



Aalto University  
School of Economics

# Tehokkuusanalyysi paikallisten monopolien sääntelyssä: StoNED-menetelmän soveltaminen sähkön jakeluverkkotoiminnan valvonnassa

Timo Kuosmanen

# Esityksen pääaiheet

- Kuinka satunnainen virhetermi voidaan huomioida tehokkuusanalyysissä?
- Kuinka yritysten ja niiden toimintaympäristöjen heterogeenisuus voidaan huomioida?

# Teoria ja käytäntö kohtaavat

## StoNED-menetelmä

- Kuosmanen & Kortelainen (2011): Stochastic Non-Smooth Envelopment of Data: Semi-Parametric Frontier Estimation Subject to Shape Constraints, *Journal of Productivity Analysis*, in press. <http://dx.doi.org/10.1007/s11123-010-0201-3>
- Johnson & Kuosmanen (2012): 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*, in press.

## Energiamarkkinaviraston (EMV) soveltama sähkön jakeluverkkoyhtiöiden valvontamalli

- Kuosmanen, Kortelainen, Kultti, Pursiainen, Saastamoinen & Sipiläinen (2010): *Sähköverkkotoiminnan kustannustehokkuuden estimointi StoNED-menetelmällä*, Sigma-Hat Economics Oy, 31.8.2010.

# Sähkön jakeluverkkotoiminnan valvonta

- Suomessa kotitaloudet ja yritykset voivat ostaa sähköenergian valitsemaltaan tuottajalta, mutta sähkön siirrosta on maksettava paikalliselle verkkoyhtiölle (paikallinen monopoli)
- EMV valvoo sähkön siirtohinnoittelun kohtuullisuutta
- Verkkoon sitoutuneelle pääomalle määritellään kohtuullinen tuottoaste CAPM-mallin avulla (capital asset pricing model)
- Kohtuullinen kustannustaso määritellään tehokkaan kustannusrintaman mukaisesti (DEA, SFA → StoNED)

# StoNED menetelmä

Menetelmässä yhdistyvät DEA- ja SFA-menetelmien toivotut ominaisuudet

- DEA:n aksiomaattinen ei-parametrinen rintama
- SFA:n stokastinen virhetermi
- DEA ja SFA ovat StoNED-mallin erikoistapauksia

StoNED menetelmän etuja

- Lievemmat oletukset → laajempi soveltuvuusala
- Robusti
- Tilastolliset spesifikaatiotestit

