

Pentti Pikkarainen

Suomen Pankin kirjasto



000000601 IVA5a

Kirjasto: alaholvi

SUOMEN PANKKI D

Teollisuuden energian kysynnästä Suomessa 1960-1

Suomen Pankki

D:057

1984

# Teollisuuden energia Suomessa 1960–1982

Suomen Pankki

1984

D:57

Pentti Pikkarainen

SUOMEN PANKKI  
Kirjasto

# **Teollisuuden energian kysynnästä Suomessa 1960–1982**

Suomen Pankki  
Helsinki 1984

ISBN 951-686-096-6  
ISSN 0355-6042

## ALKUSANAT

Tämän tutkimuksen olen tehnyt varsinaisen työni ohessa Suomen Pankin tutkimusosastolla kesän ja syksyn 1983 aikana. Tutkimuksen valmistumista auttoivat suuresti kannustavat keskustelut sekä pankissa että ulkopuolisten henkilöiden kanssa. Suomen Pankin kirjaston henkilökunnan apu kirjallisuuden hankinnassa oli korvaamaton.

Nyt julkaistava tutkimus ei oleellisesti poikkea siitä versiosta, joka hyväksyttiin kansantaloustieteen pro gradu -työnä Helsingin yliopistossa helmikuussa 1984.

Helsingissä syyskuussa 1984

Pentti Pikkarainen

Julkaistaan tiedonantona käynnissä olevasta tutkimuksesta.

## SISÄLLYS

		sivu
1	JOHDANTO	7
1.1	Tutkielman tavoite ja rakenne	7
1.2	Energiatalouden peruskäsitteitä	10
2	ENERGIAN JA MUIDEN TUOTANNONTEKIJÖIDEN VÄLISISTÄ SUHTEISTA TEOLLISUUDESSA. KATSAUS EMPIIRISEEN TUTKIMUKSEEN	13
2.1	Tutkimusmetodeista ja tutkimusten tuloksista	14
2.2	Eri tutkimustulosten välisten erojen syitä	18
2.3	Johtopäätöksiä	20
3	ENERGIAN KYSYNNÄSTÄ CES-TALOUDESSA	22
3.1	CES-tuotantofunktioista	23
3.2	Tuotantoteknologian täsmentäminen	25
3.3	Energian kysynnän johtaminen	29
4	TUTKIELMASSA KÄYTETTY AINEISTO	33
4.1	Energiamäärät	33
4.2	Energian hinnat	35
4.3	Muut sarjat	36
4.4	Keskeisten aikasarjojen kehitys 1960 - 1982	36

5	EMPIIRISTEN YHTÄLÖIDEN SPESIFIOINTI, ESTIMOINTI JA STABIILISUUS	39
5.1	Empiiristen mallien spesifiointi	39
5.2	Estimointimenetelmästä ja stabiilisuustesteistä	44
5.3	Estimointitulokset ja mallien stabiilisuus	46
5.3.1	Energia-aggregaatti	46
5.3.2	Sähkö ja polttoaineet	50
5.4	Johtopäätöksiä empiirisistä tuloksista	54
6	VERTAILUA MUIDEN TUTKIMUSTULOSTEN KANSSA	56
6.1	Yhden yhtälön mallit	56
6.2	Moniyhtälömallit	58
7	LOPUKSI	61
	LÄHTEET	65
	LIITE 1	75
	LIITE 2	79
	LIITE 3	83
	SUMMARY	85

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Tutkielman tavoite ja rakenne

Tässä tutkielmassa tarkastellaan teollisuuden energian kysyntään Suomessa 1960 - 1982 vaikuttaneita tekijöitä. Ongelmaa lähestytään tarkastelemalla energiaa teollisuuden tuotannon panoksena työn, pääoman ja raaka-aineiden ohella. Lisäksi yritetään selvittää eri energialähteiden välisiä substituutiomahdollisuuksia teollisuudessa. Teoreettisena viitekehyksenä on käytetty uusklassista tuotantoteoriaa. Tutkielman lähestymistapa on ekonometrinen.

