aineiston tulee olla mahdollisimman luotettavaa.

Mallien antamien tehokkuuslukujen keskinäinen vertailu on mielekkäintä tehdä vertaamalla yhtiökohtaisten tehokkuusluokitusten (tehokas vs. tehoton) eroja.

Luvussa 4.3 esitettiin joitakin tapoja analysoida tulosten herkkyyttä mallin rakenteen ja aineiston suhteen. Tässä raportissa tullaan analysoimaan eri malliversioiden antamien tulosten herkkyyttä käyttämällä ei-parametristä Mann-Whitney U-testiä (Siegel 1980⁴⁰). Testin avulla määritellään ovatko malliversioiden antamat tehokkuuslukujen mukaiset luokitukset tilastollisesti merkitsevästi toisistaan poikkeavia. Valdmanis (1992)⁴¹ huomauttaa, että yksi hyvän mallin ominaisuus on tulosten vakaus, kun mallin tuotos-panos-rakennetta hieman muutetaan. Mikäli mallin antamat tulokset muuttuvat merkitsevästi kun mallin rakennetta muutetaan, ei tuloksia voida pitää kovin luotettavina.

Malli 3 ja malli 1 eivät täyttäneet vaatimuksia analyysin tasapuolisuudesta ja tehokkuuden luotettavasta erotteluvaatimuksesta. Malli 3 ei sovellu tehokkuuden analysointiin, koska jakelusiirron etäisyyttä ei tässä mallissa huomioida. Suomessa jakelualueiden koot (ja siten jakelun etäisyydet) vaihtelevat suuresti joten haja-asutusseutujen jakeluyhtiöt ovat keskimäärin tehottomampia verrattuna taajamayhtiöihin jos jakelun etäisyyttä ei huomioida. Mallissa 1 puolestaan on suhteellisen yksityiskohtainen panosten ja tuotosten erottelutaso. Tulosten perusteella tämä malli ei kuitenkaan kykene erottelemaan tehokkaita ja tehotomia yrityksiä toisistaan, koska mallissa on liian vähän vapausasteita muuttujien suuren lukumäärän vuoksi suhteessa aineiston kokoon. Malli 1 antamien tulosten perusteella Suomen jakeluyhtiöistä olisi teknisesti tehokkaita selvästi yli kolmannes. Mikäli aineisto olisi ollut selvästi nykyistä suurempi voisi malli 1 olla varteenotettava vaihtoehto tehokkuuden analysointia varten.

Mallin 2 suppeampi rakenne näkyi tehokkaiden yksiköiden lukumäärissä. Mallilla 2 luokiteltiin vuonna 1997 vakioskaalatuotto-oletuksella 16 jakeluyhtiötä tehokkaaksi kun mallilla 1 tehokkaita yhtiöitä oli 38 samoin oletuksin. Mallin 2 tehokkaiksi luokittelemat yhtiöt olivat tehokkaita myös mallilla 1. Malli 2 pystyi siis erottelemaan ne tehokkaat yhtiöt jotka olivat tehokkaita mallilla 1. Mallia 2 voidaan pitää mallia 1 parempana.

Mallin 2 antamien tulosten herkkyyttä panosrakenteen suhteen analysoitiin kahden panoksen avulla: jakeluhäviöiden ja jakelukeskeytysten. Malliin 2 lisättiin jakelukeskeytysmuuttuja (keskimääräinen vuotuinen keskeytysten lukumäärä) ja yhtiökohtaisia tehokkuusluokituksia verrattiin keskenään. Sama analyysi tehtiin kun mallista 2 poistettiin häviöpanos. Näiden eri malliversioiden antamia yhtiökohtaisia tehokkuuslukuja verrattiin toisiinsa siten, että yhtiöt järjestettiin mallin 2 antamien tehokkuuslukujen mukaan tehokkaimmasta tehottomimpaan, jonka jälkeen muiden malliversioiden antamia tehokkuusjärjestyksiä verrattiin malli 2 antamaan tehokkuusjärjestykseen. Tehokkuusvertailu on esitetty liitteessä kolme.

⁴⁰ Siegel S. (1980) "Nonparametric Statistics", McGraw Hill International Student Edition.

⁴¹ Valdmanis V. (1992), "Sensitivity Analysis for DEA Models – An Empirical Example Using Public vs. NFP Hospitals", Journal of Public Economics 48.

Taulukossa 7.6 on esitetty Mann-Whitney U-testisuuren arvoja vastaavat normaalijakauman z-arvot. U-testillä testataan ovatko eri mallien antamat yhtiökohtaiset tehokkuusjärjestys samasta tilastollisesti merkitsevästi toisistaan poikkeavia. Mann ja Whitney (1947)⁴² osoittivat, että kun kahden otoksen havaintolukumäärä on suurempi kuin 20 niin U:n otosjakauma lähenee normaalijakaumaa otoskoon kasvaessa. Tässä raportissa otoskoot vaihtelivat 105 ja 107 välillä, joten normaalijakauma-oletusta voitiin käyttää.

Taulukko 7.6 Malli 2 Mann-Whitney U-testit

	1996	1997	1998
Malli 2 vs. malli 4 Standardi Normaali z	2.16	3.63	2.41
Malli 2 vs. malli 2 keskeytysten kanssa Standardi Normaali z	0.81	1.94	1.81

Nollahypoteesina Mann-Whitney testissä pidetään, että kahden mallin antamien tehokkuusluokitusten välillä ei ole tilastomatemattisesti merkittäviä eroja. Tämä hypoteesi kumotaan, mikäli testisuure on tarpeeksi suuri. Taulukon 7.6 standardi normaali z-arvoja verrataan tämän arvon kriittisiin arvoihin. Esimerkiksi z-arvo vuoden 1996 U-testille mallin 2 ja mallin 4 antamien tehokkuusluokitusten eroille oli 2.16. z-arvojen taulukosta nähdään, että nollahypoteesin vallitessa tämän arvon todennäköisyys on 0.0154, mikä on suurempi kuin 0.005 (eli 95 % luottamustasoa kuvaava arvo) ja siten nollahypoteesi hyväksytään. Vain vuonna 1997 voitiin nollahypoteesi hylätä.

Mallin 1 ja malli 2 antamien tehokkuusjärjestysten erot olivat U-testin mukaan merkitsevästi toisistaan poikkeavia. Testillä voidaan lähinnä analysoida mallin antamien tulosten vakautta kun panos-tuotos-rakennetta muutetaan. Kuten edellä todettiin, ei DEA-mallien testaamiseen ole vakiintunutta käytäntöä. Mann-Whitney U-testin käyttö on siinä mielessä ongelmallista, että tämä olettaa testattavien otoksien riippumattomuuden. Edellä DEA-mallit sisälsivät toisensa jotenka riippumattomuusoletusta ei voida tehdä. Kittelsen (1997) osoitti Monte Carlo-simuloinneilla, että tehokkuuslukujen keskinäinen riippuvuus laski testisuureiden arvoa. Toisaalta tätä kompensoi se, että tehokkuusluvut eivät myöskään identtisesti jakautuneita (muuttujan lisääminen kasvattaa keskiarvotehokkuutta), ja tämän vaikutus testisuuren arvoon oli päinvastainen kuin riippuvuudesta johtuva harha.

7.3 Kokonaistuottavuus 1997-96 ja 1998-97

Tuottavuutta, siis tuotosten ja panosten suhdetta, analysoidaan usein tuottavuuden muutoksen avulla, mikä edellyttää kahden tai useamman periodin aineistoa. Tuottavuus raportoidaan usein osittaistuottavuuden muutoksena, kuten esimerkiksi työn tuottavuuden heikkenemisenä tai parantumisenä. Tässä raportissa raportoidaan kokonaistuottavuus, jota mitataan Malmquist-indeksin avulla. Kokonaistuottavuusindeksi ottaa huomioon tuotannon

⁴² Mann H. ja Whitney D. (1947), "On a test whether one of two random variables is stochastically larger than other" *Annals of Mathematical Statistics*, 18.

kaikki panokset ja tuotokset. Tuotantoa kuvaa mallin 4 tuotokset ja panokset. Malmquist-indeksin yhtenä etuna on se, että tämä ei tee oletusta tehokkaasta tuotannon tasosta, vaan sallii myös tehottomuuden. Tämä johtuu siitä, että Malmquist-indeksi on määritelty kahden eri periodin, t ja $t+1$, etäisyysfunktion⁴³ suhteena,

$$M_i^t(y^t, x^t, y^{t+1}, x^{t+1}) = \left[\frac{D_i^t(y^{t+1}, x^{t+1})}{D_i^t(y^t, x^t)} \right]$$

Etäisyysfunktion käänteisluku vastaa Farrellin teknistä tehokkuutta (joita yllä raportoitiin), joten Malmquist-indeksi voidaan laskea DEA-menetelmällä kuten Färe et al. (1996)⁴⁴ ovat osoittaneet. Indeksia varten täytyy tehdä vakioskaalattuotto-oletus, koska muutoin indeksi ei mahdollisesti kuvaa kokonaistuottavuuden muutosta oikein (Griffell-Tatje, E. and C. Lovell 1995)⁴⁵. Malmquist-indeksi sopii erityisen hyvin julkisen sektorin tuottavuusanalyysiin, koska indeksia varten ei tarvita hintamuuttujia.