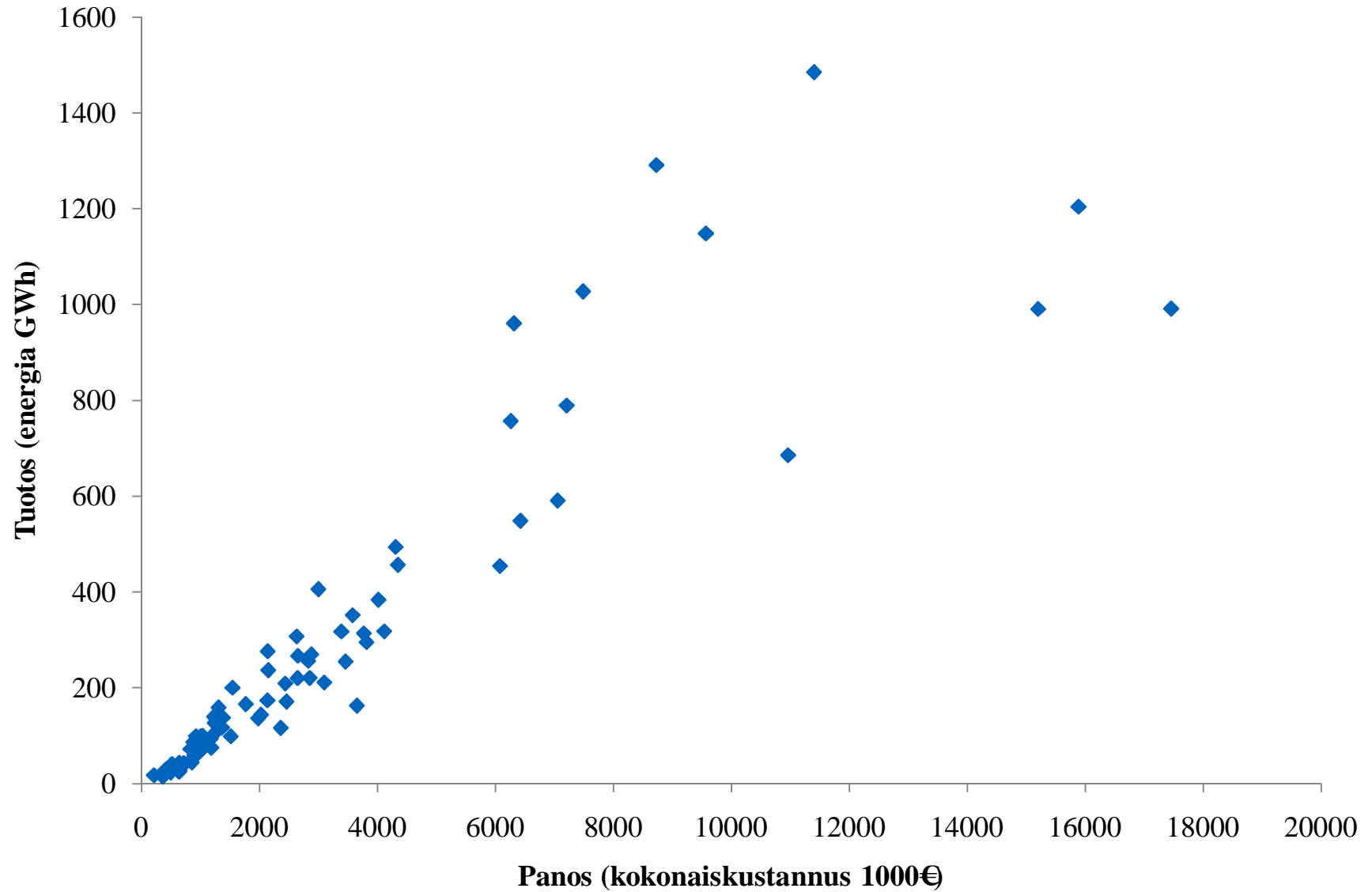
# Tehostamistavoite eri menetelmillä estimoituna Milj. € (2008 hinnoin)

