



# **Tehostamiskannustin sähkön jakeluverkkoyhtiöiden valvontamallissa:**

**Ehdotus Energiaviraston soveltamien menetelmien kehittämiseksi  
neljännellä valvontajaksolla 2016 – 2019**

Timo Kuosmanen  
Antti Saastamoinen  
Abolfazl Keshvari  
Andrew Johnson  
Christopher Parmeter

Loppuraportti  
21.10.2014

## Sisällys

Esipuhe	3
1. Johdanto	4
2. Tehostamiskannustimen periaatteet	5
3. StoNED-menetelmän kehitys tutkimuskirjallisuudessa	8
4. Muuttujat ja aineisto	11
4.1 Tarkasteltava ajanjakso	11
4.2 Panosmuuttujat	12
4.3 Toivotut tuotokset	14
4.4 Ei-toivotut tuotokset	16
4.5 Toimintaympäristöä kuvaavat muuttujat	17
5. Tulokset	19
5.1 Estimoitu panostarverintama	19
5.2 Toimintaympäristön vaikutus	20
5.3 Tehokkuusestimaatit	21
6. Vaihtoehtoisten mallispesifikaation testaaminen ja herkkyysanalyysi	26
6.1 Useiden panosten ja tuotosten mallintaminen	26
6.2 Paneeliaineiston mallintaminen	26
6.3 Toimintaympäristön mallintaminen	27
6.4 Mallin herkkyysanalyysi	29
7. Vertailulaskelmat ja vaikutusten arviointi	29
7.1 Uudemman aineiston vaikutus tehokkuusestimaatteihin	29
7.2 Paneeliaineiston mallintamisen vaikutus tehokkuusestimaatteihin	30
7.3 Ehdotetun mallispesifikaation vaikutus tehokkuusestimaatteihin	31
8. Siirtymäajan tehostamistavoitteiden määrittäminen	33
9. Kehittämisehdotukset	35
Lähteet	36
Tekninen liite	40
TL.1 Yleinen rintamamalli	40
TL.2 Useiden panos- ja tuotosmuuttujien mallintaminen	41
TL.2.1 Panostarvefunktio ja sen ominaisuudet	41
TL.2.2 Panostarvefunktioon perustuva ekonometrinen malli	42
TL.2.3 Panostarvefunktion estimointi	42
TL.3 Jakaumaoletuksista luopuminen	44
TL.4 Paneeliaineiston hyödyntäminen	44
TL.5 Tehokkuusestimaatit	45

## Esipuhe

Tämän selvityksen on laatinut Sigma-Hat Economics Oy Energiaviraston toimeksiannosta. Hankkeen toteutuksesta vastaa tehokkuusmittauksen asiantuntijoista koostuva työryhmä, jonka jäsenet ovat Professori Timo Kuosmanen (Aalto yliopiston kauppakorkeakoulu, hankkeesta vastaava johtaja), FT Antti Saastamoinen (Aalto yliopiston kauppakorkeakoulu), FT Abolfazl Keshvari (Aalto yliopiston kauppakorkeakoulu), Associate Professor Andrew Johnson (Texas A&M University) ja Assistant Professor Christopher Parmeter (University of Miami). Työryhmä käyttää Energiaviraston Verkot yksikön asiantuntijoita hankkeen aikana saadusta palautteesta ja kommenteista.

Raportissa esitettävät tulkinnat, analyysit, johtopäätökset ja kehittämissuhteet ovat Sigma-Hat Economics Oy:n työryhmän riippumattomasti esittämiä, eivätkä ne välttämättä edusta Energiaviraston kantaa tarkasteltaviin asioihin.

## 1. Johdanto

Sähkön jakeluverkkotoiminta on lainsäädännössä määritelty luonnolliseksi monopoliksi, jonka hinnoittelun kohtuullisuutta on perusteltua säännellä. Jakeluverkkojen hinnoittelun kohtuullisuutta valvoo Energiavirasto (EV). EV soveltaa kohtuullisen tuoton valvontaan perustuvaa mallia, johon sisältyy yhtäältä verkkoon sitoutuneen pääoman kohtuullisen tuoton ja toisaalta toiminnasta aiheutuvan kohtuullisen kustannuksen arviointi. Verkonhaltijoille valvontamallissa asetetun kohtuullisen kustannuksen on periaatteessa tulkittava tarkoittavan tehokkaan toiminnan kustannustasoa. Siten tehokkaan kustannusrintaman ja yritys kohtaisten tehokkuuslukujen estimointi muodostavat olennaisen sähköyhtiöiden toimintaa ohjaavan komponentin EV:n valvontamallissa.

EV:n on johdonmukaisesti pyrkinyt soveltamaan tehostamistavoitteiden asettamisessa menetelmiä, jotka perustuvat uusimpaan ja luotettavimpaan tutkimustietoon. EV on kuullut päätösten valmisteluvaiheessa lukuisia tehokkuusmittauksen koti- ja ulkomaisia asiantuntijoita sekä teettänyt useita tutkimuksia ja asiantuntijaselvityksiä. Tämän kehitystyön loogisena jatkona EV tilasi Sigma-Hat Economics Oy:ltä selvityksen tehokkuusmittauksen kehittämistä sähkön jakeluverkkotoiminnan valvonnassa seuraavilla vuosina 2016 ja 2020 alkavilla valvontajaksoilla. Tässä loppuraportissa esitetään tutkimushankkeen tulokset ja niihin perustuvat konkreettiset toimenpide-ehdotukset sähkön jakeluverkkotoiminnassa sovellettavan kustannusrintamamallin ja siirtymäajan yritys kohtaisen tehostamistavoitteen osalta. Jakeluverkkoyhtiöiden yleistä tehostamistavoitetta koskevat tulokset ja toimenpide-ehdotukset esitetään raportissa Kuosmanen & Saastamoinen (2014), jossa arvioidaan myös sähkön kantaverkkotoiminnassa ja maakaasun siirto- ja jakeluverkkotoiminnassa sovellettavaa tehostamiskannustinta ja yleistä tehostamiskannustinta.

Sähkön jakeluverkkotoiminnan osalta hankkeen keskeisimmät tavoitteet ovat seuraavat:

- 1) Arvioida Kuosmanen ym. (2010) laatiman raportin jälkeen tehokkuusanalyysin ja erityisesti StoNED-menetelmän (Kuosmanen, 2006; Kuosmanen & Kortelainen, 2012; Kuosmanen ym., 2014) kohdalla tapahtunut kehitys ja sen hyödynnettävyys suomalaisten sähkön jakeluverkonhaltijoiden tehokkuusmittauksessa. Menetelmäkehityksen osalta keskeisiä huomioitavia asioita ovat virhetermin ja tehottomuuden tunnistaminen, jakeluverkonhaltijoiden ja niiden toimintaympäristöjen heterogeenisyys sekä yhtiöiden tasapuolinen kohtelu.
- 2) Arvioida käytettävää mallispesifikaatiota, kuten muuttujia ja useamman panosmuuttujan käyttämistä mallintamisessa.
- 3) Arvioida mallintamisessa käytettävää lähtötietojen aikaperiodia, paneeliaineiston hyödyntämismahdollisuuksia, sekä tehostamiskannustimessa sovellettua 8 vuoden siirtymäaikaa.

Raportin rakenne on seuraava. Luvussa 2 tarkastellaan tehostamiskannustimen periaatetta ja perustellaan tehostamiskannustimen logiikka regulaatioteorian näkökulmasta. Luvussa 3 luodaan lyhyt katsaus tehokkuusmittauksen menetelmissä viime vuosina tapahtuneeseen kehitykseen ja menetelmännovaatioiden soveltamismahdollisuuksiin EV:n valvontamallissa. Luvussa 4 esitetään selvityksessä käytetty tilastoaineisto ja muuttujat. Luvussa 5 esitetään empiiriset tulokset, jotka on estimoitu tässä selvityksessä ehdotettavalla mallispesifikaatiolla. Luvussa 6 luodaan lyhyt katsaus vaihtoehtoihin mallispesifikaatioihin, jotka on huomioitu tämän selvityksen puitteissa, sekä niissä

ilmenneisiin ongelmiin. Luvussa 7 verrataan nykyisin sovellettavan mallin sekä ehdotetun mallispesifikaation tuloksia, sekä arvioidaan lyhyesti mahdollisia syitä sille, miksi eri mallispesifikaatiot tuottavat jossakin määrin toisistaan poikkeavia tuloksia. Luvussa 8 tarkastellaan mallin dynamiikkaa ja esitetään ehdotus siirtymäajan tehostamistavoitteiden laskemiseksi. Yhteenvedo kehittämisehdotuksista esitetään luvussa 9. Raportissa käytetyn StoNED-menettelyn ja mallispesifikaation tekniset yksityiskohdat esitetään lyhyesti raportin lopussa olevassa teknisessä liitteessä.

## 2. Tehostamiskannustimen periaatteet

Kolmannelle valvontajaksolle siirryttäessä tehostamiskannustimeen tehtiin merkittäviä uudistuksia. Niistä suurin huomio kohdistui kustannusrintaman estimointiin sovellettavan Kuosmasen (2006) ja Kuosmasen & Kortelaisen (2012) kehittämään StoNED-menettelyn (engl. *stochastic non-parametric envelopment of data*) käyttöönottoon, jolla korvattiin aikaisemmillä valvontajaksoilla sovelletut DEA- (engl. *data envelopment analysis*) ja SFA (engl. *stochastic frontier analysis*) menettelyt sekä verkkovolyymien muutosta kuvaava komponentti. StoNED-menettelyn kehityksestä tarkemmin teknisessä liitteessä ja luvussa 3.

Kolmannella valvontajaksolla sovellettavan tehostamiskannustimen regulaatioteoriaan perustuvaan logiikkaan on mielestämme tähän saakka kiinnitetty liian vähän huomiota niin aikaisemmissa konsulttiselvityksissä, EV:n laatimissa suuntaviiva- ja perustelumuiotissa, kuin myös verkkoyhtiöiden edustajien kannanotoissa. Tämän luvun tarkoituksena on osaltaan paikata tätä puutetta: pyrimme selvittämään mitä 3. valvontajaksolle tehdyillä uudistuksilla kirjoittajien näkökulmasta tavoiteltiin sekä perustelemaan taloustieteen näkökulmasta mihin asetetut tehostamistavoitteet perustuvat.

Klassisen mikrotalousteorian mukaan täydellisen kilpailun markkinoilla toimivan yrityksen kokonaistuotto (engl. *total revenue*) on markkinoiden tasapainossa yhtä suuri kuin yrityksen kokonaiskustannus (engl. *total cost*), jolloin markkinoilla toimivan yrityksen voitto (= kokonaistuotto – kokonaiskustannus) on taloustieteen terminologian mukaisesti nolla.<sup>1</sup> Vastaavaa periaatetta voidaan soveltaa paikallisen monopoliyhtiön kohtuullisen tuoton valvonnassa: toteutunut kokonaistuotto on perusteltua rajata yhtä suureksi kuin kohtuullinen kokonaiskustannus, joka kattaa sekä kiinteän kustannuksen että muuttuvat kustannukset. Ottamatta kantaa yksityiskohtiin, EV:n jakeluverkkoyhtiöihin soveltamaa valvontamalli on olennaisilta osin johdonmukaisesti linjassa edellä esitetyn periaatteen kanssa. Valvontamalliin sisältyvä kohtuullinen tuotto verkkoon sitoutuneelle omalle ja vieraalle pääomalle sekä pääomakannan laskennallinen tasapoisto voidaan mikrotaloustieteen näkökulmasta tarkasteltuna tulkita kohtuulliseksi kiinteäksi kustannukseksi. Toisaalta tehostamiskannustimeen sisältyvä kontrolloitavissa olevan operatiivisen kustannuksen vertailutaso sekä ns. läpilaskutuserät voidaan tulkita kohtuullisiksi muuttuviksi kustannuksiksi. Näin tulkittuina valvontamallin keskeiset komponentit saavat mielekkään mikrotalousteorian mukaisen merkityksen, mikä saattaa auttaa taloustieteeseen perehtynyttä lukijaa hahmottamaan paremmin valvontamallin logiikan.

---

<sup>1</sup> Sekaannusten välttämiseksi on syytä korostaa, että talousteorian mukainen voitto (engl. *economic profit*) poikkeaa käsitteenä huomattavasti laskentatoimissa käytetystä liikevoiton käsitteestä (engl. *accounting profit*). Laskentatoimen liikevoittoon sisältyvä tuotto sijoitetulle pääomalle lasketaan taloustieteessä oman pääoman kustannukseen ja siten myös kokonaiskustannukseen. Siten yrityksen liikevoitto on myös kilpailullisilla markkinoilla suurempi kuin nolla.

Keskitymme seuraavassa tarkemmin muuttuvia kustannuksia edustavaan tehostamiskannustimeen. Nimensä mukaisesti tehostamiskannustimen tarkoituksena on luoda jakeluverkkoyhtiöille kannustin tuottaa käyttäjien tilaamat palvelut mahdollisimman kustannustehokkaasti. Yhteiskunnan kannalta optimaalisen kannustinjärjestelmän periaatteista ja niiden soveltamisesta paikallisten monopolien valvontaan on olemassa runsaasti erittäin korkeatasoista taloustieteellistä tutkimusta, jota on tarkasteltu suomeksi mm. Kopsakangas-Savolaisen & Sventon (2014) artikkelissa.

Yhdeksi alan klassikoksi muodostunut artikkeli Shleifer (1985) ehdottaa mittatikkukilpailuun (engl. *yardstick competition*) perustuvaa kannustinjärjestelmää. Mittatikkukilpailun perusideana on luoda puitteet kustannuskilpailulle paikallisten monopoliyhtiöiden välille, jotka eivät muutoin kohtaa hintakilpailua tai uusia markkinoille pyrkiviä yrittäjiä. Toisin sanoen mittatikkukilpailussa paikalliset monopoliyhtiöt joutuvat keskinäiseen kustannuskilpailuun vastaavalla tavoin kuin kilpailullisilla markkinoilla toimivat yhtiöt. Mittatikkukilpailun soveltamista sähkön jakeluverkkoyhtiöiden valvontaan tarkastellaan lukuisissa tutkimuksissa (mm. Filipini & Wild, 2001; Weyman-Jones, 2001). Valitettavasti mittatikkukilpailun soveltamista tarkasteleva kirjallisuus on oman arviomme mukaan varsin sekavaa koska eri lähteissä mittatikkukilpailulla tarkoitetaan hyvinkin erilaisia asioita. Selvytyden vuoksi on syytä korostaa, että tarkastelumme rajoittuu pelkästään tehostamiskannustimeen. Emme kannata kohtuullisen tuoton rajaamiseen perustuvan mallin korvaamista, vaan tarkastelumme keskittyy mallin yhtenä komponenttina huomioitavaan tehostamiskannustimeen, jonka kannustinvaikutusten aikaansaamiseksi voidaan soveltaa mittatikkukilpailun periaatteita.

Käytännössä mittatikkukilpailun periaatteet voidaan yhdistää EV:n soveltamaan tehostamiskannustimeen seuraavasti. Verkkoyhtiön toteutunutta kontrolloitavissa olevaa muuttuvaa kustannusta<sup>2</sup> verrataan tilastoaineistosta estimoidun tehokkaan kustannusrintaman mukaiseen vertailuarvoon. Toteutuneiden kustannusten sallitaan poikkeavan kustannusrintaman määrittämästä vertailuarvosta. Mikäli verkkoyhtiön toteutunut muuttuva kustannus on kustannusrintaman vertailutason mukainen tai sitä alhaisempi, yhtiö on toiminut kustannustehokkaasti. Kustannusrintaman vertailutason ja toteutuneen kustannuksen erotus voidaan nykyisen valvontamallin tavoin määritellä tehostamiskannustimeksi, joka vähennetään yhtiön liikevoitosta. Tällöin kustannustehokas toiminta alentaa yhtiölle valvontamallissa laskettavaa toteutunutta oikaistua tulosta. Siten tehokasta rintamaa tehokkaamman yhtiön toteutunut tuotto voi ylittää valvontamallissa laskettavan kohtuullisen tuoton arvon, mikä luo voitontavoitteluun perustuvan kannustimen toimia mahdollisimman kustannustehokkaasti. Toisaalta jos verkkoyhtiön toteutunut kustannus ylittää kustannusrintaman vertailutason, lisätään tehottomuudeksi tulkittava erotus yhtiön liikevoittoon valvontamallin toteutuneen oikaistun tuloksen laskennassa. Tämä luo voittoa tavoittelevalle yhtiölle kannustimen välttää tehottomuutta. Kuitenkaan voittoa tavoittelemattoman yhtiön (esim. kunnallinen liikelaitos tai osuuskunta) ei ole pakko toimia kustannustehokkaasti: yhtiö voi niin halutessaan käyttää jakeluverkkoon sitoutuneelle omalle pääomalle laskettavan kohtuullisen tuoton osittain tai jopa kokonaan muuttuviin kustannuksiin sisältyvän tehottomuustappion kattamiseen. Näin tulkittuna EV:n soveltaman tehostamiskannustimen toimintamekanismi on pääpiirteissään yhdenmukainen mittatikkukilpailun periaatteen kanssa.

---

<sup>2</sup> Kolmannella valvontajaksolla kontrolloitaviksi muuttuviksi kustannuksiksi tulkittiin kontrolloitavissa olevat operatiiviset kustannukset (KOPEX) sekä puolet keskeytyksistä aiheutuvasta haitasta (0,5KAH).

Shleifer (1985) osoittaa, että mittatikkukilpailuun perustuva kannustinjärjestelmä on yhteiskunnan näkökulmasta optimaalinen valvontamekanismi, joka maksimoi tuottajan ja kuluttajan ylijäämien summan. Tulos pätee teoreettisessa tapauksessa, jossa kaikki yritykset ovat täysin identtisiä. Käytännössä yritysten ja niiden toimintaympäristöjen heterogeenisuus on suuri haaste mittatikkukilpailun soveltamisessa käytäntöön. Shleifer (1985) tarkastelee myös heterogeenisten yritysten tapausta, ehdottaen yritysten havaittujen ominaisuuksien kustannusvaikutusten estimoimista regressiomallin avulla. Yatchew (2001) suosittelee estimoinnissa käytettäväksi joustavia semi- tai ei-parametrisia menetelmiä, joiden selitysaste on korkea. Mikäli yritysten havaittavista ominaisuuksista johtuva heterogeenisuus voidaan huomioida täydellisesti (ts. regressiomallin selitysaste on 1), mittatikkukilpailu on optimaalinen valvontamekanismi. Käytännössä kaikkea heterogeenisuutta ei kuitenkaan kyetä huomioimaan, eikä se ole edes regressiomallin estimoinnin kannalta tavoiteltavaa. Jos regressio-mallin selitysaste on kuitenkin riittävän suuri, approksimaatioon perustuva valvontamalli ei Shleiferin mukaan poikkea merkittävästi optimaalisesta.

Kuosmasen ym. (2010) selvityksessä osoitetaan, että StoNED-menetelmä huomioi jakeluverkkoyhtiöiden ja niiden toimintaympäristöjen heterogeenisyyden huomattavasti paremmin kuin aikaisemmin sovelletut DEA- ja SFA-menetelmät. Selvityksessä estimoitujen StoNED-rintamamallien selitysasteet ovat poikkeuksetta hyvin korkeat, yli 0,98 riippumatta mallispesifikaatiosta. Koska havaituista ominaisuuksista johtuva heterogeenisuus voidaan selittää lähes täydellisesti, voidaan StoNED-menetelmällä estimoituun kustannusrintamaan perustuvalla mittatikkukilpailulla päästä hyvin lähelle teoreettista optimia. Siten StoNED-menetelmän käyttöönotto kolmannella valvontajaksolla mahdollistaa EV:n valvontamallissa sovellettavan tehostamiskannustimen kehittämisen kohti mittatikkukilpailua.

Mittatikkukilpailua tarkastelevassa teoreettinen kirjallisuus korostaa, että yhtiön oma toiminta ei saa vaikuttaa mittatikkuihin. Toisin sanoen yhtiö ei ”kilpaile” itsensä kanssa, vaan muiden alan yhtiöiden muodostaman rintaman kanssa. Kustannusrintama voidaan toki estimoida StoNED-menetelmällä jokaiselle yhtiölle erikseen siten, että tarkasteltavan yhtiön tiedot on poistettu kustannusrintaman estimoinnissa käytettävästä tilastoaineistosta. Näin estimoidut yhtiökohtaiset kustannusrintamat eivät kuitenkaan poikkea olennaisesti kaikkien yhtiöiden aineistoon sovitetusta rintamasta, koska yksittäisen yhtiön vaikutus StoNED-rintamaan on lähes merkityksetön. Toisaalta yhtiökohtaisten kustannusrintamien soveltaminen valvontamallissa nostaisi tehostamiskannustimen soveltamisen kustannuksen moninkertaisiksi, mikä on selvästi kohtuutonta siitä mahdollisesti saatavaan hyötyyn verrattuna. Myös yhtiöiden tasapuolinen ja yhdenmukainen kohtelu valvontamallissa puoltaa kaikille yhtiöille saman kustannusrintaman soveltamista.

Mittatikkukilpailuun perustuvan tehostamiskannustimen soveltaminen kuitenkin edellyttää, että yhtiöt toimivat riittävän lähellä kustannusrintamaa eikä yhtiöiden välillä ole huomattavia tehokkuuseroja. Jos mittatikkukilpailu otetaan käyttöön liian hätäisesti suurten tehokkuuserojen vallitessa, saattaa seurauksena olla tehottomien yhtiöiden konkurssialto ja/tai yhtiöiden kaatuminen yhteiskunnan ylläpidettäväksi. Weyman-Jones (2001) ehdottaa, että mittatikkukilpailuun siirtyminen tapahtuu kahdessa vaiheessa:

*Varie 1:* Valvontaviranomainen määrittelee yhtiökohtaiset tehostamistavoitteet ja siirtymäajan, joiden puitteissa yhtiöiden tulee tehostaa toimintaansa ja saavuttaa tehokas kustannusrintama.

*Varie 2:* Siirtymäajan jälkeen yrityskohtaisista tehostamistavoitteista luovutaan ja kaikkiin yhtiöihin sovelletaan samaan kustannusrintamaan perustuvaa mittatikkukilpailua.

Tulkintamme mukaan EV:n menettely kolmannella valvontajaksolla vastaa Weyman-Jonesin (2001) ehdotuksen 1. vaihetta. Siirtymäajan pituudeksi asetettiin Kuosmasen ym. (2010) selvityksen perusteella kaksi valvontajaksoa eli 8 vuotta. Jokaiselle verkkoyhtiölle vahvistettiin yrityskohtainen tehostamistavoite, jonka mukaisesti yhtiöt saavuttavat tehokkaan rintaman siirtymäajan kuluessa. Olisi näin ollen johdonmukaista, että siirtymäaika jatkuisi vielä neljännelle valvontajaksolle. Kolmannelle valvontajaksolle vahvistettujen yrityskohtaisten tehostamistavoitteiden päivittämistä vastaamaan neljännen valvontajaksolle ehdotettuja kustannusrintamamallin uudistuksia tarkastellaan luvussa 10.

