

Keskusteluaiheita Discussion papers

Hannu Törmä*)

KATSAUS ERAISIIN POHJOISMAISIIN
PANOSSUBSTITUUTTIOTUTKIMUKSIIN

No 232

01.04.1987

*) Lehtori Jyväskylän yliopisto,
taloustieteen laitos (puh. 941/292 168)

Haluan kiittää ETLA:n toimialaryhmän jäseniä,
erityisesti Pekka Ilmakunnasta, Pekka Ylä-Anttilaa
ja Synnöve Vuorta rakentavista kommentteista.

ISSN 0781-6847

This series consists of papers with limited circulation,
intended to stimulate discussion. The papers must
not be referred or quoted without the authors'
permission.



TÖRMÄ, Hannu, KATSAUS ERÄISIIN Pohjoismaisiin Panossubstituutiotutkimuksiin. Helsinki : ETLA, Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos, The Research Institute of the Finnish Economy, 1987. 49 s. (Keskusteluaiheita, Discussion Papers, ISSN 0781-6847 ; 232).

TIIVISTELMÄ: Työpaperi on kirjallisuuskatsaus pohjoismaiseen panossubstituutiotutkimukseen. Kirjallisuushaun perusteella vertailuun valittiin yhteensä kolmetoista suomalaista, ruotsalaista ja norjalaista tutkimusta, joissa on esitetty empiirisiä tuloksia pääoman, työn, energian ja raaka-aineiden välisistä korvattavuusmahdollisuuksista. Vertailuun otettiin mukaan myös kolme kansainvälistä poikkileikkaus- ja aikasarja-aineistoa (joissa jotkut Pohjoismaat ovat edustettuina) käyttänyttä tutkimusta.

Vertailussa kiinnitettiin huomiota panoskysynnän mallittamiseen tarkastelemalla käytettyjen panoskysynnän mallien funktiomäärityksiä, tehtyjä oletuksia teknologian homoteettisuudesta ja teknisestä kehityksestä. Tämän ohella vertailtiin aineistoja ja estimointimenetelmiä sekä tapaa, jolla pääoman hinnoittelu oli tehty. Lisäksi tarkasteltiin tutkimuksessa saatuja yleisiä päätelmiä ja erityisesti panossubstituutiotuloksia sekä tehdasteollisuudessa että toimialatasolla.

Työpaperin tavoitteena on paitsi tuottaa kokoavaa informaatiota alan tutkimuksesta Pohjoismaissa, niin myös pohtia voidaanko olemassaolevan tutkimustiedon perusteella tehdä johtopäätöksiä Suomen, Ruotsin ja Norjan teollisuuksien välisistä eroista esim. energiakriiseihin sopeutumisessa. Vastaus tähän kysymykseen on katsauksen perusteella kielteinen estimoitujen panoskysynnän mallien spesifiointi- ja aineistoerojen takia, vaikka pohjoismaista panossubstituutiotutkimusta voidaankin pitää kansainväliset mittapuut täyttävänä.

ASIASANAT: Panoskysyntä, tuotantopanosten korvattavuus, pohjoismainen vertailu, pääomapanoksen hinta.

KATSAUS ERÄISIIN POHJOISMAISIIN
PANOSSUBSTITUUTTIOTUTKIMUKSIIN

SISÄLTÖ:	Sivu
1. JOHDANTO	1
2. PANOSKYSYNNÄN MALLITTAMINEN	3
2.1 Mallien teoria ja rakenne	3
2.2 Homoteettisuus ja tekninen kehitys	6
2.3 Aineistot ja estimointimenetelmät sekä pääoman hinta	12
3. TARKASTELLUT TUTKIMUKSET	14
3.1 Suomi	14
3.2 Ruotsi	23
3.3 Norja	30
3.4 Kansainvälisiä tutkimuksia	32
4. PANOSSUBSTITUUTTIOTULOKSET	35
4.1 Aggregaattipanosten substituuutio	35
4.2 Energiapanosten hintajoustavuus	37
4.3 Toimialoittaiset tulokset	41
5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	44
LÄHDELUETTELO	47

1. JOHDANTO

Teollisuuden tuotantopanosten kysyntään liittyvä taloustieteen teoreettinen ja empiirinen tutkimus on ollut 1970-luvun alun jälkeen suhteellisen vilkasta. Uusia dualiteettiteoreettisia ja ns. joustavien funktiomuotojen kehittymiseen liittyviä valmiuksia on, varsinkin ensimmäisen energiakriisin jälkeen, sovellettu teollisuuden pääoma-, työ-, energia- ja raaka-ainepanosten kysynnän hintajoustavuutta ja näiden panosten välisiä substituointimahdollisuuksia analysoitaessa. Eniten tutkimuksia on tehty U.S.A:n ja Kanadan tehdasteollisuudelle, mutta nyt, kun on kulunut yli kymmenen vuotta Berndtin ja Woodin (1975) artikkelista, jossa tuotantopanosten (energia ml.) kysyntämalli johdettiin duaalin Translog-kustannusfunktion kautta, lienee useimmissa kehittyneissä maissa analysoitu energia- ja ei-energiapanosten substituointimahdollisuuksia usein empiirisin välinein.

Panossubstituutiotutkimusta on harjoitettu myös Pohjoismaissa, joskin uusi tutkimusperinne on omaksuttu vasta 1980-luvun alkupuolelta lähtien. Tämä tutkimus on kansainväliset mittapuut täyttävää ja se on kyennyt osaltaan hahmottamaan erityisesti energian hinnan roolin merkitystä taloudessa. Toistaiseksi kattavaa katsausta tähän tutkimukseen ei ole esitetty. Tässä onkin tarkoitus verrata toisiinsa Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa tehtyjä panossubstituutiotutkimuksia sekä niiden tutkimusmetodien että keskeisten empiiristen tulosten suhteen. Tanska ja Islanti on jouduttu jättämään vertailusta pois, koska näistä maista ei voitu löytää tutkimuksen tarkoituksen kannalta vertailukelpoista tutkimusaineistoa. Kirjallisuuskatsaukseen ei ole pyritty ottamaan mukaan kaikkia maittaisia tutkimuksia, vaan katsauksen kattavuus on pyritty takaamaan ottamalla mukaan keskeisimmät tutkimukset kustakin maasta. Tarkasteluun on otettu mukaan kaikkiaan 16 eri tutkimusta, joista kolme on tehty kansainvälistä poikkileikkaus- ja aikasarja-aineistoa käyttämällä muiden ollessa tyypillisesti maittaisia analyysejä.

Tämä työpaperi liittyy laajempaan tutkimushankkeeseen, jossa on myös tarkoitus estimoida ja testata mahdollisia maittaisia panossubstituutioeroja. Tutkimuskokonaisuuden toisen osan tavoitteena voidaankin pitää sen selvittämistä eroaako panossubstituutio Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa jollain merkittävällä tavalla. Tutkimusongelman taustalla on ajatus eroista mahdollisiin energiakriiseihin sopeutumisessa. On selvää, että maassa, jossa energiaa voidaan helpoimmin korvata pääomalla, työllä tai raaka-aineilla, mukautuminen energiakriisiin tapahtuu joustavimmin. Maittaiset tutkimukset eivät anna tarpeeksi informaatiota substituutioeroista käytettyjen mallien ja estimointiperiodien eroista johtuen. Tutkimuksessa onkin tarkoitus suorittaa yhdenmukaisella panoskysyntämallilla ja maittaisella aineistolla estimointiin perustuvia laskelmia panossubstituutiosta. Mahdolliset maittaiset erot pyritään todentamaan tilastollisin testein.

Tutkimuksen toisessa osassa on tarkoitus tarkastella myös saatujen empiiristen tulosten perusteella ns. negatiivisen energiakriisin vaikutuksia maiden teollisuuden panoskysyntään. Viimeaikainen raakaöljymarkkinoiden ylitarjontatilanne perustelee tämän tutkimusongelman. Tutkimuksen tässä osassa on tarkoitus laskea millaisia vaikutuksia energian oletetulla 30 %:n hinnanalennuksella tulosten mukaan olisi Suomen, Ruotsin ja Norjan teollisuuden pääoman, työn, energian ja raaka-aineiden kysyntään. Tässä yhteydessä pyritään energian hinnanmuutoksen kokonaisvaikutus jakamaan substituutio- ja tuotantovaikutukseen.

Tässä työpaperissa raportoidaan tutkimuskokonaisuuden ensimmäisen osan tulokset ja keskitytään vertailemaan Pohjoismaissa tehtyjä panossubstituutiitutkimuksia. Tutkimuksen toisen osan tulokset julkaistaan myöhemmin ETLA:n sarjassa.

Toisessa luvussa tarkastellaan panoskysynnän mallittamista käytettyjen panoskysynnän mallien rakenteen, spesifioinnin, aineiston ja estimointimenetelmien kannalta. Kolmannessa luvussa tarkastellaan valittuja tutkimuksia lähemmin ja luvussa neljä raportoidaan yhteenvedot tarkasteltujen tutkimusten empiirisistä tuloksista. Viimeisessä luvussa tehdään yhteenveto ja johtopäätökset.

Katsaukseen on otettu mukaan neljä suomalaista tutkimusta: Tarkka (1983), Pikkarainen (1984), Törmä (1986) sekä Törmä ja Loukola (1986). Ruotsalaisia tutkimuksia on seitsemän: Sjöholm (1981), Dargay (1983 a ja b), Jansson (1983), Lundgren (1983), Hultkrantz (1983) ja Wibe (1983). Norjasta on mukaan otettu kaksi tutkimusta: Longva ja Olsen (1983) sekä Bye (1984). Kansainvälisiä tutkimuksia edustaa Griffin ja Gregory (1976), Pindyck (1979) sekä Hesse ja Tarkka (1985).

Mainittakoon, että Suomessa alaa ovat harrastaneet myös Saariaho (1984) ja Vanninen (1984). Saariahon työ on teoreettinen ja siinä tarkastellaan energian substituotavuutta tilanteessa, jossa energia jaetaan, sen tuotantoprosessissa esiintymisvaiheen mukaan, kolmeen osaan: primäärienergiaan, energiankantajiin ja energianlaatuihin. Vanninen puolestaan tarkastelee mahdollisuuksia jakaa Suomen teollisuuden kokonaisenergian kysynnän muutokset tuotannon kasvun, teollisuuden rakennemuutoksen, ominaiskulutuksen pienenemisen sekä eri energialajien välisen substituution aiheuttamiksi. Näissä suomalaisissa tutkimuksissa ei kuitenkaan esitetä empiirisiä tuloksia energian korvattavuudesta, joten kun tarkasteltavien tutkimusten joukko on jo nytkin laaja, niin näitä tutkimuksia ei erikseen käsitellä. Ruotsalaisista panoskysyntätutkimuksista jätetään analyysin ulkopuolelle tutkimus Bergström ja Panas (1985), koska siinä tarkastellaan ainoastaan pääoman ja työn panoskysyntää, tosin Translog-kehikossa.

2. PANOSKYSYNNÄN MALLITTAMINEN

Tarkastellaan lyhyesti valituissa tutkimuksissa käytettyjä panoskysynnän mallittamistapoja ennen tutkimusten tarkempaa läpikäymistä.

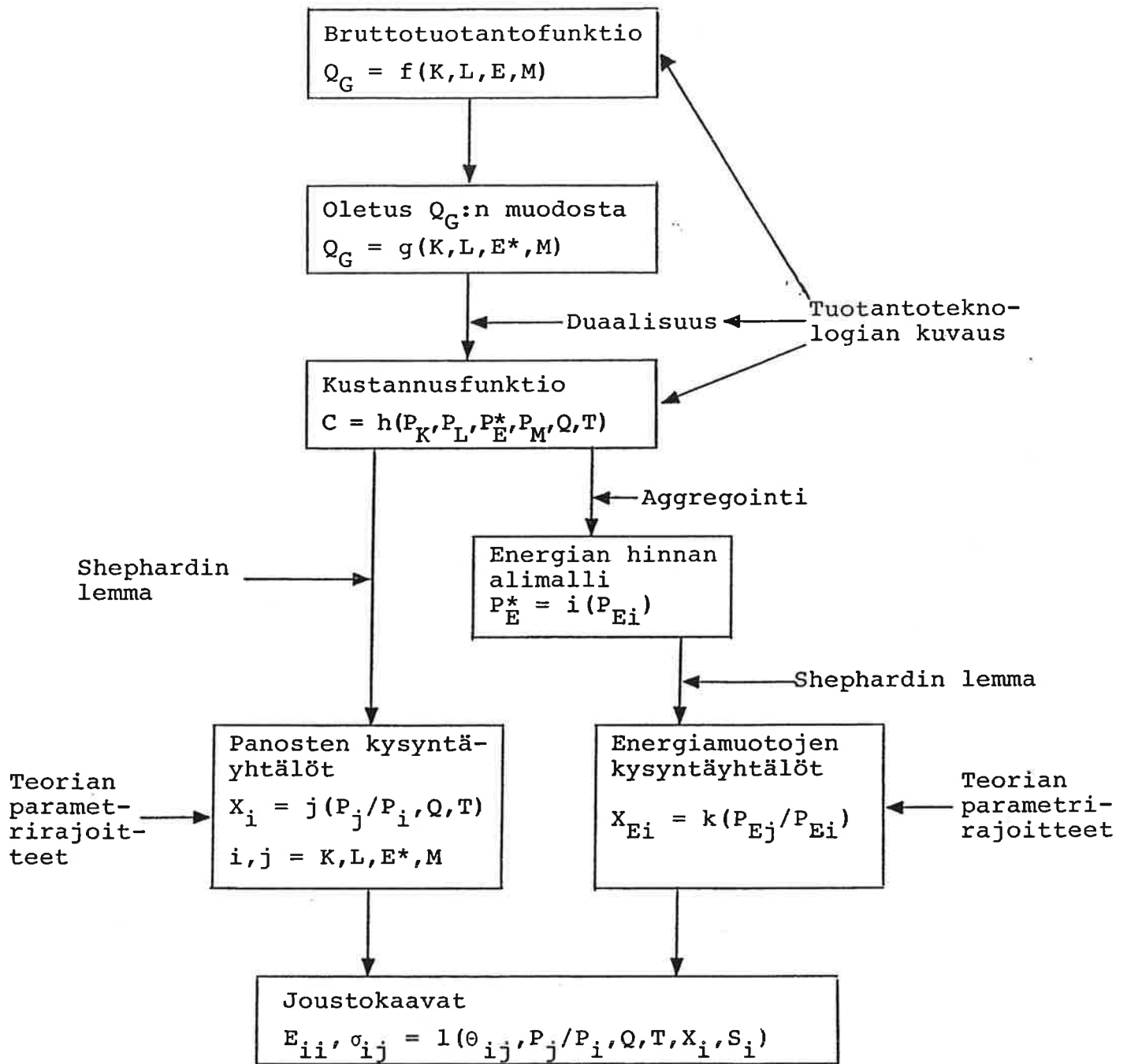
2.1 Mallien teoria ja rakenne

Useimmat tässä tarkasteltavat tutkimukset hyödyntävät sitä dualiteettiteorian tulosta, jonka mukaan tuotantoteknologia voidaan, eräiden varsin yleisten rajoitteiden ollessa voimassa, kuvata yhtäläisesti tuotantofunktion sijasta kustannusfunktion avulla. Tämä merkitsee sen olettamista, että kustannusten riippuvuus panoshinnoista kertoo saman panossubstituutiosta kuin tuotannon riippuvuus panosten määristä. Joustot voidaan siten laskea yhtähyvin estimoidun kustannusfunktion parametrien perusteella kuin estimoiduista tuotantofunktion parametreista. Yritysten oletetaan tällöin minimoivan kustannuksiaan. Dualiteettiteoriaan liittyy Shephardin lemma, jonka mukaan määrätyn panoksen kustannukset minimoiva määrä saadaan ottamalla kustannusfunktioista, joka oletetaan panoshintojen ja tuotannon määrän funktioksi ja kahdesti differentioituvaksi, ensimmäinen osittaisderivaatta ko. panoksen hinnan suhteen. Panosten kysyntäyhtälöt johdetaan siten varsin yksinkertaisesti: differentioimalla.

Useissa tässä tarkasteltavissa tutkimuksissa mallitetaan aggregaattipanosten pääoman, työn, energian ja raaka-aineiden substituution lisäksi myös eri energiamuotojen substituutiomahdollisuudet. Tämä tehdään Fussin (1977) kaksivaiheisen panoskysyntämallin avulla, jossa oletetaan määrättyjen separoituvuusoletusten kautta tuotantokustannusten kaksivaiheinen minimointi. Lohkokaavio 2.1.1 (kts. s. 4) kuvaa tyypillisen kaksivaiheisen mallin rakennetta.

Mallin muodostaminen lähtee bruttotuotantofunktio-käsitteestä, jolla tarkoitetaan tuotannon ja panosten välisen suhteen teknistä kuvausta. Panosrakenteessa esiintyy pääoma (K), työ (L), raaka-aineet (M) ja energia (E) itsenäisenä tuotantoon vaikuttavana tekijänä. Tuotanto on esitetty bruttomuodossaan, koska energian ja raaka-aineiden panosvaikutus on siinä mukana. Tuotosta, joka on vain primaaripanosten, pääoma ja työ, funktio kutsutaan nettotuotokseksi (arvonlisä).

Energian alimallin muodostamisessa on bruttotuotantofunktion muodosta tehtävällä heikon homoteettisen separoituvuuden oletuksella keskeinen merkitys. Tuotantofunktion oletetaan separoituvan pääoma-, työ-, energia- ja raaka-ainepanostensa suhteen siten, että kukin aggregaatti on homoteettinen eli esim. energia-aggregaatti on riippumaton energian kokonaisuudesta. Separoituvuus tarkoittaa sitä, että kunkin panoksen muotojen, esim. eri energiamuotojen, väliset rajasubstituutiosuhteet ovat riippumattomia muiden panosten määristä.



Lohkokaavio 2.1.1 | Tyypillisen kaksitasoisen panos-
kysyntämallin rakennekuvaus

Konsistentteja aggregaatteja voidaan siten käyttää. Lohkokaa-
viossa energia-aggregaattia on merkitty E^* :llä.