Indeksistä voidaan laskea teknologisen kehityksen ja teknisen tehokkuuden komponentit erikseen. Nämä komponentit vastaavat graafisesti tehokkuusrintaman siirtymistä ja tehokkuuden muutosta. Kokonaistuottavuuden muutos on näiden kahden komponentin tulo.

Indeksin arvo tulkitaan siten, että kun indeksi saa arvon yksi, ei kokonaistuottavuudessa ole muutosta. Yhtä suurempi arvo merkitsee tuottavuuden nousua ja vastaavasti yhtä pienempi arvo tarkoittaa tuottavuuden heikkenemistä. Indeksien osakomponentit tulkitaan vastaavasti: tehokkuuskomponentin arvo yksi tarkoittaa muuttumatonta tehokkuutta, arvo yli yhden tehokkuuden paranemista ja arvo alle yhden tuotannon tehokkuuden heikkenemistä. Vastaavasti teknologisen kehityksen komponentit tulkitaan samoin. On huomattava, että vaikka kokonaistuottavuus ei muutu, niin tehokkuus saattaa saman periodin aikana nousta jos teknologinen kehitys (tehokkuusrintama siirtyy kohti origoa) taantuu

Taulukko 7.7 keskiarvomuutokset eri muuttujien määrissä 1996-1998

Periodi			1996-1997		
muuttuja	Siirto yhteensä	Asiakkaat	työ	Johtopituus	muuntaja
keskiarvomuuutos	-6.442	-0.078	-3.080	0.722	2.753
Periodi			1997-1998		
muuttuja	Siirto yhteensä	Asiakkaat	työ	Johtopituus	muuntaja
keskiarvomuuutos	4.928	1.343	-2.121	-0.152	1.430

Taulukossa 7.7. on esitelty tässä raportissa käytetystä aineistosta lasketut eri muuttujien keskiarvomuuutokset. Periodin 1996-1997 aikana sähkön siirron määrä laski n. 6 % ja työpanoksen määrä n. 3 %. Periodin 1997-1998 aikana siirron määrä nousi n. 5 %, samalla

⁴³ Etäisyysfunktio panos-orientoidulle mallille on

$$D_i^t(x^t, y^t) = \max \left\{ \delta : \left(\frac{x^t}{\delta}, y^t \right) \in L(y) \right\}; D_i^t(x^t, y^t) \geq 1$$

⁴⁴ Färe R., Grosskopf S. and Norris M (1996), Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialised Countries: Reply, *American Economic Review* 87 (5).

⁴⁵ Griffell-Tatje, E. and C. Lovell (1995) "A note on the Malmquist productivity index," *Economics Letters* 47, 169-75.

kun työn ja johtojen pituus hieman laskivat. Muuntajien kapasiteetti on noussut hieman molempien periodien aikana. Lukujen perusteella tuottavuus siis hieman laski 1996-1997 ja nousi 1997-1998.

Liitteessä 3 on esitetty yhtiökohtaiset Malmquist-indeksien arvot. Alla raportoidaan keskiarvot koko indeksin ja komponenttien osalta. Indeksit laskettiin mallilla 2, josta oli häviöpanos poistettu. Kun tarkastellaan kokonaistuottavuuden muutosta tullaan häviöt jättämään pois ja sovelletaan mallia 4. Tämä johtuu häviöaineistossa esiintyvistä hyvin suurista muutoksista vuodesta toiseen (jopa yli 1000 %) mikä vääristää tuottavuuden muutoksen arviointia. Norjalaisissa tutkimuksissa käytettiin häviöihin kolmen vuoden keskiarvoja. Tätä raporttia varten ei ollut käytössä tarpeeksi aineistoa jotta kolmen vuoden liukuvaa keskiarvoa olisi voitu käyttää.

Taulukon 7.8. lopussa on laskettu keskiarvot koko otoksesta sekä raportoitu minimi- ja maksimiarvot. Keskiarvo periodin 1996-1997 Malmquist-indeksille oli 0.982, indeksin tehokkuuskomponentille 1.01 ja indeksin teknisen kehityksen komponentille 0.973. Toisin sanoen 1996-1997 kokonaistuottavuus jakeluverkkosektorilla laski keskimäärin noin 1.8 prosenttia. Tekninen tehokkuus toisaalta nousi keskimäärin prosentin ja teknisen kehityksen komponentti heikkeni noin kolme prosenttia. Teknisen kehityksen komponentti kuvaa tekijöitä, jotka muuttavat tehokkuusrintaman paikkaa. Nämä ovat ulkoisia tekijöitä, jotka vaikuttavat jakelusiirtotoimintaan. Periodilla 1997-1998 keskiarvo Malmquist indeksille oli 1.004, indeksin tehokkuuskomponentille 1.005 ja indeksin teknisen kehityksen komponentille 0.999. Kokonaistuottavuus nousi keskimäärin 0.4 prosenttia 1997-1998. Tekninen tehokkuus parani myös tällä periodilla hieman (0.5 %), ja teknisen kehityksen komponentti oli hyvin lähellä yhtä.

Karlssonin tutkimuksessa (katso luku 7.1.2) laskettiin Malmquist-indeksit Norjan aineistolla periodille 1994-1995. Käytetty malli oli sama kuin yllämainitussa NVE-tutkimuksessa eli tuotoksia oli kolme (siirretty energia, asiakaslukumäärä ja linjojen pituus) ja pannonsten lukumäärä oli neljä (työ, jakeluhäviöt, pääoma ja muut kustannuserät). Karlssonin tulokset olivat keskiarvojen osalta seuraavat: Malmquist-indeksi 1.05, tekninen tehokkuus 1.12 ja teknisen kehityksen komponentti 0.94. Jakeluverkkotoiminnan kokonaistuottavuus Norjassa kasvoi siis 5 % vuosina 1994-1995. Før Sundin ja Kittelsenin tutkimuksessa Norjan jakelusektorin kokonaistuottavuus vuosina 1983-1989 oli keskimäärin 1.9 prosenttia vuodessa. Norjaa koskevissa tutkimuksissa olivat kuitenkin häviötiedot mukana. Før Sund ja Kittelsen toteavatkin, että yhtiökohtaisissa tuottavuusluvuissa oli tästä syystä suuria eroja. Maksimituottavuuden nousu oli jopa 245 %, mikä johtui häviöiden määrän huomattavasta pienenemisestä. Tämä saattaa pitkälti selittää Suomen Norjaa hitaamman tuottavuuden kasvun.

Ruotsin jakeluverkkotoimintaa koskevassa tutkimuksessaan Hjalmarsson ja Veiderpass laskivat kokonaistuottavuuden aikajaksolle 1970-1986. Malmquist-indeksin arvot osoittivat, että kokonais-tuottavuus kasvoi keskimäärin n. 5% vuositasolla koko aikajakson 1970-1986 aikana. Aikajaksolla 1978-1986 tuottavuuden kasvu oli selvästi hitaampaa, n. 2.5 % vuositasolla, mikä on samaa suuruusluokkaa kuin Norjassa Før Sundin ja Kittelsenin tutkimuksessa (1.9 %). Malmquist-indeksin analyysin mukaan tuottavuuden kasvu on johtunut lähinnä teknisestä kehityksestä (tehokkuusrintaman siirtymisestä). Indeksien tehokkuuskomponentin keskiarvo oli hieman alle yhden. Tekninen tehokkuus olisi tutkimuksen mukaan siten hieman alentunut.

7.3.1 Luottamusvälit tuottavuuden keskiarvoille

Malmquist-indeksien keskiarvojen tilastollista merkitsevyyttä voidaan testata laskemalla näille 95 prosentin luottamusvälit. Luottamusvälit lasketaan bootstrap-menetelmällä simuloituista indeksien keskiarvoja kuvaavasta populaatiosta. Bootstrap-menetelmän ideana on simuloida 'populaatio' estimoidusta luvuista (tässä Malmquist-indeksien keskiarvoista) tekemällä otoksia lasketuista Malmquist-indeksien arvoista ja laskemalla keskiarvot uudelleen.

Tässä raportissa sovelletaan Atkinsonin ja Wilkinsonin (1995)⁴⁶ esittämää bootstrap-sovellusta. Menetelmässä kullekin periodille $t=1,\dots,T$ (yllä $T=2$) lasketaan keskiarvot Malmquist-indeksille $\{M_{it}\}_{i=1}^N$, missä $N=104$ (yhtiöiden lukumäärä). Atkinsonin ja Wilkinsonin sovellus koostuu seuraavista vaiheista:

1. Lasketaan geometriset keskiarvot $\bar{M}_t = \left(\prod_{i=1}^N M_{it}\right)^{\frac{1}{N}}$
2. Tehdään pienen otoksen korjaus $\ln(\tilde{M}_{it}) = \ln(M_{it})\sqrt{\frac{N}{N-1}} + \ln(\bar{M}_{it})\left(1 - \sqrt{\frac{N}{N-1}}\right)$
3. Tehdään riippumaton, satunnainen, N -suuruinen otos joukosta $\ln(\tilde{M}_{it})$
4. Lasketaan $\{\bar{M}_{it}^*\}_{i=1}^N = N^{-1} \sum_{j=1}^N \ln(\tilde{M}_{it}^*(j))$
5. Toistetaan vaiheet (3)-(4) J kertaa, jolloin saadaan populaatio keskiarvoja $\{\bar{M}_j(j)\}_{j=1}^J$, tässä raportissa $J=1000$.