Mikäli verkkoyhtiöiden tehokkuus kehittyi kohti kustannusrintamaa tehostamistavoitteiden mukaisesti, olisi viidennellä valvontajaksolla mahdollista siirtyä kustannusrintamaan perustuvaan tehostamiskannustimeen, jolloin siirtymäajan yrityskohtaisista tehostamistavoitteista voitaisiin luopua kokonaan. Kustannusrintama määrittelee kaikille yhtiöille tasapuolisesti tehokkaan toiminnan mukaisen kustannustason normaalien toimintaolosuhteiden vallitessa, huomioiden yhtiöiden ja niiden toimintaympäristöjen heterogeenisuuden. Siirtymäajan yrityskohtaiset tehostamistavoitteet ovat lyhyellä aikavälillä perusteltu keino tarjota tehottomille yhtiöille riittävä sopeutumisaika. Kuitenkin yhtiöiden tasapuolisen kohtelun ja tehostamiskannustimen uskottavuuden kannalta olisi tärkeitä, että siirtymäaika ei jatketa loputtomasti, vaan että tehottomat yhtiöt joutuvat siirtymäajan jälkeen kohtaamaan taloudellisia sanktioita mikäli ne eivät tehosta toimintaansa. Uskottava tehostamiskannustin ei voi katsoa tehotonta toimintaa loputtomasti läpi sormien tai unohtaa edelliselle valvontajaksolle asetettuja tavoitteita valvontajakson vaihtuessa. Shleifer (1985) toteaa:

*”On olennaista, että valvontaviranomainen sitoutuu jättämään yhtiöiden valitukset huomioimatta ja antaa yhtiöiden mennä konkurssiin mikäli ne valitsevat tehottoman kustannustason. Ellei valvontaviranomainen kykene uskottavasti uhkaamaan, että tehottomat yhtiöt menettävät rahaa (tai vaihtoehtoisesti todistamaan oikeudessa, että yhtiöt valitsivat tehottomuuden ja että niiden käytännöt ovat pittaamattomia), kustannussäästöjä ei voida saada aikaan.”*

Shleifer (1985), s. 323, kirjoittajien suomennos.

Työryhmämme näkemyksen mukaan olisi tärkeitä, että seuraavilla jaksoilla sovellettavien valvontamenetelmien valmistelussa käytäisiin riittävästi rakentavaa keskustelua myös tehostamiskannustimen periaatteista. Haluamme korostaa, että tehostamiskannustimessa sovellettavat laskukaavat ja muut tekniset yksityiskohdat eivät ole mielivaltaisesti valittuja, vaan ne voidaan johtaa yleisemmistä valvontamallia ohjaavista periaatteista. Työryhmämme arvion mukaan EV:n nykyisin soveltaman valvontamallin keskeisille periaatteille on esitettävissä vahvat mikrotalousteoriaan nojautuvat perustelut. Tämän luvun tarkoituksena oli pyrkiä kuvaamaan näitä periaatteita lyhyesti ja yleistajuisesti, jotta tehostamiskannustimen keskeinen merkitys kohtuullisen tuoton säätelyyn perustuvassa valvontamallissa hahmottuisi selkeämmin.



### 3. StoNED-menetelmän kehitys tutkimuskirjallisuudessa

Tehokkuusanalyysi on monitieteinen tutkimusalue, jossa kohtaavat mm. taloustieteen, kauppatieteiden, operaatiotutkimuksen ja tilastotieteen tutkimusperinteet.<sup>3</sup> StoNED-menetelmä (engl. *Stochastic Nonparametric Envelopment of Data*) tarjoaa yleisen menetelmäkehikon, joka kykenee yhdistämään eri tutkimusperinteistä kumpuavat parhaat käytännöt saumattomaksi ja johdonmukaiseksi kokonaisuudeksi.

Tutkimusalalla ja erityisesti StoNED-menetelmässä on tapahtunut huomattavaa kehitystä Kuosmanen ym. (2010) laatiman selvityksen jälkeen (ks. esim. Kuosmanen ym., 2014). Kuosmanen & Kortelainen (2012) esittivät menetelmän perusteet *Journal of Productivity Analysis* –aikakauslehdessä julkaistussa vertaisarvioidussa artikkelissa. Hieman tätä ennen Kuosmanen & Johnson (2010) osoittivat *Operations Research* –lehdessä julkaisemassaan artikkelissa, että DEA menetelmä voidaan johtaa erikoistapauksena yleisemmästä StoNED-menetelmästä. Johnson & Kuosmanen (2011, 2012) osoittivat, että StoNED-menetelmään voidaan liittää yritysten ja niiden toimintayritysten heterogeenisuutta kuvaavia  $z$ -muuttujia. Näitä kaikkia menetelmäinnovaatiota sovellettiin jo Kuosmanen ym. (2010) laatimassa selvityksessä (ks. myös Kuosmanen, 2012; Kuosmanen ym., 2013; Saastamoinen & Kuosmanen, 2014).

StoNED-menetelmän keskeisimmät rajoitteet vuonna 2010 olivat seuraavat:

- Menetelmä soveltui ainoastaan yhden panosmuuttujan ja useita tuotosmuuttujia sisältävän (tai vaihtoehtoisesti yhden tuotoksen ja useita panoksia sisältävän) mallin estimointiin.
- Menetelmä perustui tehottomuus- ja virhetermiä koskeviin jakaumaoletuksiin, joista varsinkin tehottomuusermin puolinormaali jakauma on vaikeasti perusteltava oletus.
- Menetelmä oli laskennallisesti niin vaativa, että sen soveltaminen yli 200 havaintoyksikköä sisältäviin aineistoihin oli laskennallisesti äärimmäisen vaativaa ellei mahdotonta.

Kaikkien näiden kolmen rajoitteen osalta on tapahtunut huomattavaa edistystä ja rajoitteet ovat lieventyneet huomattavasti tai poistuneet kokonaan.

Useiden panos- ja tuotosmuuttujien mallintamisen keskeisin haaste koski havaintoaineiston generoivaa todennäköisyysmallia ja sen oletuksia. Jo Kuosmanen (2006) osoitti, että StoNED-menetelmä laajenee helposti etäisyysfunktioita hyödyntäen useita panos- ja tuotosmuuttujia sisältävän mallin estimointiin. Kesti kuitenkin useita vuosia ymmärtää millaisia oletuksia tämän estimaattorin käyttäminen edellyttää. Tuore tutkimus Kuosmanen, Johnson & Parmeter (2014) osoittaa, että etäisyysfunktion konsistentti estimointi edellyttää varsin lieviä tilastollisia oletuksia.

Useita tuotoksia ja panoksia käsittävä tuotantoteknologia voidaan myös esittää ns. panostarvefunktion (engl. *input requirement function*) avulla (mm. Diewert, 1974; Kumbhakar, 2013). Tällöin yksi panosmuuttujista (tässä selvityksessä KOPEX) mallinnetaan muiden panos- ja tuotosmuuttujien funktiona. Mikäli tehostamistavoite halutaan kohdentaa nimenomaan yhteen muuttuvaan panostekijään (KOPEX) ja muut panokset ja tuotokset ovat lyhyellä aikavälillä likimain muuttumattomia, on panostarvefunktion käyttäminen perusteltua. Mikäli tehostamistavoite kohdennettaisiin myös

---

<sup>3</sup> Alan klassikoihin lukeutuvat mm. Koopmans (1951), Farrell (1957), Afriat (1972), Aigner ym. (1977) ja Charnes ym. (1978).

pääomapanokseen ja mahdollisesti keskeytyskustannuksiin, olisi panosetäisyysfunktion käyttö perusteltua. Ns. suuntaetäisyysfunktion soveltamisen hankaluutena on se, että se vaatii etukäteen asetettavan suuntavektorin, jonka objektiiviseen perustelemiseen ei ole olemassa selkeitä kriteereitä. Vaikka myös etäisyysfunktioon perustuva mallintaminen on teknisesti ja tilastollisesti mahdollista, tässä selvityksessä sovelletaan panostarvefunktion perustuvaa rintamamallia, jossa KOPEX mallinnetaan muiden panos- ja tuotosmuuttujien funktiona.

Myös rajoittavista jakaumaoletuksista voidaan luopua. Kuosmanen, Johnson & Parmeter (2014) estimoivat tehottomuustermin odotusarvon StoNED-menetelmän ensimmäisessä vaiheessa laskettujen CNLS-residuaalien perusteella soveltaen kernel dekonvoluutioon perustuvaa menetelmää, joka on alun perin esitetty artikkelissa Hall & Simar (2002). Kernel dekonvoluutiota sovelletaan mm. kuvan ja signaalin käsittelyssä taustakohinan poistamiseen. Tehokkuusanalyyseissä menetelmän avulla voidaan tunnistaa tehokkaan rintaman sijainti satunnaisvirheen sisältävien regressio-residuaalien jakauman perusteella.

Myös StoNED-menetelmän laskenta-algoritmeissa on tapahtunut merkittävää kehitystä. Lee, Johnson, Moreno-Centeno & Kuosmanen (2014) esittävät StoNED-menetelmän ensimmäisessä vaiheessa käytettävään CNLS-regressioon räätälöidyn CNLS+ algoritmin, jossa CNLS-regressio-ongelma ratkaistaan iteratiivisesti sitovia rajoitteita päivittäen. CNLS+ algoritmin avulla StoNED-menetelmää voidaan soveltaa aikaisempaa huomattavasti enemmän havaintoyksiköitä sisältäviin aineistoihin. Tämä on hyödyllistä varsinkin paneeliaineiston mallintamisen kannalta: tässä selvityksessä tarkastellaan tasapainottamatonta paneelimallia, jossa on mukana 89 yhtiötä 8 vuoden ajanjaksolta, yhteensä 690 havaintoa. Näin suuren havaintoaineiston estimointi kohtuullisessa ajassa ilman CNLS+ algoritmia olisi käytännössä mahdotonta.

Tässä selvityksessä sovellettava rintamamalli voidaan esittää formaalisti seuraavan yhtälön avulla

$$\ln x_{i,t} = \ln IR(\mathbf{x}_{i,t}, \mathbf{y}_{i,t}) + \boldsymbol{\delta}' \mathbf{z}_{i,t} + u_{i,t} + v_{i,t},$$

missä

$x_{i,t}$  on yhtiön  $i$  muuttuva panos (KOPEX) vuonna  $t$ ,

$IR$  on panostarvefunktio, joka täyttää asetetut monotonisuus-, konveksisuus- ja skaalatuottoehdot (ks. tarkemmin tekninen liite),

$\mathbf{x}_{i,t}$  on yhtiön  $i$  kiinteiden panosten vektori vuonna  $t$ ,

$\mathbf{y}_{i,t}$  on yhtiön  $i$  tuotosvektori vuonna  $t$ ,

$\boldsymbol{\delta}$  on heterogeenisuuden marginaalivaikutuksia kuvaava vektori,

$\mathbf{z}_{i,t}$  on yhtiön  $i$  heterogeenisuutta kuvaavien tekijöiden vektori vuonna  $t$ ,

$u_{i,t}$  on yhtiön  $i$  tehottomuus vuonna  $t$ ,

$v_{i,t}$  on yhtiön  $i$  satunnaisvirhe vuonna  $t$ .

Malli täyttää kaikki selvityksen tavoitteissa mainitut kriteerit: malli huomioi useita panos- ja tuotosmuuttujia, yhtiöiden ja niiden toimintaympäristöjen heterogeenisuuden, erottelee tehottomuuden satunnaisvirheistä sekä hyödyntää paneeliaineistoa. Mallia ei ole mielekäästä estimoida perinteisten DEA- tai SFA -menetelmien avulla, koska ne vaativat erittäin rajoittavia lisäoletuksia. Tässä selvityksessä

mallin estimointiin sovelletaan StoNED-menetelmää, joka on DEA- ja SFA-menetelmien kehittyneempi versio. Mallin ja menetelmän tarkemmat yksityiskohdat on esitetty tämän raportin lopussa olevassa teknisessä liitteessä.

## 4. Muuttujat ja aineisto

### 4.1 Tarkasteltava ajanjakso

Tässä selvityksessä tarkasteltava aineisto kattaa vuodet 2005 – 2012 eli 1. ja 2. valvontajakson kokonaisuudessaan sekä 3. valvontajakson ensimmäisen vuoden. Uusimpia vuoden 2013 tietoja ei ole tämän selvityksen puitteissa saatavissa.

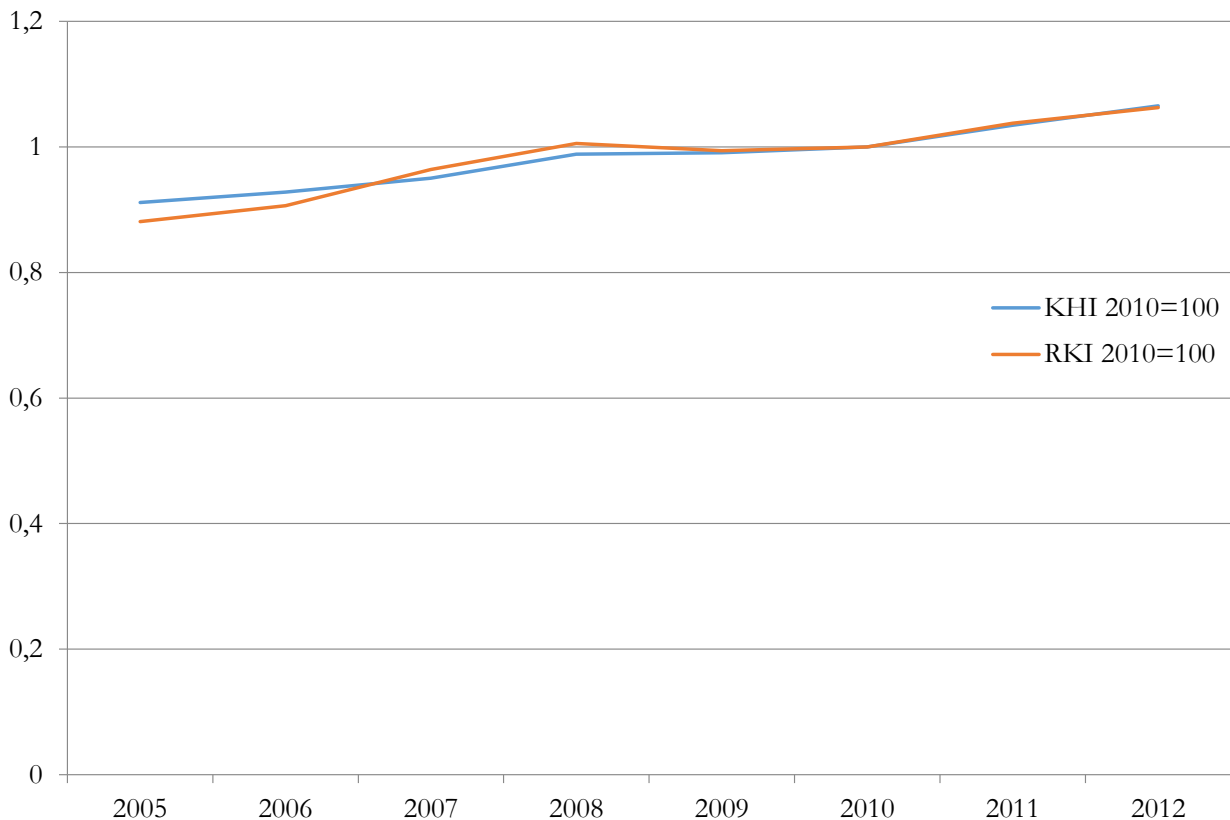
Rintamamallin estimoinnissa käytettävä aineisto on ns. tasapainottoman paneeli (engl. *unbalanced panel*), jossa on mukana kaikkiaan 89 jakeluverkonhaltijaa. Näistä 9 jakeluverkonhaltijaa on fuusioitunut toisen jakeluverkonhaltijan kanssa tarkastelujakson aikana tai sen jälkeen. Alalta poistuneet yhtiöt käsitellään aineistossa erillisinä havaintoyksikköinä siihen saakka, kunnes toiminta itsenäisenä verkonhaltijana päättyy. Toisin sanoen fuusioituvia yhtiöitä ei yhdistetä jälkikäteen laskennallisesti yhdeksi havaintopisteeksi. Fuusioituneet yhtiöt käsitellään yhtenä havaintoyksikkönä siitä vuodesta lähtien, kun verkonhaltijoiden EV:lle ilmoittamat tiedot on yhdistetty samaan yhtiöön.

Tasapainottoman paneeliaineiston käyttämiselle rintamamallin estimoinnissa voidaan esittää seuraavat perustelut:

- 1) Tasapainottoman aineiston käyttäminen kasvattaa havaintoaineiston otoskokoa, mikä parantaa tilastollisen estimaattorin tarkkuutta verrattuna tasapainotettuun paneeliin, josta fuusioituneet yhtiöt poistetaan jälkikäteen. Vuosien 2005 – 2012 aineiston perusteella muodostettu tasapainottoman paneeli sisältää 51 havaintopistettä enemmän kuin tasapainotettu paneeli. Mikäli fuusioita tapahtuu myös tulevaisuudessa, voi havaintoaineiston koko olla merkittävä estimoinnin tarkkuuteen vaikuttava tekijä.
- 2) Fuusioituneiden yhtiöiden laskennallinen yhdistäminen jälkikäteen jättää huomioimatta fuusion myötä syntyvät synergiaedut ja päällekkäisten toimintojen karsimisesta saatavat kustannussäästöt. Panostarvefunktion skaalatuotto- ja konveksisuus-ominaisuuksien takia jälkikäteen laskennallisesti yhdistetyn yhtiön tehokkuus on väistämättä alhaisempi, kuin kahden erikseen tarkastellun yhtiön tehokkuuslukujen painotettu keskiarvo.
- 3) Paneeliaineiston tasapainottaminen jättää huomioimatta ns. luovaan tuhoon perustuvan tuottavuuskasvun, joka perustuu siihen, että tehottomien yhtiöiden poistuessa toimialalta resurssit kohdetaan tehokkaammin toimiville yhtiöille. Olley & Pakes (1996) osoittavat amerikkalaisten puhelin-yhtiöiden aineistolla, että alalta poistuvien tehottomien toimijoiden vaikutus toimialan tuottavuuteen voi olla merkittävä.

Eräiden yhtiöiden tapauksessa fuusioituminen tapahtuu vuosien 2012 ja 2016 välillä, jolloin fuusioituvan yhtiön toiminnasta ei ole saatavissa empiiristä aineistoa. Näille yhtiöille voidaan siirtymäajan verkonhaltijakohtainen tehostamistavoite laskea kahdella vaihtoehdoisella tavalla. Ensimmäinen vaihtoehto on käyttää fuusioituvan yhtiön tehostamistavoitteen perusteena suuremman yhtiön tehokkuuslukua olettaen, että pienemmän yhtiön tehokkuus asettuu fuusion myötä samalle tasolle kuin suuremmassa yhtiössä. Toinen vaihtoehto on yhdistää yhtiöt laskennallisesti jälkikäteen yhtiöiden panosten ja tuotosten summien perusteella, jolloin näin muodostetun havaintoyksikön etäisyys tehokkaasta rintamasta voidaan laskea jälkikäteen Excel-taulukkolaskentasovellutuksen avulla. On etukäteen mahdotonta arvioida, kumpi edellä esitetyistä laskutavoista kuvaa paremmin fuusioituvan yhtiön tehokkuuden tasoa seuraavalla valvontajaksolla. Voidaan kuitenkin varmuudella todeta, että panostarvefunktion skaalatuotto- ja konveksisuus-ominaisuuksien takia ensimmäinen vaihtoehto tuottaa vuoden 2012 jälkeen fuusioituvalla yhtiöllä korkeamman tehokkuusluvun.

Euromääräiset panosmuuttujat on deflatoitu vuoden 2010 rahanarvoon käyttäen Tilastokeskuksen julkaiseman kuukausittaisen kuluttajahintaindeksin (KHI) huhti-kesäkuun pistelukujen keskiarvoa EV:n soveltaman inflaatiokorjausmenettelyt mukaisesti. KHI:n pisteluvun kehitys tarkastelujakson aikana EV:n soveltamaa laskutapaa käyttäen esitetään kuviossa 4.1. Vertailun vuoksi kuviossa esitetään myös rakennuskustannusindeksin (RKI) kehitys vastaavana ajanjaksona. Koska yleinen hintataso on kasvanut tarkastelujaksolla varsin tasaisesti ja maltillisesti, KHI:n ja RKI:n muutoksissa ei voida havaita kovin suurta eroa.



Kuvio 4.1: Euromääräisten panosmuuttujien deflatoinnissa sovelletun kuluttajahintaindeksin (KHI) sekä rakennuskustannusindeksin (RKI) kehitys tarkastelujaksolla.

#### 4.2 Panosmuuttujat

Toisella valvontajaksolla 2008 – 2011 tehostamiskannustimen yrityskohtaisten tehokkuuslukujen laskennassa sovellettiin kokonaiskustannusta (TOTEX), joka koostui kontrolloitavissa olevien operatiivisten kustannusten (KOPEX), verkon jälleenhankinta-arvosta tehtävän tasapoiston (JHATP) ja keskeytyksistä aiheutuneen haitan (KAH) summasta. Kuitenkin tehostamiskannustimessa tehostamistavoite kohdennettiin yksinomaan KOPEX komponenttiin, mikä osoittautui varsin ongelmalliseksi.

Kolmannella valvontajaksolla 2012 – 2015 panosmuuttujana sovellettiin kokonaiskustannusta, joka koostui KOPEX:n ja puolikkaan KAH:n summasta. Toinen puoli KAH:sta on mukana laatukannustimessa. Yhtiöiden pääomakantaa kuvaava JHATP jätettiin mallista kokonaan pois, koska pääomakanta on lyhyellä aikavälillä kiinteä panos, jonka tehostamismahdollisuudet ovat lyhyellä aikavälillä varsin rajalliset. Toisaalta kiinteä kustannus huomioidaan mallissa jo kertaalleen verkkoon sitoutuneen pääoman kohtuullisen tuoton laskennan kautta, joten kaksinkertaisen laskennan välttämiseksi on mielestämme perusteltua kohdistaa tehostamiskannustin muuttuviin kustannuksiin.

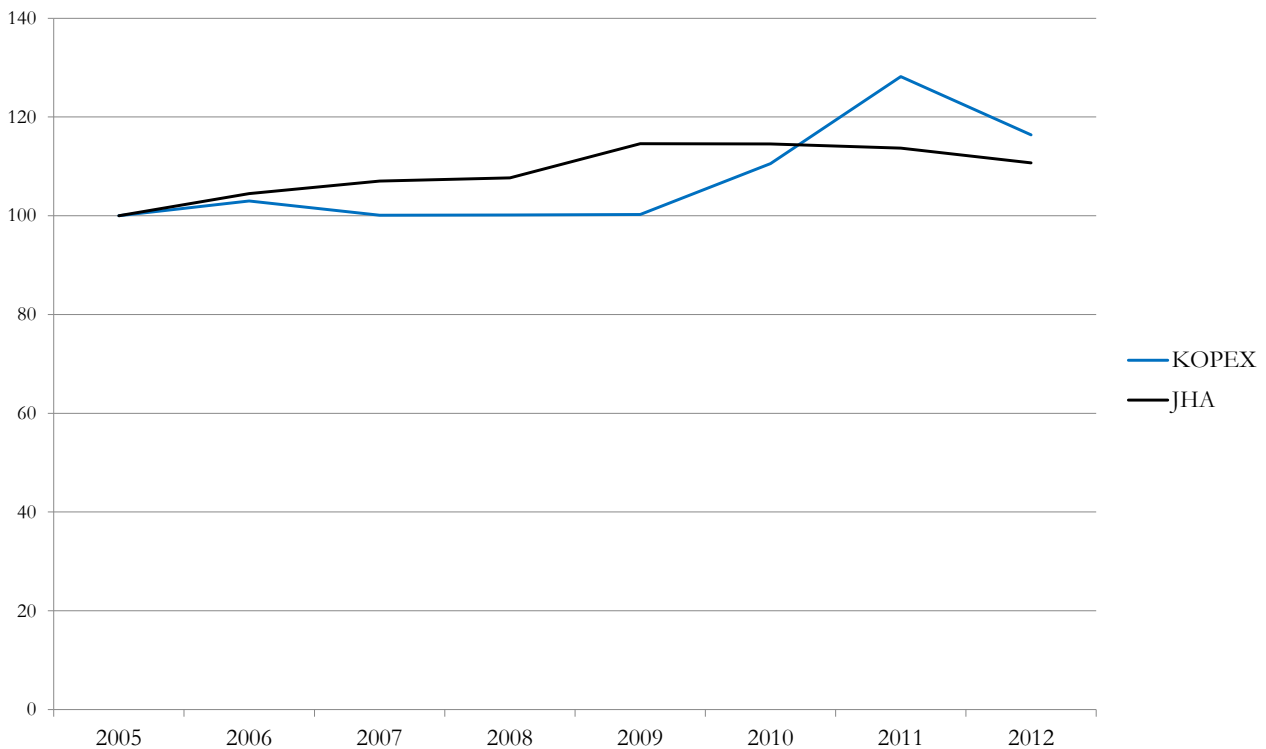
Koska yhtiöitten vuosittaisten toteutumien mallintaminen erillisinä havaintoina paneeliaineistoon perustuvan mallin avulla mahdollistaa aikaisempaa huomattavasti suuremman havaintojen määrän ( $n = 690$ ), voidaan panostekijöitä tarkastella aikaisempaa yksityiskohtaisemmalla jaottelulla. Tämän selvityksen tulosten perusteella ehdotetaan mallia, jossa huomioidaan kaksi erillistä panosmuuttujaa:

- KOPEX muuttuvana panoksena (engl. *variable input*), johon kohdistetaan tehostamistavoite.
- Verkon jälleenhankinta-arvo (JHA) kiinteänä panoksena (engl. *fixed input*), johon ei kohdistu tehostamistavoitetta.