Mallissa tuotantoteknologiaa kuvataan kustannusfunktiolla C bruttotuotantofunktion sijasta. Kustannusfunktion oletetaan olevan vastaavalla tavalla heikosti homoteettisesti separoituvan. Tämä on mahdollista hyödyntämällä dualiteettiteoriaa aiemmin kuvatulla tavalla. Kustannukset tulevat panoshintojen P , tuotannon määrän Q ja teknisen kehityksen T funktioiksi. Energian alimallin rakentaminen liittyy myös aggregointiin, ts. alimalli aggregoi eri energiamuotojen hinnat ja muodostaa energia-aggregaatille keskimääräisen hinnan. Lohkokaaviossa on energian keskimääräistä hintaa eli energian aggregaattihintafunktiota merkitty P^*E :llä, joka tulee homoteettisuu-
tensa takia vain energiamuotojen hintojen PE_i funktioksi. Kokonaisenergian määrän ei siten katsota vaikuttavan energian keskimääräiseen hintaan.

Kustannusfunktiota teknologian kuvauksessa käytettäessä oletetaan, että tuottaja minimoi kustannuksiaan. Esitetyn mallin mukaan tämä kustannusten minimointi on kaksivaiheinen. Energian alimalli kuvaa eri energiamuotojen kustannusten minimointiin liittyvän teknologian ja panosten aggregaattimalli kuvaa puolestaan varsinaisten panosten tasolla tapahtuvan kustannusten minimoinnin ja siihen liittyvän teknologian. Päätöksentekijän oletetaan siten ensimmäisessä vaiheessa päättävän optimaalisesta energiamuotojen kombinaatiosta ja toisessa vaiheessa optimaalisesta aggregaattipanosten kombinaatiosta. Kaksivaiheisuus seuraa separoituvuudesta ja mahdollistaa sen, että kaikki teknologiaan liittyvät joustot, kuten panosten kysynnän oman hinnan ja substituutiojoustot, voidaan laskea itsenäisesti aggregaattimallista ja energian alimallista. Kaksivaiheisuus merkitsee edelleen sitä, että energiamuotojen kustannukset minimoiva allokaatio on riippumaton esim. pääoman määrästä tuotannossa. Tämä lieneekin mallin ongelmallisin oletus, joka on kuitenkin tarpeellinen jotta po. rakenteessa voitaisiin päästä estimoimaan aggregaattien "sisällä" olevia joustoja, ts. esim. jotta voitaisiin estimoita aggregaattien lisäksi myös eri energiamuotojen kysynnän joustoja.

Panosten ja energiamuotojen kysyntäyhtälöt (X_i , X_{E_i}) johdetaan käyttämällä Shephardin lemmaa. Aggregaattipanosten kysynät tulevat suhteellisten panoshintojen, tuotannon määrän ja teknisen kehityksen funktioiksi ja eri energiamuotojen kysynät tulevat energiamuotojen suhteellisten hintojen funktioiksi. Kysyntämallit muodostavat kysyntäyhtälöjärjestelmän, johon liittyy määrättyjä neoklassisen tuotantoteorian asettamia symmetria- ja additiivisuusrajoitteita parametreille. Panosten ja energiamuotojen kysynnän oman hinnan joustot E_{ii} ja substituutiojoustot σ_{ij} tulevat mallien parametrien θ_{ij} , suhteellisten panoshintojen, tuotannon määrän, teknisen kehityksen ja panosten ja energiamuotojen kustannusosuuksien S_i funktioiksi kustannusfunktioiden tarkasta matemaattisesta muodosta riippuen.

Kuvattu kaksitasoinen malli on luonteeltaan staattinen, siinä mukautumisen esim. panoshinnoissa tapahtuviin muutoksiin oletetaan tapahtuvan välittömästi, aikasarja-aineistoa käytettäessä yhden vuoden aikana. Malli estimoidaan kaksivaiheisesti: ensin estimoidaan energian alimalli energiamuotojen kysyntäyhtälöjärjestelmän kautta ja toisessa vaiheessa estimoidaan aggregaattimalli panosten kysyntäyhtälön kautta energian alimallin aggregoidessa energiapanoksen hinnan. Kaikissa tässä tarkasteltavissa tutkimuksissa ei energiamuotojen substituutiota malliteta eksplisiittisesti.

2.2 Homoteettisuus ja tekninen kehitys

Panosten kysyntäyhtälöiden tarkka matemaattinen muoto riippuu käytetyn kustannusfunktion funktiomuodosta. Dualiteettiteoriaa hyödyntävissä tutkimuksissa on pyritty käyttämään funktiomuotoja, jotka matemaattisen muotonsa puolesta mahdollisimman vähän a priori rajoittaisivat estimoitavia substituutorakenteita. Translog- ja yleistetty Leontief-funktiot täyttävät tämän ehdon ja niitä voidaan pitää mielivaltaisen funktion toisen asteen approksimaatioina. Tarkastellaan näitä funktioita lähemmin mahdollisimman yleisissä muodoissaan.

Yleinen Translog-kustannusfunktio on muotoa:

$$\begin{aligned}
 (2.2.1) \quad \ln C = & \beta_0 + \sum_i \beta_i \ln P_i + \beta_q \ln Q + \beta_T T \\
 & + 1/2 \sum_i \sum_j \beta_{ij} \ln P_i \ln P_j \\
 & + \sum_i \beta_{iq} \ln Q \ln P_i + \sum_i \beta_{it} T \ln P_i \\
 & + 1/2 \beta_{qq} (\ln Q)^2 + 1/2 \beta_{tt} T^2 \\
 & + \beta_{tq} T \ln Q
 \end{aligned}$$

Yleiseen muotoon on otettu mukaan sekä tuotos että eksogeeninen tekninen kehitys tuotantokustannusten selittäjäksi, koska tässä sallitaan sekä kustannusfunktion epä-homoteettisuus että teknisen kehityksen ei-neutraalisuus. Kustannusfunktio on lineaarisesti homogeeninen panoshintojen suhteen. Tämä ja muut tuotantoteorian hyväkäyttävälle kustannusfunktiolle asettamat rajoitteet vaativat seuraavien parametrirajoitteiden asettamista:

$$\begin{aligned}
 (2.2.2) \quad \beta_{ij} &= \beta_{ji} \\
 \sum_i \beta_i &= 1 \\
 \sum_i \beta_{ij} &= 0 \\
 \sum_i \beta_{iq} &= 0 \\
 \sum_i \beta_{it} &= 0
 \end{aligned}$$

Panosten kysyntäyhtälöt, jotka kustannusfunktion logaritmi-
muodon takia esitetään kustannusosuusmuodossa, saadaan joh-
dettua Shephardin lemman avulla muotoon (d viittaa tässä
ja jatkossakin osittaisderivaattaan):

$$(2.2.3) \quad d \ln C / d \ln P_i = d C / d P_i \cdot P_i / C = S_i$$

$$d C / d P_i = X_i$$

$$S_i = (X_i P_i) / C$$

$$S_i = \beta_i + \sum_j \beta_{ij} \ln P_j + \beta_{iq} \ln Q + \beta_{it} T$$

Berndt ja Wood (1975) ovat todenneet, että panosten oman
hinnan joustot E_{ii} ja Allenin osittaiset substituutiojoustot
 σ_{ij} voidaan laskea kaavoista ($\hat{\quad}$ viittaa mallilla ennustettuun
arvoon):

$$(2.2.4) \quad E_{ii} = (\beta_{ii} + S_i^2 - S_i^2) / S_i$$

$$\sigma_{ij} = (\beta_{ij} + S_i S_j) / (S_i S_j) \quad [\forall i \neq j]$$

Skaalatuottoja voidaan analysoida kustannusten joustolla
tuotannon suhteen:

$$(2.2.5) \quad d \ln C / d \ln Q = \beta_q + \beta_{tq} T + \beta_{qq} \ln Q + \sum_i \beta_{iq} \ln P_i$$

Ohtan (1974) mukaan duaalinen skaalatuottojen aste voidaan määrittellä tämän jouston käänteisarvona. Jos näin laskettu arvo on pienempi/yhtäsuuri/suurempi kuin yksi, niin teknologian taustalla oleva tuotantofunktio noudattaa väheneviä/vakioisia/kasvavia skaalatuottoja.

Jos teknologiaa vastaava tuotantofunktio on homoteettinen, niin kustannusfunktio voidaan ilmaista tuotoksen ja panoshintojen separoituvana funktiona. Tällöin:

$$(2.2.6) \quad \beta_{iq} = 0 \quad \forall i$$

Edelleen, homoteettinen tuotantofunktio on homogeeninen jos edellisen ehdon lisäksi kustannusten jousto tuotannon suhteen on vakio, ts. jos:

$$(2.2.7) \quad \beta_{tq} = \beta_{qq} = 0$$

on kustannusfunktio homogeeninen ja jos myös:

$$(2.2.8) \quad \beta_q = 1$$

on kustannusfunktio lineaarisesti homogeeninen tuotannon suhteen ja teknologia on vakioskaalatuottoinen.

Kustannusfunktioon on otettu mukaan yksinkertainen teknisen kehityksen indeksi, aika T , joka esiintyy kustannusosuusyhtälöissä lineaarisesti. Panoshintojen ollessa vakiot kustannusosuuksien sallitaan muuttua ajassa eksogeenisen, ruumiillistumattoman teknisen kehityksen seurauksena. Aikamuuttujan kertoimen etumerkki ja tilastollinen nollasta poikkeavuus määrittävät teknisen kehityksen harhaisuuden. Teknisen kehityksen sanotaan olevan panosta i käyttävää jos $\beta_{it} > 0$, neutraalia jos $\beta_{it} = 0$ ja panosta i säästävää jos $\beta_{it} < 0$. Jos tekninen kehitys vaikuttaa panosten kysyntään samalla tavalla, ts. jos:

$$(2.2.9) \quad \beta_{it} = 0 = \text{vakio} \quad \forall i$$

niin teknisen kehityksen sanotaan olevan Hicks-neutraali.

Teknisen kehityksen vaikutus tuotantokustannuksiin voidaan johtaa differentioimalla kustannusfunktio ajan suhteen. Tuotanto- ja kustannusfunktion välinen duaalisuus mahdollistaa sen, että myös teknisen kehityksen aste eli kokonaistuottavuuden aste TP voidaan laskea Ohtan (1974) mukaan kaavasta:

$$(2.2.10) \quad TP = -(d \ln C/d T)/(d \ln C/d \ln Q)$$

Vastaava yleistetty Leontief-kustannusfunktio on puolestaan muotoa:

$$(2.2.11) \quad C = Q \sum_i \sum_j \alpha_{ij} P_i^{1/2} P_j^{1/2} + Q \sum_i \alpha_{iq} P_i^2 + Q T \sum_i \alpha_{it} P_i$$

Panosten kysyntäyhtälöt tulevat Shephardin lemman kautta muotoon:

$$(2.2.12) \quad X_i = d C/d P_i = \sum_j \alpha_{ij} (P_j/P_i)^{1/2} Q + \alpha_{iq} Q^2 + \alpha_{it} Q T$$

Usein kysyntäyhtälöt estimoidaan panos-tuotos-muodossa, jossa edellinen yhtälö jaetaan molemmin puolin Q :lla. Panosten kysynnän oman hinnan ja Allenin substituutiojoustot lasketaan kaavoista:

$$(2.2.13) \quad E_{ij} = [1/2 \alpha_{ij} (P_j/P_i)^{1/2} Q]/X_i$$

$$\sigma_{ij} = E_{ij} / S_i \quad (\forall i \neq j)$$

$$E_{ii} = - \sum_j E_{ij}$$

Diewert (1974) on osoittanut, että jos kaikki parametrit $\alpha_{iq} = 0$, niin yleistetty Leontief-kustannusfunktio vastaa vakio-skaalatuottoista teknologiaa. Muussa tapauksessa kustannusfunktio edustaa epä-homoteettista teknologiaa.

Yleistetyn Leontief-kustannusfunktion tapauksessa teknisen kehityksen harhaisuutta voidaan tutkia differentioimalla panossuhteen logaritmi ajan suhteen. Harhaisuuden mitta B_{ij} on siten:

$$(2.2.14) \quad B_{ij} = [d \ln (X_i / X_j)] / d T$$

B_{ij} :n positiivinen arvo merkitsee, että tekninen kehitys on panosta i käyttävää ja panosta j säästävää, vastaavasti negatiivinen arvo merkitsee panoksen i säästöä ja panoksen j käyttöä. Määritelmä johtaa n :n panoksen tapauksessa $n-1$ kapaleeseen harhoja kullekin panokselle.

Suurin osa tässä tarkastelluista tutkimuksista käyttää kuvattua panoskysyntämallin johtamistapaa. Taulukkoon 2.2.1 (kts. s. 11) on kerätty tietoja eräiden tässä tarkasteltujen tutkimusten käyttämistä panosrakenteista, funktiomuodoista sekä oletuksista homoteettisuuden ja teknisen kehityksen suhteen.

Taulukon mukaan suomalaisissa tutkimuksissa on pyritty disaggregoimaan panoksia eniten. Vallitsevin panosrakenne on ollut KLEM, joissain tutkimuksissa on energiapanos jaettu edelleen sähköön ja polttoaineisiin, kuten Byellä (1984), joka käsitteli ainoastaan energian alimallia. Kansainvälisissä tutkimuksissa on raaka-aineet jouduttu aineistosityistä jättämään tarkastelun ulkopuolelle. Tutkimuksissa on kustannusfunktio määritelty joko Translog- tai yleistettyyn Leontief-muotoon. Poikkeuksen muodostaa Wibe (1983), joka estimoi panosten joustorakenteen hyödyntäen Translog-tuotantofunktiota. Byen (1984) tutkimuksessa energian alimalli estimoitiin sekä yleisessä Leontief-muodossa, että CES-muotoon perustuen.

Tutkimuksissa tehdyt oletukset homoteettisuudesta ja tekniisestä kehityksestä kuvastavat skaala- ja teknisen kehityksen erottamisen vaikeutta. Varsinkin eräissä ruotsalaisissa tutkimuksissa on pyritty ottamaan huomioon molempien tekijöiden vaikutus ja estimoimaan eri kombinaatioita. Näiden tutkimusten empiiriset tulokset vahvistavat erottelun vaikeuden tilastollisin testein. Yleisin oletuskombinaatio on ollut epähomoteettisuus ja neutraali tekninen kehitys.

Tarkasteluun on tässä vertailussa valittu em. tutkimusten lisäksi joitain muita, tutkimusmetodologialtaan em. poikkeavia tutkimuksia. Suomalaisessa Pikkaraisen (1984) tutkimuksessa lasketaan toisaalta arvonlisän ja energiaaggregaatin välinen substituutiojousto ja toisaalta energian alimallissa sähkön ja polttoaineiden substituutiojousto hyödyntäen oletusta ns. kaksitasoisen CES-tuotantofunktion mukaisesta

Tutkimus	Panos- rakenne	Kustannusfunk- tion muoto	Oletukset homoteetti- suudesta	Oletukset teknisestä kehityksestä
<u>Suomi</u>				
Tarkka (1983)	$K_1 K_2 LE$	yleistetty Leontief	vakiot skaala- tuotot	useita neutraa- lin ja harhai- sen versioita
Törmä (1986)	$K^*L^*EF^*$ ja KLEM	Translog	epähomoteet- tinen	neutraali
Törmä, Lou- kola (1986)	$KLEMF^*$	yleistetty Leontief	epähomoteet- tinen	neutraali
<u>Ruotsi</u>				
Sjöholm (1981)	KLE^*M	yleistetty Leontief ja Translog	homoteettinen ja epähomoteet- tinen	neutraali ja harhainen
Dargay (1983a)	KLEM	Translog	epähomoteettinen	harhainen
Dargay (1983b)	KLE^*M	Translog	homoteettinen ja epähomo- teettinen	neutraali
Wibe (1983)	$KLEMF$	Translog-tuo- tantofunktio	vakiot skaala- tuotot	neutraali
<u>Norja</u>				
Longva, Olsen (1983)	KLE^*M	yleistetty Leontief	epähomoteetti- nen	neutraali
Bye (1984)	E F	yleistetty Leontief ja CES	homoteettinen vakiot skaala- tuotot	neutraali
<u>Kansainväli- siä tutki- muksia</u>				
Griffin, Gregory (1976)	KLE	Translog	homoteettinen	neutraali
Pindyck (1979)	KLE^*	Translog	epähomoteet- tinen	neutraali
Hesse, Tark- ka (1985)	$KLEF$	Translog	homoteettinen	harhainen

Taulukko 2.2.1 Eräiden tutkimusten rakenteellisia piirteitä (K_1 viittaa koneisiin ja laitteisiin, K_2 rakennuksiin. Tähdellä on merkitty ne panokset, joiden alimalli on eksplisiittisesti määritelty. E ja F viittaavat sähkö- ja polttoainepanokseen, E yksinään energiapanokseen).

tuotantoteknologiasta. Ruotsalaisen Janssonin (1983) malli on vuosikertamalli, jossa panossubstituutio on mahdollista vain tuotannollisen projektin suunnitteluvaiheessa. Ex ante kustannukset minimoiva tuotantoteknologia kuvataan KLE-panosten Translog-kustannusfunktiolla homoteettisuus ja neutraali tekninen kehitys olettaen. Ruotsalaisten Lundgrenin (1983) ja Hultkrantzin (1983) tutkimukset perustuvat lineaarisen ohjelmoinnin malleihin, joissa yhdistetään insinööritietoa määrätyn toimialan poikkileikkaus-havaintoihin. Näissä tutkimuksissa panosrakenne on KLEM-ryhmän mukainen mahdollisimman pitkälle disaggregoituna. Näiden mallien rakennetta sekä käytettyä aineistoa ja estimointitapaa tarkastellaan tarkemmin luvussa kolme.

2.3 Aineistot ja estimointimenetelmät sekä pääoman hinta

Taulukkoon 2.3.1 (kts. s. 13) on koottu tietoja eräiden tässä vertailussa mukana olevien tutkimusten aineistoista, estimointimenetelmistä ja käytetyistä pääoman hinnoittelutavoista.

Taulukon mukaan tässä tarkasteltavissa tutkimuksissa on eniten tutkittu panoskysyntää tehdasteollisuuden tasolla. Kaikista maista on kuitenkin löydettävissä tutkimus, jossa on analysoitu teollisuuden toimialojen panossubstituutiota. Norjassa estimointi on suoritettu teollisuuden lisäksi myös alkutuotannolle ja palvelutoimialoille. Tämä selittyy sillä, että Norjassa tällainen estimointityö liittyy kiinteästi talouden makromallin kehittämiseen. Käytetyt estimointimenetelmät eivät poikkea suuresti toisistaan sillä joidenkin jäännöksiä koskevien oletusten ollessa voimassa suurimman uskottavuuden ja Zellnerin tehokas menetelmä iteroituna vastaavat toisiaan. Byen (1984) energian alimalli voitiin estimoida pienimmän neliösumman menetelmällä, koska malli estimointiin kustannusosuusmuodossa ja energiamuotoja oli vain kaksi.