Energian hintojen voimakas nousu vuosina 1973 - 1974 on hyvä esimerkki tapauksesta, jossa ulkoisessa ympäristössä tapahtunut yhtäkkinen muutos on synnyttänyt uutta tutkimustoimintaa. Tämä ei koske ainoastaan energiaan liittyvien taloudellisten ilmiöiden tutkimista vaan myös energiasysteemin teknisiä, ympäristöllisiä ja yhteiskunnallisia аспекteja. Energiamarkkinoilla tapahtuneet rajut muutokset ovatkin aiheuttaneet 70-luvun lopulla ja 80-luvun alussa tulvan uutta kirjallisuutta. Aihetta käsitteleviä kirjoja ja artikkeleita julkaistiin yhä enemmän, uusia aikakauslehtiä perustettiin.

Suomessa energiasysteemin taloudellisiin aspekteihin liittyvä tutkimus on kuitenkin ollut irrallisempaa ja vähäisempää kuin esimerkiksi muissa pohjoismaissa.<sup>1</sup> Ennen ensimmäistä öljykriisiä

---

<sup>1</sup>Ruotsalaisesta tutkimuksesta antavat hyvän kuvan esimerkiksi BERGMANIN väitöskirja (1977) ja SOHLMANIN toimittama teos (1983) sekä norjalaisten kontribuutiosta BJERKHOLT ym. (1983).



tehdyistä tutkimuksista mainittakoon Jaakonahon (1973) ja Huuskosen (1973) työt. Jaakonaho on tutkinut perinnäisin aikasarja-analyyttisin menetelmin sähkön kokonaiskulutusta Suomessa vuoteen 1970 asti. Huuskonen on taas estimoinut energian kulutusfunktioita talouden eri sektoreille. Uusimmasta tutkimuksesta mainittakoon Asplundin ja Mäenpään ym. työt vuodelta 1983. Myös Helena Tarkan (1983) tutkimus, jossa hän tarkastelee teknisen kehityksen harhaisuutta Suomen tehdasteollisuudessa, sivuaa käsiteltävää aihetta. Asplund on tutkinut kotitaloussähkön kysyntää vuosina 1975 - 1981. Mäenpää ym. ovat liittäneet Oulun yliopiston kansantaloustieteen laitoksen pitkän aikavälin malliin energialohkon. Malli on rakennettu käyttäen konventionaalista panos-tuotoslähestymistapaa. Yhteistä Jaakonahon, Huuskosen ja Mäenpään ym. tutkimuksille on se, että niissä ei ole eksplisiittisesti pystytty ottamaan huomioon hintavaikutuksia.<sup>2</sup>

Tässä tutkielmassa tarkastelu on jouduttu rajaamaan teollisuuden energian kysyntään liittyviin tekijöihin. Suomessa energian loppukulutuksesta teollisuuden osuus on kuitenkin lähes puolet. Rajauksen motivoimiseksi ja tutkimuskentän hahmottamiseksi esitetään johdannon toisessa luvussa eräitä energiatalouden peruskäsitteitä ja Suomen energiatalouden keskeisiä piirteitä.

Tutkielman teoreettinen kehikko rakennetaan luvuissa 2 ja 3. Toisessa luvussa tarkastellaan eräitä ekonometrisia tutkimuksia, joissa on selvitetty tuotannontekijöiden välisiä suhteita teollisuudessa. Suurin erimielisyys vallitsee energian ja pääoman välisestä suhteesta: joidenkin mielestä ne ovat toistensa substituutteja, toisten mielestä ne ovat taas komplementteja. Yleensä muita tuotannontekijöitä pidetään toistensa substituutteina. Alaluvussa 2.2 pyritään etsimään syitä, miksi eri tutkimuksissa on päädytty ristiriitaisiin tuloksiin.

---

<sup>2</sup>Perinteisissä panos-tuotomalleissa hintaefektejä voidaan yrittää arvioida panoskertoimia manipuloimalla.