Aikaisemmasta menettelystä poiketen keskeytyskustannus KAH ehdotetaan mallinnettavaksi tuotosten puolella ei-toivottuna tuotosmuuttujana (engl. *undesirable output*), ks. tarkemmin luku 4.4.

On syytä korostaa, että KOPEX ja JHA käsitellään erillisinä panosmuuttujina eikä niitä missään vaiheessa lasketa yhteen, jolloin JHA voidaan käsitellä varantosuureena (pääomakannan arvo) muuntamatta sitä virtasuureeksi (esim. pääoman vuosikustannus). Tällöin mallissa ei tarvitse huomioida pääoman poistoastetta ja sen vaihtoehtoiskustannusta, joiden objektiivinen määrittäminen on hankalaa. Kahden erillisen panosmuuttujan malli mahdollistaa kiinteän pääomakannan huomioimisen ilman, että siihen kohdistuu tehostamistavoitetta. JHA:n huomioiminen panosmuuttujana parantaa mallin selitysasetta ja siten toimialan tehokkuus on suurempi verrattuna malliin, jossa JHA jätetään huomioimatta.

Panosmuuttujien KOPEX ja JHA kehitys koko toimialan tasolla tarkastelujakson aikana esitetään kuviossa 4.2 (indeksi 2005 = 100). Toimialan yhteenlaskettu KOPEX pysyi lähes muuttumattomana tarkastelujakson ensimmäisten 5 vuoden ajan. Vuosina 2010 – 2011 KOPEX kasvoi rajusti, johtuen muun muassa useita verkkoyhtiöitä koetelleista myrskytuhoista. Toimiajan JHA kasvoi varsin tasaisesti tarkastelujakson alkuvuosina, mutta kääntyi hienoiseen laskuun vuoden 2009 jälkeen.



Kuvio 4.2: Panosmuuttujien kehitys toimialan tasolla tarkastelujaksolla (indeksi, 2005 = 100).

#### 4.3 Toivotut tuotokset

Toivottujen tuotosmuuttujien osalta seuraamme EV:n nykyisin soveltamaa käytäntöä, jossa tuotokset  $y$  koostuvat kolmesta muuttujasta

- $y_1$  = Siirretty sähköenergia (GWh) jännitetasoittain painotettuna
- $y_2$  = Jakeluverkon kokonaispituus (km)
- $y_3$  = Verkkoon liitettyjen käyttäjien määrä (kpl)

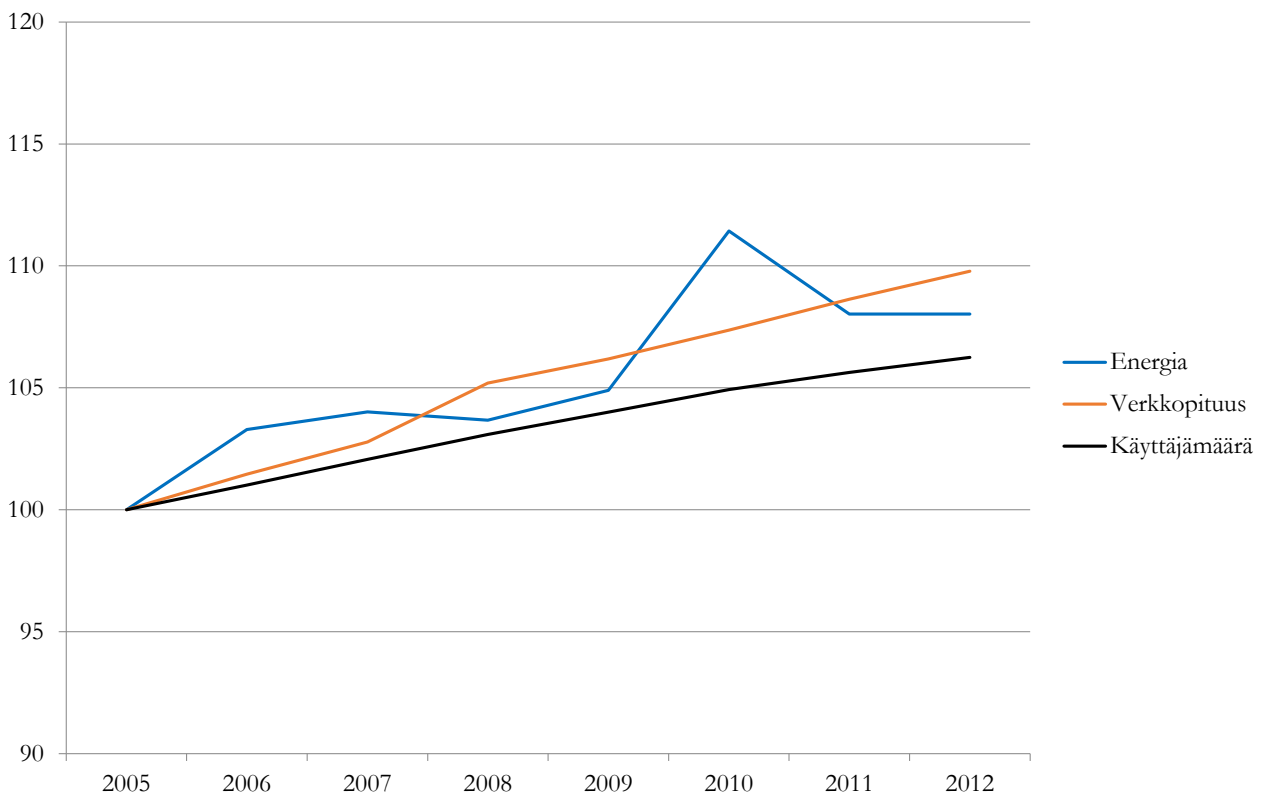
Tuotosmuuttuja  $y_1$  kuvaa toteutunutta siirtopalvelua, kun taas tuotosmuuttujat  $y_2$  ja  $y_3$  ovat luonteeltaan kapasiteettia kuvaavia tuotoksia. Joissakin tutkimuksissa (mm. Filippini & Wild, 2001)  $y_2$  tulkitaan panosmuuttujaksi, mutta tämä tulkinta on mielestämme virheellinen: jakeluverkon pituutta kasvattamalla ei voida tuottaa lisää sähköä siirtoa, eikä jakeluverkon pituutta lisäämällä voida myöskään korvata panosmuuttujia KOPEX ja JHA, vaan jakeluverkon pituuden kasvattaminen väistämättä kasvattaa myös panostarvetta.

Tuotosmuuttujan  $y_1$  määrittelyssä sovellamme kulutukseen ja verkkoihin siirretyn sähkömäärää (GWh), joka on painotettu eri jännitetasojen (0,4 kV, 1-70 kV ja 110 kV) keskimääräisillä siirtohinnoilla. Tuotosmuuttujan  $y_1$  laskemiseksi on tässä tutkimuksessa käytetty seuraavia kiinteitä painokertoimia:

Jännitetaso:	0,4 kV	1 – 70 kV	110 kV
Painokerroin:	1	0,44560	0,20696

Painokertoimet on määritetty valtakunnallisten keskimääräisten siirtohintojen perusteella vuosilta 2003 – 2006 (ks. Kuosmanen ym., 2010). Käyttämällä kiinteitä painoja yli koko tarkastelujakson turvataan tuotosmuuttujan  $y_1$  vertailukelpoisuus eri vuosien välillä.

Kuvio 4.3 havainnollistaa tuotosmuuttujien kehitystä tarkastelujakson aikana koko toimialan tasolla (indeksi 2005 = 100). Koska tuotosmuuttujat ovat varsin vakaita, muutosten havainnollistamiseksi kuvion pystyakseli on skaalattu välille [90, 120], jolloin vuosimuutokset tulevat paremmin esiin (huom! kuvioiden 4.1 ja 4.2 erilainen asteikko). Kuvioiden skaalaus on syytä ottaa huomioon varsinkin siirretyn energian vuosimuutoksia tarkasteltaessa: noin 6 pisteen muutos siirretyn energian indeksissä vuodesta 2009 vuoteen 2010 ei ole niin raju muutos, kuin miltä kuvion 4.3 silmämääräisen tarkastelun perusteella saattaa vaikuttaa.



Kuvio 4.3: Tuotosmuuttujien kehitys toimialan tasolla tarkastelujaksolla (indeksi, 2005 = 100).

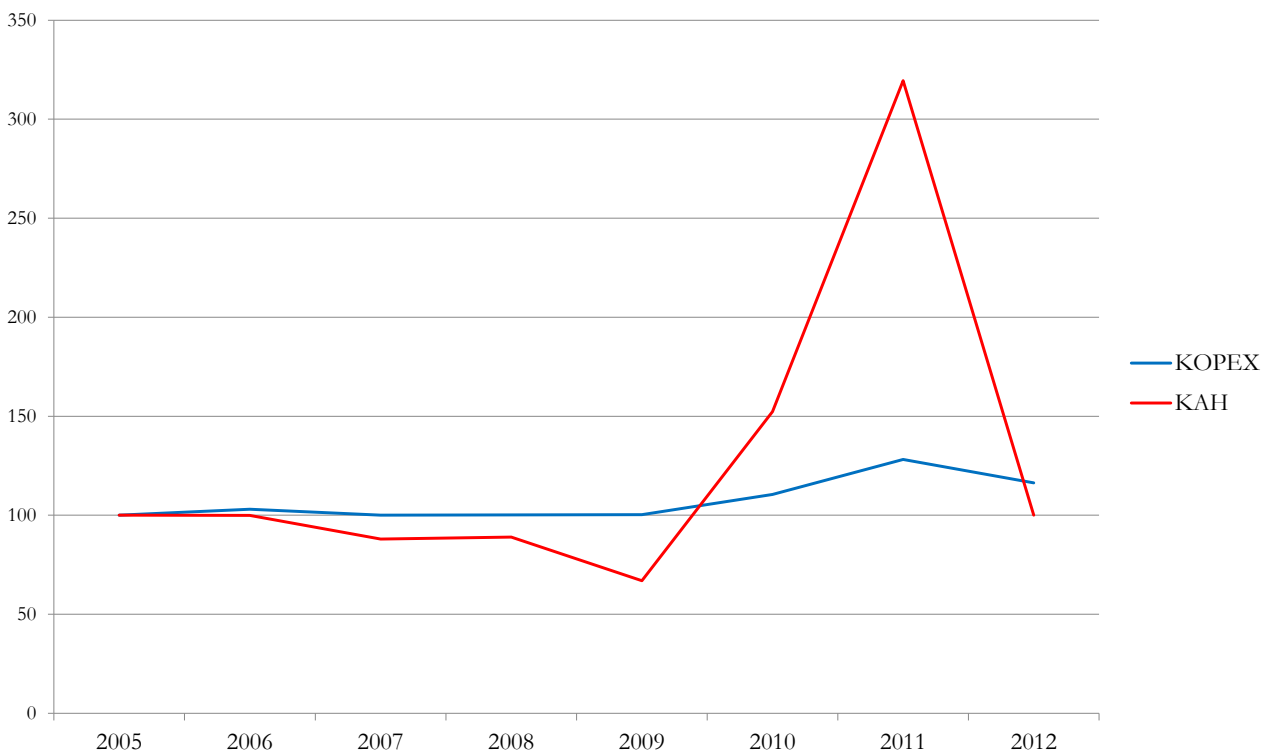
Tuotosmuuttujana käytetty siirretty sähköenergia (GWh) huomioi hyvin sähköverkon keskimääräisen kuormituksen ja siitä aiheutuvat kustannukset. Sähköverkon suurinta kuormitusta kuvaavaa huipputeho (engl. *peak load*) tai verkon keskiteho ja huipputehon suhdelukua (engl. *load factor*) on myös joissakin tutkimuksissa käytetty kustannusrintamamallin tuotoksina (ks. esim. Kopsakangas-Savolainen & Svento, 2008). Jakeluverkon kapasiteettia ei käytännössä voida mitoittaa pelkästään keskimääräisen kuormituksen kannalta optimaaliseksi, vaan käytännössä yhtiöiden täytyy huomioida myös verkon huipputeho sähkön toimitusvarmuuden turvaamiseksi. Huipputehon käyttäminen valvontamallin tuotosmuuttujana on kuitenkin jossakin määrin ongelmallista mallin kannustinvaikutusten näkökulmasta: huipputehon tuotosmuuttujana sisältävä malli voi luoda yhtiöille

väärän kannustimen pyrkiä välttämään huipputehon alenemista tai jopa pyrkiä huipputehon kasvattamiseen. Toisaalta siirretty sähköenergia korreloi hyvin vahvasti verkkoon vastaanotetun tuntikeskitheon maksimiarvojen kanssa, kuten myös Kuosmanen ym. (2010) toteavat. Siten verkon huipputehon lisääminen malliin tuotosmuuttujaksi aiheuttaisi kustannusrintamamallin tilastollisen estimoinnin näkökulmasta vakavia ongelmia ns. *multikollineaarisuusongelman* takia. Lisäksi myös jakeluverkon pituus ja käyttäjämäärä voidaan tulkita verkon potentiaalista kapasiteettia kuvaaviksi tuotosmuuttujiksi.

Hankkeessa selvitettiin mahdollisuutta käyttää verkon keskitheon ja huipputehon suhdelukua (engl. *load factor*) toimintaympäristöä kuvaavana  $\alpha$ -muuttujana. Tästä tarkemmin luvussa 6.2.

#### 4.4 Ei-toivotut tuotokset

Tarkastelujakson aikana useat verkkoyhtiöt kohtasivat erittäin merkittäviä myrskyjen aiheuttamia tuhoja varsinkin vuosina 2010 ja 2011. Tämä näkyi selvästi kuviossa 4.4, joka havainnollistaa KAH:n kehitystä koko toimialan tasolla tarkastelujakson aikana (indeksi 2005 = 100). Vertailun vuoksi kuvioon on otettu mukaan myös KOPEX. Tarkastelujakson alkuvuosina keskeytyskustannukset laskivat huomattavasti aina vuoteen 2009 saakka. Suurmyrskyt vuonna 2010 ja erityisesti vuonna 2011 nostivat useissa yhtiössä KAH:n moninkertaiseksi aikaisempiin vuosiin verrattuna. Tämä asettaa erittäin merkittävän käytännöllisen haasteen tehokkuusmittauksen kehittämiseksi.



Kuvio 4.4: Keskeytyskustannuksen (KAH) kehitys toimialan tasolla tarkastelujaksolla (indeksi, 2005 = 100).



Kuten luvussa 4.2 jo mainittiin, tämän selvityksen tulosten perusteella ehdotetaan keskeytyskustannus KAH mallinnettavaksi ei-toivottuna tuotosmuuttujana eli *haitakkeena*. KAH ei ole luonteeltaan tuotantopanos: KAH:a kasvattamalla ei voida saada aikaan yhtään enempää tuotosta, eikä KAH ole toiminnan kannalta välttämätön. KAH on sivutuote, jota kukaan ei toivo, mutta jonka välttämisestä aiheutuu kustannuksia. Siten KAH on luonteeltaan hyvin samankaltainen kuin esimerkiksi fossiilisten polttoaineiden käytön sivutuotteena muodostuvat ympäristölle haitalliset kasvihuonekaasu- ja rikkidioksidipäästöt.

Tuotantoteoriassa haitakkeiden mallintamisessa sovelletaan ns. vapaan hävitettävyyden oletusta (esim. Färe ym., 2005). Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, KAH:n mallintaminen haitakkeena sallii sekä positiiviset että negatiiviset varjohinnat, jolloin KAH:n vaikutus KOPEX:iin voi olla positiivinen tai negatiivinen. Yhtiöt, joiden KAH-arvo on alhainen, voivat käyttää korkeata laatutasoa ja jakeluvarmuutta kilpailutekijänä kun yhtiöiden kustannustehokkuutta verrataan suhteessa muihin yhtiöihin. Näille yhtiöille KAH:n varjohinta on negatiivinen. Toisaalta yhtiöt, joita kohtaa poikkeuksellisen ankara myrsky, voivat KAH:n positiivisen varjohinnan myötä käyttää korkeita KAH-arvoja perusteena korkeammille operatiivisille kustannuksille. Tämä on mielestämme perusteltua, koska keskeytyksistä asiakkaille maksettavat vakiokorvaukset sisältyvät KOPEX:iin.

Jos KAH mallinnetaan ehdotuksen mukaisesti ei-toivottuna tuotoksena, jonka varjohinta voi olla positiivinen tai negatiivinen, nykyisessä valvontamallissa sovellettavaa KAH:n kattotasoa ei enää tarvita. Ehdotettu malli huomioi poikkeuksellisen suuret myrskytuhot automaattisesti ilman erillistä KAH leikkuria. Tämän lisäksi malli sallii myrskytuhoista kärsivälle verkkoyhtiölle jopa normaalia korkeamman KOPEX:n tason tarvittavia korjaustoimenpiteitä ja asiakkaille maksettavia vakiokorvauksia varten.

On kuitenkin syytä korostaa, ettei KAH:n positiivinen tai negatiivinen kerroin määräydy mielivaltaisesti, vaan verkonhaltijoiden välisen kustannuskilpailun kautta. Käytännössä positiivisen KAH-vaikutuksen kynnyсарvo on erittäin korkea, koska KAH-arvojen täytyy olla poikkeuksellisen suuria muihin jakeluverkonhaltijoihin verrattuna, jotta yhtiön toiminta vaikuttaisi kilpailukykyiseltä yhtiöiden välisessä tehokkuusvertailussa. Koska verkonhaltijoiden joukossa on poikkeuksellisen suurista myrskytuhoista kärsineitä yhtiöitä, positiivisella KAH-vaikutuksella keinottelemisen ei ole kannattavaa. Normaaliooloissa KAH:n vaikutus KOPEX:iin on negatiivinen, joten KAH:n mallintaminen ei-toivottuna tuotoksena luo edelleen kannustimen panostaa jakeluverkon kunnossapitoon.

#### 4.5 Toimintaympäristöä kuvaavat muuttujat

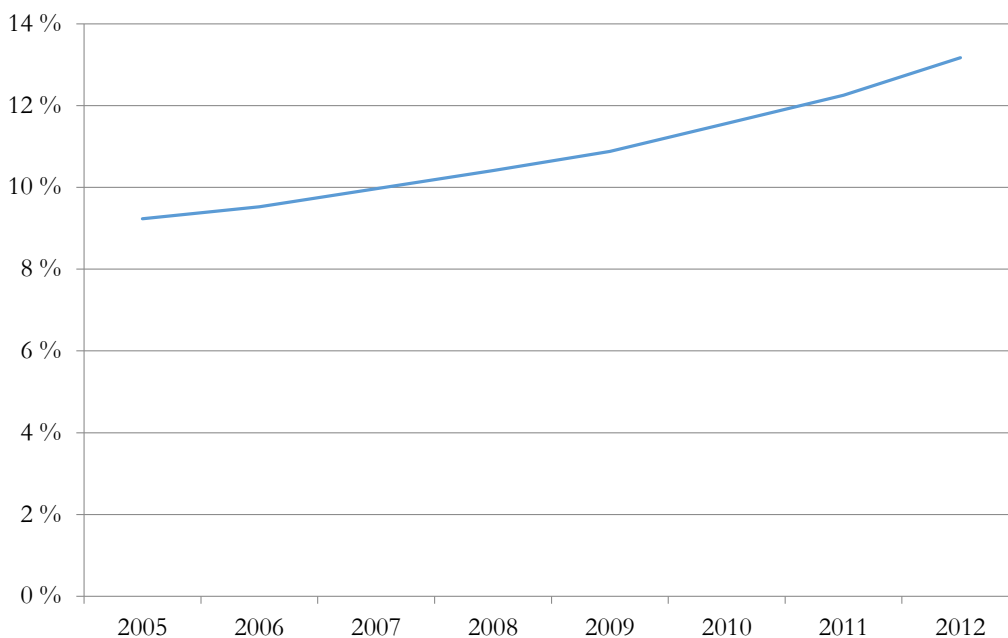
Tuotosmuuttujina mallinnetut verkkopituus ja käyttäjämäärä (ja niiden suhdeluku verkkopituus / käyttäjä) erottelevat varsin hyvin taajamissa ja haja-asutusalueella toimivat verkkoyhtiöt toisistaan. Tämän selvityksen perusteella ehdotetussa mallissa huomioidaan lisäksi JHA kiinteänä panostekijänä sekä KAH ei-toivottuna tuotoksena, mikä myös osaltaan parantaa mallin erottelukykyä.

Kolmannella valvontajaksolla sovelletussa mallissa huomioitiin varsinaisten panos- ja tuotosmuuttujien lisäksi keskijänniteverkon maakaapelointiaste toimintaympäristöä kuvaavana  $\alpha$ -muuttujana. Kuosmasen ym. (2010) selvityksessä todettiin, että maakaapelointiasteen lisääminen malliin kasvattaa mallin selitysasetta, ja auttaa huomioimaan varsinkin suurten kaupunkien toimintaympäristön aikaisempaa

paremmin. Vaikka maakaapelointiaste selittää tilastollisessa mielessä verkkoyhtiöiden välisiä kustannuseroja, sen käyttämiseen tehostamiskannustimessa sisältyy myös seuraavia merkittäviä ongelmia:

- 1) Maakaapelointiaste ei ole verkkoyhtiöille eksogeeninen, ulkoa päin annettu tekijä, vaan pikemminkin yhtiön strateginen valinta.
- 2) Maakaapelointiasteen sisällyttäminen valvontamallin asettaa muut toimitusvarmuutta parantavat tekniset ratkaisut eriarvoiseen asemaan. Valvontamallin ei tulisi suosia tiettyä teknistä ratkaisua, vaan kannustaa verkkoyhtiöitä valitsemaan kuhunkin toimintaympäristöön sopiva kokonaistaloudellisesti edullinen ratkaisu.
- 3) Maakaapelointiasteen kasvaessa muuttujan erottelukyky ja tilastollinen selitysvoima heikkenee eikä se pidemmän päälle enää vastaa alkuperäistä käyttötarkoitustaan (kaupunkimaisen toimintaympäristön huomioiminen).