---

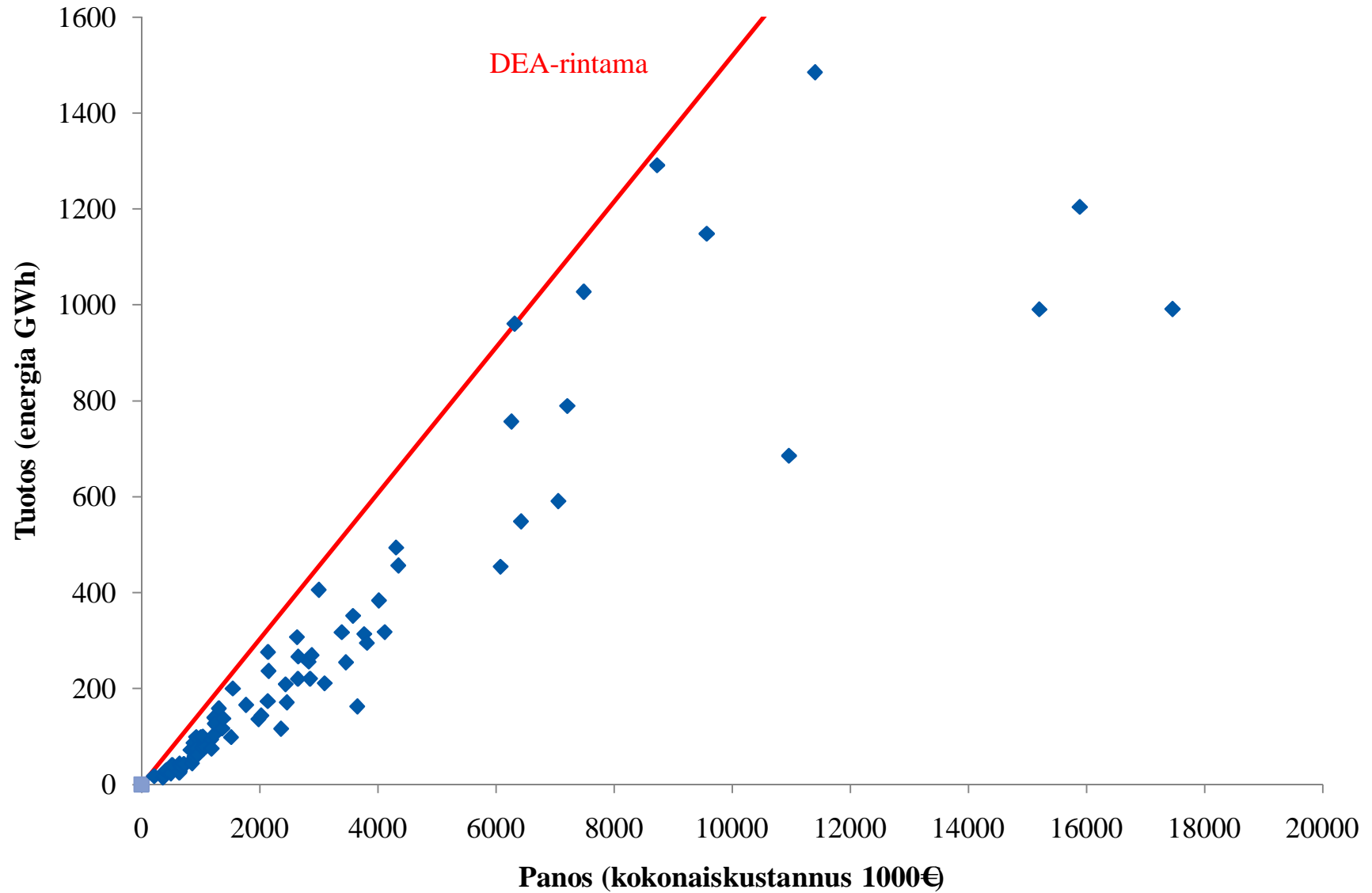
	toimiala yht.	keskiarvo	keski- hajonta	minimi	maksimi
DEA	141,382	1,589	3,888	0,000	27,654
SFA	93,023	1,045	2,185	0,024	13,599
DEA ja SFA keskiarvo	117,205	1,317	2,947	0,017	20,627
StoNED	47,508	0,534	1,326	0,000	11,113