Bootstrap-simuloidut keskiarvot järjestetään suuruusjärjestykseen ja luottamusvälit lasketaan seuraavasti: $(1-2\alpha)\times 100$ prosentin luottamusväli populaatiokeskiarvolle saadaan poistamalla järjestetystä aineistosta $\alpha\times J$ yksikköä kummastakin päästä. Tässä raportissa $J=1000$ ja $\alpha=0.025$, mikä vastaa 95 % luottamusväliä.

Taulukko 7.8 95 % Luottamusvälit Malmquist indeksille ja sen tehokkuuskomponentille

Malmquist-indeksi	96/97	97/98
alaraja	0.978	0.973
keskiarvo	0.982	1.004
yläraja	1.072	1.010
Tehokkuuskomponentti	96/97	97/98
alaraja	0.996	0.989
keskiarvo	1.009	1.005
yläraja	1.010	1.011

⁴⁶ Atkinson S. and Wilson P. (1995), Comparing Mean Efficiency and Productivity Scores from Small Samples: a bootstrap methodology, Journal of Productivity Analysis 6.

Taulukon 7.8 luottamusvälit tuottavuuden ja tehokkuuskomponentin muutoksien merkitsevyydestä osoittivat, että nämä eivät olleet tilastomatematisessa mielessä (95 % tasolla) merkitsevästi arvosta yksi poikkeavia, koska molemmilla periodilla luottamusväli kattaa arvon yksi. Toisin sanoen, Suomen jakeluverkkotoiminnassa ei ole tapahtunut tilastollisesti merkitsevää tuottavuuden muutosta aikajaksoilla 1996-1997 ja 1997-1998.

8 YHTEENVETO

Tämän raportin tavoitteena on ollut kehittää Suomen olosuhteisiin soveltuvaa jakeluverkkotoiminnan tehokkuuden arviointimenetelmää. Suomen jakeluverkkotoiminnan tehokkuuden ja tuottavuuden arviointia varten oli käytettävissä vuosien 1996 - 1998 jakeluyhtiökohtainen tuotos- ja panosaineisto. Aineisto perustui osaksi Sähkömarkkinakeskuksen julkaisemiin tunnuslukutietoihin ja osaksi Adato Energia Oy:n kautta saatuihin sähkötilastoa varten kerättyihin yhtiökohtaisiin muuntajätietoihin. Lisäksi Tielaitokselta saatiin käyttöön tiekilometritiedot jakeluvastuualueittain. Mukana olivat käytännössä lähes kaikki Suomessa jakeluverkkotoimintaa harjoittavat yhtiöt.

Verkkotoiminnan tehokkuutta mitattiin teknisenä tehokkuutena. Tuotannossa vallitsee tekninen tehokkuus, kun yhden tuotoksen lisääminen vaatii joko jonkun muun tuotoksen vähentämistä tai jonkun panoksen lisäämistä. Teknistä tehokkuutta mikrotaloustieteen tuotantoteoriassa vastaa tuotantofunktio.

Raportissa tarkasteltiin neljää eri menetelmää, joita on kansainvälisissä tutkimuksissa yleisesti sovellettu tehokkuuden mittaamiseen. Menetelminä olivat estimointiin perustuvat deterministinen (DSA) ja stokastinen (SFM) rintamamallimenetelmät sekä lineaariseen ohjelmointiin perustuvat parametrinen (PPA) ja ei-parametrinen ohjelmointi (DEA). Tehokkuutta päädyttiin mittaamaan ei-parametrisellä lineaariseen ohjelmointiin perustuvalla Data Envelopment Analysis (DEA) menetelmällä.

DEA-menetelmä yleistää tuotos-panos suhdelukuanalyysia tapauksiin, joissa tuotoksia ja panoksia on useita. Menetelmässä käytetään lineaarista ohjelmointia tehokkaan tuotantotason, tehokkuusrintaman, muodostamiseksi. Tehokkuusrintama muodostetaan havaintoaineistonperusteella eli tuotantofunktiota (tai kustannusfunktiota) ei tarvitse parametrisoida.

Tehokkuuden lisäksi raportissa laskettiin kokonaistuottavuuden kehitys vuosina 1996-1997 ja 1997-1998. Kokonaistuottavuutta mitattiin Malmquist-indeksillä. Indeksistä voidaan laskea teknisen kehityksen ja teknisen tehokkuuden komponentit erikseen. Nämä komponentit vastaavat tuotantofunktion siirtymistä ja yksiköiden etäisyyden muutosta tehokkuusrintamaan nähden tarkasteltavien periodien välillä.

Tehokkuuden arviointia varten tutkittiin eri malliversioita DEA-menetelmällä. Tavoitteena oli löytää Suomen olosuhteisiin parhaiten soveltuva malli, joka mahdollisimman tasapuolisesti ja tarkasti mittaa jakeluverkkotoiminnan teknistä tehokkuutta. Tulosten perusteella päädyttiin malliin 4, jossa on kolme tuotosta ja kolme panosta. Mallin tuotokset olivat siirretty energiamäärä, asiakasmäärä ja tiestökilometrien määrä jakelualueella. Panokset olivat henkilöstön kokonaismäärä, jakelujohtojen pituus ja muuntajakapasiteetti.

Mallien mahdollisia tuotosmuuttujia olivat siirretty energiamäärä (MWh, pien- ja keskijännite), asiakaslukumäärä (pien- ja keskijännite) sekä tiekilometrit (km). Tiekilometrejä

käytettiin kuvaamaan jakelun etäisyyttä. Mahdollisia panoksia olivat puolestaan työ (henkilöstön lukumäärä), verkon pituus (km pien- ja keskijännite), muuntajakapasiteetti (kVA), vuotuinen keskeytysaika (h/v), keskeytysten vuotuinen lukumäärä (kpl/vuosi) ja jakeluhäviöt (MWh). Malliversioita verrattiin toisiinsa vertaamalla mallien antamien yhtiökohtaisten tehokkuusluokitusten eroja. Osa malliversioista hylättiin, koska tulosten perusteella malli ei joko pystynyt erottelemaan tehokkuutta tarpeeksi tarkasti tai tulokset suosivat tietyn tyyppisiä laitoksia.

Mallin antama keskiarvotehokkuus vuonna 1996 oli 0.76 vakioskaalatuotto-oletuksella ja muuttuvilla skaalatuotto-oletuksella 0.81. Vuonna 1997 vastaavat keskiarvot olivat 0.71 ja 0.76 ja vuonna 1998 0.80 ja 0.84.

Malliversioiden tulosten herkkyyttä tuotos-panos-rakenteen suhteen analysoitiin käyttämällä ei-parametristä Mann-Whitney U-testiä (Siegel 1980⁴⁷). Testin avulla analysoitiin eri malliversioiden antamien yhtiökohtaisten tehokkuusjärjestysten erojen tilastollista merkitsevyyttä. Herkkyysanalyysi tehtiin muuttamalla mallien panosrakennetta ja testaamalla eri malliversioiden antamien tehokkuuslukujen eroja. Malliin 4 lisättiin jakelukeskeytysmuuttuja (keskimääräinen vuotuinen keskeytysten lukumäärä) ja yhtiökohtaisia tehokkuusjärjestystä verrattiin alkuperäisen mallin tuloksiin. Sama analyysi tehtiin, kun mallista 2 poistettiin häviöpanos. Mann-Whitney U-testin mukaan tehokkuusjärjestykset eivät muuttunut tilastollisesti merkitsevästi näillä malliversioilla.

Tuottavuuden muutosta analysoitiin vuosina 1996-1997 ja 1997-1998. Tuottavuutta mitattiin Malmquist-indeksin avulla. Malmquist-indeksiä laskettaessa häviöpanosta ei otettu huomioon, koska tässä esiintyi hyvin suuria muutoksia yksittäisten yritysten kohdalla, jotka vääristäisivät tuottavuuslukujen arviointia.

Keskiarvo vuosien 1996-1997 Malmquist-indeksille oli 0.982, indeksin tehokkuuskomponentille 1.01 ja indeksin teknologisen muutoksen komponentille 0.973. Tulosten mukaan kokonaistuottavuus jakeluverkkosektorilla laski siis vuosina 1996-1997 noin 1.8 prosenttia. Tekninen tehokkuus toisaalta nousi keskimäärin prosentin ja teknisen kehityksen komponentti heikkeni (graafisesti tehokkuusrintama siirtyi kohti origoa) noin kolme prosenttia. Teknisen kehityksen komponentti kuvaa tekijöitä, jotka siirtävät tehokkuusrintamaa. Näitä voivat olla ulkoiset tekijät, kuten muutokset lainsäädännössä, jotka vaikuttavat jakelusiirtoimintaan merkitsevästi.