Kuvio 4.5 havainnollistaa keskijänniteverkon maakaapelointiasteen kehitystä tarkastelujaksolla. Prosenttiluvut on laskettu kaikkien verkkoyhtiöiden yhteenlasketun keskijänniteverkon maakaapelointiasteen perusteella. Kuvioista 4.5 havaitaan, että maakaapelointiaste on kasvanut koko tarkastelujakson tasaisesti 9,2 prosentista vuonna 2005 13,2 prosenttiin vuonna 2012, keskimäärin noin 5 % vuodessa.



*Kuvio 4.5: 1 – 70 kV keskijänniteverkon verkkopituudella painotetun keskimääräisen maakaapelointiasteen kehitys tarkastelujaksolla*

Edellä mainittujen ongelmien ehkäisemiseksi on tässä selvityksessä tutkittu muita mahdollisia toimintaympäristöä kuvaavia tekijöitä, jotka kykenevät selittämään verkkoyhtiöiden välisiä tehokkuuseroja, mutta jotka eivät ole suoraan verkkoyhtiöiden kontrolloitavissa. Toimintaympäristöä

kuvaavien tekijöiden tulee olla vuosittain luotettavasti mitattavissa ja todennettavissa tasapuolisesti kaikkien verkkoyhtiöiden osalta. Tämä sulkee tarkastelusta pois esimerkiksi mahdolliset säähavaintoihin perustuvat indikaattorit, koska paikalliset sääolosuhteet voivat vaihdella varsinkin suurten verkkoyhtiöiden toiminta-alueella huomattavasti ja toisaalta hetkellisiä sääolosuhteita on vaikea yhdistää vuositasolla tehtävään laskentaan.

Tämän selvityksen tulosten perusteella ehdotetaan sovellettavaksi toimintaympäristöä kuvaavana muuttujana verkkoon liitettyjen liittymien määrää jaettuna verkkoon liitettyjen käyttäjien määrällä (L/K –suhde). Tämä  $\xi$ -muuttuja ovat suhdelukuja, joka voidaan laskea EV:n keräämien tietojen perusteella ja todentaa kohtuullisen luotettavasti. L/K –suhdeluku ottaa huomioon kuinka suuri osuus käyttäjistä on liitetty verkkoon saman liittymän kautta, esimerkiksi kerrostaloissa. L/K –suhdeluku on rajattu nollan ja ykkösen välille. L/K –suhdeluku on pienin Helen Sähköverkko Oy:llä, noin 9 % vuonna 2012. Monilla haja-asutusalueella toimivilla verkkoyhtiöillä L/K –suhdeluku on tasan 100 % tai hyvin lähellä sitä.

## 5. Tulokset

### 5.1 *Estimoitu panostarverintama*

Ehdotetun regressiomallin selitysaste on korkea: 0,97. Toisin sanoen malli kykenee selittämään noin 97 % operatiivisissa kustannuksissa havaittavista eroista eri verkkoyhtiöiden sekä eri vuosien välillä. On syytä huomata, että nykyisellä valvontajaksolla sovellettavan poikkileikkausmallin ja tässä selvityksessä ehdotetun paneelimallin selitysasteet eivät ole suoraan vertailukelpoisia, koska poikkileikkausmalli ei huomioi lainkaan muuttujien vuosittaista vaihtelua. Korkea selitysaste johtuu ainakin osittain valtavista kokoeroista pienimpien ja suurimpien verkkoyhtiöiden välillä. Korkeasta selitysasteesta huolimatta verkkoyhtiöiden välille jää huomattavia tehokkuuseroja, joita ei voida selittää käytössä olevien panos, tuotos tai  $\xi$ -muuttujien avulla.

Koska tarkasteltavassa rintamamallissa on mukana kaksi panosmuuttujaa, kolme toivottua tuotosta sekä yksi ei-toivottu tuotos, estimoidun panostarverintaman graafinen havainnollistaminen on hankalaa. Estimoitua rintamaa on siten mielekästä tarkastella panosten ja tuotosten varjohintojen kautta. Keskimääräiset varjohinnat ja niiden keskihajonta, mediaani, minimi ja maksimi esitetään taulukossa 5.1. Selvyden vuoksi todettakoon, että tunnusluvut on laskettu 690 havaintopisteen varjohintojen perusteella, ei kaikkien mahdollisten estimoidun rintaman sisältämien varjohintojen perusteella.

*Taulukko 5.1: Panosten ja tuotosten estimoidut varjohinnat (keskiarvo, keskihajonta, mediaani, minimi, maksimi)*

	Keskiarvo	Keskihajonta	Mediaani	Minimi	Maksimi
Energia (s/kWh)	2,388	5,883	1,761	0	144,943
Verkkopituus (€/km)	263,12	398,91	230,42	0	4 101,09
Käyttäjämäärä (€/käyt.)	41,69	40,85	33,26	0	614,14
KAH	-1,558	11,819	-0,071	-270,84	0,109
JHA	0,0076	0,0414	0,0002	0	0,9521

StoNED-menetelmässä varjohinnat asetetaan siten, että yhtiöiden toiminta näyttää mahdollisimman suotuisassa valossa ja koko toimialan tehokkuus maksimoituu. Keskimääräiset varjohinnat vaikuttavat olevan suuruusluokaltaan mielekkäitä. On kuitenkin syytä korostaa, että yhtiökohtaiset ja vuosittaiset vaihtelut varjohinnoissa ovat erittäin suuria. Varjohintojen asettaminen perustuu tehokkuusanalyysin logiikkaan (vrt. mittatikkukilpailu). Todellisten markkinoiden puuttuessa rintamamallin varjohinnat voidaan tulkita virtuaalisiksi markkinoiksi, joiden puitteissa yhtiöt kilpailevat kustannustehokkuudessa toisiin verkonhaltijoihin verrattuna. Kullekin yhtiölle valitaan StoNED-menetelmällä estimoitujen varjohintojen joukosta ne hinnat, joiden perusteella arvioituna yhtiön toiminta näyttää kaikkein kilpailukykyisimmässä valossa.

Esimerkiksi verkkopituuden vaikutus operatiivisiin kustannuksiin on keskimäärin noin 260 €/km, mutta suurimmillaan vaikutus on yli 4 tuhatta €/km. Yhtiö, jolla on pitkä jakeluverkko suhteessa muihin tuotoksiin, näyttää tehokkuusmittauksen kannalta kilpailukykyisimmillään silloin, kun verkkopituuden varjohinnaksi asetetaan erittäin korkea lukuarvo. Verkkopituuden korkea varjohinta kuitenkin edellyttää, että siirretyn energian ja käyttäjämäärän varjohinnoiksi asetetaan vastaavasti hyvin alhaiset arvot, jopa nolla. On syytä korostaa, että yksikään yhtiö ei voi valita kaikille tuotoksille korkeita varjohintoja, vaan keskimääristä korkeamman varjohinnan käyttäminen laskee muiden tuotosten varjohintoja. Näin varjohinnat pyrkivät huomioimaan yhtiöiden ja niiden toimintaympäristöjen heterogeenisuuden: kustannusrintamamallissa yhtiöt kilpailevat operatiivisilla kustannuksilla muita vastaavanlaisen tuotosprofiilin ja pääomakannan omaavia yhtiöitä vastaan.

KAH on mallissa määritelty ei-toivotuksi tuotokseksi, jolloin sen vaikutus voi olla KOPEX:ia vähentävä (negatiiviset arvot) tai kasvattava (positiiviset arvot). Suurimmalle osalle yhtiöiden vuosittaisista havainnoista (noin 70 %) KAH:n varjohinta on negatiivinen, mutta itseisarvoltaan pieni. Pienimmillään KAH:n vaikutus on noin -270, mutta näin alhaiset negatiiviset arvot ovat poikkeuksellisia. Kaikkein pienimmät KAH:n varjohinnat asetetaan yhtiöille, joiden keskeytyskustannus on muihin verkonhaltijoihin verrattuna poikkeuksellisen alhainen. Nämä yhtiöt voivat perustella korkeampia operatiivisia kustannuksia sillä, että ne kykenevät ennaltaehkäisemään keskeytyksiä muita verkkoyhtiöitä paremmin. Toisaalta KAH:n varjohinta voi olla myös positiivinen, jolloin KAH:lla on KOPEX:a kasvattava vaikutus. Suurimmat positiiviset KAH:n varjohinnat kohdistuvat erityisesti niihin yhtiöihin, jotka ovat kärsineet poikkeuksellisen suurista myrskytuhoista. Nämä yhtiöt voivat perustella korkeampia operatiivisia kustannuksia myrskyn aiheuttamilla vahingoilla. KAH:n varjohinta on kuitenkin suurimmillaankin vain 0,1. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että poikkeuksellisen suuri KAH-arvo kasvattaa rintamamallin mukaista KOPEX:a 0,1 kertaa kyseisen KAH-arvon verran. Normaalioloissa toimiva yhtiö ei kykene kilpailemaan KAH-arvoissa myrskytuhoista kärsineiden yhtiöiden kanssa, vaan yleensä KAH:n ehkäiseminen kasvattaa mallin mukaista sallittua KOPEX:ia.

JHA on määritelty kiinteäksi panokseksi, joten sen varjohinnat esitetään taulukossa 5.1 positiivisina lukuina. Koska JHA on panos, sen vaikutus KOPEX:iin on aina KOPEX:ia pienentävä: operatiivisia kustannuksia voidaan jossakin määrin korvata pääomainvestoinneilla. Kuitenkin JHA:n vaikutus on suurimmalle osalle yhtiöistä hyvin alhainen, likimain nolla. Suurimmillaan JHA:n vaikutus on 0,95. Kertoimia tulkittaessa tulee huomioida, että JHA on varantosuure (pääomakanta) kun taas KOPEX on virtasuure (vuosittainen kustannuserä). Yhtiölle, jonka JHA on alhainen suhteessa tuotosten tasoon,

kannattaa asettaa positiivinen varjohinta JHA:lle, jolloin alhaisen JHA:n avulla voidaan perustella korkeammat operatiiviset kustannukset.

### 5.2 Toimintaympäristön vaikutus

Toimintaympäristöä kuvaavana muuttujana käytettiin suhdelukua L/K (= verkkoon liitettyjen liittymien määrä jaettuna verkkoon liitettyjen käyttäjien määrällä). L/K –suhdeluku on tilastollisesti erittäin merkitseviä selittäjä alle 1 prosentin merkitsevyytasolla. Toimintaympäristöä kuvaavan muuttujan diagnostiset regressiotestin raportoidaan taulukossa 5.2. L/K –suhdeluvun positiivinen kerroin tarkoittaa sitä, että mitä useampi käyttäjä on liittynyt verkkoon saman liittymäpisteen kautta, sitä alhaisemmat ovat operatiiviset kustannukset.

Taulukko 5.2: Toimintaympäristöä kuvaavan muuttujan vaikutus

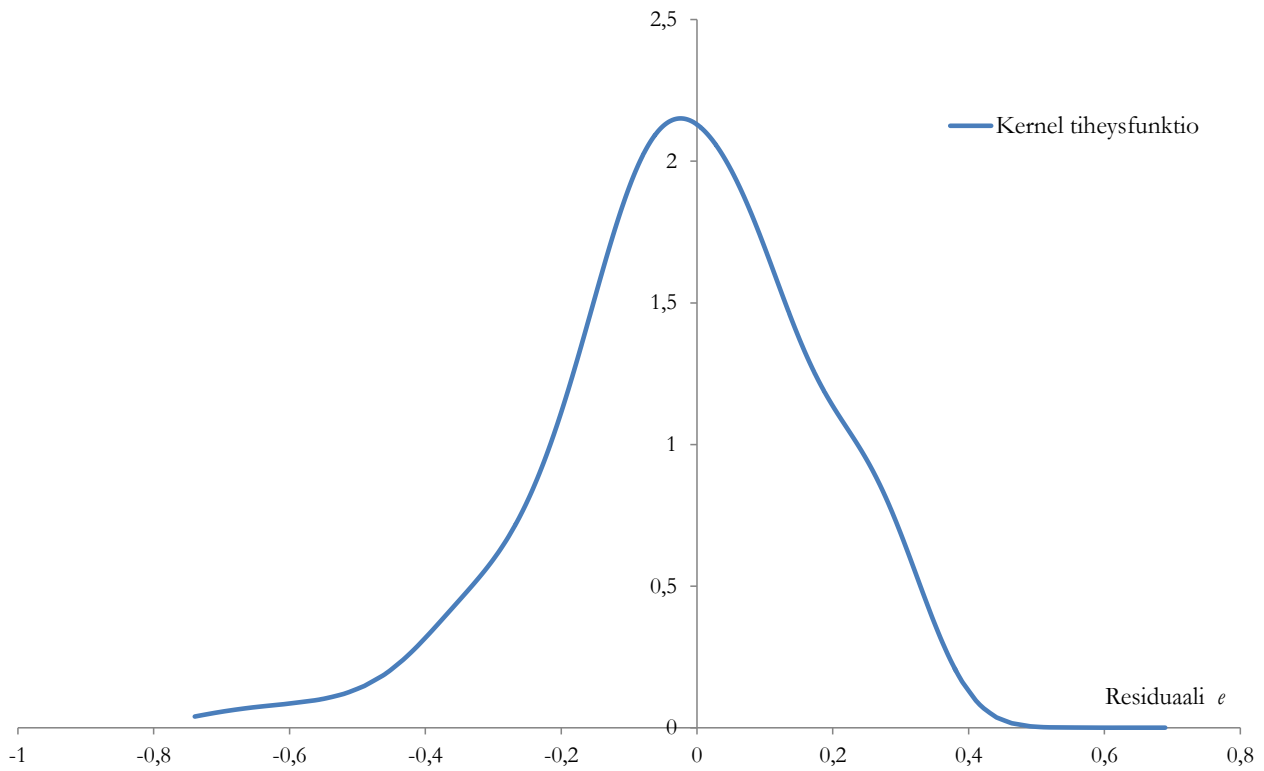
	Kerroin	Keskivirhe	<i>p</i> -arvo	95%:n alaraja	95%:n yläaraja
L/K-suhde	0,588	0,033	0,000	0,523	0,653

### 5.3 Tehokkuusestimatit

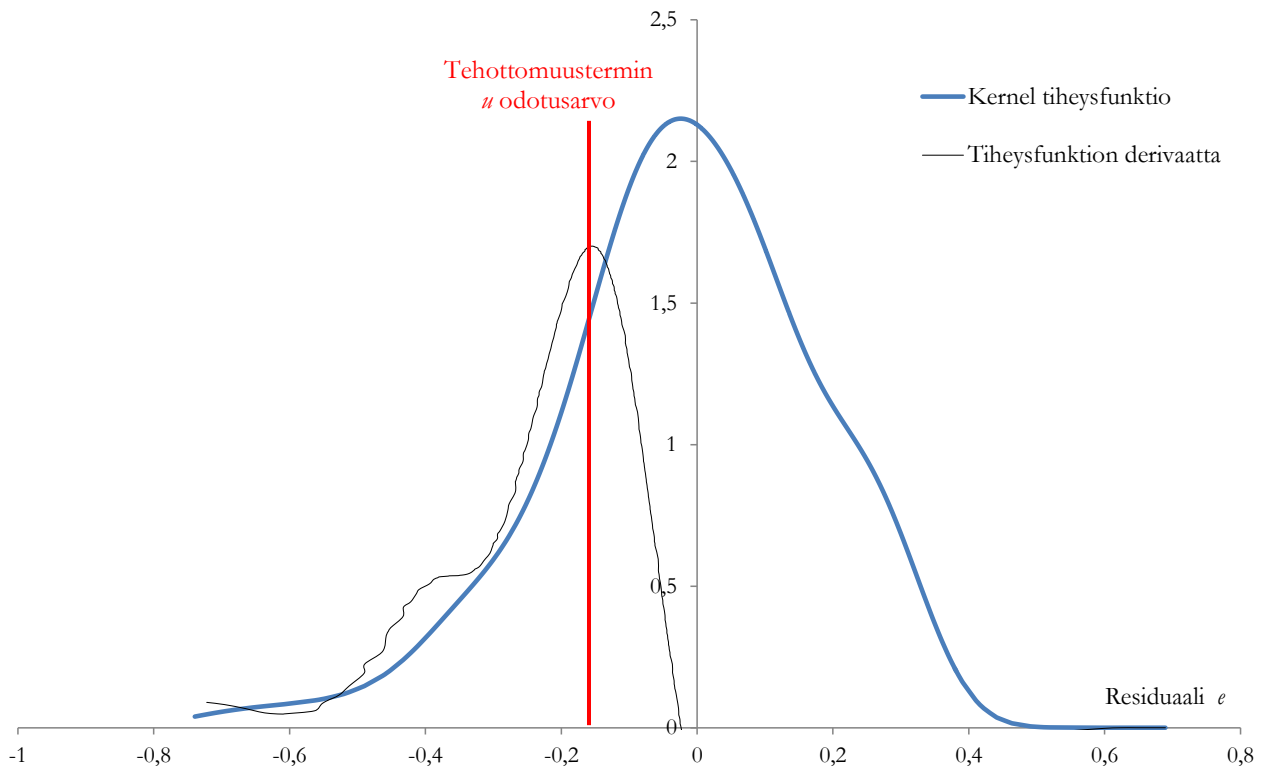
Tehokkuutta mitataan seuraavassa estimoidun panostarvefunktion mukaisen minimikustannuksen ja havaitun operatiivisen kustannuksen osamääränä. Näin määritelty tehokkuusmittari voi saada ykköstä suurempia arvoja, jos verkkoyhtiö toimii estimoitua rintamaa kustannustehokkaammin.

Tehottomuustermien odotusarvo ( $E(u_i)$ ) estimoidaan tässä selvityksessä ilman rajoittavia jakaumaoletuksia soveltaen Hallin & Simarin (2002) esittämällä kernel dekonvoluutioon perustuvaa menetelmää. Kuviot 5.1 ja 5.2 havainnollistavat estimointimenetelmän periaatteen.

StoNED-menetelmän ensimmäisessä vaiheessa ratkaistaan Teknisen liitteen (luku TL.2.3) kaavassa (4) esitetty pienimmän neliösumman ongelma. Ongelman optimiratkaisuna saadaan regressioresiduaalit  $\epsilon$ , jotka mittaavat kullekin havainnolle KOPEX:n poikkeamaa sen ehdollisesta odotusarvosta. Regressioresiduaalien  $\epsilon$  perusteella voidaan satunnaismuuttujan  $u + v - E(u)$  jakauma estimoida käyttäen ei-parametrista kernel-estimaattoria. Estimoidun jakauman tiheysfunktio esitetään kuviossa 5.1. Kuvioista 5.1 voidaan silmämääräisestikin havaita, että jakauman muoto poikkeaa normaalijakauman mukaisesta kellokäyrästä. Jakauma on oikealle vino, mikä on selkeä merkki tehottomuudesta (ks. Kuosmanen & Fosgerau, 2009). Vinous johtuu epäsymmetrisestä tehottomuustermistä  $u$ , joka on kustannusrintamamallin mukaisesti oikealle vino ja positiivinen. Kuten jo edellä todettiin, kuvio 5.1 kuvaa satunnaismuuttujan  $u + v - E(u)$  jakaumaa, joten sen odotusarvo on määritelmän mukaisesti nolla.



Kuvio 5.1: Kernel-menetelmällä estimoitu residuaalien jakauman tiheysfunktio



Kuvio 5.2: Kernel dekonvoluutioon perustuva tehottomuuden odotusarvon määrittäminen

Tehottomuustermi  $u$  on määritelmän mukaisesti suurempi tai yhtä suuri kuin nolla. Tätä voidaan hyödyntää  $u$ :n odotusarvon estimoinnissa. Hall & Simar osoittavat, että satunnaismuuttujan  $u + v - E(u)$  tiheysfunktion derivaatta saa suurimman arvonsa kohdassa, jossa  $u = 0$ . Toisin sanoen tiheysfunktion arvo kasvaa voimakkaimmin kohdassa, jossa tehottomuustermien vaikutus alkaa. Kuviossa 5.2 esitetään satunnaismuuttujan  $u + v - E(u)$  tiheysfunktion lisäksi tiheysfunktion derivaatta, sekä kohta, jossa derivaattafunktio saa suurimman arvonsa (punainen pystysuora viiva). Tehottomuustermien  $u$  odotusarvo voidaan lukea vaaka-akselilla olevasta asteikosta.

Kaikkien paneeliaineistoon sisältyvän 690 havainnon keskimääräiseksi tehokkuudeksi saadaan hieman korkeampi luku, 88 %. Vertailun vuoksi mainittakoon, että nykyisellä valvontajaksolla sovelletun mallin mukainen tehokkuuskeskiarvo on 83 %.

Jotta tässä selvityksessä esitetyistä kehittämis ehdotuksesta voidaan käydä rakentavaa keskustelua, ehdotetun mallin tuottamien tulosten havainnollistamiseksi verkkoyhtiökohtaiset vuosittaiset tehokkuusestimaatit esitetään taulukossa 5.3. Taulukosta on poistettu fuusioituneet yhtiöt. On syytä korostaa, että taulukossa esitetyt tehokkuusluvut ovat suuntaa antavia. Taulukossa esitetyt tehokkuusluvut ei sovelleta sellaisenaan valvontamallissa, vaan neljännellä valvontajaksolla sovellettava malli suositellaan estimoitavaksi uudestaan huomioiden mm. vuoden 2013 tilastoaineisto. Myös mallin rakenteeseen, muuttujiin ja myös yksittäisten yhtiöiden lukuarvoihin voi tulla muutoksia ja korjauksia, jotka saattavat vaikuttaa yhtiökohtaisiin tehokkuusestimaatteihin.

Kaikkiaan 17 yhtiötä toimii keskimäärin estimoitua panostarverintamaa tehokkaammin. Kaikkein tehokkaimpina yhtiöinä erottuvat Oulun Seudun Sähkö Verkko-palvelut Oy ja Pellon Sähkö Oy, joiden tehokkuus on kaikkina tarkastelujakson vuosina huomattavasti yli tehokkaan toiminnan mukaisen 100 %:n tason. Haukiputaan Sähköosuuskunnan tehokkuus on keskimäärin alhaisin, tosin tämän yhtiön tehokkuus on kehittynyt lupaavasti tarkastelujakson aikana kasvaen 45 %:n tasolta vuonna 2005 selvästi yli 60 %:n tason vuosina 2010 ja 2011.

Myrskyjen seurauksena kasvaneet KAH-arvot aiheuttavat suuriakin tehokkuuslukujen vuosimuutoksia, varsinkin pienemmillä yhtiöillä. Eräs myrskyistä kärsineistä yhtiöistä on Joroisten Energialaitos, jonka tehokkuusluku saa pahimpana myrskyvuonna 2010 poikkeuksellisen korkean arvon. Tämä johtuu siitä, että yhtiön KAH on kyseisen vuoden myrskyjen seurauksena moninkertainen normaaliin verrattuna, mikä kasvattaa ehdotetussa mallissa tehokkaan rintaman mukaista kustannusta, mutta KOPEX:n osalta myrskyjen vaikutus on havaittavissa vasta seuraavana vuonna. Siten yhtiön tehokkuusluku on vastaavasti normaalia alhaisempi vuonna 2011, koska KOPEX on normaalia korkeammalla tasolla, kun taas KAH on jo ehtinyt laskea alhaisemmalle tasolle. Edellä mainitun esimerkin kaltainen tehokkuusluvun suuri volatilitteetti voi myös muiden yhtiöiden kohdalla johtua siitä, että myrskyjen vaikutukset kohdentuvat KOPEX:n ja KAH:n osalta eri kalenterivuosille (erityisesti kalenterivuoden loppupuolelle osuvat myrskyt). Tämä on syytä huomioida taulukossa 5.3 esitettyjen vuosittaisten tehokkuuslukujen tulkinnassa. Koska valvontajakson pituus on neljä vuotta, yksittäisen vuoden lukuarvoihin sisältyvät mahdolliset kirjanpidolliset kohdentamisongelmat ehtivät tasoittua varsin hyvin valvontajakson aikana.