---

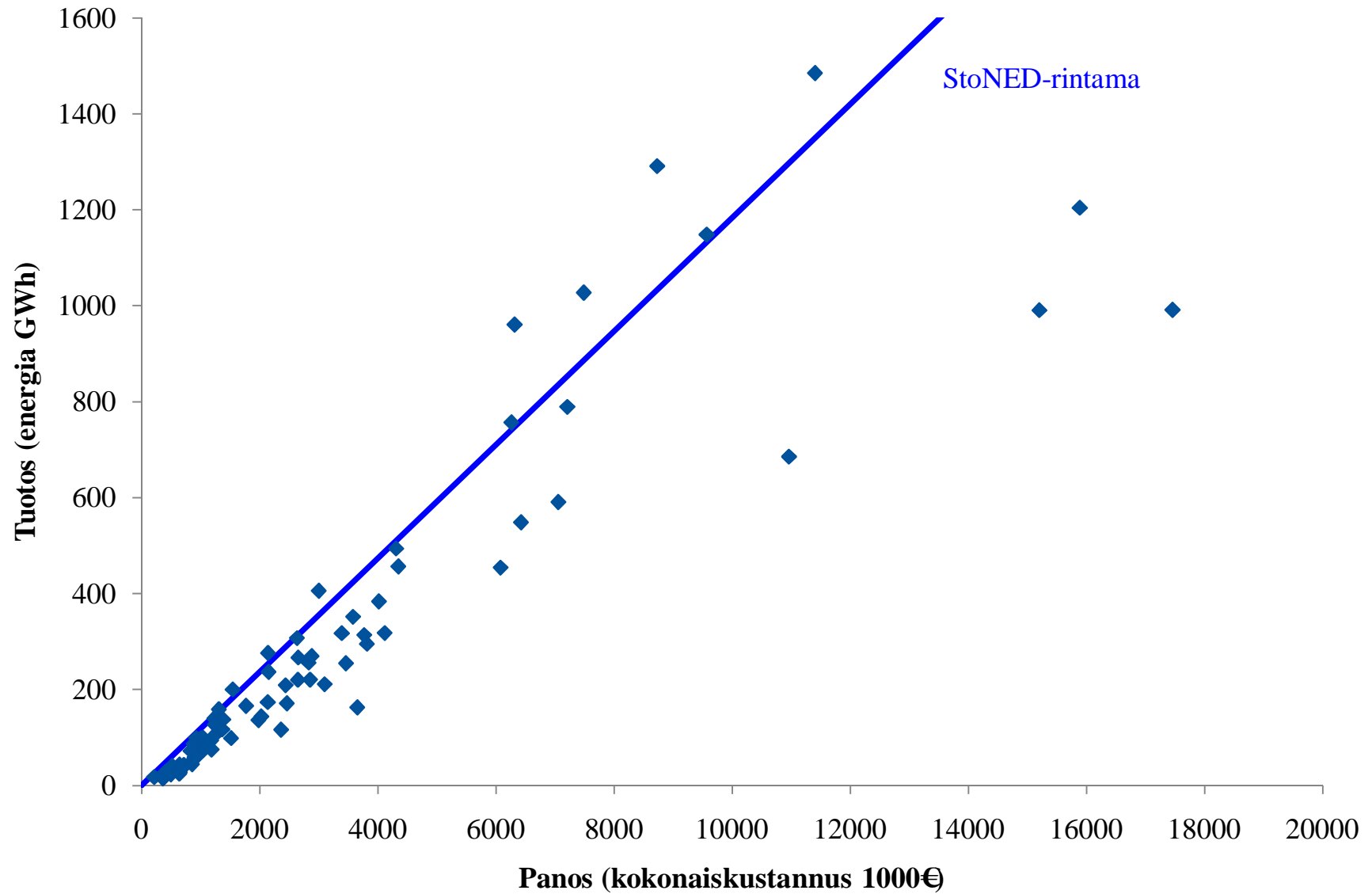
# Virhetermin merkitys



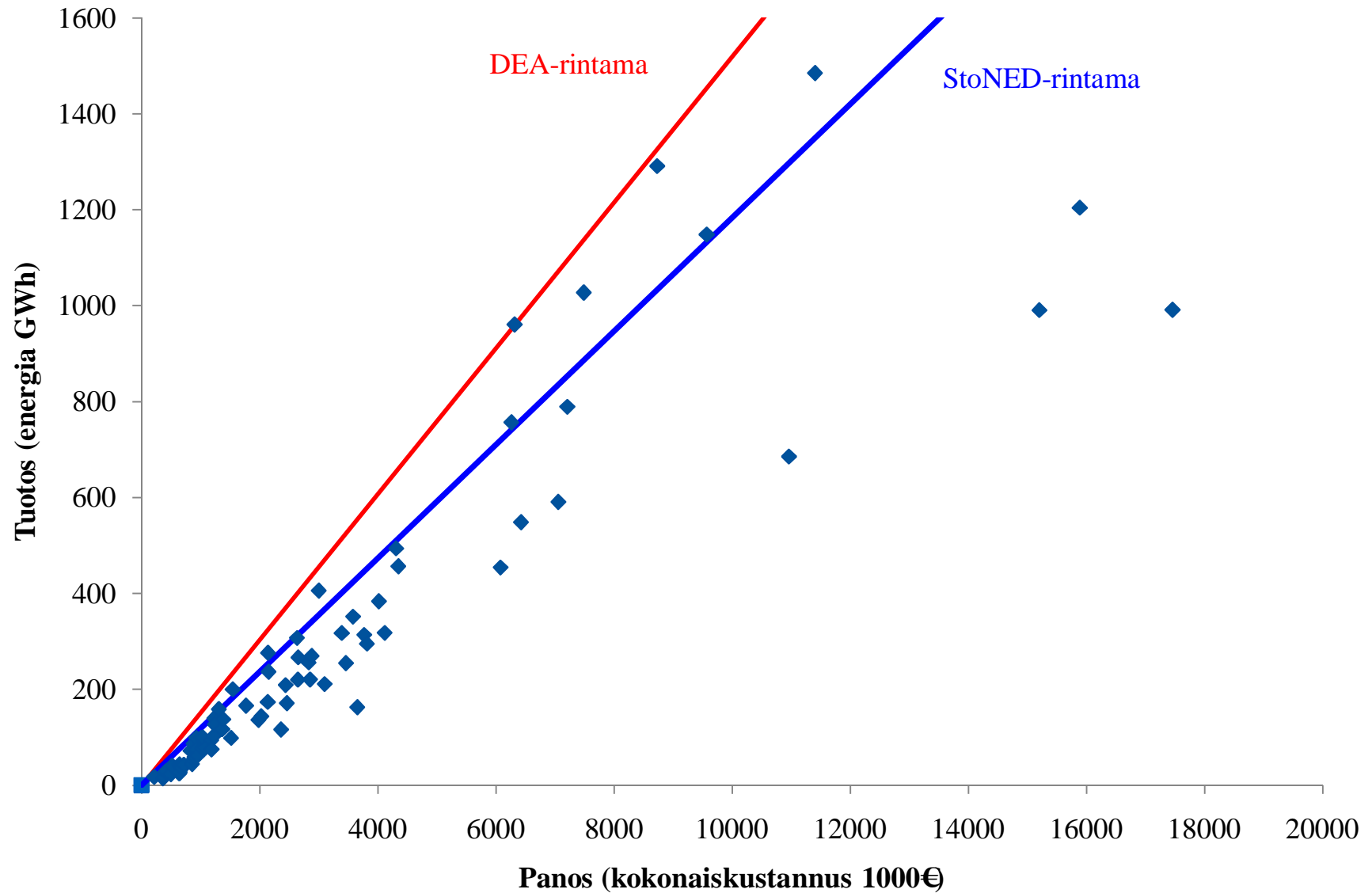
# Virhetermin merkitys



# Virhetermin merkitys



# Virhetermin merkitys



# Stokastinen kustannusrintamamalli

$$x_i = C(\mathbf{y}_i) + u_i + v_i$$

$x_i$  on yrityksen  $i$  havaittu kustannus

$C$  on kustannusfunktio (tehokas kustannus)

$\mathbf{y}_i$  on yrityksen  $i$  tuotosvektori

$u_i$  on yrityksen  $i$  tehottomuustermi

$v_i$  on yrityksen  $i$  virhetermi

# DEA-menetelmä

$$x_i = C(\mathbf{y}_i) + u_i$$

- Kustannusfunktiolle  $C$  ei oleteta tiettyä funktiomuotoa, ainoastaan tuotantoteorian mukaiset säännöllisyys ehdot:
  - $C$  on kasvava, konvekksi ja noudattaa vakioskaalatuottoja
- Heikkous: Virhetermiä  $v$  ei huomioida. Käytännössä satunnaisvirheiden vaikutus tulkitaan tehottomuudeksi.

# SFA-menetelmä

$$x_i = \beta y_i + u_i + v_i$$

- Heikkous: kustannusfunktio  $C$  oletetaan lineaariseksi
- Satunnainen virhetermi  $v$  erotetaan tehottomuudesta  $u$  todennäköisyysmallin avulla.