Vuosina 1997-1998 Malmquist-indeksin keskiarvo oli 1.004, indeksin tehokkuuskomponentin keskiarvo 1.005 ja indeksin teknisen kehityksen komponentille 0.999. Kokonaistuottavuus nousi keskimäärin 0.4 prosenttia 1997-1998. Tekninen tehokkuus parani myös tällä periodilla hieman (0.5 %) ja teknisen kehityksenkomponentti oli hyvin lähellä yhtä.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Raportissa verrattiin neljää eri menetelmää tehokkuuden analysoimiseksi. Menetelmät voidaan jakaa estimoitaviin deterministiseen (DSA) ja stokastiseen (SFM) rintamamalleihin sekä lineaariseen ohjelmointiin perustuviin parametrisen (PPA) ja ei-parametrisen mal-

⁴⁷ Siegel S. (1980) "Nonparametric Statistics", McGraw Hill International Student Edition.

leihin (DEA). Raportissa päädyttiin suosittamaan DEA-menetelmää sen yleisyyden vuoksi, DEA-menetelmässä ei tarvitse päättää tehokkuusrintamaa kuvaavan funktion parametrystä muotoa ennen tehokkuuden mittausta. DEA-menetelmä on kansainvälisissäkin tutkimuksissa yleistynyt tehokkuusanalyysin menetelmänä.

Tulosten perusteella päädyttiin malliin (malli 4), jossa on kolme tuotosta ja kolme panosta. Mallin tuotokset olivat siirretty energiamäärä, asiakasmäärä ja tiestökilometrien määrä jakelualueella. Panokset olivat henkilöstön kokonaismäärä, jakelujohtojen pituus ja muuntajakapasiteetti. Valittu DEA-malli osoittautui herkkyysanalyysissä hyväksi, koska mallin tuottamien yhtiökohtaisten tehokkuusjärjestykset eivät muuttuneet merkittävästi mallin panos-tuotos-rakenteen muuttuessa.

Mallin antamat tulokset osoittivat, että jakeluverkkotoiminta on Suomessa ollut melko tehokasta 1996-1998. Keskiarvotehokkuusluvut osoittivat n. 15-20 % panosten vähentämistarvetta teknisen tehokkuuden saavuttamiseksi. On kuitenkin huomattava, että tekninen tehokkuus on lievempi kriteeri toiminnan tehokkuudelle kuin kustannustehokkuus. Osa yhtiöistä, jotka ovat teknisesti tehokkaita saattavat olla kustannustehottomia, koska näiden panosrakenne ei minimoi jakeluverkkotoiminnan kustannuksia.

Ne yhtiöt, jotka eivät olleet teknisesti tehokkaita, toimivat kuitenkin pääsääntöisesti tuotannon skaalaetujen kannalta tehokkaalla tasolla. Tehottomuus johtui siis panosten liian suuresta käytöstä, ei tuotannon skaalaetujen hyödyntämättä jättämisestä.

Tulosten perusteella näyttäisi myös siltä, että maaseutuyhtiöt olisivat taajamayhtiöitä hieman tehokkaampia. Tehokkuuserojen tilastomatemattista merkitsevyyttä ei kuitenkaan testattu. Samoin näytti siltä, että pienet yhtiöt (siirron määrällä mitattuna) olisivat olleet hieman suuria tehokkaampia. Tässäkään tapauksessa erojen merkitsevyyttä ei testattu.

Tässä raportissa tuottavuutta mitattiin Malmquist-indeksin avulla, jonka laskennan perustaksi oli valittu DEA-malli (malli 4). Malmquist-indeksin hyvänä puolena on, että se ei ole ta tehokasta tuotannon tasoa, vaan sallii tehottomuuden.

Tuottavuustulokset osoittivat, että kokonaistuottavuuden kehitys vuosina 1996-1997 ja 1997-1998 oli pientä. Lasketut luottamusvälit kokonaistuottavuuden ja sen tehokkuuskomponenttien muutoksien merkitsevyydestä osoittivat, että nämä eivät olleet tilastollisesti (95 % tasolla) merkitsevästi poikkeavia arvosta yksi poikkeavia (joka kuvaa muuttumatonta tuottavuutta). Toisin sanoen, Suomen jakeluverkkotoiminnassa ei ole tapahtunut tilastollisesti merkitsevää tuottavuuden muutosta aikajaksoilla 1996-1997 ja 1997-1998.

Karlssonin tutkimuksen mukaan jakeluverkkotoiminnan kokonaistuottavuus Norjassa kasvoi 5 % vuosina 1994-1995. Førsundin ja Kittelsenin tutkimuksessa Norjan jakelusektorin kokonaistuottavuus vuosina 1983-1989 oli keskimäärin 1.9 prosenttia vuodessa. Norjaa koskevista tutkimuksista olivat kuitenkin häviötiedot mukana. Førsund ja Kittelsen toteavatkin, että yhtiökohtaisissa tuottavuusluvuissa oli tästä syystä suuria eroja. Maksimituottavuuden nousu oli 245 %, mikä johtui häviöiden määrän huomattavasta pienenemisestä.

LÄHDELUETTELO

Afriat, S. (1972) "Efficiency Estimation of Production Functions," *International Economic Review* 13, 568-98.

Aigner, D. and S.-F. Chu (1968) "On Estimating the Industry Production Function," *American Economic Review* 58, 826-39.

Atkinson S. and Wilson P. (1995), Comparing Mean Efficiency and Productivity Scores from Small Samples: a bootstrap methodology, *Journal of Productivity Analysis* 6.

Averch H. ja Johnson L. (1962), Behaviour of the Firm Under Regulatory Constraint, *American Economic Review*, 52.

Casten T.R. (1995), Whither Electric Generation? A Different View, *The Energy Daily*.

Farrell M. (1957), The Measurement of Productive Efficiency, *Journal of the Royal Statistical Society, Series A, General*.

Ferrier G. and Lovell C. (1990), Measuring Cost Efficiency in Banking: Econometric and Linear Programming Evidence, *Journal of Econometrics*, 46; 229-267.

Førsund F. and Kittelsen S. (1998), Productivity Development of Norwegian Electricity Distribution Utilities, *Resource and Energy Economics*, 20.

Färe R., Grosskopf S. and Norris M (1996), Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialised Countries: Reply, *American Economic Review* 87 (5).

Färe, R. and D. Primont (1987), Efficiency Measures for Multiplant Firms with Limited Data, in Eichhorn (toim.) *Measurement in Economics*, (Physica-verlag, Heidelberg).

Grifell-Tatje, E. and C. Lovell (1995) "A Note on the Malmquist productivity index," *Economics Letters* 47, 169-75.

Gong, B. and R. Sickles (1989) "Finite Sample Evidence on the Performance of Stochastic Frontier Models Using Panel Data," *The Journal of Productivity Analysis* 1, 229-61.

Hjalmarsson L. and Veiderpass A. (1991), Productivity in Swedish Electricity Retail Distribution, *Scandinavian Journal of Economics*.

Hjalmarsson L. ja Veiderpass A. (1991) "Productivity in Swedish Electricity Retail Distribution" Memorandum No 151, University of Gothenburg.

Jondrow, Lovell, Materov and Schmidt (1982), "On the Estimation of Technical Inefficiency in the Stochastic Frontier Production Function Model," *Journal of Econometrics* 19, 233-8.

Kittelsen S (1993), Stepwise DEA. Choosing Variables for Measuring Technical Efficiency in Norwegian Electricity Distribution. Memorandum No 6/93, University of Oslo.

Korpinen L. (1999) 'sähköverkko-opus' Tampereen Teknillinen Korkeakoulu, [www-sivuilla http://www.tut.fi/~korpinen/opus/ALKU.HTM](http://www.tut.fi/~korpinen/opus/ALKU.HTM).

Kuusisto O. (1998) 'Verkkoyhtiöiden tehokkuuden mittaaminen ja kustannuslaskenta', SENER.

Laffont J.-J. ja Tirole J. (1993), *A Theory of Incentives in Procurement and Regulation*, MIT Press.

Langset T. ja Torgersen A.M. Effektivitet i distribusjonsnettene 1995¹, NVE publikasjon Nr 15 1997

Mann H. ja Whitney D. (1947), "On a test whether one of two random variables is stochastically larger than other" *Annals of Mathematical Statistics*, 18.

Pollit M. (1997), *Technical Efficiency in Electric Power Plants*, DAE Working Paper No.9422, University of Cambridge.

Sharkey W. (1982), *"The Theory of Natural Monopoly"*, Cambridge University Press

Siegel S. (1980) *"Nonparametric Statistics"*, McGraw Hill International Student Edition

Simar L. and Wilson P (1995), *Sensitivity Analysis of Efficiency Scores: How to Bootstrap in Nonparametric Frontier Models*, *Management Science*.

Valdmanis V. (1992), "Sensitivity Analysis for DEA Models – An Empirical Example Using Public vs. NFP Hospitals", *Journal of Public Economics* 48.

Weyman-Jones T. (1991), *Productive Efficiency in a Regulated Industry: the Area Boards of England and Wales*, *Energy Economics*.