*Taulukko 5.3: Verkkoyhtiökohtaiset vuosittaiset tehokkuusestimaatit ja niiden keskiarvo*

<b>Verkkoyhtiön nimi</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>Keskiarvo</b>
Alajärven Sähkö Oy	85 %	80 %	83 %	78 %	85 %	89 %	73 %	80 %	<b>82 %</b>
Loiste Sähköverkko Oy	88 %	80 %	83 %	75 %	72 %	65 %	65 %	68 %	<b>74 %</b>
Ekenäs Energi	82 %	93 %	100 %	95 %	68 %	74 %	61 %	83 %	<b>82 %</b>
Elenia Oy <sup>1</sup>	95 %	89 %	91 %	102 %	100 %	85 %	86 %	96 %	<b>93 %</b>
Enontekiön Sähkö Oy	94 %	103 %	81 %	75 %	73 %	86 %	82 %	90 %	<b>86 %</b>
ESE-Verkko Oy	112 %	106 %	95 %	99 %	93 %	104 %	107 %	110 %	<b>103 %</b>
Esse Elektro-Kraft Ab	77 %	85 %	86 %	81 %	77 %	56 %	58 %	66 %	<b>73 %</b>
Etelä-Suomen Energia Oy	78 %	81 %	75 %	95 %	91 %	90 %	84 %	91 %	<b>86 %</b>
Forssan Verkkopalvelut Oy	77 %	76 %	93 %	85 %	89 %	100 %	91 %	98 %	<b>89 %</b>
Caruna Espoo Oy <sup>2</sup>	75 %	87 %	67 %	84 %	92 %	99 %	77 %	83 %	<b>83 %</b>
Caruna Oy <sup>3</sup>	99 %	86 %	101 %	88 %	100 %	92 %	59 %	69 %	<b>87 %</b>
Haminan Energia Oy	86 %	86 %	52 %	55 %	66 %	79 %	69 %	70 %	<b>70 %</b>
Haukiputaan Sähköosuuskunta	44 %	46 %	52 %	54 %	57 %	62 %	64 %	55 %	<b>54 %</b>
Helen Sähköverkko Oy	68 %	73 %	82 %	89 %	90 %	86 %	90 %	98 %	<b>84 %</b>
Herrfors Nät-Verkko Oy Ab	98 %	98 %	102 %	123 %	140 %	105 %	106 %	100 %	<b>109 %</b>
Iin Energia Oy	93 %	91 %	63 %	71 %	80 %	87 %	90 %	92 %	<b>83 %</b>
Imatran Seudun Sähkönsiirto Oy	70 %	98 %	99 %	87 %	94 %	63 %	83 %	92 %	<b>86 %</b>
Jakobstads Energiverk	158 %	163 %	111 %	109 %	104 %	85 %	101 %	108 %	<b>117 %</b>
Jeppo Kraft Andelslag	97 %	81 %	105 %	107 %	98 %	92 %	136 %	93 %	<b>101 %</b>
JE-Siirto Oy	79 %	88 %	97 %	96 %	100 %	97 %	103 %	113 %	<b>96 %</b>
Joroisten Energialaitos	76 %	79 %	85 %	103 %	78 %	179 %	62 %	58 %	<b>90 %</b>
Jylhän Sähköosuuskunta	66 %	64 %	69 %	66 %	67 %	63 %	59 %	60 %	<b>64 %</b>
Järvi-Suomen Energia Oy	125 %	129 %	117 %	125 %	119 %	95 %	85 %	97 %	<b>112 %</b>
Kemin Energia Oy	78 %	79 %	82 %	76 %	76 %	77 %	69 %	70 %	<b>76 %</b>
Keminmaan Energia Oy	82 %	80 %	81 %	85 %	84 %	86 %	73 %	95 %	<b>83 %</b>
KENET Oy	86 %	80 %	103 %	105 %	116 %	101 %	123 %	105 %	<b>102 %</b>
Keravan Energia Oy	65 %	68 %	62 %	59 %	58 %	64 %	68 %	76 %	<b>65 %</b>
Keuruun Sähkö Oy	80 %	86 %	96 %	92 %	78 %	70 %	71 %	60 %	<b>79 %</b>
Koillis-Lapin Sähkö Oy	66 %	64 %	72 %	80 %	79 %	81 %	78 %	78 %	<b>75 %</b>
Koillis-Satakunnan Sähkö Oy	108 %	112 %	107 %	99 %	125 %	88 %	92 %	84 %	<b>102 %</b>
Kokemäen Sähkö Oy	104 %	103 %	105 %	99 %	110 %	112 %	83 %	70 %	<b>98 %</b>
Kronoby Elverk	109 %	86 %	84 %	96 %	102 %	92 %	95 %	89 %	<b>94 %</b>
KSS Energia Oy <sup>4</sup>	79 %	77 %	76 %	82 %	89 %	92 %	76 %	80 %	<b>81 %</b>
Kuopion Energia Liikelaitos	91 %	100 %	89 %	97 %	95 %	87 %	92 %	100 %	<b>94 %</b>
Kuoreveden Sähkö Oy	80 %	76 %	91 %	97 %	97 %	92 %	98 %	93 %	<b>91 %</b>
Kymenlaakson Sähköverkko Oy	75 %	74 %	79 %	80 %	84 %	78 %	81 %	80 %	<b>79 %</b>
Köyliön-Säkylän Sähkö Oy	102 %	92 %	99 %	103 %	140 %	122 %	108 %	93 %	<b>107 %</b>
Lammaisten Energia Oy	89 %	115 %	77 %	73 %	74 %	68 %	61 %	75 %	<b>79 %</b>
Lankosken Sähkö Oy	95 %	119 %	115 %	135 %	121 %	106 %	86 %	68 %	<b>106 %</b>
Lappeenrannan Energiaverkot Oy <sup>5</sup>	85 %	73 %	77 %	77 %	92 %	90 %	68 %	63 %	<b>78 %</b>
Lehtimäen Sähkö Oy	67 %	85 %	75 %	80 %	82 %	82 %	82 %	80 %	<b>79 %</b>
Leppäkosken Sähkö Oy	99 %	93 %	85 %	79 %	73 %	70 %	69 %	71 %	<b>80 %</b>
LE-Sähköverkko Oy	102 %	112 %	96 %	108 %	107 %	87 %	92 %	101 %	<b>101 %</b>



Muonion Sähköosuuskunta	92 %	92 %	97 %	90 %	89 %	64 %	67 %	63 %	<b>82 %</b>
Mäntsälän Sähkö Oy	71 %	83 %	67 %	63 %	64 %	54 %	54 %	52 %	<b>64 %</b>
Naantalin Energia Oy	66 %	75 %	81 %	65 %	71 %	76 %	58 %	68 %	<b>70 %</b>
Nurmijärven Sähkö Oy	71 %	73 %	78 %	85 %	77 %	87 %	67 %	82 %	<b>77 %</b>
Nykarleby Kraftverk	91 %	73 %	72 %	74 %	79 %	58 %	52 %	62 %	<b>70 %</b>
Oulun Energia Siirto ja Jakelu Oy	113 %	120 %	134 %	123 %	119 %	121 %	123 %	135 %	<b>124 %</b>
Oulun Seudun Sähkö Verkko- palvelut Oy	132 %	132 %	160 %	157 %	148 %	176 %	149 %	131 %	<b>148 %</b>
Outokummun Energia Oy	73 %	75 %	81 %	83 %	69 %	67 %	77 %	63 %	<b>73 %</b>
Paneliankosken Voima Oy	121 %	107 %	96 %	101 %	119 %	123 %	92 %	89 %	<b>106 %</b>
Parikkalan Valo Oy	81 %	79 %	76 %	71 %	74 %	43 %	68 %	68 %	<b>70 %</b>
Pellon Sähkö Oy	150 %	167 %	172 %	143 %	145 %	129 %	116 %	126 %	<b>143 %</b>
PKS Sähkösäilytys Oy	90 %	85 %	92 %	85 %	83 %	79 %	80 %	90 %	<b>86 %</b>
Pori Energia Sähköverkot Oy	77 %	87 %	82 %	94 %	107 %	104 %	94 %	98 %	<b>93 %</b>
Porvoon Sähköverkko Oy	97 %	93 %	97 %	94 %	107 %	100 %	88 %	86 %	<b>95 %</b>
Raahen Energia Oy	65 %	60 %	62 %	60 %	63 %	67 %	45 %	52 %	<b>59 %</b>
Rantakairan Sähkö Oy	99 %	101 %	106 %	112 %	116 %	118 %	127 %	124 %	<b>113 %</b>
Rauman Energia Oy	94 %	94 %	88 %	86 %	98 %	80 %	84 %	101 %	<b>91 %</b>
Rovakaira Oy	83 %	83 %	89 %	81 %	85 %	89 %	82 %	81 %	<b>84 %</b>
Rovaniemen Verkko Oy	63 %	70 %	81 %	75 %	81 %	62 %	65 %	64 %	<b>70 %</b>
Sallila Sähkösäilytys Oy	92 %	92 %	103 %	104 %	95 %	93 %	82 %	88 %	<b>94 %</b>
Savon Voima Verkko Oy	94 %	88 %	96 %	97 %	94 %	89 %	97 %	103 %	<b>95 %</b>
Seiverkot Oy	75 %	72 %	79 %	67 %	62 %	66 %	47 %	68 %	<b>67 %</b>
Tampereen Sähköverkko Oy	91 %	107 %	110 %	111 %	105 %	96 %	90 %	101 %	<b>101 %</b>
Tenergia Oy	88 %	90 %	85 %	91 %	85 %	91 %	86 %	95 %	<b>89 %</b>
Tornion Energia Oy	79 %	94 %	94 %	94 %	90 %	89 %	78 %	90 %	<b>89 %</b>
Tornionlaakson Sähkö Oy	125 %	119 %	123 %	112 %	111 %	116 %	108 %	105 %	<b>115 %</b>
Tunturiverkko Oy <sup>6</sup>	86 %	86 %	81 %	80 %	77 %	91 %	84 %	86 %	<b>84 %</b>
Turku Energia Sähköverkot Oy	77 %	86 %	91 %	90 %	85 %	86 %	73 %	87 %	<b>84 %</b>
Vaasan Sähköverkko Oy <sup>7</sup>	71 %	84 %	90 %	91 %	88 %	94 %	96 %	101 %	<b>90 %</b>
Vakka-Suomen Voima Oy	98 %	87 %	87 %	86 %	77 %	65 %	67 %	68 %	<b>79 %</b>
Valkeakosken Energia Oy	86 %	74 %	87 %	95 %	83 %	71 %	70 %	86 %	<b>81 %</b>
Vantaan Energia Sähköverkot Oy	97 %	95 %	96 %	100 %	96 %	92 %	87 %	96 %	<b>95 %</b>
Vatajankosken Sähkö Oy	95 %	94 %	89 %	85 %	79 %	73 %	57 %	59 %	<b>79 %</b>
Verkko Korpela Oy	97 %	93 %	79 %	117 %	106 %	119 %	114 %	118 %	<b>105 %</b>
Vetelin Sähkölaitos Oy	87 %	92 %	73 %	93 %	86 %	82 %	76 %	72 %	<b>83 %</b>
Vimpelin Voima Oy	74 %	79 %	80 %	72 %	78 %	58 %	68 %	66 %	<b>72 %</b>
Äänekosken Energia Oy	70 %	77 %	77 %	69 %	77 %	88 %	80 %	75 %	<b>77 %</b>

1 Entinen Vattenfall.

2 Entinen Fortum Espoo Distribution Oy.

3 Entinen Fortum Sähkösäilytys Oy.

4 Sisältää Iitin Sähkö Oy:n vuodesta 2011 lähtien.

5 Sisältää Joutsenon Energia Oy:n vuodesta 2009 lähtien.

6 Entinen Inergia Oy, sisältää Utsjoen Sähköosuuskunnan vuodesta 2011 lähtien.

7 Sisältää Laihian Sähkö Oy:n ja Vörä Elektricitetsverk Ab:n vuodesta 2006 lähtien.

## 6. Vaihtoehtoisten mallispesifikaation testaaminen ja herkkyysanalyysi

### 6.1 Useiden panosten ja tuotosten mallintaminen

Hankkeessa estimoitiin ehdotetun panostarvefunktion lisäksi myös useita panosetäisyysfunktioon sekä suuntaetäisyysfunktioon perustuvia mallispesifikaatioita. Nämä mallit tarjoavat teoreettisesti konsistentin, vaihtoehtoisen tavan mallintaa useita panos- ja tuotosmuuttujia. Selvityksen perusteella yhden muuttuvan panoksen mallintamiseen soveltuva panostarvefunktio vaikuttaa kuitenkin soveltuvammalta vaihtoehdolta seuraavista syistä.

Perinteisessä panosetäisyysfunktioon perustuvassa mallissa havainnot projisoidaan tehokkaalle kustannusrintamalle vähentämällä tai kasvattamalla molempien panosten (KOPEX ja JHA) arvoa samassa suhteessa, säilyttäen tuotosten ja toimintaympäristöä kuvaavien muuttujien arvot muuttumattomina. Mikäli tehostamistavoite kohdennettaisiin yhtäläillä molempiin panoksiin, olisi panosetäisyysfunktio suositeltava mallispesifikaatio. Tämä malli ei kuitenkaan huomioi JHA:n luonnetta lyhyellä aikavälillä kiinteänä panoksena. Jos malli estimoidaan ensin siten, että JHA oletetaan muuttuvaksi panokseksi, mutta valvontamenetelmissä JHA:han ei kohdisteta tehostamistavoitetta, tulisi panosetäisyysfunktioon perustuvia tehokkuuslukuja korjata jälkikäteen. Tämä laskennallinen korjaus on periaatteessa mahdollinen, mutta korjauksen seurauksena yhtiöiden väliset tehokkuuserot väistämättä kasvavat. On myös mahdollista, että kustannusrintamaa tehokkaamman ns. super-tehokkaan yhtiön (ts. yhtiön, jonka tehokkuus on suurempi kuin 100 %) panosetäisyysfunktion perusteella alun perin estimoitu äärellinen tehokkuusluku lähestyy laskennallisen korjauksen seurauksena ääretöntä. Näiden ongelmien välttämiseksi on perusteltua huomioida kaikki lyhyellä aikavälillä kiinteiksi arvioidut panokset ja tuotokset mallin selittävinä muuttujina, ja laskea tehokkuusluvut suhteessa niihin muuttujiin, jotka kuuluvat tehostamistavoitteen piiriin.

Edellä kuvatut ongelmat koskevat myös suuntaetäisyysfunktioita. Niiden lisäksi suuntaetäisyysfunktion estimointi vaatii etukäteen spesifioidun suuntavektorin (ks. esim. Färe ym., 2005; Kuosmanen ym., 2014), jonka määrittämiseen ei ole esitetty selkeitä kriteereitä. Kuosmanen, Johnson & Parmeter (2014) ovat tutkineet mahdollisuutta määrittellä suuntavektori empiirisesti tilastoaineiston perusteella, mutta tämä lähestymistapa vaatii mielestämme lisätutkimuksia ennen kuin se on sovellettavissa jakeluverkkoyhtiöiden valvontaan.

Ehdotetun panostarvefunktion hyvänä puolena on syytä tuoda esiin se, että kiinteät panostekijät mallinnetaan tuotosmuuttujien tapaan mallin selittävinä muuttujina, jolloin mallin estimointi ei vaadi minkäänlaisia teknisiä muutoksia verrattuna nykyisin sovellettavaan yhden kokonaistuotoksen malliin. Kyseessä on edelleen malli, joka sisältää yhden selitettävän muuttujan ja useita selittäviä muuttujia.

### 6.2 Paneeliaineiston mallintaminen

Ehdotettu mallispesifikaatio ei sisällä aikatrendiä tai vuosikohtaisia dummy-muuttujia, vaan estimoitu panostarverintama on sama koko tarkastelujakson ajan (ks. tekninen liite TL.4). Paneeliaineiston mallintamisen osalta hankkeessa testattiin tarkastelujakson aikana tapahtuvan teknisen kehityksen mallintamista aikatrendin sekä vaihtoehtoisesti vuosittaisten *dummy*-muuttujien avulla. Sekä aikatrendin että vuosi-dummyjen käyttöä hankaloittaa tarkastelujakson viimeisiin vuosiin osuneet myrskyt, joiden

myötä toimialan tuottavuus laskee huomattavasti tarkastelujakson kolmena viimeisenä vuonna 2010 – 2012 verrattuna niitä edeltäneeseen jaksoon 2005 – 2009. Tietenkin tuottavuuden laskuun tarkastelujakson viimeisinä vuosina saattaa myrskyjen lisäksi olla myös muita syitä, joita ei voida tilastoaineiston perusteella havaita. Vuosikohtaisten dummy-muuttujien käytön erityisongelmana on myös se, että niitä ei voida ekstrapoloida neljännelle valvontajaksolle 2016 – 2019. Toimialan teknisen kehityksen ja yleisen tehostamistavoitteen tasoa arvioidaan empiirisesti hankkeen toisessa raportissa Kuosmanen & Saastamoinen (2014).

Hankkeessa verrattiin myös tasapainotetulla ja tasapainottamattomalla paneeliaineistolla estimoitujen mallien tuloksia keskenään. Aineiston tasapainottaminen siten, että fuusioituneiden yhtiöiden panokset ja tuotokset lasketaan yhteen jälkikäteen myös fuusiota edeltäviltä vuosilta, ei vaikuta merkittävästi estimoituun panostarverintamaan tai sen varjohintoihin. Myös vaikutus toimialan keskimääräiseen tehokkuuteen on vähäinen. Yhtiökohtaisten tehokkuuslukujen osalta aineiston tasapainottaminen voi vaikuttaa yhtiön keskimääräiseen tehokkuuteen muutaman prosenttiyksikön verran suuntaan tai toiseen. Tasapainottamattoman paneelin käyttö kasvattaa yleensä fuusioituneiden yhtiöiden tehokkuutta rintaman konveksisuus-ominaisuuksien takia, kuten jo aiemmissa luvuissa todettiin. Toisaalta joidenkin yhtiöiden osalta aineiston tasapainottaminen kasvattaa näennäisesti tehokkuutta sen takia, että tasapainottamisen myötä kyseisen yhtiön kannalta merkittävä vertailuyksikkö poistuu aineistosta. Perustelut tasapainottamattoman paneeliaineiston soveltamiselle esitettiin luvussa 4.1.

Tämän lisäksi hankkeessa verrattiin paneelimallin tuloksia nykyisellä valvontajaksolla sovellettavaan tarkastelujakson keskiarvoon perustuvaan poikkileikkausestimointiin. Paneeli- ja poikkileikkausmallien tuottamien estimaattien vertailu esitetään luvussa 7.

### *6.3 Toimintaympäristön mallintaminen*

Ehdotetun mallispesifikaation lisäksi hankkeessa selvitettiin myös muiden mahdollisten toimintaympäristöä kuvaavien  $\alpha$ -muuttujien käyttöä. Esitämme seuraavassa yhteenvedon joistakin tarkastelussa huomioituista  $\alpha$ -muuttujista sekä perustelut niiden jättämiseksi pois ehdotetusta mallispesifikaatiosta.

Hankkeessa selvitettiin myös nykyisin sovellettavassa mallispesifikaatiossa käytetyn keskijänniteverkon maakaapelointiasteen (KJ-maakaapelointiasteen) ja sen mahdollisen rajaamisen vaikutusta. KJ-maakaapelointiaste on edelleen tässäkin selvityksessä sovelletussa mallispesifikaatiossa tilastollisesti merkitsevä ja käytännössä merkittävä kustannuseroja selittävä tekijä. KJ-maakaapelointiasteen vaikutus jopa korostuu aikaisempaan verrattuna: vuosien 2010 ja 2011 merkittävät myrskytuhot kohdistuivat pääasiassa yhtiöihin, joiden maakaapelointiaste on keskimääräistä alhaisempi. Perustelut KJ-maakaapelointiasteen poisjättämiselle perustuvat ennen muuta kannustinvaikutuksiin, joista tarkemmin luvussa 4.5. Liian korkea maakaapelointiasteen kerroin voi johtaa kokonaistaloudellisesti ylisuuriin investointeihin haja-asutusalueella sijaitsevan verkon maakaapeloimiseksi.

Yhtenä mahdollisuutena maakaapelointiasteen vaikutuksen rajaamiseksi tutkittiin mallia, jossa KJ-maakaapelointiaste jäädytetään pysyvästi vuoden 2005 tasolle, jolloin viime vuosina tapahtuneet merkittävät investoinnit maakaapelointiin jätettäisiin huomioimatta. Tämä malli perustuu oletukseen,

että ennen ensimmäisen valvontajakson alkua verkkoyhtiöillä ei ollut erityistä kannustinta investoida maakaapelointiin, vaan valinta ilmajohtojen ja maakaapeleiden välillä perustui puhtaasti toimintaympäristöstä johtuviin tekijöihin. Toisaalta tämän mallin heikkoutena on se, että se ei huomioi vuoden 2005 jälkeen toimintaympäristössä tapahtuneita muutoksia. Lisäksi malli suosii niitä yhtiöitä, jotka ovat investoineet maakaapelointiin ennen täysin mielivaltaisesti valittua vuotta 2005, mikä saattaa heikentää verkkoyhtiöiden yhdenmukaista ja tasapuolista kohtelua. Tilastollisesta näkökulmasta KJ-maakaapelointiasteen jäädyttäminen vuoden 2005 tasolle heikentää hieman mallin selitysastetta verrattuna malliin, jossa KJ-maakaapelointiaste päivitetään vuosittain. Myös vuoden 2005 tasolle jäädytetty KJ-maakaapelointiaste on tilastollisesti merkitsevä tehokkuuseroja selittävä tekijä. Toisaalta tehokkuuseroja voidaan selittää lähes yhtä hyvin käyttäen muita toimintaympäristöä kuvaavia  $\xi$ -muuttujia.

Toisena mahdollisena keinona tutkittiin maakaapelointiasteen vaikutuksen rajaamista pelkästään taajama-alueella (vaikea tai erittäin vaikea kaivuolosuhde) sijaitsevaan verkkoon. Siten haja-asutusalueella pelloille ja metsiin rakennetun verkon maakaapelointiasteeseen. Tällä  $\xi$ -muuttujalla todettiin olevan tilastollisesti merkitsevä positiivinen vaikutus KOPEX:iin. Myös tarkemman kaivuolosuhdeluokituksen käyttöä  $\xi$ -muuttujana selvitettiin. Kaivuolosuhde-luokituksen ongelmana varsinkin ennen vuotta 2012 on sen hankala objektiivinen todennettavuus: verkkoyhtiöiden itse ilmoittamiin kaivuolosuhteisiin sisältyy suuria epätarkkuuksia. Tämä näkyy myös tilastollisessa estimoinnissa: kaivuolosuhteiden estimoidut vaikutukset eivät käyttäydy johdonmukaisesti, vaan esimerkiksi vaikean kaivuolosuhteen kertoimen ollessa positiivinen (kustannuksia kasvattava) erittäin vaikea kaivuolosuhde saa negatiivisen kertoimen (kustannuksia pienentävä vaikutus). Siten maakaapelointiasteen kaivuolosuhteisiin perustuva rajausta päätettiin jättää pois ehdotetusta mallispesifikaatiosta erityisesti muuttujan luotettavuuteen ja todennettavuuteen liittyvien ongelmien takia. Koska kaivuolosuhteet on huomioitu valvontamallissa yksityiskohtaisesti vasta 3. valvontajaksoilla vuodesta 2012 alkaen, verkkoyhtiöiden ilmoittamia kaivuolosuhdetietoja vuosilta 2005 – 2011 ei voida pitää riittävän luotettavina.