# StoNED-menetelmä

$$x_i = C(\mathbf{y}_i) + u_i + v_i$$

- DEA:n tapaan kustannusfunktiolle  $C$  ei oleteta tiettyä funktiomuotoa, ainoastaan tuotantoteorian mukaiset säännöllisyys ehdot:
  - $C$  on kasvava, konvekksi ja noudattaa vakioskaalatuottoja
- SFA:n tapaan satunnainen virhetermi  $v$  erotetaan tehottomuudesta  $u$  todennäköisyysmallin avulla.

# EMV:n valvontamallissa sovellettava spesifikaatio

$$x = C(y_1, y_2, y_3) \cdot \exp(\delta z + u + v)$$

$x$  on kokonaiskustannus (sis. operatiivinen kustannus, verkon jälleenhankinta-arvosta laskettu tasapoisto ja keskeytyksistä aiheutunut haitta)

$C$  on kasvava ja konvekssi kustannusfunktio joka noudattaa vakioskaalatuottoja

$y_1$  on jännitetasoittain painotettu energian siirron määrä (GWh)

$y_2$  on verkon kokonaispituus (km)

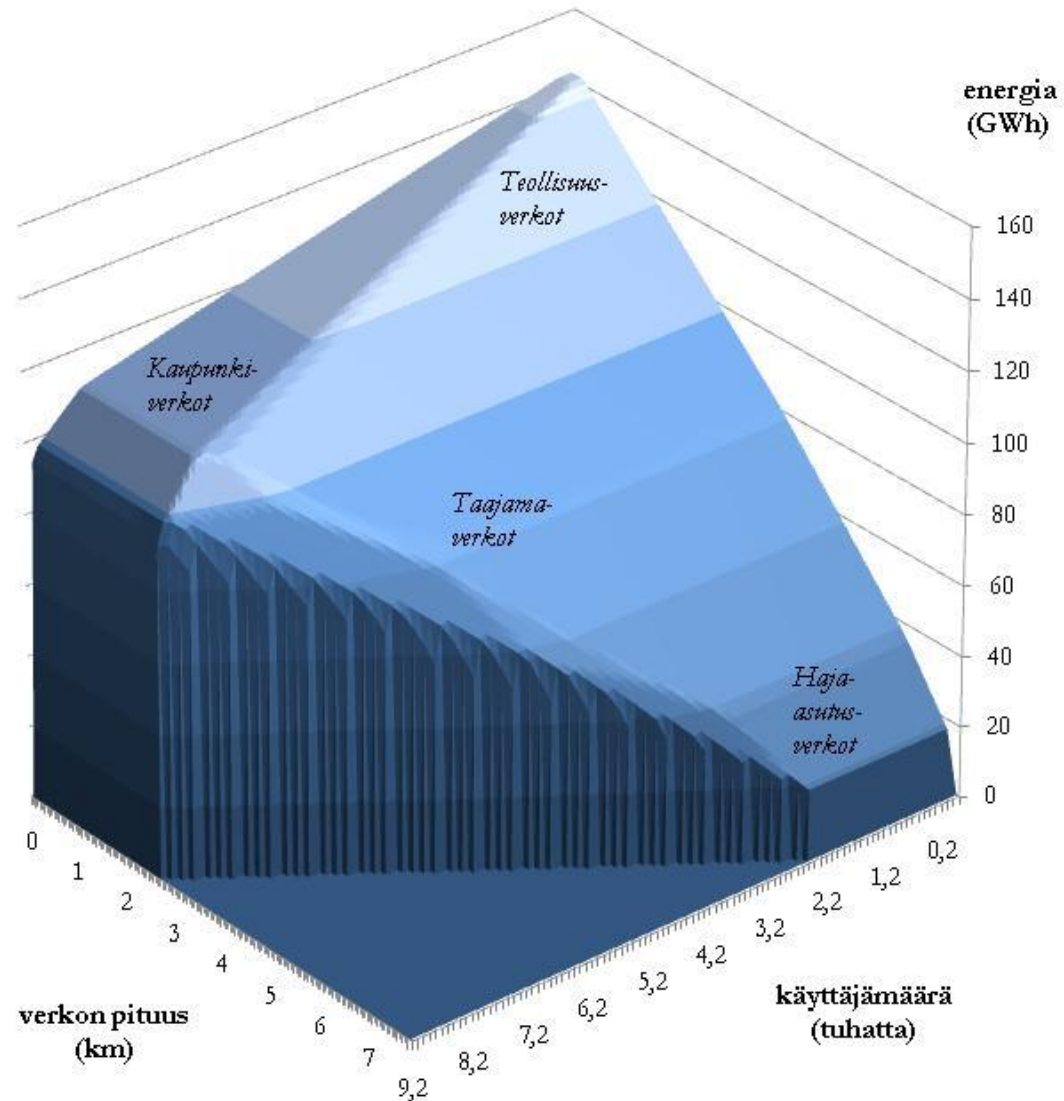
$y_3$  on käyttäjien lkm

$z$  on keskijänniteverkon (1-70 kV) maakaapelointiaste

$u$  on puoli-normaalisti jakautunut tehottomuustermi

$v$  on normaalisti jakautunut virhetermi

# StoNED-rintama tuotosavaruudessa



# Tuotosten varjohintojen tunnuslukuja

	Energian siirto (c/kWh)	Verkon pituus (€/km)	Käyttäjä- määrä (€/käyt.)
Keskiarvo	0,4773	930,09	12,94
Keskihajonta	0,1222	172,09	18,33
Mediaani	0,5686	985,44	0,00
Minimi	0,0518	0,00	0,00
Maksimi	0,6126	1045,25	76,36

# Tehottomuus- ja virhetermin estimointi momenttimenetelmän avulla

Tunnusluku	Estimaatti
Selittämättä jäänyt kokonaisvarianssi ( $\sigma^2$ )	0,0324
Tehottomuustermin $u$ varianssi ( $\sigma_u^2$ )	0,0206
Virhetermin $v$ varianssi ( $\sigma_v^2$ )	0,0118