LIITTEET

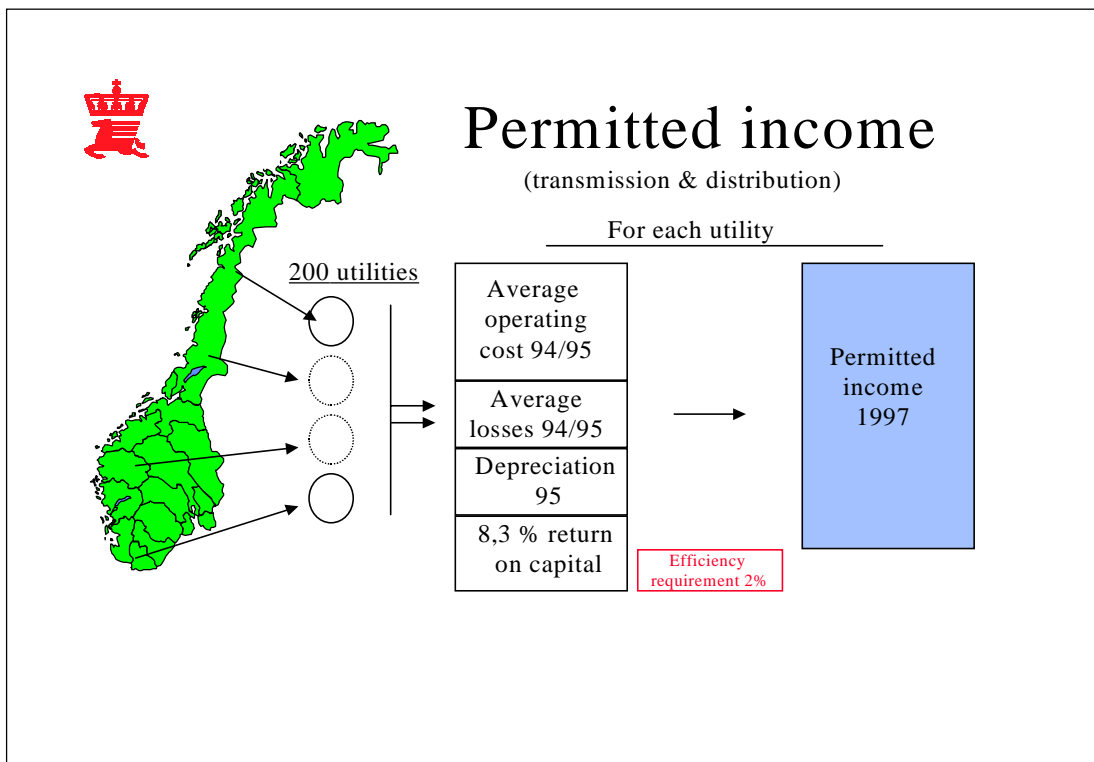
Liite 1. Norjan sähkömarkkinoiden sääntelyjärjestelmä

Norjan sähkömarkkinat avautuivat kilpailulle 1991 sähkön myynnin ja tuotannon osalta. Tuotanto on edelleen osittain säänneltynä koska sähkön tuottamiseen tarvitaan lupa jonka Norjan sähkömarkkina-viranomainen, Norges Vassdrags og Energiverk (NVE), myöntää. Sähkön jakelu- ja kantaverkkotoimintojen sääntely muuttui pääomantuottosääntelystä 1.1.1997 kannustinperusteiseksi (incentive-based regulation) sääntelyksi mm. koska maksimituottoastesääntely ei johtanut kustannusten minimointiin.

Uudessa sääntelyjärjestelmässä NVE määrittää maksimitulorajan etukäteen sääntelyperiodin kullekin vuodelle erikseen. Jakeluyhtiöiden on pystyttävä kattamaan kustannuksensa tämän tulorajan puitteissa.

Sääntelyperiodi on viiden vuoden pituinen. Nyt menossa oleva sääntelyperiodi kattaa aikajakson 1997-2002.

Pääomakulut ovat tärkein kuluerä jakeluyhtiöiden siirtotoiminnassa. Sääntelyperiodin 1997-2002 pääomapanosarvio perustuu vuoden 1994/95 arvoille. NVE:llä on käytettävissään sekä tilipitoarvoon että jälleenhankinta-arvoon perustuvat pääomapanostiedot.



Sallittu tulotaso esimerkiksi vuodelle 1997 määräytyy kaavasta

$$I^{97} = [DK^{94/95} + AVS^{95} + r \times K^{95} + P_{97} L_{94/95}] \times (1 - X^{97})$$

missä :

- DK on käyttökulut $DK = \left(\frac{DK_{94} \times \frac{PI_{97}}{PI_{94}} + DK_{95} \times \frac{PI_{97}}{PI_{95}}}{2} \right)$
- AVS poistot 1997 $AVS_{97} = AVS_{95} \times \frac{PI_{97}}{PI_{95}}$
- r sallittu tuotto
- K pääomakanta (31.12.1995) kerrottuna hintaindeksimuutoksella $\frac{PI_{97}}{PI_{95}}$
- $P_{97} L_{94/95}$ on siirtohävikkien arvo, missä P_{97} on keskiarvo vuoden 1997 Spot-hinnasta (Nord Pool) ja $L_{94/95}$ on keskiarvo vuoden 1994 ja 1995 jakeluhäviöistä
- X on tuottavuusvaatimus (1.5 %). 1998-1999 tähän liitettiin yhtiökohtainen kustannus-tehokkuus

Kustannustehokkuus laskettiin 1994-1995 aineistoa hyväksikäyttäen. Vaikka kustannus-komponentit ovat vakiota (1994/95 tasoilla) koko sääntelyperiodin aikana sallittu tulotaso vaihtelee vuosittain yleisen hintatason muuttuessa, spot-hinnan muuttuessa tai kun siirretyn energian määrä muuttuu.

Esimerkiksi vuoden 1998 tulotaso määräytyy kaavasta

$$I^{98} = I^{97} \left(1 + \frac{\Delta Y / Y}{2} \right) \times (1 - X^{97})$$

missä $\Delta Y / Y$ on muutos siirretyn energian määrässä.

Tuottavuusparametri X koostuu yleisestä 1.5 prosentin tuottavuusvaatimuksesta sekä yrityskohtaisesta tehokkuusluvusta. 1998-1999 tuottavuusparametriin lisättiin jakeluyhtiökohtainen kustannus-tehokkuusluvusta riippuva komponentti. Tehokkuusluku laskettiin DEA-menetelmällä 1995/94 aineistosta. Mikäli yhtiö osoittautui kustannus-tehottomaksi eli tehokkuusluku oli alle yhden, kasvatettiin X :n arvoa tietyssä suhteessa kustannusten parantamispotentiaaliin nähden. Kustannusten vähentämistarpeesta realisoidaan n. 38 prosenttia 1998-2001 aikana.

Alla esitetyssä esimerkissä oletetaan sallituksi tulotasoksi NOK 220000. Tähän lisätään automaattisesti kuluerät jotka aiheutuvat siirtopalveluista muiden verkkojen osalta. Tämä ei aiheuta ongelmaa muiden verkkojen kannalta koska kaikkia jännitetasoja säännellään samalla tavalla. Alla sallittu tulo on siis $\text{NOK } 220\,000 + 50\,000 = 270\,000$. Kokonaiskustannukset ovat 225 000, joten voitto on 45 000, ja siten pääoman tuotto 9%. Kokonaistulot olivat kuitenkin NOK 350 000 eli voittoa oli yli sallitun rajan ja ylimääräinen voitto NOK 80 000 pitää palauttaa hinnanalennuksina kuluttajille seuraavana vuonna.

Esimerkki:

Sallittu tulo	220 000
Pääoman arvo	500 000
(poistettu pääomakustannus)	
Tilinpidoissa	
Tulot siirtotoiminnoista	350 000
Kokonaiskulut	225 000
Joista 'ulkoisia' (muut verkot)	50 000
Toteutunut tulo	350 000
Sallittu tulo sisältäen ulkoiset kustannukset	270 000
Sallittu voitto	45 000
Pääoman tuotto	9%
Ylimääräinen voitto	80 000

Liite 2. Yhtiökohtaiset tehokkuusluvut ja -järjestys vakioskaalatuotto-oletuksella 1996-1998

	1996	1996	1996	1996	1996	1996
	tehokkuus	tehokkuus	tehokkuus	malli 2	ilman häv	m2+kesk
	malli 2	ilman häv	m2+kesk	järjestys	järjestys	järjestys
y33	0.92	0.92	0.97	33	21	26
y46	0.87	0.84	0.88	45	41	50
y57	0.84	0.84	0.86	56	41	56
y34	0.92	0.92	0.94	33	21	35
y19	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y63	0.82	0.75	0.83	62	67	66
y54	0.85	0.79	0.85	49	58	59
y20	1.00	0.59	1.00	1	99	1
y55	0.85	0.80	0.89	49	52	46
y69	0.80	0.74	0.81	65	72	67
y70	0.80	0.80	0.81	65	52	67
y40	0.90	0.90	0.91	38	27	41
y35	0.92	0.91	0.92	33	24	39
y21	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y78	0.75	0.74	0.75	78	72	82
y100	0.61	0.61	0.61	100	95	102
y105	0.50	0.49	0.50	105	105	106
y90	0.68	0.57	0.72	90	103	87
y95	0.66	0.63	0.66	95	92	97
y3	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y71	0.77	0.67	0.77	71	84	75
y58	0.83	0.83	0.87	58	44	54
y92	0.67	0.65	0.69	92	91	90
y96	0.66	0.59	0.67	95	99	94
y36	0.91	0.87	0.92	36	34	39
y4	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y41	0.89	0.88	0.90	41	31	45
y82	0.72	0.72	0.89	82	76	46
y50	0.85	0.85	0.85	49	37	59
y29	0.95	0.91	0.96	29	24	31
y44	0.88	0.87	0.88	43	34	50
y93	0.67	0.67	0.67	92	84	94
y49	0.85	0.80	0.86	49	52	56
y79	0.75	0.70	0.76	78	79	79
y83	0.72	0.72	0.72	82	76	87
y72	0.77	0.67	0.78	71	84	72
y47	0.86	0.85	0.86	47	37	56
y5	1.00	0.83	1.00	1	44	1
y73	0.77	0.74	0.78	71	72	72
y6	1.00	0.77	1.00	1	61	1
y42	0.89	0.89	0.89	41	29	46