Hankkeessa arvioitiin myös muita mahdollisia toimintaympäristöä kuvaavia muuttujia, jotka voidaan luotettavasti laskea ja todentaa EV:n keräämään tilastoaineiston perusteella. Näitä  $\xi$ -muuttujia olivat mm. verkon keskitehon ja huipputehon suhdeluku (engl. *load factor*) sekä vesistökaapeleiden osuus verkon kokonaispituudesta. Kummankin edellä mainitun muuttujan vaikutus oli pieni ja tilastollisesti ei-merkitsevä. Lisäksi kummankin muuttujan vaikutus oli ennako-odotusten vastainen: sekä huipputehon kasvu että vesistökaapeleiden osuuden kasvu keskimäärin alensivat KOPEX:a. Esimerkiksi huipputehon sisällyttämistä malliin perustellaan yleensä sillä, että verkon kapasiteetti mitoitetaan huipputehon perusteella, jolloin huipputehon vaikutus KOPEX:iin oletetaan positiiviseksi.

Lisäksi mahdollisina  $\xi$ -muuttujina arvioitiin jakeluverkon kokonaispituuden jakautumista pien- (0,4 kV), keski- (1 – 70 kV) ja suurjännitteisen (110 kV) verkon suhteellisiin osuuksiin, koska jännitetaso voi vaikuttaa mm. häviösähköön ja verkon ylläpitokustannuksiin. Keski- ja suurjännitteisen verkon suhteelliset osuudet eivät kuitenkaan kyenneet selittämään tehokkuuseroja tilastollisesti merkitsevästi ja niiden kulmakerrointen etumerkit vaihtelivat hieman mallispesifikaatiosta riippuen. Mikäli keski- ja suurjännitteisten verkkojen suhteelliset osuudet lisätään ehdotettuun malliin, molemmat suhdeluvut

saavat negatiivisen kertoimen, mikä tarkoittaa sitä, että keski- tai suurjännitteisen verkon osuuden kasvattaminen alentaa keskimäärin KOPEX:a.

#### 6.4 Mallin herkkyyshanalyysi

Hankkeessa testattiin myös estimoidun rintaman herkkyyttä tilastoaineistoon tehtyjen muutosten, muuttujamuunnosten ja tuotosprofiililtaan poikkeuksellisten havaintojen (engl. *ouliers*) poisjättämisen suhteen.

Panos- ja tuotosmuuttujien osalta eräänä mallin herkkyyden testinä kokeiltiin käyttää keskeytyskustannuksen KAH sijasta ei-toivottuna tuotoksena 0,5KAH kolmannella valvontajaksolla sovelletun menettelyn mukaisesti. Lisäksi pääomakantaa kuvaava JHA muunnettiin laskennalliseksi tasapoistoksi käyttämällä sen sijasta arvoa  $JHA/40$ , olettaen pääomapanosten keskimääräiseksi pitoajaksi kaikille yhtiöille 40 vuotta. Teoriassa mallin selittävinä muuttujina käytettyjen panosten ja tuotosten uudelleen skaalaaminen kertomalla kyseisen muuttujan arvot jollakin mielivaltaisesti valitulla vakiolla ei tulisi vaikuttaa mallin estimaatteihin. Tämä todettiin myös empiirisesti: edellä mainitut muuttujien uudelleen skaalaamiset eivät vaikuttaneet sovellettavan pyöritystarkkuuden puitteissa estimoidun panostarverintaman, mallin residuaalien tai niiden perusteella estimoitujen tehokkuuslukujen arvoon lainkaan.

Panos- ja tuotosmuuttujien lukuarvoihin tehtiin myös hankkeen aikana joitakin korjauksia, joiden vaikutukset estimoituun rintamaan ja tehokkuuslukuihin osoittautuivat varsin vähäisiksi. Estimoitu malli todettiin olevan varsin robusti yksittäisiin havaintopisteisiin mahdollisesti sisällyville virheille.

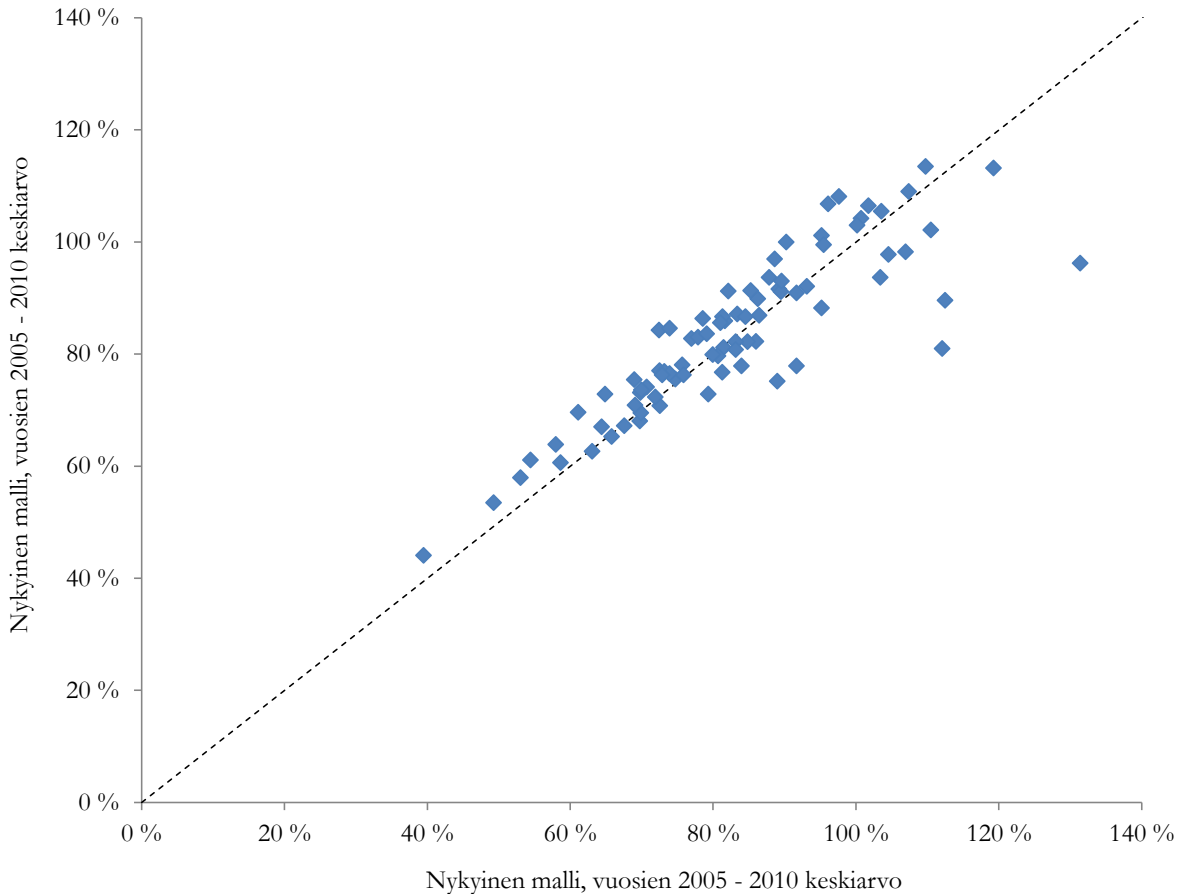
## 7. Vertailulaskelmat ja vaikutusten arviointi

### 7.1 Uudemman aineiston vaikutus tehokkuusestimaatteihin

Kolmannella valvontajaksolla sovellettu kustannusrintama perustui Kuosmasen ym. (2010) selvitykseen, jossa sovellettiin poikkileikkausmallia. Aineistona oli tuotosten ja kustannusmuuttujana KOPEX + 0,5KAH vuosien 2005 – 2010 keskiarvot. Uudemmassa aineistossa on mukana myös vuodet 2011 ja 2012, joista erityisesti vuonna 2011 oli runsaasti myrskytuhoista aiheutuneita keskeytyksiä. Toisena erona aikaisempaan aineistoon on verkkoyhtiöiden fuusiot, joiden vuoksi poikkileikkausmallin otoskoko pienenee aikaisempaan verrattuna. Tarkastelemme ensiksi havaintoaineistossa tapahtuneiden muutosten vaikutusta yhtiökohtaisiin tehokkuusestimaatteihin nykyisin kolmannella valvontajaksolla sovellettavan mallispesifikaation ja estimointimenetelmän valossa.

Kuviossa 7.1 esitetään tehokkuusestimaattien hajontakuviot: kuvion piste kuvaa yksittäisen yhtiön tehokkuutta vanhemmalla aineistolla estimoidun mallin mukaisesti (vaaka-akseli) ja uudemmalla aineistolla estimoidun aineiston mukaisesti (pystyakseli). Kuviossa on esitetty katkoviivalla 45 asteen suora: katkoviivan yläpuolelle jäävien yhtiöiden tehokkuus on korkeampi uudemmalla aineistolla estimoidun mallin mukaa, kun taas katkoviivan alapuolelle jäävien yhtiöiden tehokkuus oli korkeampi vanhemmalla aineistolla estimoidussa mallissa.

Kuviossa verrattujen yhtiökohtaisten tehokkuusestimaattien korrelaatiokerroin on 0,90. Enemmistö verkkoyhtiöistä saa nykyisessä mallissa uudemman aineiston myötä hieman korkeamman tehokkuusluvun, mutta joillakin verkkoyhtiöillä tehokkuus laskee huomattavasti. Tämä johtuu pääasiassa myrskytuhoista vuosina 2011 ja 2012, jotka kasvattavat kustannuksia uudemmassa aineistossa, mutta jäävät vanhemmassa aineistossa tarkastelun ulkopuolelle. Kuvio 7.1 osoittaa, että uudemman aineiston käyttöönotto vaikuttaa huomattavasti tehokkuuslukuun vaikka malliin tai estimointimenetelmään ei tehtäisi lainkaan muutoksia.

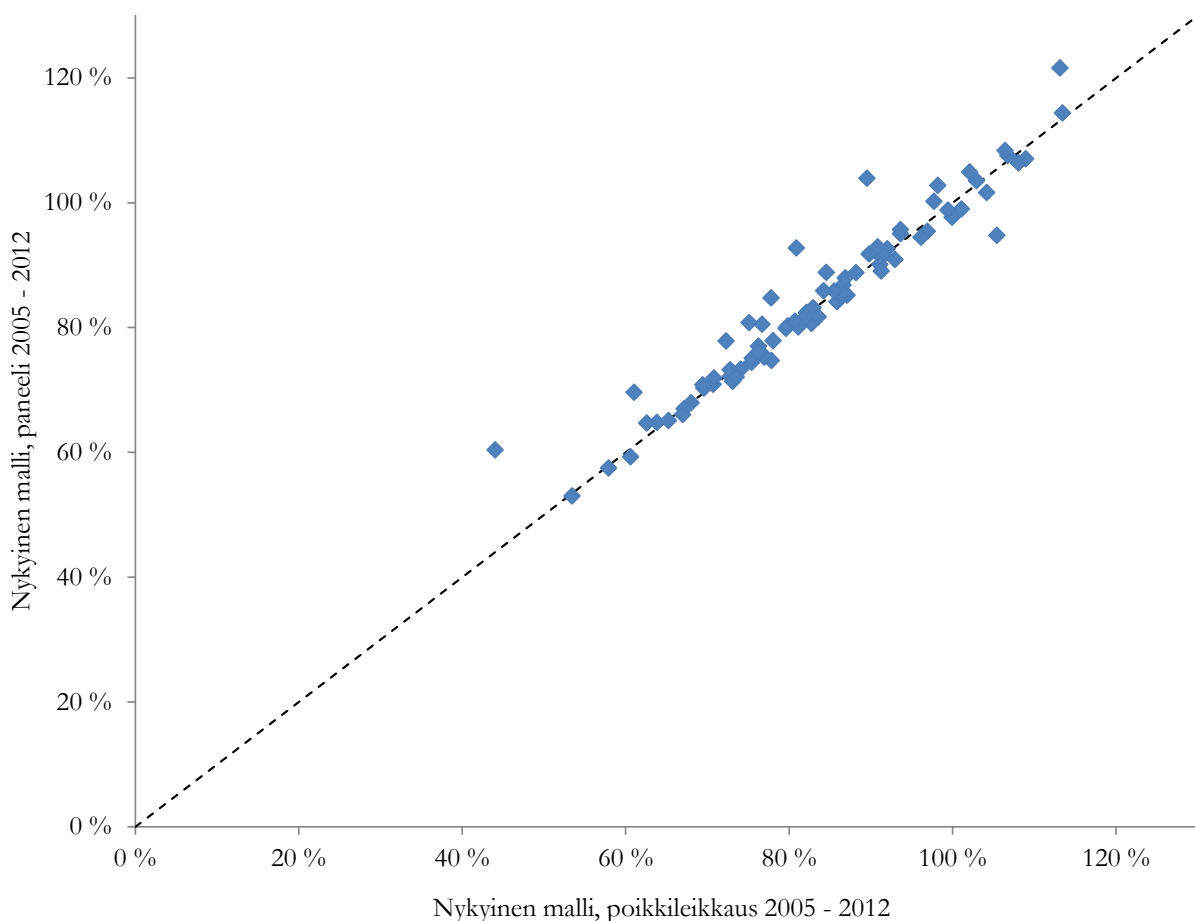


*Kuvio 7.1: Uudemman aineiston (2011, 2012) vaikutus tehokkuuslukuun nykyisin sovellettavassa poikkileikkausmallissa.*

### 7.2 Paneeliaineiston mallintamisen vaikutus tehokkuusestimaatteihin

Verrataan seuraavaksi vuosien 2005 – 2012 keskimääräisiin panos- ja tuotosarvoihin perustuvaa poikkileikkausmallia vastaavan ajanjakson paneelimalliin, jossa kunkin vuoden havainto käsitellään erikseen. Tällöin havaintojen lukumäärä kasvaa kahdeksankertaiseksi, mikä parantaa estimaattorin tarkkuutta. Tarkasteltava paneelimalli on muilta osin nykyisin sovellettavan mallispesifikaation kaltainen, mutta tehokas rintama estimoidaan soveltaen ei-parametriseen kernel dekonvoluutioon perustuvaa menetelmää.

Kuviossa 7.2 esitetään tehokkuusestimaattien hajontakuviota: kuvion piste kuvaa yksittäisen yhtiön tehokkuutta vanhemmalla aineistolla estimoidun mallin mukaisesti (vaaka-akseli) ja uudemmalla aineistolla estimoidun aineiston mukaisesti (pysty-akseli). Poikkileikkausmallin tehokkuusestimaattien ja paneelimallin keskimääräisten tehokkuuslukujen korrelaatiokerroin on varsin korkea 0,97. Koska tuotosmuuttujien vaihtelu on erittäin vähäistä, siirtyminen keskiarvoihin perustuvasta poikkileikkausmallista paneeliaineistoon ei vaikuta useimpien yhtiöiden tehokkuuslukuihin kovin dramaattisesti. Ainoastaan yhden yhtiön kohdalla poikkileikkausmallin käyttö vaikuttaisi selvästi edullisemmalla ratkaisulla, mutta muutamien yhtiöiden kohdalla paneeliaineiston huomioiminen kasvattaa tehokkuusestimaattia varsin huomattavasti.

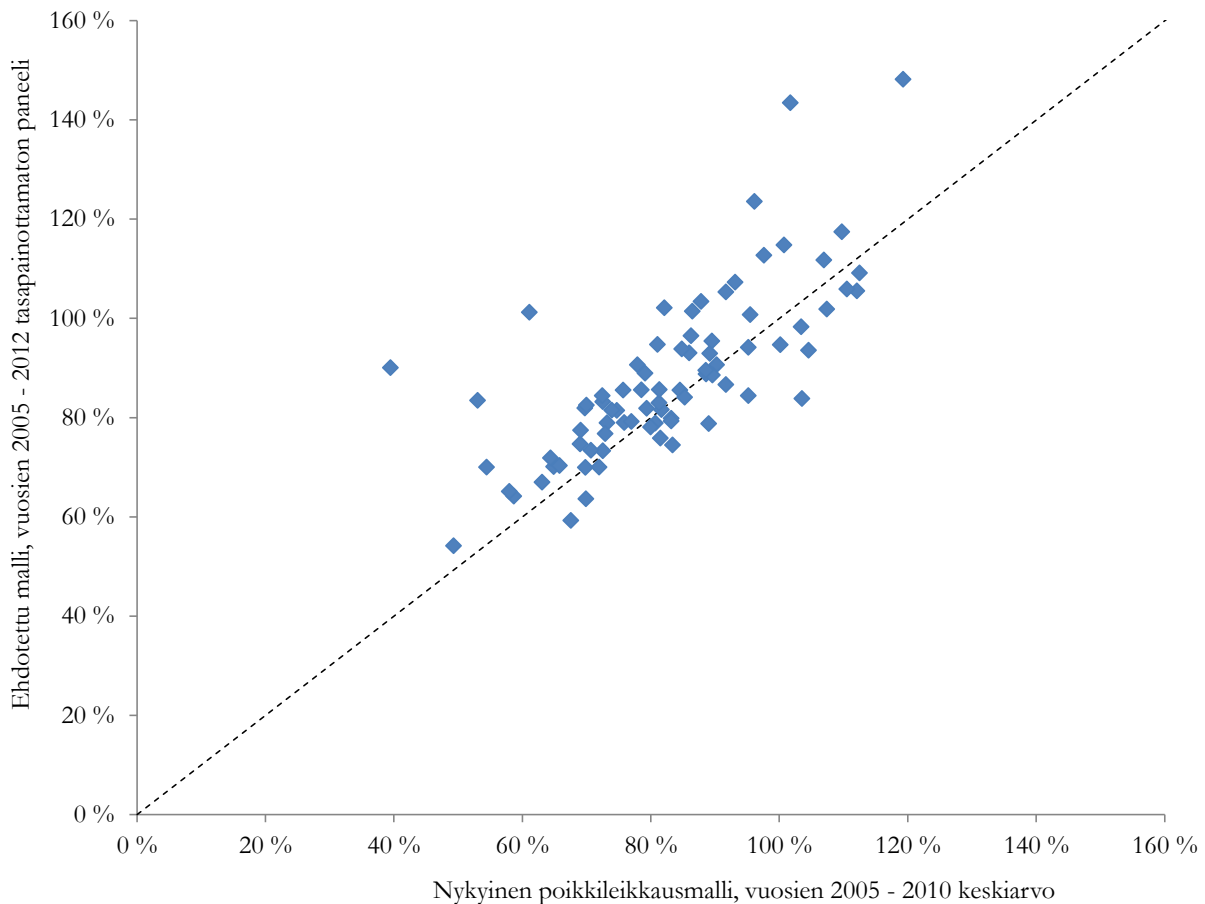


Kuvio 7.2: Paneeliaineiston mallintamisen vaikutus tehokkuuslukuihin nykyisin sovellettavassa mallispesifikaatiossa.

### 7.3 Ehdotetun mallispesifikaation vaikutus tehokkuusestimaatteihin

Edellä esitetyt vertailut on syytä pitää mielessä kun seuraavassa verrataan luvussa 5 tarkastellun ehdotetun mallispesifikaation vaikutusta nykyisiin sovellettavaan poikkileikkausmalliin. Erot tehokkuusluvuissa johtuvat paitsi mallia koskevista ehdotuksista (panos- ja tuotosmuuttujat, yhtiöiden ja niiden toimintaympäristöjen heterogeenisuutta kuvaavat  $\xi$ -muuttujat), myös uudemman aineiston ja paneeliaineistoon perustuvan estimointimenetelmän soveltamisesta.

Kuviossa 7.3 verrataan nykyisin sovellettavan poikkileikkausmallin tehokkuuslukuja ehdotetun paneelimallin yhtiökohtaisten vuosittaisten tehokkuuslukujen keskiarvoon. Tehokkuuslukujen korrelaatiokerroin on 0,73, mikä on huomattavasti pienempi kuin edellä esitetyissä vertailuissa. Kuviosta havaitaan, että useimpien yhtiöiden tehokkuusluvut kasvavat nykyisin sovellettavaan malliin verrattuna (katkoviivan yläpuolella olevat havaintopisteet). Ehdotuksen suurimpia hyötyjiä ovat myrskyjen aiheuttamista keskeytyksistä kärsineet yhtiöt (esim. Joroisten Energialaitos), joiden kohtaamat myrskytuhot tulevat paremmin huomioiduksi ehdotetussa mallissa, jossa KAH käsitellään ei-toivottuna tuotoksena eli haitakkeena. Tehokkuusluvut kasvavat hieman myös kaikkein tehottomimpien yhtiöiden osalta. Myös kaksi tehokkainta yhtiötä hyötyvät ehdotetusta mallista selvästi.

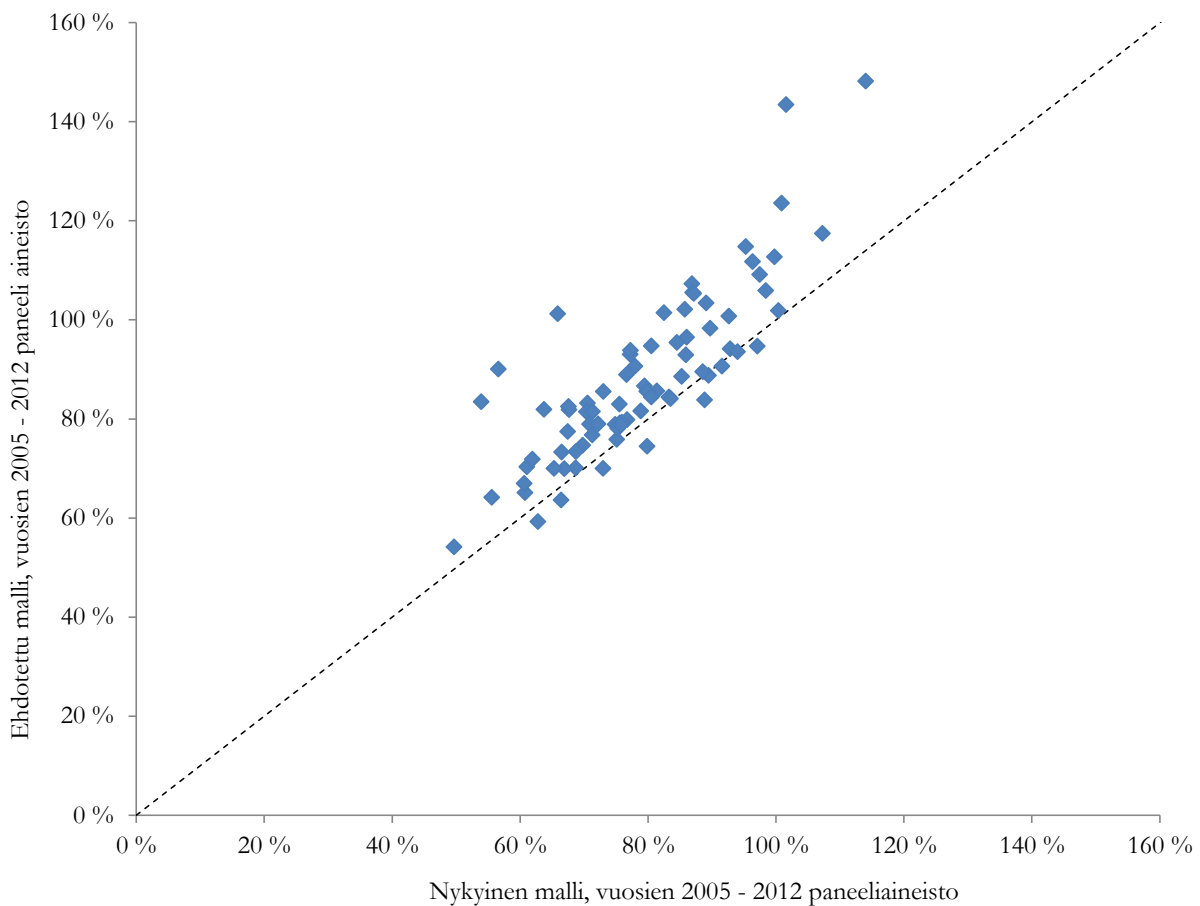


Kuvio 7.3: Nykyisin sovellettavan poikkileikkausmallin ja ehdotetun paneelimallin vertailu tehokkuuslukujen näkökulmasta.