Tarkastellut tutkimukset eroavat pääomapanoksen hinnoittelutavoissaan kahdessa suhteessa. Ensimmäinen ero liittyy yritysverotuksen huomioimiseen. Tarkan tutkimus (1983) on ainut, jossa yritysverotus huomioidaan. Tarkka käyttää Alhon (1981) mukaista pääoman käyttökustannussarjaa. Törmän (1986) tutkimuksessa on tehty oletus, jonka mukaan kyseessä olisi ns. kuluvarastoyritys, joka ei kykene täysimääräisesti hyödyntämään veropoistoetuuksiaan. Sarja on Ylä-Liedenpohjan (1983) mukainen ja siinä ei oletetun kuluvaraston takia esiinny yritysverotermejä. Muissa tässä tarkastelluissa tutkimuksissa ei ole huomioitu yritysverotuksen vaikutusta pääoman normaaliin käyttökustannukseen.

Tutkimus	Aineisto	Estimointimenetelmä	Pääoman hinoittelu
<u>Suomi</u>			
Tarkka (1983)	1960-80, tehdasteollisuus	ML	UC, yritysverotus huomioitu
Törmä (1986)	1960-81,82, tehdasteollisuus	IZEF	UC, kuluvarastoyritys
Törmä, Loukola (1986)	1960-81, tehdasteollisuus ja 8 teollisuuden toimialaa	IZEF	UC, kuluvarastoyritys
<u>Ruotsi</u>			
Sjöholm (1981)	1962-78, tehdasteollisuus ja 5 teollisuuden toimialaa	3PNS, ZEF	UC, implisiittisenä
Dargay (1983a)	1952-76, konerakennus	IZEF	UC, ei verotusta
Dargay (1983b)	1952-76, tehdasteollisuus ja 12 teollisuuden toimialaa	FIML	UC, ei verotusta
Wibe (1983)	1979, 100 koneteollisuuden yritysryhmää	I3PNS	UC, arvonlisäjäännös
<u>Norja</u>			
Longva, Olsen (1983)	1962-78, 19 talouden toimialaa	IZEF	UC, arvonlisäjäännös
Bye (1984)	1962-81, 22 talouden toimialaa	PNS	-
<u>Kansainvälisiä tutkimuksia</u>			
Griffin, Gregory (1976)	1955,60,65,69, tehdasteollisuus, 9 maata	IZEF	UC, ei verotusta
Pindyck (1979)	1963-73, tehdasteollisuus, 10 maata	IZEF	?
Hesse, Tarkka (1985)	1960-80, tehdasteollisuus, 9 Euroopan maata	ML	UC, ei verotusta

Taulukko 2.3.1. Eräiden tutkimusten estimointiin liittyviä piirteitä (FIML viittaa täyden informaation suurimman uskottavuuden menetelmään, IZEF iteratiiviseen Zellnerin tehokkaaseen menetelmään ja I3PNS iteratiiviseen kolmivaiheiseen pienimmän neliösumman menetelmään. UC viittaa pääoman käyttökustannukseen (user cost)).

Toinen ero liittyy siihen miten pääoman kustannusosuus ja sitä myötä pääoman hinta on johdettu. Eräiden taulukon tutkimusten kohdalle on merkitty sana arvonlisäjäännös. Tällä tarkoitetaan pääoman hinnoittelun suhteen tilannetta, jossa pääoman kustannukset lasketaan vähentämällä arvonlisästä työkustannukset. Tällöin pääoman hinta määritellään jakamalla näin laskettu pääomakustannus kiinteään pääoman määrällä. Pääoman hinta tulee näin määritellyksi implisiittisenä.

Yleisempi tapa pääomakustannusten johtamiseen on kertoa pääoman käyttökustannuksella kiinteään pääoman määrä. Tätä määrittelytapaa on käytetty useimmissa tutkimuksissa.

Tarkastellaan seuraavaksi vertailuun valittuja tutkimuksia lähemmin.

3. TARKASTELLUT TUTKIMUKSET

3.1 Suomi

Tarkka (1983) pyrkii tutkimuksessaan analysoimaan teknisen kehityksen panoskysyntävaikutuksia. Hänen mukaansa useiden teollisuusmaiden talouden kasvulle on ollut tyypillistä se, että tuotanto on kasvanut samalla vauhdilla pääomapanoksen kanssa ja nopeammin kuin työpanos. Tällöin pääoma-tuotanto-suhde on pysynyt vakiona, kun taas tuotanto työyksikköä kohden ja pääoma-työ-suhde ovat nousseet. Panosten tulo-osuudet ovat pysyneet vakioina, joten pääoman tuotto on pysynyt vakiona ja palkkataso noussut. Tarkan mukaan tilannetta voidaan selittää sillä, että taloudessa vallitseva teknologia on Cobb-Douglas-tyyppiä, jolloin pääoman ja työn välinen substitutiojousto on ykkönen, ja sillä, että tekninen kehitys on ollut neutraalia. Toinen mahdollinen selitys on se, että vallitsevassa teknologiassa po. substitutiojousto on alle ykkösen ja että tekninen kehitys on työvoimaa säästävää.

Tekninen kehitys määritellään panostasossa tapahtuvaksi tuotantoisokvanttien liikkeeksi origoon päin, jolloin teknisen kehityksen seurauksena samalla panosjoukolla voidaan tuottaa aiempaa suurempi tuotos. Tekninen kehitys on luonteeltaan neutraalia jos se ei muuta panossuhteita, vaan vaikuttaa kuhunkin panokseen samalla tavalla. Ei-neutraali tekninen kehitys on puolestaan harhaista joidenkin panosten suhteen eli suosii joidenkin panosten käyttöä toisten kustannuksella.

Tarkka käsittelee teknistä kehitystä, kuten yleensä on tapana, eksogeenisena eli riippumattomana kotimaisista suhteellisista panoshinnoista ja mittaa sitä aikatrendillä. Tämä oletus voidaan Tarkan mukaan perustella sillä, että Suomi on pieni avoin talous, joka tuo suurimman osan käyttämästään teknologiasta ulkomailta.

Tarkan perusmalli on yleistetyn Leontief-kustannusfunktion mukainen ja panosten kysyntäyhtälöt johdetaan Shephardin lemman kautta muotoon, jossa panos-tuotos-suhdetta selitetään panosten suhteellisilla hinnoilla ja teknisellä kehityksellä. Perusmalli on siten teknisen kehityksen suhteen ei-neutraali. Käytetty panoskysyntämalli olettaa vakioiset skaalatuotot. Tarkan panokset olivat työ ja energia sekä pääomapanos jaetuna koneisiin ja laitteisiin sekä rakennuksiin.

Tarkka estimoii mallinsa suurimman uskottavuuden menetelmällä käyttäen Suomen tehdasteollisuuden aineistoa vuosilta 1960-80. Perusmallin lisäksi hän estimoii kuusi muuta versiota. Neutraalin teknisen kehityksen versiossa panoskysyntäyhtälöiden aikatermin kertoimet asetettiin nolliksi. Toisessa neutraalin teknisen kehityksen versiossa yhtälöittäiset aikatermin kertoimet rajoitettiin yhtäsuuriksi. Kolmatta neutraalin teknisen kehityksen versiota Tarkka kutsuu arvonlisä-neutraalisuudeksi ja tässä versiossa muiden kuin energiapanoksen aikatermin kerroin rajoitettiin yhtäsuureksi. Versiossa oletetaan, ettei tekninen kehitys vaikuta pääoma-työ-suhteeseen, mutta kylläkin energian kysyntään. Perusmallia ja neutraalin teknisen kehityksen toista ja kolmatta versiota yleistettiin vielä lisäämällä niihin selittäjäksi vuodesta 1974 lähtien ylimääräinen aikatrendi, jonka kertoimia rajoitettiin versio-tyypin mukaisesti. Kukin versio voidaan mieltää perusmallin muunnoksena ja Tarkka käytti asetelmaa perusmallin testaamiseen uskottavuussuhdetestein.

Tarkan testitulosten perusteella voitiin neutraalin teknisen kehityksen ensimmäinen versio, jossa ei esiintynyt lainkaan teknistä kehitystä panos-tuotos-suhteen selittäjänä, hylätä suhteessa kaikkiin muihin versioihin. Tämä tarkoittaa ettei panos-tuotos-suhteiden kehitystä voida selittää pelkästään kotimaisilla panoshinnoilla. Tulosten mukaan aineisto tuki oletusta teknisessä kehityksessä vuoden 1973 jälkeen tapahtuneesta muutoksesta. Malliversioista ei-neutraali, harhaisen teknisen kehityksen malli osoittautui parhaaksi.

Edelleen Tarkan tulosten mukaan ei-neutraalin teknisen kehityksen mallissa teknisen kehityksen voitiin todeta olevan työtä säästävää. Tuloksen mukaan työ-pääoma- ja työ-energia-suhde alenevat teknisen kehityksen seurauksena. Ensimmäisen energiakriisin jälkeen työn säästö suhteessa koneisiin ja laitteisiin väheni huomattavasti, mutta säästö suhteessa rakennuksiin pysyi lähes muuttumattomana. Työn säästö energiaan nähden kääntyi energiakriisin jälkeen työn käyttämiseksi. Myös energian ja pääoman suhteen todettiin alenevan teknisestä kehityksestä johtuen, joten tekninen kehitys on jossain määrin myös energiaa säästävää. Tulosten mukaan energian säästö suhteessa pääomaan kasvoi energiakriisin jälkeen.

Tarkan tulosten mukaan energia ja pääoma ovat komplementteja. Tulos pätee malliversiosta riippumatta, mutta energian kysyntä on kuitenkin riippumattomampaa rakennusten kuin koneiden ja laitteiden käytöstä. Tulosten mukaan energia ja työ ovat

läheisiä substituutteja. Eri joustojen numeerisiin arvoihin palataan tämän tutkimuksen, kuten muidenkin tutkimusten, osalta luvussa neljä.

Tarkan mukaan empiiristen tulosten sanoma on selvästi se, että koska teknisellä kehityksellä on erilainen vaikutus panoksiin, niin talouspolitiikan rooli, erityisesti työllisyysongelmien hoidossa, korostuu.

Pikkaraisen (1984) tutkimus poikkeaa muista suomalaisista tutkimuksista sen suhteen, että siinä ei hyödynnetä dualiteettiteoriaa tai joustavia funktiomuotoja. Pikkaraisella lähtökohdalla on tehdasteollisuuden kaksitasoinen CES-tuotantofunktio, jossa energiapanos separoituu alatasolla ylätason pääoma- ja työpanoksista. CES-rakenne rajoittaa huomattavasti panosten välisiä substituutiojoustoja, mutta johtaa estimoinnin kannalta yhden yhtälön kysyntämalleihin. Rakenne rajoittaa ensinnäkin kaikki substituutiojoustot vakioiksi ja toiseksi ylätason arvonlisäpanoksen, joka muodostuu pääoma- ja työpanoksista, ja alatason energiapanoksen, jonka Pikkarainen jakaa sähköön ja polttoaineisiin, väliset substituutiojoustot ovat saman suuruiset. Malli olettaa siten, että sähkö ja polttoaineet substituoituvat arvonlisän suhteen samalla tavalla. Alatason sähkön ja polttoaineiden välinen substituutiojousto on vakio, mutta voi poiketa arvonlisän ja energia-aggregaatin välisestä joustosta.

Pikkaraisen oletus, jonka mukaan energiapanos separoituu arvonlisäpanoksesta, johtaa siihen, että mallissa päätös panosten käytöstä tehdään kahdessa vaiheessa. Päätöksentekijä valitsee ensin eri energiamuotojen (sähkö ja polttoaineet) välillä ja sen jälkeen päättää missä suhteessa pääomaa, työtä (arvonlisää) ja energiaa käytetään. Tilanne merkitsee sitä, että myös estimointi voidaan suorittaa kahdessa vaiheessa: ensin estimoidaan eri energiamuotojen kysyntäfunktiot ja sitten aggregaattipanosten kysyntäfunktiot. Panosten kysyntäfunktiot Pikkarainen johti hyödyntäen ehtoa, jonka mukaan tasapainossa panosten välinen rajasubstituutiosuhde on yhtäsuuri panosten hintasuhteen kanssa. Estimoitaviksi yhtälöiksi saatiin tällöin muodot, jossa riippuvana muuttujana esiintyi panossuhteen logaritmi ja selittäjänä panosten hintasuhteen logaritmi. Ylätason kysyntäyhtälössä tarkasteltava suhde oli energia-aggregaatin ja reaalisien arvonlisän välinen ja alatasolla sähkön ja polttoaineiden välinen. Yhtälöiden spesifikaatioon liittyi teknisen kehityksen määrittely harhaisessa muodossa.

Oletus CES-taloudesta johti yhden yhtälön kysyntämalleihin, jotka olivat luonteeltaan staattisia. Pikkarainen toteaa, että todellisuudessa panosten hintoihin liittyy epävarmuutta ja oletus panosten välittömästä sopeutumisesta optimiin ei sekään välttämättä pidä paikkaansa. Tästä syystä Pikkarainen johti staattisille kysyntäyhtälöille joitain dynaamisia versioita, jotka perustuivat osittaisen sopeutuksen malliin sekä erilaisiin oletuksiin hintaodotusten muodostamistavoista

(adaptiiviset, ekstrapolatiiviset ja staattiset odotukset). Menettely mahdollisti substituutiojoustojen laskemisen sekä lyhyelle että pitkälle tähtäimelle.

Pikkarainen estimoii ylä- ja alatason kysyntäyhtälöt versioineen pienimmän neliösumman menetelmällä käyttäen Suomen teh-dasteollisuuden aikasarja-aineistoa vuosilta 1960-82. Estimoinnin yhteydessä hän kiinnitti huomiota kysyntäyhtälöiden stabiilisuuteen ja tutki eri testein yhtälöiden riippuvuutta estimointiperiodista.

Pikkaraisen saamien empiiristen tulosten mukaan hitaan sopeutuksen mallit toimivat useassa suhteessa selvästi paremmin kuin sellaiset mallit, joissa sopeutuminen tapahtuu välittömästi. Tämä merkitsee sitä, että lyhyen ja pitkän aikavälin substituutiojoustot eroavat selvästi toisistaan. Pikkaraisen tulosten mukaan reaalin arvonnalisä ja energia-aggregaatti ovat sekä lyhyellä että pitkällä tähtäimellä toistensa substituutteja, samoin todettiin sähkön ja polttoaineiden olevan substituutteja. Pitkällä aikavälillä substituution todettiin olevan voimakkaampaa kuin lyhyellä aikavälillä. Eräiden osittaisen sopeutuksen ja odotusmallien mukaan tekninen kehitys energia-aggregaatin ja reaalin arvonnalisän välillä olisi ollut energiaa käyttävää. Energia-aggregaatin sisällä tekninen kehitys taas näytti olevan lähinnä Hicks-neutraalia.

Testien mukaan estimoidut kysyntäyhtälöt olivat epästabiileja. Pikkarainen pitääkin tätä empiirisen analyysinsä ehkä mielenkiintoisimpana havaintona. Hän toteaa, että ympäristössä tapahtuneiden muutosten (esim. energiakriisit) havaitseminen on saattanut muuttaa yritysten käyttäytymistä siten, että ne pyrkivät entistä paremmin hallitsemaan panosten hintoihin ja niiden saatavuuteen liittyviä epävarmuustekijöitä. Tämä merkitsisi sitä, että aggregaattipanosten ja eri energiamuotojen väliset substituutiojoustot eivät ole pysyneetkään vakioina ajassa, samoin sopeutumisenopeuksissa on voinut tapahtua muutoksia.

Törmän (1986) artikkeli on yhteenvedo kirjoittajan vuosina 1982-85 tekemästä energiataloudellisesta tutkimuksesta. Törmän tarkoituksena oli rakentaa moderniin teoriaan perustuva panoskysyntämalli ja estimoida se panosten substituutiorekenteiden selvittämiseksi Suomen teh-dasteollisuudessa. Tässä ekonometrisessä työssä hän hyödynsi duaalin Translog-kustannusfunktion oletettua heikkoa separoituvuutta pääoma-, työ-, sähkö- ja polttoainepanoksiin. Pikkaraisen tavoin Törmällä malli oletti kaksivaiheisen kustannusten minimoinnin: ensimmäisessä vaiheessa päätöksentekijä optimoi panosjoukon kunkin aggregaatin sisällä ja toisessa vaiheessa hän optimoi aggregaattipanosten kombinaation kustannusten minimoimiseksi. Törmän käyttämä malli on Fussin (1977) kaksitasoinen panoskysyntämalli, mutta siinä on energian alimallin lisäksi mallitettu myös pääoma- ja työmuotojen optimivalinta po. alimallitekniikalla.

Törmä johtaa epä-homoteettisesta Translog-kustannusfunktiosta aggregaattipanosten ja pääoman, työn ja polttoaineiden Translog-yksikkökustannusfunktiosta eri panosmuotojen kysyntäyhtälöt Shephardin lemmaa käyttäen. Pääoma-, työ-, sähkö- ja polttoaineaggregaattien kysyntä esitetään kustannusfunktioiden logaritimuodon takia muodossa, jossa riippuvana muuttujana esiintyy aggregaattipanoksen osuus tuotantokustannuksista ja sitä selittää logaritmiset panoshinnat ja tuotannon määrä. Eri pääoma-, työ- ja polttoainemuotojen kustannusosuudet tulevat puolestaan homoteettiseen muotoon ainoastaan muotojen hintojen logaritmien funktioiksi.

Törmä estimoii mallin Suomen tehdasteollisuuden aineistolla vuosilta 1960-82 käyttäen iteratiivista Zellnerin tehokasta estimointimenetelmää. Malli estimoitiin sekä KLEF- että KLEM-muodossa. Edellisessä raaka-aineet oli jätetty aineistosyistä pois ja energiapanos jaettu sähköön ja polttoaineisiin. Jälkimmäisessä mallissa energiapanos oli aggregoitu sähköstä ja polttoaineista ja raaka-aineet oli tuotu analyysiin mukaan olettamalla kotimaiset ja ulkomaiset raaka-aineet täydellisesti substituuteiksi. Jälkimmäinen oletus siitä syystä, että raaka-aineiden hintana jouduttiin aineistosyistä käyttämään tuontiraaka-aineiden hintaa. Törmän pääomamuotoja olivat rakennukset, koneet ja varastot, työmuotoja toimihenkilöt, varsinaisten osastojen työntekijät ja apuosastojen työntekijät. Polttoainemuotoina esiintyi hiili, poltto-öljy ja neste-kaasu. Estimoinnissa huomioitiin todettu autokorreloituneisuus ensimmäisen asteen mallin mukaisena.