Tehottomuustermin $u$ odotusarvo ( $\mu$ )	0,1146
Kustannustehokkuuden odotusarvo	89%

# Maakaapelointiasteen ( $z$ ) vaikutus

Tunnusluku	Estimaatti
$\delta$ kerroin	0,3600
keskivirhe	0,0581
$t$ -testisuureen arvo	6,1942
$p$ -arvo	0,0000
95% alaraja	0,2443
95% yläraja	0,4752
Osittainen selitysaste	0,3060

## StoNED-menetelmän etuja

- 1) Stokastinen virhetermi huomioidaan mallissa eksplisiittisesti todennäköisyyslaskennan keinoin.
- 2) Yritysten ja niiden toimintaympäristöjen heterogeenisuus huomioidaan z-muuttujien avulla.
- 3) Perinteiset tilastolliset testit ja luottamusvälit soveltuvat z-muuttujien estimointiin.
- 4) Menetelmä on käyttäjäystävällinen verrattuna useimpiin muihin semi- ja ei-parametrisiin menetelmiin (EMV:lle laadittu Excel-sovellutus).

# Liite: StoNED-menetelmä

**Vaihe 1:** ratkaistaan optimointiongelma (NLP)

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

s.t.

$$\ln x_i = \ln \gamma_i + \delta z_i + \varepsilon_i \quad \forall i$$

$$\gamma_i = \beta'_i y_i \quad \forall i$$

$$\gamma_i \geq \beta'_h y_i \quad \forall h, i$$

$$\beta_i \geq 0 \quad \forall i$$

# Liite: StoNED-menetelmä

**Vaihe 2:** Estimoidaan virhetermin  $u$  varianssi residuaalien vinouden ( $M_3$ ) perusteella

$$\hat{\sigma}_u = \sqrt[3]{\frac{\hat{M}_3}{\left(\sqrt{\frac{2}{\pi}}\right)\left[\frac{4}{\pi} - 1\right]}}$$

Estimoidaan kustannusrintama

$$\hat{C}^{StoNED}(y) = \gamma_i \cdot \exp(-\hat{\sigma}_u \sqrt{2/\pi})$$

Yrityskohtaiset tehokkuusestimaatit saadaan käyttämällä Jondrow et al. (1982) esittämää ehdollisen odotusarvon kaavaa.