	1996	1996	1996	1996	1996	1996
	tehokkuus	tehokkuus	tehokkuus	malli 2	ilman häv	m2+kesk
	malli 2	ilman häv	m2+kesk	järjestys	järjestys	järjestys
y65	0.80	0.77	0.81	65	61	67
y106	0.47	0.46	0.56	106	106	104
y87	0.70	0.68	0.70	87	83	89
y23	0.98	0.81	1.00	23	50	1
y7	1.00	0.98	1.00	1	16	1
y84	0.72	0.70	0.73	82	79	86
y86	0.71	0.71	0.77	86	78	75
y74	0.77	0.76	0.77	71	65	75
y64	0.81	0.80	0.85	64	52	59
y45	0.87	0.77	0.91	45	61	41
y8	1.00	0.90	1.00	1	27	1
y31	0.93	0.87	0.94	31	34	35
y38	0.90	0.88	0.91	38	31	41
y25	0.96	0.92	0.96	25	21	31
y26	0.96	0.96	0.97	25	18	26
y56	0.84	0.84	0.88	56	41	50
y66	0.80	0.80	0.80	65	52	70
y27	0.96	0.78	0.97	25	60	26
y77	0.76	0.76	0.76	77	65	79
y94	0.67	0.67	0.67	92	84	94
y9	1.00	0.99	1.00	1	14	1
y10	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y85	0.72	0.69	0.74	82	81	84
y1	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y11	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y80	0.74	0.74	0.75	80	72	82
y28	0.96	0.91	0.97	25	24	26
y48	0.86	0.79	0.95	47	58	33
y32	0.93	0.89	0.94	31	29	35
y51	0.85	0.85	0.85	49	37	59
y101	0.61	0.61	0.68	100	95	92
y37	0.91	0.88	0.91	36	31	41
y52	0.85	0.85	0.85	49	37	59
y43	0.88	0.83	0.88	43	44	50
y103	0.59	0.59	0.62	103	99	101
y88	0.69	0.67	0.69	88	84	90
y12	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y67	0.80	0.80	0.87	65	52	54
y75	0.77	0.75	0.78	71	67	72
y97	0.65	0.61	0.65	97	95	98
y22	0.99	0.99	1.00	22	14	1
y76	0.77	0.77	0.77	71	61	75
y53	0.85	0.75	0.94	49	67	35
y98	0.63	0.62	0.64	98	94	99

	1996	1996	1996	1996	1996	1996
	tehokkuus	tehokkuus	tehokkuus	malli 2	ilman häv	m2+kesk
	malli 2	ilman häv	m2+kesk	järjestys	järjestys	järjestys
y99	0.63	0.63	0.63	98	92	100
y30	0.95	0.94	0.95	29	20	33
y59	0.83	0.83	0.84	58	44	64
y13	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y14	1.00	0.82	1.00	1	48	1
y15	1.00	0.96	1.00	1	18	1
y60	0.83	0.69	0.84	58	81	64
y61	0.83	0.75	1.00	58	67	1
y39	0.90	0.82	0.97	38	48	26
y68	0.80	0.75	0.80	65	67	70
y2	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y91	0.68	0.67	0.68	90	84	92
y89	0.69	0.61	0.74	88	95	84
y104	0.53	0.53	0.53	104	104	105
y24	0.98	0.98	0.98	23	16	25
y16	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y81	0.74	0.66	0.76	80	90	79
y62	0.82	0.81	0.89	62	50	46
y17	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y102	0.61	0.59	0.61	100	99	102
y18	1.00	1.00	1.00	1	1	1
	1997	1997	1997	1997	1997	1997
	tehokkuus	tehokkuus	tehokkuus	malli 2	ilman häv	m2+kesk
	malli 2	ilman häv	m2+kesk	järjestys	järjestys	järjestys
y2	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y3	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y74	1.00	0.65	1.00	1	60	1
y25	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y56	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y9	1.00	0.66	1.00	1	55	1
y10	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y28	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y51	1.00	0.82	1.00	1	24	1
y12	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y76	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y30	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y13	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y15	1.00	0.94	1.00	1	14	1
y16	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y18	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y99	0.97	0.54	1.00	17	95	1
y52	0.96	0.96	0.96	18	13	27
y94	0.94	0.94	0.94	19	14	29

	1997	1997	1997	1997	1997	1997
	tehokkuus	tehokkuus	tehokkuus	malli 2	ilman häv	m2+kesk
	malli 2	ilman häv	m2+kesk	järjestys	järjestys	järjestys
y24	0.94	0.94	1.00	19	14	1
y20	0.94	0.81	0.94	19	25	29
y1	0.93	0.93	0.95	22	17	28
y29	0.91	0.91	0.91	23	18	32
y42	0.91	0.74	0.91	23	37	32
y47	0.90	0.80	0.90	25	28	36
y62	0.90	0.85	1.00	25	21	1
y19	0.90	0.80	0.91	25	28	32
y7	0.89	0.87	1.00	28	20	1
y38	0.88	0.88	0.99	29	19	25
y35	0.87	0.80	0.87	30	28	39
y5	0.85	0.79	1.00	31	31	1
y17	0.84	0.84	0.92	32	22	31
y49	0.83	0.83	0.83	33	23	42
y43	0.83	0.68	0.90	33	48	36
y44	0.83	0.81	0.83	33	25	42
y23	0.81	0.81	1.00	36	25	1
y11	0.81	0.78	0.81	36	32	45
y61	0.81	0.73	1.00	36	40	1
y68	0.81	0.71	0.81	36	41	45
y77	0.79	0.77	0.79	40	34	50
y39	0.79	0.77	0.99	40	34	25
y8	0.78	0.74	0.78	42	37	52
y75	0.78	0.68	0.78	42	48	52
y55	0.78	0.78	0.78	42	32	52
y14	0.77	0.61	0.81	45	73	45
y89	0.76	0.66	0.83	46	55	42
y54	0.76	0.70	0.80	46	44	49
y41	0.75	0.66	0.78	48	55	52
y67	0.75	0.75	0.87	48	36	39
y53	0.75	0.65	0.90	48	60	36
y69	0.75	0.71	0.79	48	41	50
y4	0.74	0.54	0.74	52	95	64
y82	0.74	0.74	0.91	52	37	32
y72	0.74	0.62	0.81	52	68	45
y64	0.74	0.70	0.84	52	44	41
y27	0.74	0.67	0.74	52	51	64
y32	0.74	0.66	0.75	52	55	59
y40	0.74	0.59	0.74	52	82	64
y60	0.73	0.66	0.74	59	55	64
y66	0.72	0.69	0.72	60	47	71
y58	0.71	0.63	0.75	61	64	59

	1997	1997	1997	1997	1997	1997
	tehokkuus	tehokkuus	tehokkuus	malli 2	ilman häv	m2+kesk
	malli 2	ilman häv	m2+kesk	järjestys	järjestys	järjestys
y46	0.71	0.58	0.77	61	85	57
y57	0.71	0.71	0.71	61	41	73
y71	0.70	0.70	0.70	64	44	74
y48	0.70	0.60	0.74	64	78	64
y31	0.69	0.62	0.73	66	68	70
y43	0.69	0.68	0.75	66	48	59
y78	0.68	0.60	0.68	68	78	80
y100	0.68	0.67	0.68	68	51	80
y96	0.68	0.57	0.69	68	87	78
y79	0.68	0.57	0.70	68	87	74
y47	0.68	0.60	0.76	68	78	58
y45	0.68	0.59	0.74	68	82	64
y85	0.68	0.65	0.75	68	60	59
y95	0.67	0.67	0.67	75	51	83
y87	0.67	0.60	0.70	75	78	74
y88	0.67	0.67	0.68	75	51	80
y63	0.67	0.57	0.75	75	87	59
y86	0.66	0.61	0.67	79	73	83
y6	0.65	0.54	0.66	80	95	86
y21	0.65	0.58	0.65	80	85	89
y36	0.64	0.61	0.70	82	73	74
y83	0.64	0.64	0.65	82	63	89
y73	0.64	0.50	0.78	82	104	52
y84	0.64	0.55	0.72	82	92	71
y37	0.64	0.63	0.65	82	64	89
y22	0.64	0.54	0.64	82	95	94
y92	0.63	0.63	0.63	88	64	95
y50	0.63	0.53	0.63	88	99	95
y93	0.63	0.63	0.63	88	64	95
y65	0.63	0.59	0.69	88	82	78
y59	0.63	0.62	0.63	88	68	95
y34	0.63	0.53	0.63	88	99	95
y103	0.62	0.62	0.65	94	68	89
y97	0.62	0.55	0.67	94	92	83
y81	0.62	0.62	0.62	94	68	101
y80	0.61	0.56	0.66	97	90	86
y101	0.61	0.61	0.63	97	73	95
y70	0.61	0.61	0.65	97	73	89
y102	0.60	0.56	0.60	100	90	102
y91	0.59	0.55	0.66	101	92	86
y105	0.54	0.52	0.54	102	101	103
y90	0.52	0.52	0.53	103	101	104
y33	0.51	0.51	0.51	104	103	105
y26	0.51	0.48	1.00	104	106	1