Kuviossa 7.4 verrataan ehdotetun mallispesifikaation vaikutusta verrattuna nykyisin sovellettavaan mallispesifikaatioon siinä tapauksessa, että molempien mallien estimointiin sovelletaan samaa vuosien 2005 – 2012 paneelaineistoon perustuvaa menetelmää. Tässä vertailussa näkyy puhtaasti panos- ja tuotosmuuttujiin sekä  $\alpha$ -muuttujiin ehdotettujen muutosten vaikutukset siten, että käytettyyn tilastoaineistoon ja estimointimenetelmään liittyvät vaikutukset on kokonaan eliminoitu. Siten tämä tehokkuuslukujen vertailu on mallin rakennetta ja muuttujia koskevien kehittämissuositusten arvioimisen kannalta kaikkein relevantein.



Kuviosta 7.4 voidaan havaita, että ehdotetun mallispesifikaation myötä verkkoyhtiöiden keskimääräinen tehokkuus kasvaa lähes poikkeuksetta. Tämä vertailu osoittaa, että kuviossa 7.3 havaittu tehokkuuslukujen alentuminen joidenkin yhtiöiden osalta verrattuna nykyisin sovellettavaan malliin johtuu miltei täysin uudemman aineiston ja paneeliaineistoon perustuvan mallin käyttöönotosta, kun taas mallin rakenteeseen ja muuttujiin ehdotetut muutokset lähes poikkeuksetta kasvattavat tehokkuutta. Kuten jo edellä todettiin, ehdotetun mallin mukainen tehokkuus kasvaa erityisesti myrskyistä kärsineillä yhtiöillä, koska ehdotuksessa KAH käsitellään panoksen sijasta ei-toivottuna tuotoksena.



*Kuvio 7.4: Nykyisin sovellettavan mallin ja ehdotetun mallin vertailu tehokkuuslukujen näkökulmasta; molemmat mallit estimoitu vuosien 2005 – 2012 paneeliaineiston perusteella.*

## 8. Siirtymäajan tehostamistavoitteiden määrittäminen

Siirtymäajan tarkoituksena on tarjota aikaisemmin tehottomasti toimineille yhtiöille pehmeämpi lasku kohti tehokasta rintamaa. Mikäli kolmannella valvontajaksolla sovellettua 8 vuoden pituiseksi suunniteltua siirtymäaika sovelletaan johdonmukaisesti myös neljännellä valvontajaksolla, on siirtymäajasta jäljellä neljä vuotta. Tämän jälkeen yrityskohtaisista tehostamistavoitteista voitaisiin mielestämme luopua siten, että sallittu KOPEX:n taso määriteltäisiin kaikille yhtiöille tasapuolisesti saman kustannusrintaman perusteella.

Mikäli kustannusrintamamalliin tehdään tässä selvityksessä ehdotettuja tai muita muutoksia, voidaan siirtymäajan tehostamistavoitteet päivittää neljännellä valvontajaksolla sovellettavaa rintamamallia vastaaviksi seuraavalla tavalla.

Lähtötason määrittelemiseksi estimoidaan tarkasteltavan yhtiön tehokkuus neljännellä valvontajaksolla sovellettavan mallin mukaisesti kolmannen valvontajakson alussa vuonna 2012. Lähtötasona voidaan käyttää vuosien 2011 ja 2012 tehokkuuslukujen keskiarvoa, jonka voidaan tulkita kuvaavan tilannetta vuoden 2012 alussa. Näin saadaan selville yhtiön etäisyys kustannusrintamasta kolmannen valvontajakson alussa neljännellä valvontajaksolla sovellettavan mallin mukaisesti.

EV on vahvistanut jokaiselle yhtiölle kolmannen valvontajakson yhtiökohtaisen tehostamistavoitteen. Näin ollen voidaan laskea, kuinka paljon KOPEX olisi muuttunut (kasvanut tai pienentynyt) mikäli yhtiö olisi noudattanut täsmälleen 3. valvontajaksolle asetettua tehostamistavoitetta, olettaen että tuotoksissa tai toimintaympäristössä kuvaavissa  $\xi$ -muuttujissa ei tapahdu muutoksia.<sup>4</sup> Näin saadaan selville KOPEX:n laskennallinen kolmannen valvontajakson tehostamistavoitteen mukainen lähtötaso kolmannen valvontajakson lopussa. Tämän perusteella voidaan helposti laskea, mikä on jäljelle jäävä tehostamistarve, jonka perusteella voidaan määritellä vuosittainen tehostamistavoite neljännelle valvontajaksolle.

Edellä jätettiin yksinkertaisuuden vuoksi huomioimatta, että kolmannelle valvontajaksolle asetettu tehostamistavoite ei kohdistu pelkästään KOPEX:iin, vaan yhdistelmään KOPEX + 0,5KAH, josta KOPEX:n osuus on tarkasteltavassa aineistossa keskimäärin yli 83 %. KAH:n huomioimiseksi on useita mahdollisuuksia. Yksinkertaisin vaihtoehto on jättää KAH:n muutokset kokonaan huomioimatta ja olettaa, että KOPEX:a on tehostettu kolmannen valvontajakson tehostamistavoitteen mukaiseksi. Toinen vaihtoehto on olettaa, että tehostamistoimet kohdistuvat KOPEX:iin ja 0,5KAH:iin samassa suhteessa, jolloin voidaan laskea KOPEX:n ja KAH:n laskennallinen taso kolmannen valvontajakson lopussa, ja sen jälkeen laskea näin saadun hypoteettisen panos-tuotos-vektorin etäisyys neljännen valvontajakson alussa.

Seuraava laskuesimerkki havainnollistaa ehdotuksen periaatteet. Tarkastellaan Excel-laskentasovelluksessa esitettyä Keskiarvon Voima Oy:tä (= kaikkien yhtiöiden keskiarvo). Oletetaan, että kyseisen yhtiön tehokkuus neljännellä valvontajaksolla sovellettavan menetelmän mukaisesti on 83,2 % vuonna 2011 ja 82,5 % vuonna 2012, jolloin tehokkuuden tasoksi vuoden 2012 alussa arvioidaan keskiarvon perusteella 82,9 %. Yhtiön siirtymäajan tehostamistavoite (ilman yleistä tehostamistavoitetta) on kolmannelle valvontajaksolla 2,0 % vuodessa. Mikäli yhtiö tehostaa KOPEX:ia täsmälleen asetetun tehostamistavoitteen mukaisesti (KAH jätetään tässä esimerkissä yksinkertaisuuden vuoksi huomioimatta), huomioiden kustannusrintaman vuosittainen siirtymä, olettaen kaikki muut panokset ja tuotokset muuttumattomiksi, on yhtiön tehokkuus kolmannen valvontajakson lopussa 90,0 %. Tämä saadaan laskukaavasta

$$\begin{aligned} & \text{Laskennallinen tehokkuus v. 2015 lopussa} \\ & = \text{Tehokkuus v. 2012} / (1 - \text{yrityskohtainen tehostamistavoite 3. valvontajaksolla})^4 \\ & = 82,9 \% / (1 - 2,00 \%)^4 = 90,0 \%. \end{aligned}$$

---

<sup>4</sup> Muutokset tuotoksissa ja  $\xi$ -muuttujissa huomioidaan myöhemmin vuosittaisen sallitun kustannustason määrittämisessä 4. valvontajakson aikana, mutta näillä muutoksilla ei ole vaikutusta yhtiölle laskettavaan siirtymäajan tehostamistavoitteeseen.

Jotta jäljelle jäävä tehostamistarve saataisiin tasaisesti kurottua umpeen seuraavan neljän vuoden pituisen valvontajakson aikana, saadaan neljännen valvontajakson yritysکوhtaiseksi tehostamistavoitteeksi 4,61 % vuodessa. Tämä saadaan seuraavasta laskukaavasta:

$$\begin{aligned} & \text{Vuositainen tehostamistavoite 4. valvontajaksolla} \\ & = 1 - (\text{tehokkuus v. 2015 lopussa})^{1/4} \times (1 - \text{yleinen tehostamistavoite 4. valvontajaksolla}) \\ & = 1 - (90,0 \%)^{1/4} \times (1 - 2 \%) = 4,6 \%. \end{aligned}$$

Laskelmassa oletetaan, että neljännellä valvontajaksolla sovellettava yleinen tehostamistavoite on 2 % selvityksen Kuosmanen & Saastamoinen (2014) ehdotuksen mukaisesti. Mikäli neljännellä valvontajaksolla sovelletaan jotakin muuta lukuarvoa, tulee kyseinen prosenttiluku korjata edellä esitettyyn kaavaan.

Edellä esitettyjä laskukaavoja käyttäen voidaan kolmannelle valvontajaksolle asetetut tehostamistavoitteet päivittää vastaamaan neljännellä valvontajaksolla sovellettavaa kustannusrintamamallia huomioiden johdonmukaisesti kolmannelle valvontajaksolle vahvistetut yritysکوhtaiset tehostamistavoitteet. Mahdolliset muutokset tuotoksissa huomioidaan nykyiseen tapaan vuosittain laskettavan sallitun kustannuksen yhteydessä. Mikäli tuotokset kasvavat, sallittu kustannus kasvaa rintaman mukaisesti. Siten toiminnan tehostaminen ei välttämättä edellytä kustannusten rajua karsimista, vaan toiminnan tehostuminen voi tapahtua myös tuotosten kasvun myötä.

## 9. Kehittämissuodotukset

Selvityksen lopuksi esitetään tiivistelmä hankkeen tulosten pohjalta laadituista kehittämisuodotuksista koskien sähkön jakeluverkkoyhtiöiden valvontamallin tehostamiskannustinta.

### *StoNED-menetelmän kehitys:*

- Paneeliaineistoon perustuvan mallin hyödyntäminen siten, että yhtiöiden vuosittaiset lukuarvot käsitellään erillisinä havaintoina.
- Jakaumaoletuksista luopuminen; tehokkaan rintaman estimointi kernel dekonvoluution perustuvan menetelmän avulla.

### *Mallin muuttajat:*

- Verkon jälleenhankinta-arvon (JHA) lisääminen malliin kiinteänä pääomapanoksena, johon ei kohdistu tehostamistavoitetta.
- Keskeytyksistä aiheutuneen haitan (KAH) mallintaminen ei-toivottuna tuotoksena, jonka varjohinta voi olla positiivinen tai negatiivinen.
- KJ-verkon maakaapelointiasteen korvaaminen L/K-suhdeluvulla (liittymät/käyttäjät) malliin toimintaympäristöä kuvaavana muuttujana.

### *Suirtymäajan tehostamistavoitteiden päivittäminen valvontajakson vaihtuessa:*

- Arvioidaan vaadittava tehostamistarve neljännellä valvontajaksolla sovellettavan kustannusrintamamallin mukaisesti kolmannen valvontajakson alussa vuonna 2012 (ts. yhtiön etäisyys rintamasta uuden mallin mukaisesti vuonna 2012).

- Lasketaan miten yhtiön tehokkuus kehittyi kolmannella valvontajaksolla, mikäli kolmannelle valvontajaksolle asetettu tehostamistavoite saavutetaan ja tuotomäärissä tai toimintaympäristöä kuvaavissa tekijöissä ei tapahdu muutoksia. Näin saadaan laskennallinen jäljelle jäävä tehostamistarve neljännen valvontajakson alussa.
- Lasketaan vuosittainen tehostamistarve, jotta jäljelle jäävä laskennallinen tehostamistarve saadaan kurottua umpeen neljännen valvontajakson aikana.

Kuten luvussa 2 todettiin, valvontamenetelmien valmistelussa ei tulisi keskittyä ainoastaan mallin teknisiin yksityiskohtiin, vaan myös tehostamiskannustimen periaatteista ja pitkän aikavälin tavoitteista olisi työryhmämme näkemyksen mukaan hyödyllistä käydä rakentavaa keskustelua. Tehostamiskannustimessa sovellettavat laskukaavat ja muut tekniset yksityiskohdat eivät ole mielivaltaisesti valittuja, vaan ne voidaan johtaa yleisemmistä valvontamallia ohjaavista periaatteista. Työryhmämme arvion mukaan valvontamallin keskeisille periaatteille voidaan esittää vahvat mikrotalousteoriaan nojautuvat perustelut. Toivomme että tämä raportti voisi osaltaan auttaa lukijaa hahmottamaan tehostamiskannustimen toimintaperiaatteen ja sen merkityksen kohtuullisen tuoton säätelyyn perustuvassa valvontamallissa aikaisempaa paremmin ja toisi siten lisäarvoa valvontamenetelmiä koskevaan keskusteluun.

## Lähteet

- Afriat, S.N. (1972). Efficiency estimation of production functions. *International Economic Review* 13(3): 568-598.
- Aigner, D., Lovell, C.A.K. & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics* 6: 21-37.
- Charnes, A., W.W. Cooper & E. Rhodes (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 2: 429-444.
- Diewert, W.E. (1974). Functional forms for revenue and factor requirements functions. *International Economic Review* 15, 119-130.
- Fan, Y., Q. Li & A. Weersink (1996). Semiparametric estimation of stochastic production frontier models. *Journal of Business and Economic Statistics* 14, 460-468.
- Farrell, M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A* 120: 253-281.
- Färe, R., S. Grosskopf, D.-W. Noh & W. Weber (2005). Characteristics of a polluting technology: theory and practice. *Journal of Econometrics* 126: 469-492.
- Filippini, M. & J. Wild (2001). Regional differences in electricity distribution costs and their consequences for yardstick regulation of access prices, *Energy Economics* 23(4), 477-488.

- Goldenshluger, A. & A. Tsybakov (2004). Estimating the endpoint of a distribution in the presence of additive observation errors. *Statistics and Probability Letters* 68(1), 39-49.
- Greene, W. (2005). Fixed and random effects in stochastic frontier models. *Journal of Productivity Analysis* 23(1), 7-32.
- Hall, P. & L. Simar (2002). Estimating a changepoint, boundary, or frontier in the presence of observation error. *Journal of the American Statistical Association* 97: 523-534.
- Horrace, W. & C. Parmeter (2011). Semiparametric deconvolution with unknown error variance. *Journal of Productivity Analysis* 35(2): 129-141.
- Johnson, A.L. & T. Kuosmanen (2011). One-stage estimation of the effects of operational conditions and practices on productive performance: asymptotically normal and efficient, root-n consistent StoNEZD method. *Journal of Productivity Analysis* 36 (2), 219-230.
- Johnson, A.L. & T. Kuosmanen (2012). One-stage and two-stage DEA estimation of the effects of contextual variables. *European Journal of Operational Research* 220, 559-570.
- Jondrow, J., C.A.K. Lovell, I.S. Materov & P. Schmidt (1982). On estimation of technical inefficiency in the stochastic frontier production function model. *Journal of Econometrics* 19, 233-238.
- Koopmans, T.C. (1951). Analysis of production as an efficient combination of activities, T.C. Koopmans (Ed.) *Activity Analysis of Production and Allocation*, Wiley, New York.
- Kopsakangas-Savolainen, M. & R. Svento (2008). Estimation of cost-effectiveness of the Finnish electricity distribution utilities, *Energy Economics* 30(2): 212-229.
- Kopsakangas-Savolainen, M., & R. Svento (2014). Sähkömarkkinoiden sääntelystä ja sääntelymuotojen hyvinvointivaikutuksista, *Kansantaloudellinen aikakauskirja* 2, 151-161.
- Kumbhakar, S.C. (2013). Specification and estimation of multiple output technologies: A primal approach, *European Journal of Operational Research* 231, 465-473.
- Kuosmanen, T. (2006). *Stochastic nonparametric envelopment of data: Combining virtues of SFA and DEA in a unified framework*, MIT Discussion Paper No. 3/2006.
- Kuosmanen, T. (2008). Representation theorem for convex nonparametric least squares. *Econometrics Journal* 11, 308-325.
- Kuosmanen, T. (2012). Stochastic semi-nonparametric frontier estimation of electricity distribution networks: Application of the StoNED method in the Finnish regulatory model. *Energy Economics* 34: 2189-2199.
- Kuosmanen, T. & M. Fosgerau (2009). Neoclassical versus Frontier Production Models? Testing for the Presence of Inefficiencies in the Regression Residuals, *Scandinavian Journal of Economics* 111(2), 317-333.

- Kuosmanen, T. & A.L. Johnson (2010). Data envelopment analysis as nonparametric least-squares regression. *Operations Research*, 58, 149-160.
- Kuosmanen, T., A.L. Johnson & C. Parmeter (2013). Orthogonality conditions for identification of joint production technologies: Axiomatic nonparametric approach to the estimation of stochastic distance functions, unpublished working paper (available from the authors by request).
- Kuosmanen, T., A.L. Johnson & A. Saastamoinen (2014). Stochastic nonparametric approach to efficiency analysis: A unified framework, forthcoming in J. Zhu (Ed.) *Data Envelopment Analysis: A Handbook of Models and Methods*, Springer.
- Kuosmanen, T. & M. Kortelainen (2012). Stochastic non-smooth envelopment of data: Semi-parametric frontier estimation subject to shape constraints. *Journal of Productivity Analysis* 38(1), 11-28.
- Kuosmanen, T., M. Kortelainen, K. Kultti, H. Pursiainen, A. Saastamoinen & T. Sipiläinen (2010) *Sähköverkko toiminnan kustannustehokkuuden estimointi StoNED-menetelmällä: Ehdotus tehostamistavoitteiden ja kohtuullisten kustannusten arviointiperusteiden kehittämiseksi kolmannella valvontajaksoilla 2012-2015*, Sigma-Hat Economics Oy, Helsinki 31.8.2010.
- Kuosmanen, T. & A. Saastamoinen (2014). Yleinen tehostamistavoite sähkön ja maakaasun siirto- ja jakeluverkko toiminnan valvontamalleissa sekä tehostamiskannustimen arviointi: Ehdotus Energiaviraston soveltamien menetelmien kehittämiseksi seuraavilla valvontajaksoilla.. Sigma-Hat Economics Oy, Helsinki 21.10.2014.
- Kuosmanen, T., A. Saastamoinen & T. Sipiläinen (2013). What is the best practice for benchmark regulation of electricity distribution? Comparison of DEA, SFA and StoNED methods. *Energy Policy* 61: 740-750.
- Kuosmanen, T. & T. Sipiläinen (2009). Exact decomposition of the Fisher ideal total factor productivity index, *Journal of Productivity Analysis* 31(3), 137-150.
- Lee, C-Y, A.L. Johnson, E. Moreno-Centeno & T. Kuosmanen (2013). A more efficient algorithm for convex nonparametric least squares. *European Journal of Operational Research* 227(2):391-400.
- Olley, G.S. & A. Pakes (1996). The dynamics of productivity in the telecommunications equipment industry. *Econometrica* 64: 1263–1297.
- Ruggiero, J. (2004). Data envelopment analysis with stochastic data. *Journal of the Operational Research Society* 55(9): 1008-1012.
- Saastamoinen, A. & T. Kuosmanen (2014). Quality Frontier of Electricity Distribution: Supply Security, Best Practices, and Underground Cabling in Finland, *Energy Economics*, in press. DOI: 10.1016/j.eneco.2014.04.016.
- Schmidt, P. & R.C. Sickles (1984). Production frontiers and panel data. *Journal of Business and Economic Statistics* 2(4): 367-74.
- Seijo, E. & B. Sen (2011). Nonparametric least squares estimation of a multivariate convex regression function. *Annals of Statistics*, 39(3): 1633-1657.

Shleifer, A. (1985). A theory of yardstick competition. *Rand Journal of Economics* 16(3), 319-327.

Weyman-Jones, T. (2001). Yardstick and incentive issues in UK electricity distribution price controls. *Fiscal Studies* 22(2), 233–247.

Yatchew, A. (2001). Incentive regulation of distributing utilities using yardstick competition. *Electricity Journal* 14(1), 56–60.

## Tekninen liite: StoNED-menetelmän kehitys tutkimuskirjallisuudessa

### TL.1 Yleinen rintamamalli

Tehokkuusanalyysi on monitieteinen tutkimusalue, jossa kohtaavat mm. taloustieteen, kauppatieteiden, operaatiotutkimuksen ja tilastotieteen tutkimusperinteet. Tämä aiheuttaa jossakin määrin käsitteellistä sekaannusta: esimerkiksi termillä ”malli” tarkoitetaan hyvin eri asioita ekonometriassa ja operaatiotutkimuksessa. Tämän takia vaihtoehtoisten mallien ja menetelmien vertailu on osoittautunut erittäin haastavaksi.

Käsitteellisen sekaannuksen välttämiseksi on tärkeää erottaa *teoreettinen malli*, joka kuvaa havaintoaineiston muodostavaa taloudellista ja tilastollista prosessia (engl. *data generating process*), estimointi menetelmästä eli *estimaattorista*, jonka avulla mallin tuntemattomat parametrit ja muut kiinnostuksen kohteena olevat suureet pyritään estimoimaan.

Kuosmanen & Kortelainen (2012) ja Kuosmanen, Johnson ja Saastamoinen (2014) esittävät seuraavan yleisen rintamamallin, joka kattaa lähes koko tehokkuusanalyysin kentän:

$$y_i = f(\mathbf{x}_i) - u_i + v_i, \quad i = 1, \dots, n \quad (1)$$

missä

$y_i$  on yrityksen  $i$  havaittu tuotos

$f$  on tuotantofunktio

$\mathbf{x}_i = (x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{mi})$  on yrityksen  $i$  havaittu panosvektori

$u_i \geq 0$  on yrityksen  $i$  tehottomuutta kuvaava termi

$v_i$  on yrityksen  $i$  satunnainen virhetermi

Yhtälö (1) on selvyuden vuoksi esitetty yhden tuotoksen ja useita panosmuuttujia sisältävän tuotantofunktion tapauksessa. Yhtälö (1) muuntuu kuitenkin helposti esimerkiksi kustannusrintamamalliksi, jos  $y_i$  tulkitaan yrityksen kokonaiskustannukseksi,  $f$  kustannusfunktioiksi,  $\mathbf{x}_i$  tuotokset ja mahdolliset panoshinnat sisältäväksi vektoriksi (tällöin tehottomuustermi  $u_i \leq 0$ ). Yhtälön (1) avulla voidaan esittää myös useita panos- ja tuotosmuuttujia sisältävä malli tulkitsemalla funktio  $f$  etäisyysfunktioiksi (ks. tarkemmin Kuosmanen, Johnson & Saastamoinen, 2014).

Yhtälön (1) estimointiin on kehitetty useita eri menetelmiä, joista tunnetuimmat ovat 1. ja 2. valvontajaksolla sovellettu DEA-menetelmä (engl. *data envelopment analysis*) ja 2. valvontajaksolla sovellettu SFA-menetelmä (engl. *stochastic frontier analysis*). Nämä menetelmät kuitenkin vaativat melko rajoittavia lisäoletuksia. DEA-estimaattori on tilastollisesti tarkentuva eli *konsistentti* (ks. tarkemmin Kuosmanen ym., 2010) ainoastaan siinä tapauksessa, että  $v_i = 0$  kaikille yrityksille  $i$ . Toisin sanoen DEA-menetelmä soveltuu malleihin, joissa virhetermi oletetaan nolllaksi. SFA-menetelmä puolestaan vaatii, että tuotantofunktiolle  $f$  oletetaan etukäteen jokin tietty funktiomuoto (2. valvontajaksolla sovellettiin lineaarista kustannusfunktioita). Molemmat oletukset ovat käytännössä erittäin rajuja.