Paitsi substituutorakenteita oli Törmän tarkoituksena tarkastella myös erilaisten panosrakenteessa mahdollisesti esiintyvien alifunktioiden, kuten pääoman ja työn muodostaman arvonlisäfunktion ja sähkön ja polttoaineiden muodostaman energiafunktion, olemassaoloa, myös mallin stabiilisuutta erilaisille mallin muotoon ja muuttujien määrittelyyn liittyviin seikkoihin samoinkuin toimialoittaisia substituutioeroja haluttiin tarkastella. Eräissä estimoinneissa saatiin, erityisesti pääoman ja työn välille, a priori-oletuksista poikkeavia tuloksia ja samalla voitiin todeta selittäjien multikollineaarisuusongelman vahva esilläolo autokorreloituneisuustransformoinneista huolimatta. Estimoinnissa päädyttiin tällöin käyttämään harhaista harjanne-estimaattoria, jonka avulla vääränmerkkisyys onnistuttiin poistamaan.

Törmän empiiristen tulosten mukaan rakennusten, koneiden ja varastojen välillä vallitsisi substituutorakenne, mutta substituutio on kuitenkin hyvin lievää. Toimihenkilöt ja molemmat työntekijäryhmät ovat substituutteja. Varsinaisten osastojen ja apuosastojen työntekijät ovat tulosten mukaan heikkoja komplementteja. Tulosten mukaan poltto-öljy olisi sekä hiilen että nestekaasun substituutti, nestekaasu ja hiili näyttäisivät puolestaan olevan komplementteja. Kaikkien pääoma-, työ- ja polttoainemuotojen kysynnän todettiin olevan oman hintansa suhteen joustamatonta, myös varastoille saatiin negatiivinen hintajousto.

Aggregaattitasolla saatiin tulos, jonka mukaan pääoma olisi heikko substituutti työlle, mutta heikko komplementti sekä sähkölle että polttoaineille. Työ ilmeni heikoksi sähkön komplementiksi, mutta heikoksi substituutiksi polttoaineille. Sähkö ja polttoaineet ovat tulosten mukaan vahvoja substituutteja. Tulosten mukaan näyttää siltä, että energia- ja ei-energiapanokset olisivat yleisimmin komplementteja. Aggregaattipanostenkin kysyntä todettiin oman hintansa suhteen joustamattomaksi. Erityisen joustamattomaksi oman hintansa muutoksille todettiin sähkön kysyntä. Edelliset tulokset perustuivat panoskysyntämallin KLEF-muotoon. Tulokset eivät muuttuneet mallin KLEM-muodon estimoinnissa, vaan primaaripankokset pääoma ja työ todettiin energian suhteen edelleen heikoiksi komplementeiksi. KLE-panokset todettiin kaikki raaka-aineiden substituuteiksi. Panosten kysyntä oman hintansa suhteen pysyi sekkin joustamattomana.

Törmän tutkimuksessa haluttiin selvittää olisiko panosrakenteessa olemassa joitain panosten alifunktioita, kuten pääoman ja työn muodostama arvonlisäfunktio, sähkön ja polttoaineiden muodostama energiafunktio ja KLE-panosten muodostama raaka-aineista erottuva alifunktio. Alifunktioiden olemassaolon testaaminen suoritettiin heikon separoituvuuden testeillä. Testisuure vastasi Allenin osittaisten substituutiojoustojen parittaisen yhtäsuuruuden testaamista. Siten, jotta esim. energian alifunktio (alimalli) olisi olemassa, täytyy sähkön ja polttoaineiden substituutiojoustojen suhteessa muihin panoksiin olla kaikkien yhtä suuria. Arvonlisäfunktioita, energiafunktioita ja KLE-alifunktioita koskevat nollahypoteesit voitiin hylätä. Näiden testien mukaan ei pääoman ja työn välisiä substituutiojoustoja voitaisi harhatta estimoida ottamatta huomioon esim. energiapanoksia, vastaavasti KLE-panosten substituutiorakennetta ei voitaisi estimoida harhatta ilman raaka-aineapanoksia. Edelleen sähköä ja polttoaineita ei pitäisi aggregoida energiapanokseksi, koska nämä energiamuodot käyttäytyvät eri tavoin suhteessaan pääomaan ja työhön.

Tutkimuksessa haluttiin tutkia panosten aggregaattitasolla myös mallin kerrointen stabiilisuutta. Malli estimoitiin tämän takia yhteensä seitsemällä eri tavalla muuttaen malliin sisältyvien muuttujien tai funktioriippuvuuksien oletuksia. Esim. eräässä estimoinnissa käytettiin alkuperäisestä poikkeavaa pääoman hintasarjaa, jotta nähtäisiin tuottaako tämä valinta erilaisia joustojen etumerkkejä. Myös valintaa mallin homoteettisuuden suhteen ja harhaisen teknisen kehityksen oletusta tutkittiin. Saatujen tulosten mukaan KLEM-malli kykenee tuottamaan suhteellisen stabiileja joustojen etumerkkejä, mutta joustojen absoluuttinen arvo vaihtelee huomattavasti. Edelleen todettiin, että kysynnän hintajoustopot ovat stabiilimpia substituutiojoustoihin verrattuna. Törmän mukaan näyttäisi siten siltä, että poliittikkajohtopäätöksiä tehtäessä olisi syytä olla vähintäänkin varovainen efektien absoluuttisesta vaikutuksesta puhuttaessa.

Artikkelissaan Törmä raportoi myös joitain tietoja KLEM-mallin toimialoittaisista estimoinneista. Saatujen tulosten mukaan teollisuuden kahdeksan kaksinumerotoimialan välillä olisi jokseenkin selviä substituutioeroja. Erityisen eron voi huomata pääoman ja energian suhteessa; joillain toimialoilla pääoma ja energia ovat komplementteja, kun taas toisilla ne ovat substituutteja.

Törmä toteaa joitain tulostensa politiikkaimplikaatioita. Ensinnäkin, tulosten mukaan sähkön kysyntä ei näyttäisi reagoivan oman hintansa muutoksille, joten Suomessa vuodesta 1976 voimassa ollut sähkövero lienee julkisen vallan kannalta turvallinen verojenkerääjä. Toiseksi, saatujen tulosten mukaan sähkö ja polttoaineet ovat substituutteja. Tämä tarkoittaa, että sähkö- ja polttoaineveroista päätettäessä on pohdittava myös sitä missä suhteessa sähkö- ja polttoainetiivisyyden halutaan olevan. Kolmanneksi, pääoman ja energian todettiin olevan komplementteja. Tämä merkitsee sitä, että jos pääoman hinta edelleen alenee tai jos investointeja halutaan rohkaista aktiivisella korkopolitiikalla on seurauksena talouden energiainteensiivisyyden kasvaminen. Vastaavasti talouden investoinnit vähenevät jos energian hinta vielä nousee. Viimeiseksi, energian kysynnän todettiin olevan selvästi riippuvainen suhteellisista panoshinnoista. Tämä merkitsee sitä, ettei tulevaisuuden energian kysyntöjä tule projisoida ainoastaan suhteessa tuotannon tai BKT:n kasvuun, vaan suhteelliset panoshinnat tulee myös ottaa huomioon. Törmä kuitenkin varoittaa, ettei näitä politiikkaimplikaatioita tule ottaa liian kirjaimellisina estimoitujen joustojen suhteellisen alhaisen absoluuttisen arvon ja suurien keskivirheiden takia. Törmä toteaa, että poliittisten päätöksentekijöiden olisi ilmeisesti tehtävä suuria muutoksia suhteellisiin hintoihin tuottaakseen havaittavia muutoksia panosten kysyntään. Tässä yhteydessä hän viittaa myös siihen mahdollisuuteen, että panoskysyntämalli olisikin todellisuudessa, ei kiinteäparametrinen, vaan muuttuvaparametrinen, siten että esim. ennen ja jälkeen energiakriisin vallitsisi eri parametrien arvot.

Törmän ja Loukolan (1986) tutkimus keskittyi tarkastelemaan Suomen teollisuuden kahdeksan kaksinumerotason toimialan panossubstituutiokäyttäytymistä. Toisena tavoitteena tutkimuksessa oli energian hinnoissa tapahtuvien muutosten kilpailukykyvaikutusten arviointi. Tutkijat hyödyntävät Fussin (1977) kaksitasoista panoskysyntämallia, mutta spesifioivat duaalin kustannusfunktion Translogin sijasta epä-homoteettista yleistettyä Leontief-funktiota vastaavaksi. Leontief-funktion valintaa he perustelevat tarpeella soveltaa panoskysyntämallia simulointitarkoituksiin. Yleistetyn Leontief-kustannusfunktion tapauksessahan Shephardin lemman avulla voidaan johtaa panosten kysyntäyhtälöt muotoon, jossa riippuvana muuttujana esiintyy panoksen määrä, joten panosten kysynnän määräytyessä suhteellisten panoshintojen ja tuotannon tason mukaan, on panosten kysyntöjen kehitystä luontevaa arvioida eri selittäjien vaihtoehtoisilla arvoilla. Törmän ja Loukolan tutkimuksessa panosrakenteessa esiintyi pääoma-, työ-, sähkö-, raaka-aine- ja polttoainepanokset. Polttoaine-

panoksina esiintyi kevyt ja raskas poltto-öljy, kivihiili ja kaukolämpö, joiden optimiallokaatio kuvattiin homoteettisen polttoaineiden alimallin avulla.

Törmä ja Loukola estimoivat KLEMF-mallinsa sekä polttoaineiden alimallin Suomen teollisuuden kaksinumeroisella toimialajaolla sekä tehdasteollisuuden tasolla käyttäen iteratiivista Zellnerin tehokasta estimointimenetelmää. Estimointiperiodi oli vuodet 1960-81. Tässä yhteydessä ei tarkastella toimialoittaisia tuloksia lähemmin, vaan niihin palataan luvussa neljä, kuten myös Ruotsin ja Norjan toimialoittaisiin tuloksiin.

Tehdasteollisuuden tasolla Törmä ja Loukola saivat primaaripanosten ja energian suhteesta mielenkiintoisia tuloksia. Toimialoittaiset tulokset nimittäin antoivat tukea käsitykselle, jonka mukaan sähkö ja polttoaineet poikkeaisivat suhteessaan primaaripanoksiin. Tulosten mukaan näyttää siltä, että sähköllä kyettäisiin korvaamaan primaaripanoksia, ts. sähkö on pääoman ja työn substituutti, mutta että primaaripanosten ja polttoaineiden suhde olisi pikemminkin komplementaarinen. Tämä tulos on erityisen selvä tehdasteollisuuden tasolla, jolla työ ja pääoma todella ovat polttoaineiden komplementteja. Nämä tulokset tukevat Törmän (1986) aiempia separoituvuustestituloksia: tulosten mukaan sähköä ja polttoaineita ei tulisi aggregoida energiapanokseksi, koska niiden käyttäytyminen poikkeaa suhteessa primaaripanoksiin. Jos näin meneteltäisiin, kuten usein vapausasteiden vähyyden takia on pakkokin, niin energian ja primaaripanosten välisen jouston etumerkki riippuisi suuresti siitä miten sähkö ja polttoaineet painottuvat energia-aggregaatissa. Tutkijat toteavat, että pääoman ja energian suhde on eniten kiistelty panosten välisistä suhteista. Näyttäisi siten siltä, että panoskysyntämallin tehokkuutta voitaisiin nostaa jakamalla energiapanos ainakin sähköön ja polttoaineisiin. Törmän ja Loukolan tutkimuksessa tämä jako oli alunperin tehty, koska estimoidulla mallilla haluttiin suorittaa sähköveroon liittyviä simulointeja.

Tutkimuksen muiden tulosten suhteen voidaan todeta, että pääoma ja työ tulivat heikoiksi substituuteiksi, raaka-aineet todettiin työn, sähkön ja polttoaineiden substituutiksi ja riippumattomiksi pääomasta ja että sähkö ja polttoaineet ovat vahvoja substituutteja. Aiempi Translog-funktiolla saatu tulos panosten kysynnän joustamattomuudesta vahvistui, mutta Leontief-mallin mukaan sähkön ja raaka-aineiden oman hinnan joustot olivat itseisarvoiltaan Translogin arvoja suuremmat.

Törmän ja Loukolan yhtenä tavoitteena oli käyttää estimoitua mallia simulointitarkoituksiin ja esimerkiksi valittiin Suomessa vuodesta 1976 voimassa olleen sähköveron poistamisen vaikutusten tarkastelu. Simuloinnissa alennettiin sähkön hintaa periodilla 1977-81 6.74-8.55 % eli sähköveron verran muiden hintojen pysyessä muuttumattomina ja verrattiin tämän tilanteen mukaista panoskysynnän kehitystä todelliseen. Si-

muloinnissa pyrittiin sähkön hinnanalennuksen kokonaisvaikutus jakamaan substituutio- ja tuotosvaikutukseen. Edellinen saatiin mallin substituutioparametreja käyttämällä, mutta jälkimmäisen laskemiseksi täytyi tehdä oletus teollisuuden hinnoittelusta. Hinnoittelun oletettiin tapahtuvan ns. mark up-periaatteen mukaan, ts. tuottajan oletettiin lisäävän normaaleihin kustannuksiinsa kiinteän voittomarginaalin. Tuotteen kysyntäfunktio joka esitettiin hintafunktiona, oletettiin eksponentiaalisesti kysytyn määrän suhteen. Näillä määrityksillä kustannusten minimointikriteeri johti hinnoittelukriteeriin, jonka mukaan tuotteen hinta on vakioinen mark up kertaa rajakustannukset. Tuloksen mukaan rajakustannusten ja hinnan muutos ovat samat, koska mark up-tekijä on vakio. Tuotosvaikutus määräytyy nyt rajakustannusten muutoksen, tuotteen hintajouston ja panoksen tuotosjouston tulona.

Törmä ja Loukola toteavat, että estimoidusta mallista voidaan laskea luontevalla tavalla rajakustannusten muutos sähköveron poistuessa ja kaikkien panosten tuotosjoustot, tuotteen hintajousto ei kuitenkaan mallista voida johtaa eikä siten laskea. Tutkijat toteavat ettei rationaalinen tuottaja alenna hintaansa ellei kysynnän hintajousto ole itseisarvoltaan ykköstä suurempi. Kysynnän täytyy kasvaa hintaa enemmän, jotta voitot varmuudella kasvaisivat. Tehdasteollisuuden tuotteiden kysynnän hintajouston arvoa ei kuitenkaan tunneta, vain viennin osalta on olemassa joitain toisistaan suurestikin poikkeavia estimaatteja. Simuloinnissa päädyttiinkin siihen, että tuotantovaikutus esitetään kysynnän hintajouston itseisarvolla yksi, joka on raja-arvo hinnan muuttamisesta päätettäessä. Näin laskettu tuotantovaikutus kuvaa siten pienintä mahdollista tuotantovaikutusta rationaaliselle tuottajalle.

Simulointitulosten mukaan sähköveron poistuessa vähenevät pääoman, työn, raaka-aineiden ja polttoaineiden kysynät substituutiovaikutuksen kautta. Tulosten mukaan pääoman kysyntä vähenee 0.316-0.363 %, työn 1.970-2.395 %, raaka-aineiden 0.674-0.803 % ja polttoaineiden kysyntä vähenee 2.295-3.042 %. Sähkön kysynnän substituutiovaikutus on positiivinen ja sähkön kysyntä kasvaisi tulosten mukaan vuosina 1977-81 4.790-6.033 %. Tulosten mukaan sähkövero alentaa tuotannon rajakustannuksia 1.932-2.063 %, jolla määrällä tuottajat, tehtyjen oletusten mukaan, myös alentaisivat tuotteidensa hintaa. Sähköveron poistamisella on tulosten mukaan siten suhteellisen suuri kilpailukykyvaikutus. Hinnan alentuminen saa aikaan vastaavan suuruisen kasvun kotimaisessa ja vientikysynnässä sekä tuotannon määrässä. Tuotantovaikutus on tulosten mukaan kaikille panoksille positiivinen. Pääoman kysyntä kasvaa 1.339-1.671 %, työn 1.789-1.966 %, raaka-aineiden 0.664-1.033 % ja polttoaineiden kysyntä kasvaa tuotantovaikutuksen kautta 0.954-1.347 %. Sähkön kysyntä kasvaa 1.485-1.693 %.

Kokonaisvaikutus on substituutio- ja tuotosvaikutuksen summa. Sähköveron poistamisen kokonaisvaikutus on pääomalle positiivinen, pääoman kysyntä kasvaa 0.984-1.308 %. Tämä merkitsee

sitä, että positiivinen tuotantovaikutus on kyennyt kompensoimaan pääoman osalta negatiivisen substituutiovaikutuksen kokonaan. Työn ja raaka-aineiden kohdalla kokonaisvaikutus on lähes nollassa, työn kysyntä kuitenkin vähenisi 0.182-0.470 % ja raaka-aineiden kysyntä muuttuisi 0.010-0.232 %. Polttoaineiden kysyntä vähenisi tulosten mukaan 1.341-1.725 % eli tuotosvaikutus on kyennyt kompensoimaan vain osan substituutiovaikutuksesta. Positiivinen tuotosvaikutus korostaa sähkön positiivista substituutiovaikutusta ja sähkön kysyntä kasvaisi tulosten mukaan lopulta 6.276-7.685 %.

Törmä ja Loukola toteavat, että pääoman, työn ja raaka-aineiden kohdalla nettovaikutus on suhteellisen pieni, kun se sähkön ja polttoaineiden kohdalla on suhteellisen suuri. Tilannetta voidaan heidän mukaansa tulkita siten, että sähköverosta päätettäessä itse asiassa päätetään missä suhteessa sähkö- ja polttoaineintensivisyyden halutaan olevan tuotannossa. Simuloinnissa käytetyn mallin mukaan siten po. päätöstä tehtäessä ei tulisikaan olla niinkään huolissaan vaikutuksista investointeihin, työllisyyteen tai raaka-aineiden kysyntään kuin siitä millaiseksi tuotannon energiaintensivisyyden halutaan muodostuvan.