	1997	1997	1997	1997	1997	1997
	tehokkuus	tehokkuus	tehokkuus	malli 2	ilman häv	m2+kesk
	malli 2	ilman häv	m2+kesk	järjestys	järjestys	järjestys
y104	0.51	0.50	0.51	104	104	105
y106	0.42	0.37	0.44	107	107	107
	1998	1998	1998	1998	1998	1998
	tehokkuus	tehokkuus	tehokkuus	malli 2	ilman häv	m2+kesk
	malli 2	ilman häv	m2+kesk	järjestys	järjestys	järjestys
y1	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y2	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y3	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y71	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y4	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y6	1.00	0.77	1.00	1	58	1
y23	1.00	0.82	1.00	1	41	1
y7	1.00	0.99	1.00	1	15	1
y27	1.00	0.72	1.00	1	76	1
y9	1.00	0.99	1.00	1	15	1
y10	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y11	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y12	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y99	1.00	0.61	1.00	1	97	1
y30	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y13	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y15	1.00	0.97	1.00	1	18	1
y16	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y18	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y19	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y20	1.00	0.66	1.00	1	90	1
y21	1.00	1.00	1.00	1	1	1
y47	0.99	0.82	0.99	23	41	33
y24	0.98	0.98	1.00	24	17	1
y33	0.97	0.97	1.00	25	18	1
y37	0.97	0.91	0.97	25	24	37
y22	0.97	0.97	0.99	25	18	33
y25	0.95	0.95	0.95	28	21	39
y49	0.94	0.94	0.94	29	22	42
y95	0.94	0.84	0.98	29	35	35
y29	0.94	0.94	0.94	29	22	42
y35	0.94	0.84	0.94	29	35	42
y5	0.93	0.83	1.00	33	40	1
y34	0.93	0.88	0.95	33	26	39
y69	0.93	0.74	0.93	33	72	45
y14	0.92	0.75	1.00	36	65	1
y58	0.91	0.90	0.98	37	25	35
y41	0.89	0.87	0.91	38	29	49

	1998	1998	1998	1998	1998	1998
	tehokkuus	tehokkuus	tehokkuus	malli 2	ilman häv	m2+kesk
	malli 2	ilman häv	m2+kesk	järjestys	järjestys	järjestys
y42	0.89	0.88	0.89	38	26	52
y61	0.89	0.78	1.00	38	55	1
y38	0.88	0.88	0.88	41	26	55
y45	0.88	0.86	0.90	41	31	51
y48	0.88	0.74	1.00	41	72	1
y96	0.87	0.62	0.87	44	94	57
y31	0.87	0.85	0.87	44	34	57
y56	0.87	0.86	1.00	44	31	1
y62	0.87	0.87	1.00	44	29	1
y46	0.87	0.84	0.95	44	35	39
y44	0.86	0.86	0.86	49	31	61
y73	0.86	0.73	0.86	49	74	61
y74	0.86	0.75	0.86	49	65	61
y68	0.85	0.77	0.89	52	58	52
y55	0.85	0.76	0.91	52	62	49
y43	0.84	0.81	0.84	54	46	65
y51	0.84	0.84	0.88	54	35	55
y75	0.84	0.77	0.84	54	58	65
y57	0.84	0.84	0.84	54	35	65
y47	0.83	0.81	0.92	58	46	46
y32	0.83	0.81	0.89	58	46	52
y39	0.83	0.82	0.97	58	41	37
y40	0.83	0.80	0.83	58	50	69
y59	0.82	0.82	0.82	62	41	71
y70	0.82	0.82	0.82	62	41	71
y36	0.81	0.81	0.82	64	46	71
y77	0.81	0.73	0.81	64	74	74
y65	0.80	0.79	0.84	66	53	65
y28	0.80	0.80	1.00	66	50	1
y67	0.80	0.80	0.92	66	50	46
y64	0.79	0.79	0.86	69	53	61
y66	0.78	0.78	0.78	70	55	78
y94	0.78	0.78	0.78	70	55	78
y63	0.78	0.75	0.87	70	65	57
y8	0.77	0.77	0.77	73	58	80
y54	0.77	0.75	0.79	73	65	76
y52	0.76	0.76	0.76	75	62	82
y53	0.76	0.75	1.00	75	65	1
y60	0.76	0.76	0.76	75	62	82
y78	0.75	0.71	0.75	78	79	85
y93	0.75	0.75	0.75	78	65	85
y79	0.75	0.68	0.79	78	86	76
y76	0.75	0.75	0.75	78	65	85
y84	0.73	0.71	0.80	82	79	75

	1998	1998	1998	1998	1998	1998
	tehokkuus	tehokkuus	tehokkuus	malli 2	ilman häv	m2+kesk
	malli 2	ilman häv	m2+kesk	järjestys	järjestys	järjestys
y80	0.73	0.72	0.76	82	76	82
y100	0.72	0.59	0.72	84	100	90
y82	0.72	0.72	0.92	84	76	46
y83	0.70	0.70	0.70	86	81	92
y72	0.70	0.70	0.83	86	81	69
y88	0.70	0.70	0.70	86	81	92
y89	0.70	0.67	0.87	86	89	57
y17	0.70	0.69	0.74	86	84	88
y86	0.69	0.68	0.71	91	86	91
y85	0.69	0.69	0.73	91	84	89
y97	0.69	0.60	0.77	91	98	80
y87	0.68	0.68	0.68	94	86	97
y91	0.68	0.66	0.69	94	90	94
y102	0.68	0.62	0.69	94	94	94
y92	0.66	0.64	0.69	97	93	94
y81	0.65	0.65	0.65	98	92	98
y101	0.62	0.62	0.63	99	94	100
y103	0.62	0.60	0.65	99	98	98
y50	0.59	0.59	0.59	101	100	101
y90	0.56	0.56	0.56	102	102	102
y104	0.56	0.52	0.56	102	104	102
y105	0.54	0.53	0.54	104	103	104
y106	0.50	0.45	0.50	105	105	105

Liite 3. Malmquist indeksit aikajaksoille 1996-97 ja 1997-98

	1996 - 1997			1997 - 1998		
	M-indeksi	Tehokkuus	Tekninen kehitys	M-indeksi	Tehokkuus	Tekninen kehitys
y33	1.02	1.08	0.95	1.01	1.01	1.00
y46	1.02	1.02	1.00	0.97	0.98	1.00
y57	1.00	1.01	0.99	0.98	0.99	1.00
y34	0.98	0.98	1.00	1.00	0.98	1.02
y19	0.91	1.00	0.91	1.02	1.00	1.02
y63	0.99	1.01	0.98	1.00	1.00	1.00
y54	0.99	0.99	0.99	0.96	0.96	1.00
y55	1.00	1.00	1.00	0.88	0.95	0.93
y69	0.99	1.01	0.98	0.99	1.00	0.99
y70	0.98	0.99	0.99	1.03	1.03	1.00
y40	0.90	0.90	1.00	1.01	1.00	1.01
y35	0.94	0.95	0.99	0.97	0.98	1.00
y21	0.87	1.00	0.87	1.02	1.00	1.02
y78	0.96	0.97	0.99	1.00	0.99	1.00
y100	1.00	1.06	0.95	0.93	0.91	1.02
y105	1.01	1.11	0.91	1.06	1.05	1.01
y95	1.06	1.07	0.99	1.11	1.24	0.89
y58	1.02	1.03	0.98	1.05	1.05	1.00
y92	1.00	0.99	1.01	0.99	0.99	1.00
y96	1.04	1.04	1.00	1.02	1.01	1.01
y36	0.96	0.96	0.99	0.98	0.97	1.00
y4	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
y41	1.00	1.01	0.99	0.98	0.97	1.01
y82	1.00	1.04	0.96	1.05	1.03	1.01
y29	0.99	1.02	0.97	1.00	1.01	0.99
y44	1.02	0.99	1.03	0.98	0.97	1.01
y93	0.99	1.00	0.99	1.09	1.13	0.97
y49	1.11	1.13	0.98	1.03	1.04	0.99
y79	0.98	0.99	0.99	0.99	0.98	1.01
y83	0.98	0.99	0.99	0.98	0.99	1.00
y72	0.99	0.99	1.00	1.04	1.05	0.99
y47	1.01	1.02	0.98	0.97	0.99	0.98
y5	0.98	0.98	1.00	1.01	1.02	0.99
y73	0.99	1.01	0.98	0.99	0.97	1.02
y6	1.00	1.02	0.98	0.98	0.98	1.00
y42	1.02	1.00	1.02	1.00	1.00	1.00
y65	1.00	1.02	0.99	1.00	1.01	0.99
y106	0.97	0.98	0.99	1.01	1.00	1.01
y87	0.97	0.98	0.99	1.01	1.02	1.00
y23	1.00	1.01	0.99	1.02	1.03	0.99
y7	0.97	1.02	0.95	1.01	1.00	1.01
y84	0.98	1.00	0.99	1.01	1.01	1.00
y86	1.00	1.02	0.98	0.94	0.94	1.00
y64	0.99	1.00	0.99	0.99	0.99	1.00
y45	1.02	1.03	0.99	1.09	1.08	1.01
y8	0.89	0.89	1.00	0.97	0.96	1.01
y38	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	1.00
y31	0.96	0.97	0.99	1.02	1.01	1.00