Kuosmanen & Kortelainen (2012) kehittivät yhtälön (1) estimointiin StoNED-menetelmän (engl. *stochastic nonparametric envelopment of data*), jossa yhdistyvät DEA- ja SFA-menetelmien keskeisimmät piirteet saumattomaksi ja johdonmukaiseksi synteesiksi. Käytännössä StoNED-estimointi tapahtuu vaiheittain seuraavasti (esitetty tarkemmin artikkelissa Kuosmanen, Johnson & Saastamoinen, 2014).

*Vaihe 1:* Estimoidaan ehdollinen odotusarvo  $E(y_i | \mathbf{x}_i) = f(\mathbf{x}_i) - E(u_i)$  parametrittoman konveksin regression avulla (engl. *convex nonparametric least squares* CNLS, Kuosmanen, 2008).

*Vaihe 2:* Estimoidaan tehottomuusermin odotusarvo  $E(u_i)$  vaiheen 1 regressiojäännöstermien jakauman perusteella käyttäen parametrissa quasi-likelihood (Fan et al., 1996) tai ei-parametrissa kernel dekonvoluutio-menetelmää (Hall & Simar, 2002).

*Vaihe 3:* Korjataan vaiheessa 1 estimoitua ehdollista odotusarvoa vaiheessa 2 estimoidulla tehottomuuden odotusarvolla:  $\hat{f}(\mathbf{x}_i) = E(y_i | \mathbf{x}_i) + E(u_i)$ .

Näiden kolmen perusvaiheen lisäksi estimointiin on mahdollista (ja suositeltavaa) sisällyttää mm. mallin spesifikaation testaamista (esim. heteroskedastisuuden ja residuaalien vinouden testaaminen ennen vaihetta 2). Yrityskohtaisen tehottomuusermin ehdollinen odotusarvo  $E(u_i | \hat{\epsilon}_i)$  voidaan estimoida Jondown ym. (1982) esittämällä tavalla, mutta tämän tehottomuusermin käyttöön sisältyy suuria ongelmia (ks. Kuosmanen ym., 2010), joten tätä vaihetta ei suositella sovellettavaksi valvontamallissa.

## TL2 Useiden panos- ja tuotosmuuttujien mallintaminen

### TL2.1 Panostarvefunktio ja sen ominaisuudet

Useita tuotoksia ja panoksia käsittävä tuotantoteknologia voidaan yleisesti esittää tuotantomahdollisuuksien joukon avulla

$$T = \{(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \in \mathfrak{R}_+^{m+s} \mid \text{tuotokset } \mathbf{y} \text{ voidaan tuottaa panosten } \mathbf{x} \text{ avulla}\}.$$

Joukko  $T$  luettelee yksinkertaisesti kaikki mahdolliset panosten ja tuotosten kombinaatiot, jotka ovat teknisesti toteutettavissa.

Useita tuotoksia ja panoksia käsittävä tuotantoteknologia voidaan esittää ns. panostarvefunktion (engl. *input requirement function*) avulla (mm. Diewert, 1974; Kumbhakar, 2013). Tarkastellaan tapaus, jossa on yksi muuttuva panos ( $x$ ), useita kiinteitä panoksia ( $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_m)$ ) ja useita tuotoksia  $\mathbf{y}$ . Muuttuvan panoksen panostarvefunktio määritellään seuraavasti

$$IR(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = \inf \{x \mid (x, \mathbf{x}, \mathbf{y}) \in T\}.$$

Mikäli muuttuva panos  $x$  on vapaasti hävitettävä (engl. *freely disposable*), ovat tuotantomahdollisuuksien joukko ja panostarvefunktio täysin yhtäpitäviä tapoja esittää sama tuotantoteknologia. Tuotantomahdollisuuksien joukko  $T$  voidaan tällöin esittää panostarvefunktion avulla seuraavasti.

$$T = \{(x, \mathbf{x}, \mathbf{y}) \in \mathfrak{R}_+^{m+s} \mid x \geq IR(\mathbf{x}, \mathbf{y})\}.$$

Jos kaikki panokset ja tuotokset ovat vapaasti hävitettäviä (ts.  $T = T + \mathfrak{R}_+^m \times \mathfrak{R}_-^s$ ), panostarvefunktio  $IR_b$  on panosten suhteen kasvava ja tuotosten suhteen vähenevä funktio. Jos tuotantoprosessi sisältää ei-toivottuja lopputuotteita eli haitakkeita (esim. saasteet), panostarvefunktio  $IR_b$  voi olla näiden tuotosten suhteen kasvava tai vähenevä. Jos tuotantomahdollisuuksien joukko  $T$  on konvekssi, panostarvefunktio on panosten suhteen konvekssi ja tuotosten suhteen konkaavi funktio. Jos tuotannossa vallitsevat vakioskaalatuotot (ts.  $T = \lambda T, \lambda > 0$ ), panostarvefunktio on lineaarisesti homogeeninen:

$$IR(\lambda \mathbf{x}, \lambda \mathbf{y}) = \lambda IR(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \quad \forall \lambda > 0, (\mathbf{x}, \mathbf{y}) \in T.$$

Tässä selvityksessä oletetaan, että panostarvefunktio  $IR_b$  on

- i) panosten suhteen kasvava funktio.
- ii) toivottujen tuotosten suhteen vähenevä funktio.
- iii) panosten suhteen konvekssi.
- iv) tuotosten suhteen konkaavi.
- v) lineaarisesti homogeeninen.

### TL.2.2 Panostarvefunktion perustuva ekonometrinen malli

Muuttuvan panoksen tarve oletetaan riippuvan yrityksen toimintaympäristöä kuvaavista eksogeenisistä muuttujista  $\mathbf{z}_i$  sekä tehottomuudesta  $u$  ja satunnaisvirheestä  $v$  seuraavasti

$$x_i = IR(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i) \cdot \exp(\boldsymbol{\delta}' \mathbf{z}_i + u_i + v_i), \quad (2)$$

missä parametrivektori  $\boldsymbol{\delta}$  kuvaa toimintaympäristön  $\mathbf{z}$  vaikutusta panoksen  $b$  tarpeeseen. Seuraavassa oletetaan, että tehottomuustermi  $u$  ja virhetermi  $v$  eivät korreloi toimintaympäristöä kuvaavien  $\mathbf{z}$ -muuttujien tai panostarvefunktion  $IR$  arvon kanssa. Sen sijaan tehottomuus ja virhetermi voivat korreloida panosten  $\mathbf{x}$  ja tuotosten  $\mathbf{y}$  kanssa.

Yhtälö (2) voidaan esittää yhtäpitävästi muodossa

$$\ln(x_i) = \ln IR(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i) + \boldsymbol{\delta}' \mathbf{z}_i + u_i + v_i. \quad (3)$$

Näin saadaan regressioyhtälö, jossa selitettävänä muuttujana on muuttuvan panoksen luonnollinen logaritmi. Regressiomalli koostuu panostarpeen mallintamiseen sovellettavan ei-parametrisen funktion  $IR$  luonnollisesta logaritmista, toimintaympäristöä kuvaavien muuttujien lineaarisesta funktiosta sekä tehottomuus ja virhetermistä.

### TL.2.3 Panostarvefunktion estimointi

Jotta panosetäisyysfunktio täyttää luvussa TL.2.1 kuvatut oletukset, on Kuosmanen & Kortelaisen (2012) esittämä StoNED-menetelmä soveltuva ja tarkoituksenmukainen valinta yhtälön (3) estimointiin. Kattava katsaus StoNED-menetelmän uusimpaan kehitykseen löytyy artikkelissa Kuosmanen, Johnson & Saastamoinen (2014).

StoNED-menetelmän ensimmäisessä vaiheessa sovelletaan konveksia regressiota (ks. Kuosmanen, 2008), jonka avulla estimoidaan muuttuvan panoksen luonnollisen logaritmin ehdollinen odotusarvo, joka voidaan esittää seuraavasti

$$E(\ln x_i | \mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i, \mathbf{z}_i) = \ln IR(\mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i) + \boldsymbol{\delta} \cdot \mathbf{z}_i + E(u_i).$$

Toisin sanoen konveksin regression avulla voidaan estimoida panostarvefunktio, johon on lisätty toimintaympäristön vaikutus sekä tehottomuustermin  $u$  odotusarvo. Tehottomuustermin odotusarvo estimoidaan myöhemmin luvussa 3.3.

Ehdollinen odotusarvo  $E(\ln x_i | \mathbf{x}_i, \mathbf{y}_i, \mathbf{z}_i)$  estimoidaan ratkaisemalla seuraava pienimmän neliösumman ongelma

$$\min_{\rho, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon} \sum_{i=1}^n (\varepsilon_i^\circ)^2$$

siten että

$$\ln x_i = \ln(\rho_i + 1) + \boldsymbol{\delta} \cdot \mathbf{z}_i + \varepsilon_i^\circ \quad \forall i$$

$$\rho_i = \boldsymbol{\gamma}'_i \mathbf{y}_i - \boldsymbol{\beta}'_i \mathbf{x}_i - 1 \quad \forall i$$

$$\boldsymbol{\gamma}'_i \mathbf{y}_i - \boldsymbol{\beta}'_i \mathbf{x}_i \geq \boldsymbol{\gamma}'_j \mathbf{y}_i - \boldsymbol{\beta}'_j \mathbf{x}_i \quad \forall i, j$$

$$\boldsymbol{\gamma}_i \geq \mathbf{0} \quad \forall i$$

$$\boldsymbol{\beta}_i \geq \mathbf{0} \quad \forall i$$
(4)

Missä  $\rho_i + 1$  on panostarvefunktion estimaattori yritykselle  $i$ , kertoimet  $\boldsymbol{\gamma}_i, \boldsymbol{\beta}_i$  ovat tuotosten ja panosten marginaalisia vaikutuksia muuttuvan panoksen käyttöön ja  $\mathcal{J}$  on toivottujen tuotosten indikaattorijoukko. Ei-toivotut tuotokset mallinnetaan siten, että rajoitetta  $\boldsymbol{\gamma}_i \geq \mathbf{0} \quad \forall i$  ei sovelleta ei-toivottuihin tuotoksiin, joten niiden rajakustannus  $\gamma_{is}$  voi olla positiivinen tai negatiivinen. Kaikille toivotuille tuotoksille epäyhtälörajoite  $\boldsymbol{\gamma}_i \geq \mathbf{0} \quad \forall i$  on voimassa. Konveksin pienimmän neliösummatehtävän tulkinnasta löytyy kattava esitys artikkelissa Kuosmanen ym. (2014).

Pienimmän neliösumman ongelmassa on kvadraattinen tavoitefunktio sekä epälineaarisia rajoitteita, joten sen ratkaiseminen vaatii tehokkaan epälineaarisen ohjelmoinnin (engl. *nonlinear programming, NLP*) ratkaisualgoritmin. Ongelma on laskennallisesti vaativa, koska konkaavisuusrajoitteiden  $\boldsymbol{\gamma}'_i \mathbf{y}_i - \boldsymbol{\beta}'_i \mathbf{x}_i \geq \boldsymbol{\gamma}'_j \mathbf{y}_i - \boldsymbol{\beta}'_j \mathbf{x}_i \quad \forall i, j$  lukumäärä kasvaa kvadraattisesti havaintojen lukumäärän kasvaessa. Lee ym. (2014) esittävät kehittyneemmän CNLS+ ratkaisualgoritmin, joka on kehitetty erityisesti edellä kuvatun

konveksin pienimmän neliösumman ongelman ratkaisemiseen. CNLS+ algoritmin avulla ongelma voidaan ratkaista useita satoja tai jopa tuhansia havaintoja sisältävälle havaintoaineistolle.

### TL3 Jakaumaoletuksista luopuminen

Konveksin regression jäännösterminä saatava  $e_i^\circ$  on summan  $u_i + v_i - E(u_i)$  konsistentti estimaattori. Seijo ja Sen (2011) osoittavat, että konveksin regression jäännöstermien summalle pätee  $\sum_{i=1}^n e_i^\circ = 0$ . Yhtiöiden tehokkuuden mittaamiseksi tehottomuustermin  $u$  odotusarvo joudutaan estimoimaan jäännöstermien  $e_i^\circ$  jakauman perusteella suodattamalla virhetermin  $v$  aiheuttama kohina pois. Yleisesti tämä menetelmä tunnetaan *dekonvoluutiona*, jota sovelletaan myös mm. signaalien ja kuvankäsittelyssä.

Rintamaestimoinnissa perinteisesti sovellettu parametrinen dekonvoluutio perustuu melko mielivaltaisiin jakaumaoletuksiin. Kolmannella valvontajaksolla sovelletussa rintamaestimoinnissa oletettiin, että tehottomuustermi  $u$  on puoli-normaalisti jakautunut ja virhetermi  $v$  on normaalisti jakautunut odotusarvolla nolla. Näille jakaumaoletuksille ei ole mitään vahvoja perusteluja: esimerkiksi tehottomuustermi voitaisiin yhtä hyvin olettaa olevan eksponentiaalisesti jakautunut. Virhetermin normalisuus voidaan perustella keskeisen raja-arvolauseen nojalla, mutta monesti regressioanalyysin empiirisissä sovellutuksissa jäännöstermeillä on normaalijakaumasta poiketen paksut hännät.

Koska tehostamiskannustimen määrittelyssä riittää, että kontrolloitavissa olevalle operatiiviselle kustannukselle KOPEX estimoidaan tehokkaan toiminnan mukainen taso, johon toteutunutta KOPEX:n lukuarvoa verrataan, voidaan tehottomuustermin odotusarvo estimoida ilman jakaumaoletuksia ei-parametrisen kernel dekonvoluutiomenetelmän avulla (Hall & Simar, 2002; Goldenshluger and Tsybakov, 2004; Horrace and Parmeter, 2011), jolloin mielivaltaisista jakaumaoletuksista voidaan luopua kokonaan. Tämä on merkittävä edistysaskel kolmannella valvontajaksolla sovellettuun menettelyyn verrattuna.

Käytännössä ei-parametrinen kernel dekonvoluutiota sovelletaan seuraavasti. Summan  $u_i + v_i - E(u_i)$  tiheysfunktio estimoidaan jäännöstermien  $e_i^\circ$  jakauman perusteella käyttäen kernel tiheysfunktioita. Hall ja Simar (2002) osoittavat, että tiheysfunktion arvo kasvaa hyppäyksenomaisesti kohdassa, jossa ei-negatiivisen tehottomuustermin  $u$  vaikutus alkaa: tätä pienemmät arvot johtuvat yksinomaan virhetermistä  $v$ . Näin ollen tehottomuustermin odotusarvo voidaan tunnistaa kohdasta, jossa kernel tiheysfunktion ensimmäinen derivaatta saa suurimman arvonsa.

Käytännössä tiheysfunktion estimointi kernel menetelmällä vaatii sileysparametrin (engl. *bandwidth*), jonka optimaalisen arvon määrittämiseen on olemassa useita kriteerejä. Tässä selvityksessä sileysparametri asetetaan varmuusperiaatetta noudattaen siten, että tehottomuustermin odotusarvo  $E(u_i)$  saa mahdollisimman pienen arvon. Toisin sanoen sileysparametrin arvo asetetaan kaikissa tarkastelluissa malleissa siten, että kaikkien verkkoyhtiöiden tehokkuus on mahdollisimman suuri.

### TL4 Paneeliaineiston hyödyntäminen

Kolmannelle valvontajaksolle estimoidussa kustannusrintamamallissa hyödynnettiin paneeliaineistoa kuuden vuoden ajanjaksolta 2005 – 2010 soveltaen Ruggieron (2004) esittämää menetelmää, jossa paneeli muunnetaan poikkileikkaukseksi ottamalla kaikista panoksista ja tuotoksista vuosikeskiarvot.

Kuosmanen ym. (2010) perustelivat menetelmää sillä, että tuotosmuuttujien vuosittaiset muutokset ovat erittäin vähäisiä ja toisaalta tutkimuksen aikajänne (Kuosmanen ym., 2010, raportissa ainoastaan 4 vuotta) oli liian lyhyt vaativampien paneelimallien hyödyntämiseen. Koska aineistoa kertyy vuosittain lisää, on paneeliaineiston tehokkaampi hyödyntäminen uudelleen ajankohtainen kysymys.

On syytä korostaa, että yhden periodin poikkileikkausmallista dynaamiseen paneelimalliin siirtyminen ei välttämättä vähennä tai lievennä tarvittavia oletuksia. Usein paneelimalleista keskusteltaessa oletetaan toistokoe, jossa kaikki ulkoiset olosuhteet pysyvät täysin muuttumattomina ja tutkija kontrolloi tuotantopanoksia (vrt. esim. maatalouden tuottavuustutkimuksessa käytettävät kenttäkokeet). Todelliset yritykset eivät kuitenkaan toimi tyhjiössä, vaan niiden toimintaympäristö, tuotantoteknologia ja tehokkuus muuttuvat ajan kuluessa.

Paneeliaineiston ekonometrisessa mallintamisessa sovelletaan perinteisesti ns. kiinteiden vaikutusten (engl. *fixed effects*) ja satunnaisvaikutusten (engl. *random effects*) malleja, joissa on mukana yhtiökohtainen ajassa muuttumaton tekijä. Tämän tekijän tulkinta on herättänyt viime vuosina runsaasti keskustelua: Schmidt & Sickles (1984) tulkitsevat yhtiökohtaisen kiinteän/ satunnaisvaikutuksen tehottomuudeksi, kun taas Greene (2005) tulkitsee sen havaitsemattomaksi heterogeenisuudeksi yhtiöiden välillä.

Näiden tulkintaerimielisyyksien välttämiseksi tässä selvityksessä ei oleteta ajassa muuttumatonta tehottomuustermiä, vaan yhtiöiden tehottomuuden sallitaan muuttua ajan kuluessa. Edellä tarkasteltu panostarvefunktioon perustuva malli voidaan esittää formaalisti seuraavasti:

$$\ln x_{i,t} = \ln IR(\mathbf{x}_{i,t}, \mathbf{y}_{i,t}) + \boldsymbol{\delta}' \mathbf{z}_{i,t} + u_{i,t} + v_{i,t}. \quad (5)$$

Yhdistetty virhetermi  $\varepsilon_{i,t} = u_{i,t} + v_{i,t}$  huomioidaan täysin vastaavalla tavoin kuin poikkileikkausaineistoon perustuvassa estimoinnissa. Tehokas panostarverintama estimoidaan kernel dekonvoluutioon perustuvalla menetelmällä, kuten edellisessä luvussa TL.3 lyhyesti kuvattiin.

#### TL.5 Tehokkuusestimaatit

Raportissa esitetyt tehokkuusestimaatit (*Eff*) lasketaan estimoidun tehokkaan panostarverintaman mukaisen vertailutason ja toteutuneen KOPEX:n osamääränä seuraavan kaavan mukaisesti:

$$Eff_{i,t} = \frac{\hat{IR}^{StoNED}(\mathbf{x}_{i,t}, \mathbf{y}_{i,t}) \cdot \exp(\hat{\boldsymbol{\delta}}' \mathbf{z}_{i,t})}{x_{i,t}}.$$

Näin lasketun tehokkuusluvun perusteella muodostettu euromääräinen tehostamistavoite voidaan esittää seuraavasti:

$$(1 - Eff_{i,t}) \cdot x_{i,t} = x_{i,t} - \hat{IR}^{StoNED}(\mathbf{x}_{i,t}, \mathbf{y}_{i,t}) \cdot \exp(\hat{\boldsymbol{\delta}}' \mathbf{z}_{i,t}). \quad (6)$$

Näin saatu euromääräinen tehostamistavoite on toteutuneen KOPEX:n ja tehokkaan panostarverintaman mukaisen vertailutason erotus. Verkonhaltija saavuttaa tehokkaan rintaman

mukaisen kustannustason mikäli se tehostaa toimintaansa edellä esitetyn euromääräisen tehostamistavoitteen mukaisesti.

Tehokkuuslukujen tulkinnan suhteen on syytä huomata, että yhtiökohtainen tehottomuus  $u_{i,t}$  ja virhetermi  $v_{i,t}$  huomioidaan tehokkaan panostarverintaman mukaisen vertailutason estimoinnissa. Tehokkuuslukujen laskennassa ei kuitenkaan pyritä erikseen korjaamaan virhetermin  $v_{i,t}$  vaikutusta, jolloin tehokkuusestimaatit voivat olla suurempia kuin 100 %. Tämä on syytä huomioida tehokkuuslukujen tulkinnassa. Selvytyden vuoksi on syytä mainita, että SFA-menetelmän sovelluksissa yhtiökohtaiset tehokkuusestimaatit esitetään usein tehottomuustermiin  $u_{i,t}$  ehdollisen odotusarvon perusteella siten, että virhetermin  $v_{i,t}$  vaikutus pyritään puhdistamaan pois ns. JLMS-menetelmällä (Jondow, Lovell, Materov & Schmidt, 1982). Kuten edellä todettiin, JLMS-menetelmää voitaisiin aivan hyvin soveltaa myös StoNED-menetelmän yhteydessä. Riippumatta siitä millä menetelmällä tehokas rintama estimoidaan, JLMS-menetelmällä laskettujen tehokkuuslukujen ongelmana kuitenkin on se, että euromääräiset tehostamistavoitteet ovat tällöin ristiriidassa tehokkaan toiminnan mukaisen panostarverintaman vertailutason kanssa. Toisin sanoen yhtälö (6) ei päde JLMS-menetelmällä lasketuille tehokkuusluville. Tätä JLMS-menetelmän dynaamisen epäjohdonmukaisuuden ongelmaa käsitellään tarkemmin aiemmassa selvityksessä Kuosmanen ym. (2010).

Koska tehokkuuslukuja sovelletaan kolmannella valvontajaksolla sovellettavassa tehostamiskannustimessa ja myös tässä selvityksessä esitetystä ehdotuksesta käytännössä ainoastaan siirtymäajan yhtiökohtaisten tehostamistavoitteiden määrittelyyn, on mielestämme keskeistä, että tehostamistavoitteet määritellään johdonmukaisesti suhteessa tehokkaan toiminnan mukaiseen panostarverintaman vertailutasoon, jotta tehostamistavoitteen täyttänyt yhtiö kykenee saavuttamaan tehokkaan rintaman mukaisen kustannustason siirtymäajan kuluessa. On syytä korostaa, että ehdotetun tehostamiskannustimen kannalta KOPEX:n vertailutasona käytetty tehokkaan toiminnan mukainen panostarverintaman arvo

$$IR^{\hat{StoNED}}(\mathbf{x}_{i,t}, \mathbf{y}_{i,t}) \cdot \exp(\hat{\boldsymbol{\delta}}' \mathbf{z}_{i,t})$$

on huomattavasti keskeisempi kuin yhtiökohtainen tehokkuusluku. Yhtiökohtaisella tehokkuusluvulla on ehdotetussa mallissa edelleen merkitystä siirtymäajan yhtiökohtaisten tehostamistavoitteiden kannalta, mutta tämän lisäksi prosenttilukuina esitetyt tehokkuusestimaatit voivat auttaa verkonhaltijoita hahmottamaan kuinka kaukana tehokkaan toiminnan mukainen KOPEX:n vertailutaso on vuosien 2005 – 2012 toteutuneeseen kustannustason verrattuna. Tästä syystä yhtiökohtaiset tehokkuusluvut saavat raportissa suuremman painon kuin mitä niiden todellinen merkitys valvontamallin kannalta mielestämme edellyttäisi.