Tutkijat kuitenkin huomauttavat, että kyseessä on veromuutoksen osittaisen tasapainon analyysi, jossa vain yksi hinta muuttui. Saatuihin empiirisiin tuloksiin tulee siten suhtautua varauksella vallankin kun tehdasteollisuuden tuotteiden kysynnän hintajouston arvosta ei ole varmuutta.

3.2 Ruotsi

Sjöholmin (1981) tutkimus lienee ensimmäinen Ruotsissa tehty tuotantoteorian duaalilähestymistapaa hyödyntävä energiatutkimus. Sjöholmin tarkoituksena oli estimoida KLEM-panosten kysyntämalli kahdella joustavalla funktiomuodolla, Translog ja yleistetty Leontief. Aggregaattimallin yhteydessä Sjöholm estimoi energiamuotojen alimallin, jonka tärkeyttä hän perusteli julkisen vallan aikeilla energiaverotuksen avulla säädellä energian kulutusta. Tässä tilanteessa tieto eri energiamuotojen välisistä kysynnän ja substituutiojoustoista on välttämätön. Sjöholmin energiamuotoja olivat kiinteät polttoaineet, bensiini, polttoöljy, sähkö ja muu energia (höyry, kuuma vesi, kaasu). Aggregaattimallin osalta hän testasi sekä homoteettisia että epä-homoteettisia versioita, tekninen kehitys oletettiin malleissa yleensä Hicks-neutraaliksi, joskin harhaisen teknisen kehityksen mahdollisuutta testattiin.

Sjöholmin aineisto käsitti vuodet 1962-78 ja mallit estimoitiin kolmivaiheisella pienimmän neliösumman estimointimenetelmällä Ruotsin tehdasteollisuuden ja viiden kolminumeroisen toimialan tasolla. Tällaisen estimointimenetelmän käyttäminen merkitsi sitä, että Sjöholm oletti panosten kustannusosuuksia (Translog-mallit) ja panosten määriä (yleistetyt Leontief-

mallit) selittävät panoshinnat endogeenisiksi. Tällöin estimointiin liittyy vaihe, jossa selittävät panoshinnat ensin regressoidaan tarpeellisella määrällä mallin kannalta eksogeenisiä muuttujia ja näistä regressioista saatuja panoshintojen ennusteita käytetään sitten selittäjinä varsinaisessa mallissa. Sjöholm kuitenkin toteaa, että joissain tapauksissa tämä estimoinnin vaihe sivuutetaan, jolloin nämä mallit estimoidaan Zellnerin tehokkaalla estimointimenetelmällä, jossa selittäjät ovat eksogeenisiä.

Sjöholmin tutkimukseen liittyy mielenkiintoinen tuotemerkkinoita koskeva tutkimusasetelma. Hän nimittäin oletti tuotemerkkinoille toisaalta täydellisen kilpailun ja toisaalta epätäydellisen kilpailun. Ensimmäisessä vaihtoehdossa voitot ovat nolla ja jälkimmäisessä nollostä poikkeavat. Mallissa tämä asetelma vaikutti pääomapanoksen hinnan ja sitä kautta pääoman kustannusosuuden laskemistapaan.

Voittojen ollessa nolla pääoman hinta voidaan laskea laskentaidentiteetistä tuotantokustannukset=tuotannon bruttoarvo, kun operoidaan KLEM-mallilla. Käytännössä pääomakustannukset lasketaan tällöin vähentämällä arvonlisästä työkustannukset, jolloin pääoman kustannusosuus ja hinta voidaan laskea implisiittisesti, kun pääoman reaalikannat rakennuksille ja koneille tunnetaan. Toisessa vaihtoehdossa pääoman hinta lasketaan yleensä ns. user cost of capital-muodossa ottaen huomioon pääomaesineen hinnan lisäksi ainakin pääoman kulumiseen ja uuden pääoman rahoittamiseen liittyvät kustannukset. Tällöin pääoman kustannusosuus lasketaan yleensä pääomakustannuksista, jotka on laskettu kertomalla po. pääoman käyttökustannuksella kiinteä pääomakanta. Sjöholm laski toisessa vaihtoehdossa pääomakustannukset yo. tapaa vastaavasti, pääomakustannukset muodostuivat korkokustannuksista ja pääoman kulumisesta. Rakennusten hän oletti kuluvan lineaarisesti loppuun 30 vuodessa ja koneiden 12 vuodessa. Korkokustannukset hän sai kertomalla vuosittaiset investoinnit sinä vuonna vallitsevalla teollisuuden osakkeiden korolla. Pääoman hinta laskettiin lopulta implisiittisesti jakamalla pääoman kustannukset kiinteällä pääomakannalla.

Tutkimuksen tuottamien panosten joustojen kannalta mallityypin (Translog/Leontief) valinta muodostui vähemmän tärkeäksi kuin homoteettisuuteen, tekniseen kehitykseen ja erityisesti pääomapanoksen hinnoitteluun liittyvät kysymykset. KLEM-aggregaattitasolla näytti oletus voitoista muodostuvan tulosten kannalta kaikkein kriittisemmäksi. Panoskysynnän epähomoteettisissa ja Hicks-neutraalin teknisen kehityksen versioissa pääoma- ja työpanos tulivat komplementeiksi sekä Translog- että yleistetyssä Leontief-mallissa, kun käytetty aineisto vastasi nollavoittojen oletusta. Kun pääoman hintana käytettiin nollostä poikkeavien voittojen mukaista sarjaa, niin pääoman ja työn normaali substitutiivisuus palautui. Sjöholm katsoi tulostensa osoittavan, että oletus täydellisesti kilpailevista tuotemerkkinoista on riittämätön empiirisen työn kannalta.

Sjöholmin tulosten mukaan homoteettisissa ja Hicks-neutraalin teknisen kehityksen Translog-malleissa pääoma ja energia ovat komplementteja. Näiden panosten suhde kuitenkin muuttuu vähemmän rajoittavissa malleissa. Sjöholmin mukaan kummankin funktiomuodon mukaisissa parhaissa malleissa pääoma ja energia ovat substituutteja. Tällöin Ruotsin teollisuus kykenee säästämään energiaa pääomakustannusten laskiessa. Sjöholm siteeraa joitain ruotsalaisia tutkimuksia, joissa osoitetaan energian säästämisen mahdollisuus, keskeisen tuloksensa perustelemiseksi.

Sjöholmin tulosten mukaan Translog- ja yleistetty Leontief-mallit tuottivat samansuuntaisia tuloksia mitä tulee pääoman, työn, energian ja raaka-aineiden välisiin substituutiojoustojen etumerkkeihin. Molempien mallien mukaan poltto-öljy ja sähkö ovat substituutteja.

Dargay on ehkä ruotsalaisista tutkijoista eniten tutkinut energian panoskysyntää. Hänen tutkimuksistaan otetaan tässä esille kaksi (1983 a ja b). Ensiksi otetaan esiin hänen Ruotsin koneenrakennusteollisuutta koskeva tutkimuksensa (1983 a), jossa oli tavoitteena Translog-kustannusfunktio-avulla tarkastella panoskysynnän substituutio-, skaala- ja myös teknisen kehityksen vaikutuksia.

Dargayn mukaan panoskysyntää selittämään on tärkeitä ottaa panoshintojen lisäksi tuotannon määrä ja yhtä-aikaa tekninen kehitys (aikatrendi). Jos panosten välistä substituutiota mitataan pelkkien panoshintojen avulla voidaan harhaisen teknisen kehityksen ja epä-homoteettisuuden vaikutukset tulkita neoklassiseksi panossubstituutioksi. Dargayn perusmalli onkin sellaista Translog-muotoa, jossa pääoma-, työ-, energia- ja raaka-ainepanosten kustannusosuutta selitetään logaritmisilla panoshinnoilla ja tuotannon määrällä sekä aikatrendillä. Dargayn perusmalli oli siten harhaista teknistä kehitystä vastaava ja samalla kertaa epä-homoteettinen. Samaan tapaan kuin Tarkka (1983) Dargaykin estimoiti useita perusmallin versioita, kuten neutraalin teknisen kehityksen, homoteettisen, homogeenisen, vakioisia skaalatuottoja vastaavan version ja myös version, jossa oletettiin homoteettisuus ja samalla kertaa neutraali tekninen kehitys.

Dargay estimoiti eri malliversiot Ruotsin koneenrakennusteollisuudelle (pl. laivanrakennus) iteratiivisella Zellnerin tehokkaalla estimointimenetelmällä aikasarja-aineistolla vuosilta 1952-76. Dargayn estimointitapa poikkeaa muista tässä käsitellyistä tutkimuksista. Panoskysynnän mallit johtavat panosten kysyntäyhtälöjärjestelmään, joita yhdistää mallin parametrien additiivisuus- ja symmetriarajoitteet. Mallit estimoidaan yleensä kustannusosuusyhtälö- tai panosten kysyntäyhtälöryhmän kautta, jolloin saadaan substituutorakenteiden kannalta tarpeelliset parametrit estimoiduksi. Dargay kuitenkin estimoiti kustannusosuusyhtälöryhmän ohessa simultaanisesti myös Translog-muotoa olevan kustannusfunktion. Tällöin Dargay sai estimoitua kaikki teknologian homoteettisuus-

teen, homogeenisuuteen ja tekniseen kehitykseen liittyvät parametrit. Tätä estimointitapaa voidaan pitää suositeltavana, koska siinä käytetään enemmän informaatiota kuin pelkän kustannusosuusyhtälöryhmän estimoinnissa. Estimoitavien parametrien lukumäärä kuitenkin näin meneteltäessä nousee ja useimmiten mallin vapausasteita on liian vähän jotta estimointi voitaisiin suorittaa.

Dargayn tulosten mukaan tekninen kehitys on harhaista Ruotsin koneteollisuudessa. Tekninen kehitys on tulosten mukaan ollut työvoimaa säästävää ja pääomaa, energiaa ja raaka-aineita käyttävää. Dargayn tekemien uskottavuussuhdetestien mukaan homoteettisuutta ei voida varmuudella hylätä, kun taas homogeenisuus ja vakioisten skaalatuottojen versio selvästi hylätään. Dargayn estimaatti periodin 1952-76 keskimääräiseksi teknisen kehityksen asteeksi oli hieman yli 2 %.

Tulosten mukaan energian kysyntä on herkempi oman hintansa muutoksille kuin muut panokset, pääoma reagoi oman hintansa muutoksille panoksista kuitenkin vähiten. Energiaa voidaan substituoida työllä ja raaka-aineilla, mutta tulosten mukaan pääoman ja energian suhde on riippumaton. Eräissä versioissa pääoman ja työn välille saatiin komplementaarinen suhde. Kaikenkaikkiaan empiiriset tulokset osoittivat, että estimoidut hinta- ja substituutiojoustot ovat sangen herkkiä mallin spesifioinnille.

Dargayn toinen tutkimus (1983 b) käsitteli Ruotsin teollisuuden kahdentoista kaksinumerotason toimialan sekä tehdasteollisuuden pääoman, työn, energian ja raaka-aineiden kysyntää. Dargayn artikkelissa (1983 c) on esitetty saman tutkimuksen tuloksia, mutta vain homoteettisen mallin osalta. Tutkimuksessaan Dargay estimoi sekä homoteettisen että epähomoteettisen Translog-mallin KLEM-panosten aggregaattitasolle ja homoteettisen yksikkökustannusmallin seuraaville energiamuodoille: sähkö, öljytuotteet ja kiinteät polttoaineet. Dargayn estimointiperiodi oli vuodet 1952-76 ja hän käytti estimoinnissa suurimman uskottavuuden menetelmää.

Dargay toteaa, että on tärkeää disaggregoida teollisuus eri toimialoihin panoskysyntää tutkittaessa, sillä panosten kysynnän ja substituutiojoustojen etumerkit ja arvot vaihtelevat toimialan tuotantorakenteen mukaan. Dargayn saamien tulosten mukaan energian kysyntä reagoi ainakin jossain määrin oman hinnan muutoksille. Energian kysynnän hintajousto on itseisarvoltaan ykköstä pienempi, mutta vaihtelee toimialoitain. Tulosten mukaan pääoma ja energia ovat komplementteja, kun taas energiaa voidaan tulosten mukaan korvata työllä ja pääomalla.

Energian alimallin estimointi antoi tulokseksi kiinteiden polttoaineiden korkean hintajoustavuuden oman hinnan muutoksille, öljytuotteiden ja sähkönsä kysyntä puolestaan osoittautui vähemmän herkäksi oman hinnan muutoksille. Eri energia-

muotojen välille lasketut joustot ilmensivät yleensä substitutiivista käyttäytymistä. Tulosten mukaan erityisen hyvät substituointimahdollisuudet vallitsevat öljytuotteiden ja kiinteiden polttoaineiden välillä.

Dargayn suorittamien testien mukaan mallin epä-homoteettinen versio on paras. Tulosten mukaan erityisesti työpanoksen joustot ovat herkkiä homoteettisuusoletuksen muutoksille, energian oman hinnan jousto ja substituutiojoustot muihin panoksiin nähden ovat kuitenkin suhteellisen vakaita tällaisistä muutoksista huolimatta. Eräs kiinnostava seikka Dargayn tuloksissa on se, että energian joustot olivat selvästi herkkiä, erityisesti energian oman hinnan jouston osalta, käytöstä estimointiperiodista. Dargay estimoii mallinsa myös periodeille 1962-76 ja totesi, että jatkotutkimuksissa olisi syytä 1970-luvun lopun nopean energian hinnan kasvun vuodet saattaa analyysiin mukaan.

Janssonin tutkimus (1983), joka käsitteli Ruotsin rauta- ja terästeollisuutta ja jossa käytettiin samaa aineistoa ja estimointimenetelmää kuin Dargayn (1983 b) tutkimuksessa, poikkeaa muista tässä käsitellyistä tutkimuksista panossubstituution mahdollisuuksia käsittelevien oletustensa suhteen. Jansson operoi vuosikertamallilla, jossa tehdään ero tuotantopääoman eri vuosikertojen välille. Panossubstituution suhteen malli on "putty-clay"-tyyppiä, ts. pääoman, työn ja energian substituutio on mahdollista tuotannollisen projektin suunnitteluvaiheessa (ex ante), mutta panosten suhteet ovat kiinteät, kun tuotantokapasiteettia on laajennettu (ex post) eikä panossubstituutio ole enää mahdollista.

Jansson pitää vuosikertamalli-lähestymistapaa yleisempää putty-putty-mallittamista, jota edellä kuvatut duaaliteorian Translog-sovellutukset edustavat, parempana. Lähestymistapa soveltuu erityisen hyvin rauta- ja terästeollisuuteen, joka on sekä korkeasti energia- että pääomaintensiivinen toimiala, jolloin jo asennettua teknologiaa ei voida ajatella nopeasti muutettavan panoshintojen muuttuessa. Malli poikkeaa useimmista muista vuosikertamalleista, joiden panosrakenne käsittää ainoastaan pääoma- ja työpanokset. Janssonin mallissa energia esiintyy tuotantopanoksena ja homoteettista Translog-kustannusfunktiota käytetään tuotantopanosten ex ante kysyntäfunktioiden johtamiseen.

Janssonin mallissa päätös investoinnista uuteen tuotantokapasiteettiin oletetaan kyettävän jakamaan kahteen vaiheeseen: ensimmäisessä vaiheessa uusi tekniikka määritellään ja toisessa vaiheessa päätetään uuden kapasiteetin määrästä. Mallissa oletetaan kuluvan kolme vuotta päätöksestä siihen, kun uusi vuosikerta aloittaa toimintansa. Uusi teknologia oletetaan valittavan tuotantokustannukset panoshintojen suhteen minimoiden. Ex ante-tuotantorakenne kuvataan homoteettisella Translog-kustannusfunktiolla.

Mallissa uuden tuotantokapasiteetin määrä riippuu kokonaiskapasiteetin nettolisäyksestä ja vanhojen yksikköjen purkamisesta. Kapasiteetin nettolisäyksen oletetaan riippuvan odotetusta kysynnästä, olemassaolevan kapasiteetin käyttöasteesta ja voitoista. Kaikkien vuosikertojen oletetaan kuluvan samalla asteella, joka vaihtelee ajassa sektorin bruttovoittomarginaalin mukaan. Purettu kapasiteetti oletetaan korvattavan kustannukset minimoivalla tekniikalla. Myös kaikkien vuosikertojen käyttöaste oletetaan samaksi.

Jahnsson osoittaa, että työn ja energian ex ante panos-tuotos-osuudet voidaan johtaa homoteettisesta Translog-kustannusfunktioista käyttäen Hotellingin (Shephardin) lemmaa. Nämä yhtälöt estimoitiin yhdessä mallin investointiyhtälön kanssa täyden informaation suurimman uskottavuuden estimointimenetelmällä. Malli perustui osittain Translog-kustannus-funktioon, joten mallissa ex ante panossubstituutiota voidaan mitata Allenin osittaisin substituutiojoustoin. Janssonin empiiristen tulosten mukaan kaikki panosparit, myös pääoma ja energia ovat substituutteja. Työn ja energian suhde oli tulosten mukaan herkin hintasuhteen muutoksille. Pääoman, työn ja energian kysynnän oman hinnan joustot osoittivat joustamattomaa kysyntää, joskin energian oman hinnan jouston itseisarvo oli hyvin lähellä ykköstä implikoiden yksikköjoustavaa kysyntää.

Lundgrenin (1983) ja Hultkrantzin (1983) tutkimukset poikkeavat radikaalisti muista tässä esitellyistä tutkimuksista, sillä heidän mallinsa ovat lineaarisen ohjelmoinnin optimointimalleja. Näissä tutkimuksissa käytetään perinteisen aikasarja-aineiston sijasta poikkileikkaus- ja insinööritietoa ko. toimialan tuotannon mallittamiseksi. Lundgren käyttää insinööritietoa rauta- ja terästeollisuudesta ja Hultkrantz vuoden 1979 poikkileikkaus- ja insinööritietoa Pohjois-Ruotsin puu- massa- ja paperiteollisuudesta. Lundgrenin panoksia ovat pääoma, työ, raaka-aineet, sähkö, öljy ja kiinteät polttoaineet. Hultkrantzin panosrakenne käsittää pääoman investointeina, työn, raaka-aineet, sähkön ja öljyn. Mallin luonteen takia tutkijoilla ei ollut tarvetta aggregoida energiamuotoja, vaan niitä voitiin käsitellä itsenäisinä.