	1996 - 1997			1997 - 1998		
	M-indeksi	Tehokkuus	Tekninen kehitys	M-indeksi	Tehokkuus	Tekninen kehitys
y25	0.98	1.00	0.98	1.01	1.00	1.01
y56	1.00	1.01	0.98	0.99	1.00	0.99
y66	1.01	1.02	0.99	0.96	0.96	1.00
y27	0.77	0.93	0.83	1.00	1.00	1.01
y77	0.96	0.96	1.00	0.98	0.98	1.00
y9	1.01	1.00	1.00	1.00	0.99	1.01
y10	0.96	1.00	0.96	0.98	1.00	0.98
y85	0.99	1.00	0.99	0.99	1.00	1.00
y1	0.92	1.00	0.92	1.01	1.00	1.01
y11	1.00	1.00	1.00	1.01	1.00	1.01
y80	0.99	1.00	0.99	0.99	0.98	1.01
y28	0.99	1.10	0.90	0.92	1.00	0.92
y48	0.88	0.89	0.99	1.05	1.06	1.00
y32	0.87	0.89	0.98	1.02	1.02	1.00
y51	0.96	0.96	1.00	1.03	1.03	0.99
y101	1.01	1.03	0.97	1.01	1.00	1.01
y52	0.85	1.16	0.74	1.03	1.01	1.02
y43	0.98	0.99	0.99	0.98	0.98	1.00
y103	1.02	1.07	0.95	1.02	1.01	1.01
y88	1.00	1.06	0.94	1.04	1.04	1.00
y12	0.76	1.00	0.76	1.00	1.00	1.00
y67	0.96	0.96	1.00	1.04	1.04	1.00
y75	1.08	1.21	0.90	1.05	1.04	1.01
y97	1.01	1.01	0.99	0.98	0.98	1.00
y22	0.98	1.00	0.98	1.00	1.00	1.01
y53	0.99	1.02	0.97	0.97	0.97	1.00
y99	1.03	1.04	0.99	0.96	0.95	1.01
y30	1.02	1.00	1.02	1.02	1.00	1.02
y59	0.98	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00
y13	0.90	1.00	0.90	0.91	1.00	0.91
y14	0.96	0.94	1.01	0.99	0.97	1.02
y15	1.00	1.01	0.99	1.00	1.01	0.99
y60	1.14	1.12	1.02	1.01	1.00	1.01
y61	0.94	0.95	0.99	1.22	1.20	1.01
y39	1.00	1.04	0.96	0.99	0.99	1.01
y68	1.02	1.04	0.98	0.98	0.98	1.01
y2	0.91	1.00	0.91	1.03	1.00	1.03
y91	0.98	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00
y89	1.00	1.12	0.89	1.02	1.01	1.01
y104	1.01	1.00	1.02	1.00	0.99	1.01
y24	0.99	1.00	0.99	0.98	1.00	0.98
y16	0.97	1.00	0.97	1.01	1.00	1.01
y81	0.98	0.97	1.01	1.03	1.02	1.01
y62	1.05	1.06	0.99	1.00	1.01	0.99
y102	1.02	1.02	1.00	1.03	1.03	1.00
y18	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

ELINKEINOELÄMÄN TUTKIMUSLAITOS (ETLA)
THE RESEARCH INSTITUTE OF THE FINNISH ECONOMY
LÖNNROTINKATU 4 B, FIN-00120 HELSINKI

Puh./Tel. (09) 609 900

Telefax (09) 601753

Int. 358-9-609 900

Int. 358-9-601 753

<http://www.etla.fi>

KESKUSTELUAIHEITA - DISCUSSION PAPERS ISSN 0781-6847

- No 664 GRIGORI DUDAREV - MICHAEL ZVEREV, Energy Sector in Russia. Economic and Business Outlook. 15.01.1999. 49 p.
- No 665 JYRKI ALI-YRKKÖ - PEKKA YLÄ-ANTTILA, Omistus kansainvälistyy - johtamis- ja valvontajärjestelmät muuttuvat. 29.01.1999. 32 s.
- No 666 MIKKO MÄKINEN - MIKA PAJARINEN - SIRKKU KIVISAARI - SAMI KORTTE-LAINEN, Hyvinvointiklusterin vientimenestys ja teollinen toiminta 1990-luvulla. 08.02.1999. 67 s.
- No 667 OLAVI RANTALA, Tuotannon ja työllisyyden alueellisen ennustamisen menetelmät. 19.02.1999. 43. s.
- No 668 JARI HYVÄRINEN, Globalisaatio, taloudellinen kasvu ja syvenevä alueellistuminen. 02.03.1999. 68 s.
- No 669 JUKKA LASSILA, An Overlapping-Generations Simulation Model for the Lithuanian Economy. 02.03.1999. 21 p.
- No 670 JUKKA LASSILA, Pension Policies in Lithuania - A Dynamic General Equilibrium Analysis. 02.03.1999. 44 p.
- No 671 HENRI PARKKINEN, Black-Scholes-malli ja regressiopohjainen lähestymistapa stokastisen volatiliteetin estimointiin - Katsaus suomalaisten FOX-indeksiopitioiden hinnoitteluun. 15.03.1999. 88 s.
- No 672 JUHA SORJONEN, An Econometric Investigation between Volatility and Trading Volume of the Helsinki and New York Exchanges: A Firm Level Approach. 26.03.1999. 99 p.
- No 673 ANTTON LOUNASHEIMO, The Impact of Human Capital on Economic Growth. 30.03.1999. 35 p.
- No 674 PASI SORJONEN, Ex-Dividend Day Behaviour of Stock Prices in Finland in 1989-90 and 1993-97. 30.03.1999. 29 p.
- No 675 PASI SORJONEN, Ex-Dividend Day Stock Returns and Tick Rules. 30.03.1999. 21 p.
- No 676 PASI SORJONEN, Ex-Dividend Day Stock Price Behaviour, Taxes and Discrete Prices; A Simulation Experiment. 30.03.1999. 28 p.

- No 677 JUHA HONKATUKIA, Kioton mekanismien käytön rajoittamisen vaikutukset Suomeen. 08.04.1999. 41 s.
- No 678 ANSSI PARTANEN - INKERI HIRVENSALO, North and Westbound Foreign Trade Potential of the Baltic Rim. 28.04.1999. 17 p.
- No 679 GRIGORI DUDAREV, The Role of Technology in Shaping the Energy Future in Russia. 06.05.1999. 48 p.
- No 680 REIJA LILJA - EIJA SAVAJA, En översikt av systemet för arbetslöshetskydd i Finland. 06.05.1999. 21 s.
- No 681 REIJA LILJA - EIJA SAVAJA, Olika sätt att söka arbete, attityder och motivation hos arbetssökande i Finland. 06.05.1999. 73 s.
- No 682 JARMO ERONEN, Cluster Analysis and Russian Forest Industry Complex. 24.06.1999. 16 p.
- No 683 SEPPO HONKAPOHJA - ERKKI KOSKELA, The Economic Crisis of the 1990s in Finland. 09.08.1999. 53 p.
- No 684 STEPHEN KING - ROHAN PITCHFORD, Private or Public? A Taxonomy of Optimal Ownership and Management Regimes. 12.08.1999. 33 p.
- No 685 HANNU HERNESNIEMI - MIKKO HONGISTO - LASSI LINNANEN - TORSTI LOIKKANEN - PÄIVI LUOMA, Kioto-sopimus ja yritykset. Esitutkimus strategioista. 07.09.1999. 68 s.
- No 686 PETRI ROUVINEN, R&D Spillovers among Finnish Manufacturing Firms: A Cost Function Estimation with Random Coefficients. 08.09.1999. 51 p.
- No 687 ANNE ERONEN, Classification of Intangibles - Some Comments. 04.10.1999. 13 p.
- No 688 HANNU PIEKKOLA, Rent Sharing and Efficiency Wages. 06.10.1999. 25 p.
- No 689 MIKA PAJARINEN, Foreign Firms and Their R&D in Finland. 11.10.1999. 33 p.
- No 690 PETRI ROUVINEN, Characteristics of Product and Process Innovators among Finnish Manufacturing Firms. 11.10.1999. 29 p.
- No 691 HANS GERHARD HEIDLE, Market Microstructure and Asset Pricing: A Survey. 25.10.1999. 57 pages.
- No 692 JUHA HONKATUKIA - PEKKA SULAMAA, Tekninen tehokkuus ja kokonaistuottavuus Suomen sähköjakeluverkkotoiminnassa 1996-1998. 03.11.1999. 69 s.

Elinkeinoelämän Tutkimuslaitoksen julkaisemat "Keskusteluaiheet" ovat raportteja alustavista tutkimustuloksista ja väliraportteja tekeillä olevista tutkimuksista. Tässä sarjassa julkaistuja monisteita on mahdollista ostaa Taloustieto Oy:stä kopiointi- ja toimituskuluja vastaavaan hintaan.

Papers in this series are reports on preliminary research results and on studies in progress. They are sold by Taloustieto Oy for a nominal fee covering copying and postage costs.