Jotta tutkijat olisivat voineet käsitellä suuren määrän teknistä informaatiota heidän oli linearisoitava kaikki mallin relaatiot, jotta optimaaliset tuotantosuunnitelmat voitaisiin laskea lineaarisen ohjelmoinnin tekniikoilla. Aiemmissä tutkimuksissa substituutiojoustot voitiin laskea estimoitujen funktioiden parametrien perusteella, mutta po. malleissa joustot ovat vain karkeita approksimaatioita, jotka on saatu lineaarisen ohjelmoinnin mallien kahta ratkaisuaajoa vertaamalla. Molempien mallien rakennetta kuvaa jaottelu objekti-funktioon, määrättyihin hyödyketasapainoehtoihin ja kapasiteettirajoitteisiin.

Lungrenin malli on perusteiltaan staattinen yhden periodin malli, jossa kapasiteettirajoitteet esitetään eksplisiittisinä. Mallissa pitkän tähtäimen mukautuminen voidaan määritellä ja mitata poistamalla kaikki kapasiteettirajoitteet. Lungrenin mallissa päätöksentekijän oletetaan minimoivan kustannuksiaan tilanteessa, jossa tuotejakauma on vakio.

Hultkrantzin malli käsittää kaksi periodia ja sisältää erilaisia investointivaihtoehtoja aikaperiodeille. Vaihtoehdot vastasivat yritysten suunnitelmia kyselyhetkellä, vuonna 1979. Moniperiodisen mallinsa avulla Hultkrantz kykenee konkreetisti ja tarkasti määrittelemään ja mittaamaan lyhyen ja pitkän tähtäimen mukautumisen eron. Hultkrantzin mallin erityispiirre on se, että siinä paperi- ja massateollisuus esiintyy laajemman mallin puitteissa, joka ottaa eksplisiittisesti huomioon puun vaihtoehtoiskäytön sahateollisuudessa ja erityisesti lämmön tuotannossa. Tutkimuksessa todetaan, että ainoastaan hyvin raju öljyn hinnan kohoaminen tekisi puuhun perustuvat lämpölaitokset vakavaksi kilpailijaksi (puusta) metsätuoteteollisuuden kanssa. Tämä ja muut tulokset johdetaan olettaen, että ko. teollisuus maksimoi voittojaan.

Lungrenin saamien tulosten mukaan sähkö reagoi oman hintansa muutoksiin heikoiten ja öljy voimakkaimmin. Hiili ja öljy, samoinkuin öljy ja sähkö todettiin substituuteiksi sekä lyhyellä että pitkällä tähtäimellä. Hiilen ja sähkön välillä todettiin vallitsevan komplementaarisen suhteen lyhyellä tähtäimellä, mutta suhteen todettiin muuttuvan substitutiiviseksi pitkällä tähtäimellä.

Hultkrantzin tulosten mukaan öljy ja sähkö ovat komplementaarisessa suhteessa puu-, massa- ja paperiteollisuudessa. Sähkön todettiin olevan heikossa komplementaarisessa suhteessa myös työhön ja investointeihin. Tulosten mukaan komplementaarisuus vallitsee myös öljyn suhteessa työhön ja investointeihin. Näitä tuloksia on kuitenkin tulkittava eri tavalla kuin aiemmin esitettyjä, sillä ne vastasivat tilannetta, jossa tapahtuu öljyn hinnan kohoaminen 50 %:lla ja po. joustot oli laskettu pitkän tähtäimen mukautumisen mukaisina, niin että myös hinnanmuutoksen tuotosvaikutus on huomioitu. Aiemmin esitetyt substituutiotulokset ovat mitanneet puhdasta substituutiovaikutusta, jolloin joustoa laskettaessa pidetään tuotannon määrä vakiona. Hultkrantzin tulosten mukaan primaari-panokset ovat siten energian pitkän tähtäimen bruttokomplementteja.

Wiben (1983) tutkimus on kahdessakin mielessä kiinnostava. Ensinnäkin, siinä käytetään yrityskohtaista aineistoa Ruotsin koneteollisuudesta vuodelta 1979. Wiben oli kuitenkin salassapitosäännösten takia luokiteltava aineistonsa kolmen yrityksen ryhmiksi, jotka olivat rajoitettuja siinäkin mielessä, että minkään yrityksen myynti ei saanut ylittää 50 %:a koko ryhmän myynnistä. Toiseksi, kun useimmat tutkijat estimoivat panosten joustorakenteen duaalin Translog-kustannusfunktion kautta, niin Wibe käytti lähtökohtanaan Translog-tuotanto-

funktiota, jossa bruttotuotanto määräytyi pääoma-, työ-, sähkö-, raaka-aine- ja polttoainepanosten funktiona teknisen kehityksen ollessa Hicks-neutraali ja vakioisten skaalatuotosten vallitessa. Hän johtaa panosten kustannusosuusyhtälöt voiton maksimointiehtojen kautta muotoon, jossa selittäjinä toimii panosten logaritmiset määrät. Wibe estimoii mallinsa käyttäen yhteensä sataa luokiteltua yritysryhmää iteratiivisella kolmevaiheisella pienimmän neliösumman menetelmällä.

Wiben tulosten mukaan pääoma ja polttoaineet, pääoma ja raaka-aineet, työ ja sähkö, polttoaineet ja raaka-aineet, sähkö ja raaka-aineet sekä sähkö ja polttoaineet ovat substituutteja keskenään. Komplementtipanoksia ovat puolestaan pääoma ja työ, pääoma ja sähkö sekä työ raaka-aineiden ja polttoaineiden suhteen. Wiben tulosten perusteella voidaan todeta primaaripanosten suhtautuvan substituutiossa eri tavalla sähköön ja polttoaineisiin. Tämä tukee Törmän ja Loukolan (1986) saamia tuloksia energiapanoksen disaggregoinnin tarpeellisuudesta.

Tulokseensa pääoman ja työn komplementaarisuudesta Wibe kehottaa suhtautumaan terveellä skeptisismillä, mutta viittaa mahdollisuuteen, jonka mukaan tulos pätesi yksittäisellä toimialalla, vallankin kun käytetty aineisto vastaa lyhyttä tähtäintä. Tämä saattaa pitääkin paikkansa, sillä Dargayn (1983 a) tutkimuksessa, joka käsitteli myös koneteollisuutta, saatiin sama tulos. Panosten kysynnän hintajoustot muodostuivat paljon suuremmiksi itseisarvoltaan kuin useimmissa muissa tässä käsitellyissä tutkimuksissa, sillä kysynnän hintajoustot vaihtelivat itseisarvoltaan ykkösen ympärillä, tämä koski myös pääoman ja sähkön joustavuutta oman hintansa muutoksille. Tämä tulos, samoinkuin runsaiden komplementaarisuussuhteiden esiintyminen saattaa selittyä Translog-tuotantofunktiolähestymistavan soveltumattomuudella tutkimusvälineeksi.

Tässä tilanteessa olisi ollut hedelmällistä estimoida joustot myös Translog-kustannusfunktiolähestymistapaa käyttäen. Wiben aineisto ei kuitenkaan mahdollistanut tällaista vertailua. Eri estimointitavat olisivat suurella todennäköisyydellä tuottaneet erilaisia tuloksia. Väisänen (1985) onkin tutkinut tätä seikkaa pro gradu-työssään, jossa tarkasteltiin Suomen kansantalouden tuotantofunktion tasolla pääoman, työn ja tuontipanosten substituutiota. Väisänen keskeinen tulos oli se, että Translog-tuotanto- ja kustannusfunktiot eivät ole yhteneviä substituutiotulosten suhteen.

3.3 Norja

Norjassa tuotantoteorian empiiriset duaalisovellutukset liittyvät selvimmin makromallien kehittämiseen. Longva ja Olsen (1983) toteavat artikkelissaan, että heidän yhdeksätoista Norjan talouden toimialaa koskeva työnsä pyrkii kehittämään Norjan pitkän tähtäimen kasvumallin (MSG-4E) tuotantolohkoa

suuntaan, jossa luovutaan aiemmista Cobb-Douglas- ja kiinteä-parametrisista Leontief-tuotantomalleista ja siirrytään käyttämään yleistettyyn Leontief-teknologiaan perustuvia tuotantomalleja, jotka sallivat pääoman, työn, energian ja raaka-aineiden välisen substituution. Em. aggregaattipanosten liissäksi panossubstituutio sallitaan Longvan ja Olsenin tutkimuksessa energian alimallissa sähkön ja polttoaineiden välillä. Aggregaattimalli on vakioskaalatuottoista muotoa ja olettaa Hicks-neutraalin teknisen kehityksen. Energian alimalli on myös homoteettinen. Molemmat mallit perustuvat yleistettyyn Leontief-kustannusfunktioon.

Longvan ja Olsenin kustannusfunktio vastasi vakioskaalatuottoista teknologiaa. Yleistetyn Leontief-funktion tapauksessa tämä näkyy siinä, että suhteellisten panoshintojen kertoimena esiintyy tuotannon kehitystä kuvaava funktio, joka määrittelee skaalatuotot ja teknisen kehityksen. Longva ja Olsen eivät määrittele tätä funktiota eksplisiittisesti ja on hyvin tavallista, että funktion paikalle merkitään suoraan tuotannon määrä. Longva ja Olsen eivät kuitenkaan menettele tällä tavalla, vaan käyttävät funktion sijalla instrumenttimuuttujaa, jona he pitävät panoshinnoilla painotettua panosten summaa (aggregaattipanos).

Longvan ja Olsenin energian alimalli on poikkeuksellinen siinä mielessä, että siinä esiintyy vain kaksi energiamuotoa, sähkö ja polttoaineet. Tutkijat estimoivat näiden energiamuotojen kysyntäyhtälöt kustannusosuusmuodossa, jolloin riippuvien muuttujien ykköseen summautumisen takia estimoitavaksi jäi vain yksi yhtälö, joka estimoitiin käyttäen pienimmän neliösumman menetelmää. Aggregaattimalli estimoitiin Yleistetystä Leontief-kustannusfunktiosta johdettujen panosten kysyntäyhtälöiden kautta käyttäen iteratiivista Zellnerin tehokasta estimointimenetelmää. Longvan ja Olsenin aineisto käsitti vuodet 1962-78.

Longvan ja Olsenin tulosten mukaan suurin osa oman hinnan joustoista oli arvoiltaan negatiivisia. Joillain toimialoilla energian kysyntä oli suhteellisen joustavaa oman hinnan muutoksille. Nämä olivat kuitenkin tyypillisesti sellaisia toimialoja, joilla energian kustannusosuus ja siten merkitys on vähäinen. Tyypillisesti energiaintensiivisillä toimialoilla energian hintajoustavuus oli alhainen. Pääoman oman hinnan jousto on itseisarvoltaan suhteellisen alhainen ja pienempi kuin työn oman hinnan jousto. Myös raaka-aineiden kysynnän reagointi oman hinnan vaihteluihin on vähäistä.

Tulosten mukaan pääoman ja energian suhde on joillain toimialoilla komplementaarinen ja joillain substitutiivinen, energiaintensiivisillä toimialoilla suhde on selvästi komplementaarinen. Energia ja työ ovat selvemmin substituutteja, panosten suhde on tämä kahdellatoista toimialalla. Pääoma ja työ ovat substituutteja useimmilla toimialoilla. Energian alimallin tulosten mukaan sähkö ja polttoaineet ovat selvästi substituutteja.

Byen tutkimus (1984) liittyy sekin Norjan makromallin tuotantolohkon kehittämiseen, kyseessä on sama malliversio (MSG-4E) kuin Longvan ja Olseninkin (1983) tutkimuksessa. Byen tutkimuksen esipuheessa todetaan, että ko. makromalli estimoitiin alunperin vuoteen 1978 ulottuvalla aineistolla ja että tämän jälkeen on erityisesti sähkön ja polttoaineiden suhteellinen hinta muuttunut huomattavasti (toinen energiakriisi). Tämän vuoksi on nähty tarpeelliseksi estimoida energian yleistetty Leontief-malli uudelleen aineistolla, joka loppuu vuoteen 1981. Lisäksi oli tarkoitus tarkastella alimallin funktiomuodon valinnan vaikutusta ja energian kysynnän sopeutumisen viiverakenteita. Vaihtoehtoisena alimallin funktiomuotona kokeiltiin CES-funktiota. Sähkön ja polttoaineiden kysyntä estimoitiin yleistetyn Leontief-funktion tapauksessa Longvan ja Olsenin tapaan panosten kustannusosuusmuodossa ja CES-funktion tapauksessa samoin kuin Pikkaraisella (1984) eli sähkön ja polttoaineiden määräsuhteen logaritmia selitettiin näiden energiamuotojen hintasuhteen logaritmilla. Molemmilla kerroilla estimointi suoritettiin pienimmän neliösumman menetelmällä. Byen aineisto koski mm. kahtatoista teollisuuden toimialaa, estimointiperiodi oli 1962-81.

Tilastollisten testien perusteella Bye valitsi osittaisen sopeutuksen määrittämiseksi, jossa sähkön ja polttoaineiden suhteen ensimmäisen viiveen logaritmi esiintyy lisäselittäjänä, parhaaksi. Empiiristen tulosten mukaan sähkö ja polttoaineet ovat tyypillisesti substituutteja, komplementaarisuutta ilmeni vain kahdella toimialalla, kemiallisten raaka-aineiden ja metallien tuotannossa. Yleistetyn Leontief- ja CES-yksikkökustannusfunktion todettiin tuottavan samanlaisia substituutiojoustojen arvoja. CES-funktion mukaisten lyhyen ja pitkän aikavälin joustojen ero oli useassa tapauksessa suuri eikä aina a priori-odotusten mukainen. Osittaisen sopeutumisen malli antoi useimmissa tapauksissa suurimmat pitkän tähtäimen joustojen arvot. Pidemmän estimointiperiodin, joka huomioi molempien energiakriisien ajan, todettiin vaikuttaneen siten, että aiempaan verraten nyt saatiin teollisuustoimialoilla seitsemässä tapauksessa kahdestatoista itseisarvoiltaan suurempia joustoja.

3.4 Kansainvälisiä tutkimuksia

Tässä suoritettavaan vertailuun on otettu mukaan myös joitain sellaisia tutkimuksia, joissa on käytetty kansainvälistä yhdistettyä maittaista poikkileikkaus- ja aikasarja-aineistoa ja joissa esitetään Pohjoismaita koskevia empiirisiä tuloksia. Griffin ja Gregory (1976) esittävät panosten substituutiituloksia Norjan ja Tanskan osalta, Pindyck (1979) Norjan ja Ruotsin ja Hesse ja Tarkka (1985) Suomen, Ruotsin ja Norjan osalta.

Griffinin ja Gregoryn (1976) lähtökohta on U.S.A:n teollisuudelle aiemmin saatu pääoman ja energian komplementaarisuustulos. Tutkijoiden mielestä tämä tulos saattaa olla tyypillinen aikasarja-aineistolla tehdyille tutkimuksille ja he

esittävät, että kansainvälinen yhdistetty poikkileikkaus- ja aikasarja-aineisto, jossa selittävien hintojen vaihtelu on suurempaa, kykenisi paremmin kuvaamaan panosten pitkän aikavälin suhteita. Tutkimuksen aineisto koostui yhdeksän teollistuneen maan (Norja ja Tanska ml.) tehdasteollisuuden vuosien 1955, 1960, 1965 ja 1969 havainnoista. Tutkijoiden mielestä maiden väliset havainnot kuvastavat pitkän tähtäimen mukautumista, koska hintaerot määräytyvät pitkävaikutteisten kansallisen tariffi-, vero- ja tukipalkkiopolitiikan mukaan. Heidän mielestään tällaisella aineistolla suoritettu estimointi toimii hyvänä testinä aiemman pääoman ja energian komplementaarisuustuloksen yleisyydelle.

Griffin ja Gregory hyödyntävät homoteettista Translog-kustannusfunktiota pääoman, työn ja energian kustannusosuusyhtälöitä johtaessaan. Aineistosyiden takia he joutuivat oletamaan raaka-aineiden heikon separoituvuuden KLE-panoksista. Oletus homoteettisuudesta ja raaka-aineiden poisjättäminen tietysti heikentävät tutkimuksen tulosten yleistettävyyttä. Estimointimenetelmänä käytettiin iteratiivista Zellnerin tehokasta estimointimenetelmää. Perusmallin lisäksi tutkijat estimoivat version, jossa yhtälöiden maittaiset ensimmäisen asteen termit saivat vaihdella ja lisäksi he estimoivat oman mallin kullekin maalle. Tilastollisten testien perusteella perusmalli ja ensimmäinen versio antoivat samoja tuloksia. Koska nollahypoteesia, jonka mukaan mallin substituutioparametrit eivät poikkeaisi maittain, ei voitu hylätä, tutkijat esittivät tuloksensa tämän nollahypoteesin mukaisena. Näin kaikkien joustojen etumerkit olivat, samoille kustannusosuuksille laskettuina, maittain samat.

Griffin ja Gregory toteavat saavansa aikasarjatutkimusten kanssa samoja tuloksia siinä suhteessa, että energian ja ei-energiapanosten väliset substituutiojoustot poikkeavat nollasta ja siinä, että vaikka energian kysyntä onkin oman hintansa suhteen joustamatonta, niin jouston arvo ei ole merkityksettömän pieni. Heidän mukaansa energian kysyntäennusteet, joissa käytetään nollasubstituutio-oletusta pitäisi hylätä. Tulosten suurin ero aikasarjatutkimukseen on siinä, että energia todetaan pääoman ja työn substituutiksi. Griffin ja Gregory katsovatkin voivansa hylätä aiemmin saadun pääoman ja energian komplementaarisuustuloksen, joka on heidän mukaansa tyypillinen lyhyelle aikavälille. Heidän mukaansa pääoma ja energia ovat pitkän aikavälin substituutteja.

Pindyckin (1979) tarkoituksena oli tarkastella edelleen yhdistetyn kansainvälisen aineiston avulla pääoman, työn ja energian substituutiosuhteita. Lisäksi hänen tarkoituksenaan oli laskea skaalatuottoihin, energian tuotosjoustavuuteen ja keskimääräisten kustannusten joustavuuteen energian hinnan suhteen liittyviä tunnuslukuja. Pindyckin malli on Fussin (1977) mukainen, aggregaattitasolla esiintyy KLE-panokset ja energian alimallin avulla kuvataan energiakustannusten minimointi suhteessa energiamuotoihin: hiili, poltto-öljy, maakaasu ja sähkö. Pindyck estimoi kaksivaiheisen mallinsa käyttäen kymmenen maan (Ruotsi ja Norja ml.) yhdistettyä poikki-

leikkaus- ja aikasarja-aineistoa. Estimointikokeiden seurauksena päätettiin yhdistäminen tehdä siten, että Euroopan maat ja Japani muodostaisivat yhden ryhmän ja U.S.A. ja Kanada toisen ryhmän. Aggregaattitaso estimoitiin käyttäen maittaisia vuosien 1963-73 havaintoja ja energian alimalli estimoitiin käyttäen maittaisia vuosien 1959-73 havaintoja. Estimointimenetelmänä käytettiin iteratiivista Zellnerin tehokasta estimointimenetelmää. Estimoinnissa sallittiin mallin ensimmäisen asteen termien, ei kuitenkaan substituutiokertoimien, vaihtelu maittain.

Pindyckin saamien tulosten mukaan eri energiamuodot ovat substituutteja keskenään ja niiden oman hinnan joustot ovat, sähköä lukuun ottamatta, suhteellisen suuria itseisarvoiltaan. Tulosten mukaan KLE-panokset ovat substituutteja keskenään, joten Griffinin ja Gregoryyn tulokset pääoman ja energian pitkän aikavälin substituutivuudesta saavat tukea. Pääoman ja energian välisen substituutiojouston arvo oli korkein U.S.A:ssa ja Kanadassa, joissa työn ja energian jousto oli alhaisin. Pindyckin laskemien ristijoustojen mukaan energian hinnan kaksinkertaistuminen saisi pitkällä aikavälillä aikaan pääoman ja työn kysynnän 2-8 %:n kasvun maittain.

Skaalatuotoista tehdyt laskelmat osoittivat, että aggregaattikustannusfunktio vastasi vakioskaalatuotoista teknologiaa. Energian kysynnän jousto suhteessa tuotannon muutoksiin todettiin ykköistä pienemmäksi. Keskimääräisten kustannusten ja energian hinnan suhteesta tehtyjen laskelmien mukaan U.S.A:ssa energian hinnan 10 %:n nousu saisi aikaan noin 0.3 %:n kasvun tuotantokustannuksissa. Italiassa, Japanissa ja Ruotsissa kustannusten nousu olisi korkeampi, noin 0.7 %. Näitä tunnuslukuja tulkittaessa on kuitenkin muistettava, että Pindyckin analyysissä raaka-aineet puuttuvat, joten keskimääräiset kustannukset lasketaan KLE-panosrakenteelle.

Hessen ja Tarkan (1985) keskeisenä tavoitteena oli analysoida mahdollista, ensimmäisen energiakriisin aiheuttamaa, muutosta pääoman, työn, sähkön ja polttoaineiden substituutiossa. He käyttivät homoteettista, mutta teknisen kehityksen suhteen harhaista Translog-kustannusfunktio mallia. Aineisto koostui kymmenen Euroopan maan (Suomi, Ruotsi ja Norja ml.) teollisuuden yhdistetystä poikkileikkaus- ja aikasarja-aineistosta vuosilta 1960-80. Substituutorakenteiden muuttumista tarkasteltiin estimoimalla malli periodille ennen energiakriisiä (1960-72) ja periodille kriisin jälkeen (1973-80). Mallit estimoitiin suurimman uskottavuuden menetelmällä sallien mallin ensimmäisen asteen termien maittainen vaihtelu.

Hessen ja Tarkan saamien tulosten mukaan teollisuuden panoskysyntä yleensä reagoi panoshintojen muutoksiin. Kysynnän reagointi todetaan kuitenkin joustamattomaksi. Tulosten mukaan pääoman ja sähkön suhde voidaan tulkita riippumattomaksi, joskin joitain viitteitä saatiin komplementaarisuudesta. Vuoden 1973 jälkeen suhde muuttuu riippuen teknisen

kehityksen määrittelystä. Pääoman ja sähkön suhde on energia-kriisin jälkeen komplementaarinen jos oletetaan Hicks-neutraalius, mutta harhaisen teknisen kehityksen versio, joka myös tilastollisin testein todettiin paremmaksi, tuotti substituutiotuloksen. Pääoman ja polttoaineet todettiin substituuteiksi ennen energiakriisiä ja pääasiassa riippumattomiksi, teknisen kehityksen määrittelystä riippumatta, kriisin jälkeen.

Työ ja sähkö ovat substituutteja, mutta kuten pääoman ja polttoaineiden kohdallakin, substituutiojoustojen arvot alenevat kriisien jälkeisellä periodilla. Työ ja polttoaineet todetaan substituuteiksi ennen kriisiä, mutta riippumattomiksi kriisin jälkeen. Sähkö ja polttoaineet todettiin vahvoiksi komplementeiksi ennen kriisiä, mutta kriisin jälkeen on nähtävissä selvä siirtymä kohti substitutatiivisuutta.

Hessen ja Tarkan mukaan esitettyihin tuloksiin tulee suhtautua staattisesta mallista, jossa sopeutumisen oletetaan tapahtuvan yhtäkkisesti, johdettuina. Heidän mukaansa on vaikea päätellä ovatko todetut panossubstituutiomuutokset pysyviä tilanteessa, jossa Euroopan teollisuus palaa normaalille kasvu-uralleen.

4. PANOSSUBSTITUUTIOTULOKSET

4.1 Aggregaattipanosten substituutio

Tarkastellaan ensin pääoman, työn, energian ja raaka-aineiden kysynnän panosrakennetta tehdasteollisuuden tasolla. Taulukoihin 4.1.1-4.1.3 on koottu tutkimusten keskeiset tulokset energia- ja ei-energiapanosten substituutiosta, ei-energiapanosten välisestä substituutiosta ja panosten oman hinnan joustoista.

Taulukosta 4.1.1 (kts. s. 36) voimme todeta tutkimusten antavan yhtenäisen kuvan energian ja raaka-aineiden sekä sähkön ja polttoaineiden panossuhteesta. Odotusten mukaisesti sähkö ja polttoaineet ovat vahvoja substituutteja, energia ja raaka-aineet ovat puolestaan heikkoja substituutteja. Työn ja energian ja erityisesti pääoman ja energian suhteesta tutkimukset antavat kuitenkin erilaisen kuvan. Tässä ei ole syytä kiinnittää suurta huomiota joustojen absoluuttisten arvojen eroihin, koska joustot on laskettu eri vuosille.

Taulukko antaa kuvan, jonka mukaan energian jakamisella sähkөөn ja polttoaineisiin on suuri merkitys. Taulukon tulosten mukaan pääoma ja työ näyttävät käyttäytyvän eri tavalla suhteessaan sähkөөn kuin suhteessaan polttoaineisiin. Jos ajattelemme näiden energiamuotojen painottuvan samalla tavalla energia-aggregaatissa, niin voimme todeta, että työn ja aggregaattien energian suhde on tutkimusten tulosten mukaan

Tutkimus/ σ_{ij}	K-E	K-F	L-E	L-F	E-M	M-F	E-F
<u>Suomi</u>							
Tarkka (1983)a	-1.306		1.309		-	-	-
Törmä (1986)b	-0.254	-0.123	-0.075	0.377	-	-	4.935
Törmä, Loukola (1986)c	1.817	-3.292	0.322	-2.599	0.153	7.116	10.453
<u>Ruotsi</u>							
Sjöholm (1981)d	2.359		-1.501		1.024		-
Dargay (1983b)e	0.330		0.170		0.030		-
<u>Norja</u>							
Longva, Olsen (1983)f	-0.130		0.300		-	-	-
<u>Kansainvälisiä tutkimuksia</u>							
Griffin, Gregory (1976)g	1.020		0.860		-	-	-
Pindyck (1979)h	0.630		1.100		-	-	-
i	0.590		1.140				
Hesse, Tarkka (1985) j	0.660	0.700	0.260	-0.020	-	-	1.270
k	0.180	0.370	0.130	-0.050	-	-	1.510
l	0.460	0.490	0.200	-0.180	-	-	1.440

Taulukke 4.1.1 Eräiden tutkimusten tuloksia energia- ja ei-energia-panosten substituutiosta tehdasteollisuuden tasolla

- a 1970, mallin yleisin versio, pääoman joustot laskettu K_1 :n ja K_2 :n suhteen keskiarvona
- b 1960-81 keskiarvoissa
- c 1960-81 keskiarvoissa
- d 1962-78 keskiarvoissa, epähomoteettinen ja harhaisen teknisen kehityksen malli, Translog
- e 1952-76 keskiarvoissa, epähomoteettinen ja neutraalin teknisen kehityksen malli
- f 1978, E_{ij}
- g 1965, Norja
- h 1963-73 keskiarvoissa, Ruotsi
- i 1963-73 keskiarvoissa, Norja
- j 1977, Suomi
- k 1977, Ruotsi
- l 1977, Norja
- } malli estimoitu periodin 1973-80 aineistolla

voittopuolisesti substitutiivinen. Pääoman ja energian suhteesta näyttävät aikasarjatutkimukset antavan komplementaarisuhteen ja kansainväliset yhdistettyä aineistoa käyttäneet tutkimukset substituutiotuloksen. Aikasarjatutkimuksissa poikkeuksen muodostaa Sjöholmin (1981) ja Dargayn (1983) eräiden malliversioiden tulokset, joiden mukaan pääoma ja aggregaattien energia olisivat substituutteja.

Taulukon 4.1.2 (kts. s. 38) perusteella voimme todeta tutkimusten antavan suhteellisen samanlaisen kuvan ei-energiapanosten välisestä substituutiosta. Pääoma ja työ ovat tulosten mukaan substituutteja, samoin työ ja raaka-aineet. Pääoman ja raaka-aineiden suhde on tulosten mukaan lähellä riippumattomuutta. Eräs mielenkiintoinen havainto voidaan tehdä aikasarja- ja kansainvälisten tutkimusten välillä pääoman ja työn suhteesta. Edelliset antavat pääoman ja työn väliselle substituutiojoustoille jälkimmäisiä alhaisemmat arvot. Jos yhdistettyä maittaista poikkileikkaus- ja aikasarja-aineistoa käyttävät tutkimukset todella kuvaavat pitkän aikavälin sopeutumista, niin tätä tulosta voidaan tulkita La Chatelier-periaatteen mukaisesti: pääomaa ja työtä voitaisiin siten pitkällä tähtäimellä substituoida helpommin kuin lyhyellä tähtäimellä.

Taulukossa 4.1.3 (kts. s. 39) on esitetty panosten oman hinnan joustojen arvoja. Ainoastaan kaksi arvoa on positiivisia, ne kuitenkin voitaneen tulkita absoluuttisen arvonsa alhaisuuden takia nolliksi. Pääoman oman hinnan joustot vaihtelevat välillä (-0.037, -0.600), työn välillä (-0.150, -0.700), raaka-aineiden välillä (-0.120, -0.784), sähkön välillä (-0.140, -0.648), polttoaineiden välillä (-0.060, -0.284) ja aggregaattien energian välillä (-0.100, -0.840). Panosten kysyntä on siten oman hintansa suhteen kaikkien taulukossa tarkasteltujen tutkimusten mukaan joustamatonta.

4.2 Energiapanosten hintajoustavuus

Luvussa kolme todettiin, että eri energiamuodot osoittautuivat energian alimallin estimoinneissa yleensä toistensa substituuteiksi. Tämän tutkimuksen, jossa ei erikseen tutkita energiamuotojen substituutiorakennetta, kannalta ei ole mielenkiintoista verrata näitä tuloksia. Taulukkoon 4.2.1 (kts. s. 40) onkin sensijaan kerätty eri tutkimusten estimaatteja energiamuotojen oman hinnan joustoista tehdasteollisuudessa.

Taulukon perusteella voimme todeta, että kiinteät polttoaineet reagoivat oman hintansa muutokseen suuremmassa määrin kuin öljytuotteet ja sähkö. Pindyckin tulosten mukaan hiiltä voitaisiin substituoida muilla energiamuodoilla suhteellisen helposti pitkällä tähtäimellä. Aikasarjatutkimusten mukaan eri energiamuotojen kysyntä reagoi joustamattomasti oman hintansa muutokseen.

Tutkimus/ σ_{ij}	K-L	K-M	L-M
<u>Suomi</u>			
Tarkka (1983) a	0.296	-	-
Törmä (1986) b	0.282	-	-
Törmä, Loukola (1986) c	0.295	0.000	0.604
<u>Ruotsi</u>			
Sjöholm (1981) d	0.401	-0.391	0.523
Dargay (1983) e	0.260	0.210	0.360
<u>Norja</u>			
Longva, Olsen (1983) f	0.200	-	-
<u>Kansainvälisiä tutkimuksia</u>			
Griffin, Gregory (1976) g	0.400	-	-
Pindyck (1979) h	0.690	-	-
i	0.710	-	-
Hesse, Tarkka (1985) j	0.830	-	-
k	0.780	-	-
l	0.810	-	-

Taulukko 4.1.2 Eräiden tutkimusten tuloksia ei-energiapanosten substitutiosta tehdasteollisuudessa (viitteet a-l kuten taulukossa 4.1.1)

Tutkimus/ E_{ii}	K-K	L-L	M-M	E-E	F-F
<u>Suomi</u>					
Tarkka (1983) a	-0.037	-0.209	-	-0.309	
Törmä (1986) b	-0.112	-0.151	-	0.019	-0.244
Törmä, Loukola (1986) c	-0.026	-0.581	-0.784	-0.648	-0.284
<u>Ruotsi</u>					
Sjöholm (1981) d	0.055	-0.308	-0.150	-0.367	
Dargay (1983) e	-0.210	-0.250	-0.120	-0.100	
<u>Norja</u>					
Longva, Olsen (1983) f	-0.400	-0.700	-0.200	-0.820	
<u>Kansainvälisiä tutkimuksia</u>					
Griffin, Gregory (1976) g	-0.380	-0.270	-	-0.770	
Pindyck (1979) h	-0.430	-0.330	-	-0.840	
i	-0.410	-0.370	-	-0.840	
Hesse, Tarkka (1985) j	-0.560	-0.270	-	-0.140	-0.280
k	-0.600	-0.150	-	-0.170	-0.090
l	-0.590	-0.200	-	-0.290	-0.060

Taulukko 4.1.3 Eräiden tutkimusten tuloksia panosten oman hinnan joustoista tehdasteollisuudessa (viitteet a-l kuten taulukossa 4.1.1)

Tutkimus	Energiamuoto	E_{ii}
<u>Suomi</u>		
Törmä (1986)a	Hiili	-0.573
	Öljy	-0.158
	Nestekaasu	-0.772
Törmä, Loukola (1986)b	Kaukolämpö	-0.331
	Kevyt polttoöljy	-0.296
	Raskas polttoöljy	-0.616
	Hiili	0.134
<u>Ruotsi</u>		
Sjöholm (1981)c	Kiinteät polttoaineet	-0.416
	Bensiini	-0.407
	Polttoöljy	-0.206
	Sähkö	-0.293
Dargay (1985)d	Sähkö	-0.160
	Öljytuotteet	-0.260
	Kiinteät polttoaineet	-0.600
<u>Norja</u>		
Longva, Olsen (1983)e	Sähkö	-0.296
	Polttoaineet	-0.234
<u>Kansainvälisiä tutkimuksia</u>		
Pindyck (1979)f	Hiili	-1.260
	Polttoöljy	-0.270
	Sähkö	-0.120
	Hiili	-2.080
	Polttoöljy	-0.340
g	Sähkö	-0.080

- a 1960-81 keskiarvoissa
b 1960-81 keskiarvoissa
c 1962-78 keskiarvoissa
d 1952-76 keskiarvoissa
e 1978
f 1963-73 keskiarvoissa, Ruotsi
g 1963-73 keskiarvoissa, Norja

Taulukko 4.2.1 Eräiden tutkimusten tuloksia energiamuotojen oman hinnan joustoista tehdasteollisuudessa (homoteettinen energian alimalli).

4.3 Toimialoittaiset tulokset

Tarkastellaan vielä Törmän ja Loukolan (1986), Dargayn (1983 b) ja Longvan ja Olsenin (1983) saamia teollisuuden kaksinumeroisen toimialajaon substituutiotuloksia aggregaattipanosten osalta. Taulukoissa 4.3.1 ja 4.3.2 (kts s. 42-43) on esitetty keskeiset tulokset toimialoittaisista ei-energiapanosten välisistä ja energia- ja ei-energiapanosten välisestä substituutorakenteesta epä-homoteettisen ja teknisen kehityksen suhteen neutraalin mallin tapauksessa. Longvan ja Olsenin tulokset perustuvat kuitenkin vakioskaalatuottoiseen teknologiaan. Taulukoissa on kiinnitetty huomiota vain substituutiojoustojen etumerkkeihin. Ne tapaukset, joissa Suomen aineistolla saatu etumerkki poikkeaa Ruotsin ja Norjan aineistolla saatuun nähden on merkitty.

Taulukon mukaan pääoman ja työn suhde on kaikissa kolmessa maassa substitutiivinen. Suomen negatiivinen tulos poikkeaa kuitenkin toimialalla 31 Ruotsin ja Norjan tuloksista. Yhtenevyys tulosten välillä on suurin työvoiman ja raaka-aineiden suhteessa, nämä panokset ovat substituutteja. Pääoman ja raaka-aineiden Suomen aineistolla saatu komplementaarisuus näyttää poikkeavan vertailutuloksista. Ruotsissa ja Norjassa suhde on enemmänkin substitutiivinen.

Energia- ja ei-energiapanosten välisten maittaisten vertailujen tekeminen on hankalaa sillä vertailutuloksissa ei energiaa oltu jaettu sähköön ja polttoaineisiin. Suomen aineistolla saatu tulos työvoiman ja energian substituutiosta toimialalla 31 on ainut, joka poikkeaa molemmista vertailutuloksista. Suomen aineistolla saatu tulos primaaripanosten ja sähköön sekä polttoaineiden välisen suhteen erilaisuudesta mahdollistaa negatiivisen, mutta myös positiivisen substituutiojoustojen etumerkin energia-aggregaatin ja primaaripanosten välille. Itse asiassa etumerkki riippuu siitä miten sähkö ja polttoaineet painottuvat energia-aggregaatissa.

σ_{ij} TOL	K-L			K-M			L-M		
	S	R	N	S	R	N	S	R	N
31	⊖	+	+	⊕	-	-	+	+	+
32	+	+	+	-	-	-	+	+	+
33	+	}	+	-	}	-	+	}	+
34	+		+	⊖		+	+		+
35	+	+	+	-	+	+	+	-	+
36	+	+	.	-	+	.	+	+	.
37	+	+	+	⊖	+	+	+	+	+
38	+	+	+	-	+	-	+	+	+

Taulukko 4.3.1 Toimialoittaisten tulosten vertailu ei-energiapanosten substitutiosta (S = Suomi, R = Ruotsi, N = Norja, + = substituu-
tit, - = komplementit).

σ_{ij}	K-E	K-F	K-E	K-E	L-E	L-F	L-E	L-E	E-M	M-F	E-M	E-M
TOL												
Maa	S	S	R	N	S	S	R	N	S	S	R	N
31	+	-	+	+	+	+	-	-	+	-	+	+
32	-	+	-	-	+	+	+	+	+	-	+	-
33	-	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+
34	+	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	-
35	+	-	+	-	+	-	+	+	+	+	+	+
36	-	-	-	.	+	-	-	.	-	+	+	.
37	+	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+
38	+	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	-

Taulukko 4.3.2 Toimialoittaisten tulosten vertailu energia- ja ei-energiapanosten substitutiosta (merkinnät kuten taulukossa 4.3.1)

5. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämä työpaperi liittyy laajempaan tutkimushankkeeseen, jolle on asetettu kolme tavoitetta. Ensimmäisessä vaiheessa oli tarkoitus verrata toisiinsa Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa tehtyjä panossubstituutiotutkimuksia sekä niiden tutkimusmenetödien että keskeisten empiiristen tulosten suhteen. Toisessa vaiheessa pyritään selvittämään eräillä malliteknisillä laskelmilla kysymystä eroaako panossubstituutio Suomen, Ruotsin ja Norjan tehdasteollisuudessa jollain merkittäväällä tavalla. Edelleen toisessa vaiheessa on tarkoitus tarkastella saatujen empiiristen tulosten perusteella ns. negatiivisen energiakriisin vaikutuksia maiden teollisuuden panoskysyntään.

Kirjallisuuskatsauksessa, johon tämä työpaperi keskittyy, verrattiin toisiinsa yhteensä 16. eri tutkimusta, joista kolme oli kansainvälistä yhdistettyä poikkileikkaus- ja aikasarja-aineistoa käyttäneitä ja muut tyypillisesti maittaisia aikasarja-analyysejä. Kirjallisuuskatsaukseen oli pyritty valitsemaan Suomesta, Ruotsista ja Norjasta kustakin alan edustavimmat tutkimukset. Vertailussa kiinnitettiin huomiota panoskysynnän mallittamiseen tarkastelemalla käytettyjen panoskysynnän mallien funktiomäärityksiä, tehtyjä oletuksia homoteettisuudesta ja teknisestä kehityksestä, aineistoja ja estimointimenetelmiä sekä tapaa, jolla pääoman hinnoittelu oli tehty. Näiden teknisten seikkojen lisäksi tarkasteltiin tutkimuksissa saatuja yleisiä ja erityisesti panossubstituutiotuloksia sekä tehdasteollisuuden että toimialatasolla.

Tutkimuksen kirjallisuuskatsausosan keskeiset tulokset voidaan koota seuraaviksi johtopäätöksiksi:

1) Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa suoritettua panossubstituutiotutkimusta voidaan tarkastelun perusteella pitää kansainväliset mittapuut täyttävänä. Ulkomailla jo 1970-luvun alusta lähtien kehitetty dualiteettiteorian empiirinen soveltamistapa on omaksuttu kuitenkin vasta 1980-luvun alussa. Erityisesti Norjassa tarkasteltu empiirinen tutkimus on liittynyt kansantalouden makromallin kehittämiseen.

2) Tässä tarkastelluissa tutkimuksissa panoskysyntämalli on yleensä ollut luonteeltaan staattinen, ts. tutkimuksissa on oletettu teollisuuden kykenevän sopeutumaan esim. energian hinnoissa tapahtuviin muutoksiin viiveettä, yhden tarkasteluperiodin (vuoden) aikana.

3) Pääoman, työn, energian ja raaka-aineiden panoskysyntäyhtälöt on johdettu useimmissa tässä tarkastelluissa tutkimuksissa duaalista Translog-kustannusfunktiota teknologian kuvaajana käyttäen. Useissa tutkimuksissa on em. aggregaattipanosten substituution lisäksi mallitettu myös eri energiamuotojen välinen substituutiorakenne. Translog-spesi-

fikaation rinnalla on käytetty myös yleistetyn Leontief-funktion mukaista kustannusfunktion parametrisointia.

4) Translog- ja Leontief-sovitteiden lisäksi on nähtävissä, erityisesti Ruotsissa, pyrkimys tarkastella panoskysyntää myös muihin mallityyppeihin perustuen. Tästä ovat esimerkkinä eräille Ruotsin teollisille toimialoille rakennetut vuosiker- ta- ja lineaarisen ohjelmoinnin mallit.

5) Tässä tarkastelluissa empiirisissä sovellutuksissa, jotka ovat koskeneet sekä tehdasteollisuuden että toimialatasoa, panoskysyntämallit ovat poikenneet niin käytetyn aikaperiodin kuin tutkimuksissa tehtyjen oletustensakin suhteen toisis- taan, mutteivät niinkään käytettyjen estimointimenetelmien suhteen. Tutkimukset poikkeavat erityisesti homoteettisuu- teen, tekniseen kehitykseen ja pääoman hinnoitteluun liitty- vien oletustensa suhteen. Näistä eroista johtuen ei tässä tarkasteltujen tutkimusten perusteella voida tehdä riittävän tarkkoja johtopäätöksiä Suomen, Ruotsin ja Norjan teollisuu- den panossubstituutioeroista.

6) Katsauksen tutkimusten empiirisistä tuloksista voidaan todeta niiden antavan suhteellisen yhtenäisen kuvan ensinnä- kin pääoman, työn ja raaka-aineiden panossuhteesta, nämä panokset ovat substituutteja, ja toiseksi energian ja raaka- aineiden sekä sähkön ja polttoaineiden suhteesta, nämäkin panokset ovat substituutteja keskenään. Työn ja energian ja varsinkin pääoman ja energian suhteesta tutkimukset antavat kuitenkin erilaisen kuvan. Keskeisintä tässä lienee havainto, jonka mukaan pääoma ja työ näyttävät käyttäytyvän eri tavalla suhteessaan sähkөөn kuin suhteessaan polttoaineisiin. Työn ja aggregaattien energian suhde on tarkastelluissa tuloksissa voit- topuolisesti substitutiivinen. Pääoman ja energian suhteesta tarkastellut aikasarjatutkimukset antavat lähinnä komplemen- taarisuustuloksen, joskin tämä samoinkuin useat muut tarkas- tellut tulokset ovat herkkiä mallispesifikaatiolle esim. homoteettisuusoletuksen muutoksille.

7) Pääoman, työn, energian ja raaka-aineiden kysyntä on tar- kastelluissa tutkimuksissa todettu oman hintansa suhteen joustamattomaksi. Tutkimuksissa on lisäksi todettu, että kiinteät polttoaineet reagoivat oman hintansa muutoksiin suuremmissa määrin kuin öljytuotteet ja sähkö. Toimialatasol- la suoritettuja analyysejä tarkasteltaessa todettiin toimi- alojen poikkeavan eniten pääoman ja energian substituointi- mahdollisuuksissa.

Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa suoritettua panossubstitutiotutkimusta voidaan tarkastelun perusteella pitää kansainväliset mittapuut täyttävänä. Ulkomailla jo 1970-luvun alusta lähtien kehitetty dualiteettiteorian empiirinen soveltamistapa on omaksuttu kuitenkin vasta 1980-luvun alussa. Ulkomaisia esikuvia on tarkastellussa tutkimuksessa käytetty melko suoraviivaisesti. Tarkastellut panoskysyntämallit ovat olleet luonteeltaan staattisia ja onkin odotettavissa, että dynaamisten panoskysyntämallien estimointiin päästään täällä laajemmin vasta sitten, kun niiden asema on tutkimusvälineinä ulkomailla vakiintunut.

Panoskysyntätutkimus on tuottanut relevanttia uutta tietoa maiden teollisuuden kyvystä sopeutua panoshinnoissa tapahtuviin muutoksiin. Tarkasteltujen tutkimusten valossa näyttää siltä, että ainakin Norjassa on uutta informaatiota haluttu käyttää talouden makromallin kehittämiseen. Esimerkiksi Suomessa, muiden kuin teollisuuden, panoskysynnän tutkiminen on hankalaa, koska erityisesti energiapanokseen liittyvä tilastointi alkutuotannon ja palveluelinkeinojen osalta on puutteellista.

LÄHDELUETTELO

- Alho K., Yritysten pääomakustannusten muuttujan konstruointi, Elinkeinoelämän tutkimuslaitos, Keskusteluaiheita No. 94, 1981
- Allen R. G. D., Mathematical Analysis for Economists, MacMillan, 1938
- Berndt E. R. and D. O. Wood, Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy, The Review of Economics and Statistics, Aug. 1975, 259-268
- Bergström V. and E. E. Panas, Substitution and Technological Change. A Reconsideration of Industrial Growth in Sweden, Trade Union Institute for Economic Research, Working Paper No. 2, 1985
- Bye T., Energisubstitusjon i næringssektorene i en makromodell, Statistisk Sentralbyrå Rapporter 84/2, 1984
- Dargay J., The Demand for Energy in Swedish Engineering: Factor Substitution, Technical Change and Scale Effects, Energy Research Commission, Energy Systems Studies, AES 1983:2, cp. 6, 80-96 (1983 a)
- Dargay J., The Demand for Energy in Swedish Manufacturing, in Ysander, 1983, 57-128 (1983 b)
- Dargay J., The Demand for Energy in Swedish Manufacturing Industries, The Scandinavian Journal of Economics 85 (1), 1983, 37-51 (1983 c)
- Diewert W. E., Applications of Duality Theory, in. M. D. Intriligator and D. A. Kendrick (eds.), Frontiers of Quantitative Economics, vol. II, 106-171, North-Holland, 1974
- Fuss M. A., The Demand for Energy in Canadian Manufacturing. An Example of the Estimation of Production Structures with Many Inputs, Journal of Econometrics, 1977, 89-116
- Griffin J. M. and P. R. Gregory, An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses, The American Economic Review, Dec. 1976, 845-857
- Hesse D. M. and H. Tarkka, The Demand for Capital, Labour and Energy in European Manufacturing Industry before and after the Oil Price Shocks, Scandinavian Journal of Economics, 1986

- Hultkrantz L., Energy Substitution in the Forest Industry, in Ysander, 1983, 209-260
- Jansson L., A Vintage Model for the Swedish Iron and Steel Industry, in Ysander, 1983, 129-169
- Longva S. and O. Olsen, Price Sensitivity of Energy Demand in Norwegian Industries, The Scandinavian Journal of Economics 85 (1), 1983, 17-36
- Lundgren S., A Model of Energy Demand in the Swedish Iron and Steel Industry, in Ysander, 1983, 171-208
- Ohta M., A Note on the Duality between Production and Cost Functions: Rate of Returns to Scale and Rate of Technical Progress, Economic Studies Quarterly, Vol. 25, Dec. 1974, 63-65
- Pikkarainen P., Teollisuuden energian kysynnästä Suomessa 1960-1982, Suomen Pankki D:57, 1984
- Pindyck R. S., Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: An International Comparison, The Review of Economics and Statistics, May 1979, 169-179
- Saariaho M., Energian substituotuvuus, Joensuun yliopisto, yhteiskuntatieteiden tiedekunta, kansantaloustieteen ja tilastotieteen tutkimuksia N:O 1, 1984
- Sjöholm K. R., Factor Demand in Swedish Manufacturing Industry with Special Reference to the Demand for Energy, Försvarets Forskningsanstalt, FOA rapport C 10175-M5, 1981
- Tarkka H., Factor Proportions and Technical Change in Finnish Manufacturing, Economic Planning Centre, Report 8, 1983
- Törmä H., Komponenttien ja panosten substituutiorakenteet Suomen teollisuudessa 1960-82, Kansantaloudellinen aikakauskirja 1986:2, 174-183
- Törmä H. ja A. Loukola, Panoskysynnän joustot ja viennin kilpailukyky, Keski-Suomen Taloudellinen Tutkimuskeskus, Julkaisuja 71/1986
- Vanninen J., Näkökohtia teollisuuden energian, erityisesti sähkön kysynnästä, Elinkeinoelämän tutkimuslaitos, Keskusteluaiheita No. 164, 1984

White K. J. and N. G. Horsman, SHAZAM, The Econometrics Computer Program, Version 5, User's Reference Manual, Department of Economics, University of British Columbia, 1985

Wibe S., Substitution and Complementarity in the Machine-Making Industry, Umeå Economic Studies No. 132, 1983

Väisänen Mikko, Suomen kansantalouden aggregaattituotanto- ja -kustannusfunktio, teoreettinen tarkastelu ja empiirinen sovellutus vuosille 1960-1983, pro gradu, Jyväskylän yliopisto, taloustieteen laitos, syksy 1985

Ylä-Liedenpohja J., Financing and Investment under Unutilized Tax Allowances, Pellervo Economic Research Institute, Reports and Discussion Papers, N:o 35/1983

Zellner A., An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regressions and Tests for Aggregation Bias, Journal of American Statistical Association 57, 1962, 348-368

Ysander B-C., (ed.) Energy in Swedish Manufacturing, The Industrial Institute for Economic and Social Research, 1983

ELINKEINOELÄMÄN TUTKIMUSLAITOS (ETLA)
The Research Institute of the Finnish Economy
Lönnrotinkatu 4 B, SF-00120 HELSINKI Puh./Tel. (90) 601 322

KESKUSTELUAIHEITA - DISCUSSION PAPERS ISSN 0781-6847

- No 206 JUSSI RAUMOLIN, Recent Trends in the Development of the Forest Sector in Finland and Eastern Canada. 04.04.1986. 40 p.
- No 207 VESA KANNIAINEN - JUHA VEHVILÄINEN, On Instability of a Keynesian Macro Model: Some Notes. 08.04.1986. 14 p.
- No 208 PEKKA YLÄ-ANTTILA, Investment Structure, Productivity and Technical Change - Implications for Business Organizations and Management. 17.04.1986. 19 p.
- No 209 JUHA AHTOLA, Consequences from Improper Use of Ordinary Least Squares Estimation with Time Series Data. 12.05.1986. 11 p.
- No 210 TIMO AIRAKSINEN, Vertaileva analyysi pääomatulojen verotuksesta Suomessa ja Ruotsissa vuonna 1986. 29.05.1986. 36 s.
- No 211 JUSSI RAUMOLIN, Kaivos- ja metallituotteiden maailmantalous. 18.06.1986. 40 s.
- No 212 TARMO VALKONEN, Vakuutusyhtiöiden sijoitustoiminnan puitteet ja sijoitusten jakautuminen Suomessa vuosina 1962-1984. 19.06.1986. 68 s.
- No 213 TIMO TERÄSVIRTA - GANG YI - GEORGE JUDGE, Model Selection, Smoothing and Parameter Estimation in Linear Models under Squared Error Loss. 17.07.1986. 21 p.
- No 214 MARKKU RAHIALA - TIMO TERÄSVIRTA, Formation of Firms' Production Plans in Finnish Manufacturing Industries. 18.07.1986. 30 p.
- No 215 SEIJA ILMAKUNNAS, The Monopoly Union Model with Endogenous Price Expectations. 15.08.1986. 15 p.
- No 216 VESA KANNIAINEN - HANNU HERNESNIEMI, The Cost of Holding Inventories, and the Demand for Labor and Capital under Corporate Taxation: Another Look. 06.10.1986. 24 p.
- No 217 TIMO AIRAKSINEN, Pääomaverotuksen teoriaa. 12.11.1986. 63 s.
- No 218 VESA KANNIAINEN, Tax Allowances and the Optimal Investment Policy by Firms. 04.12.1986. 45 p.
- No 219 JUSSI RAUMOLIN, The Role of Education in the Development of the Mining Sector in Finland. 04.12.1986. 83 p.

- No 220 MARKKU RAHIALA - TIMO TERÄSVIRTA - VESA KANNIAINEN, Factors Affecting Firms' Employment Plans in Finnish Manufacturing Industries. 15.12.1986. 30 p.
- No 221 TIMO TERÄSVIRTA, Incomplete Ellipsoidal Restrictions in Linear Models. 16.12.1986. 9 p.
- No 222 OSMO FORSSELL, Panos-tuotos-laskelmat Suomen Neuvostoliiton-viennistä. 22.12.1986. 119 s.
- No 223 OLLI-TAPIO MATTILA, Suomen Neuvostoliiton-kaupan kehitys, kuvioliite. 22.12.1986. 94 s.
- No 224 PEKKA ILMAKUNNAS, Survey Expectations vs. Rational Expectations in the Estimation of a Dynamic Model: Demand for Labor in Finnish Manufacturing. 30.12.1986. 22 p.
- No 225 PEKKA SPOLANDER, Kapitalmarknader och ägarförhållanden i Finlands näringsliv. 31.12.1986. 42 s.
- No 226 JUHA KINNUNEN, Comparison of the Arima-Model Forecasts of Some Finnish Macroeconomic Variables with Econometric Macromodel Forecasts. 31.12.1986. 33 p.
- No 227 ERKKI KOSKELA, Personal Savings and Capital Income Taxation: A Differential Incidence Analysis. 12.01.1987. 16 p.
- No 228 MORTEN JONASSEN - PAAVO SUNI, Real Exchange Rates as Indicators of Purchasing Power Parity. 20.02.1987. 30 p.
- No 229 JUHANI RAATIKAINEN, Variability of Exchange Rates under Rational Expectations. 21.02.1987. 25 p.
- No 230 TIMO AIRAKSINEN, Talletusten verollistamisen vaikutus pankkien käyttäytymiseen ja kannattavuuteen. 31.03.1987. 21 s.
- No 231 JUHA AHTOLA, Error Correction Mechanism: An Economic Interpretation. 01.04.1987. 10 p.
- No 232 HANNU TÖRMÄ, Katsaus eräisiin pohjoismaisiin panossubstituutiotutkimuksiin. 01.04.1987. 49 s.
- No 233 HANNU TÖRMÄ, Pääoman, työn, energian ja raaka-aineiden substitutio Suomen, Ruotsin ja Norjan tehdasteollisuudessa. 01.04.1987. 35 s.

Elinkeinoelämän Tutkimuslaitoksen julkaisemat "Keskusteluaiheet" ovat raportteja alustavista tutkimustuloksista ja väliraportteja tekeillä olevista tutkimuksista. Tässä sarjassa julkaistuja monisteita on rajoitetusti saatavissa ETLAn kirjastosta tai ao. tutkijalta.

Papers in this series are reports on preliminary research results and on studies in progress; they can be obtained, on request, by the author's permission.