Kolmannessa luvussa johdetaan kysyntäfunktiot energia-aggregaatille sekä eri energialähteille taloudessa, jonka tuotantoteknologiaa kuvataan ns. kaksitasoisen CES-tuotantofunktion avulla. Tarkastelussa oletetaan, että energia-aggregaatti on separoituva työn ja pääoman muodostamasta aggregaatista, reaalisesta arvonlisäyksestä. Tämä valinta on tehty lähinnä kahdesta syystä. Ensinnäkin toisessa luvussa suoritettavan kirjallisuuskatsauksen perusteella ei ehdottomasti voida sanoa, että jokin tietty tuotantoteknologian täsmennys olisi ehdottomasti oikea ja muut vääriä. Toiseksi panosten määriä ja hintoja koskevan luotettavan ja laajan aineiston kokoaminen Suomen teollisuudesta on lähes mahdotonta. Erityisesti pääomapanoksen määrän ja hinnan mittaaminen on osoittautunut hyvin ongelmalliseksi. Empiiristä analyysia varten on siis tehtävä joitakin rajoituksia teoreettisen tarkastelun perusteella. Toisaalta nämä rajoitukset eivät saa olla sellaisia, että ne ovat selvästi ristiriidassa vallitsevan käsityksen kanssa. Tehtyjä rajoituksia tarkastellaan toisessa luvussa suoritettavan kirjallisuuskatsauksen valossa.

Tutkielman empiirinen osa käsittää luvut 4 ja 5. Aineiston konstruointi on esitetty neljännessä luvussa. Saatavilla oleva hinta-aineisto antaa mahdollisuuden jakaa energia-aggregaatti vain kahteen komponenttiin: sähköön ja polttoaineisiin. Varsinainen empiirinen analyysi suoritetaan viidennessä luvussa. Empiiristä analyysia varten kolmannessa luvussa tehtävää staattista tarkastelua täsmennetään hintaodotusten osalta ja sallimalla hidas sopeutuminen optimiin. Yhtälöt estimoidaan tavallisella pienimmän neliösumman menetelmällä käyttäen Suomen teollisuutta koskevaa vuosiaineistoa vuosilta 1960 - 1982. Erityistä huomiota kiinnitetään estimoitavien yhtälöiden stabiilisuuteen ajassa.

Kuudennessa luvussa vertaillaan saatuja kvantitatiivisia tuloksia muissa tutkimuksissa saatuihin tuloksiin. Viimeisessä luvussa tehdään lyhyt yhteenveto tutkielman keskeisistä tuloksista sekä esitetään joitakin näkökohtia, joita myöhemmin tulisi ottaa huomioon.

## 1.2 Energiatalouden peruskäsitteitä

Kuviossa 1 on kuvattu energian kulkua taloudessa.<sup>3</sup> Energian kulutusta voidaan mitata useassa eri kohtaa. Jos sitä mitataan kohdassa 1, puhutaan primäärienergian kulutuksesta; jos mittaus suoritetaan kohdassa 2, käytetään nimitystä sekundäärienergian kulutus tai energian loppukulutus.<sup>4</sup> Voidaan siis erottaa kahdet markkinat: primäärienergian markkinoilla kohtaavat ulkomaiset ja kotimaiset primäärienergian tarjoajat sekä energiaa tuottava teollisuus primäärienergian kysyjänä. Sekundäärienergian markkinoilla taas kohtaavat energian loppukuluttajat kysyjinä sekä energiaa tuottava teollisuus tarjoajana. Primääri- ja sekundäärienergian markkinat ovat yhteydessä toisiinsa energiaa tuottavan teollisuuden välityksellä.

Energian loppukulutus jaetaan usein kolmeen ryhmään: teollisuuden ja liikenteen energian kulutus sekä lämmitys ym. käyttö. Loppukulutukseksi voidaan myös tulkita primäärienergiaa sekundäärienergiaksi muutettaessa tapahtuvat muuntohäviöt sekä energian siirrossa tapahtuvat häviöt. Suomen virallisissa energiatilastoissa (ks. kauppa- ja teollisuusministeriön energiatilastot) energian loppukulutus jaetaan kuviossa 1 esitettyihin neljään luokkaan. Rakennusten lämmitys sisältää asuin-, liike- ja julkisten rakennusten lämmitykseen käytettävän energian mutta ei teollisuusrakennusten lämmitystä. Luokka muu energian kulutus on varsin heterogeeninen: se sisältää mm. maa- ja metsätalouden, rakennustoiminnan ja kotitalouksien energian kulutuksen.

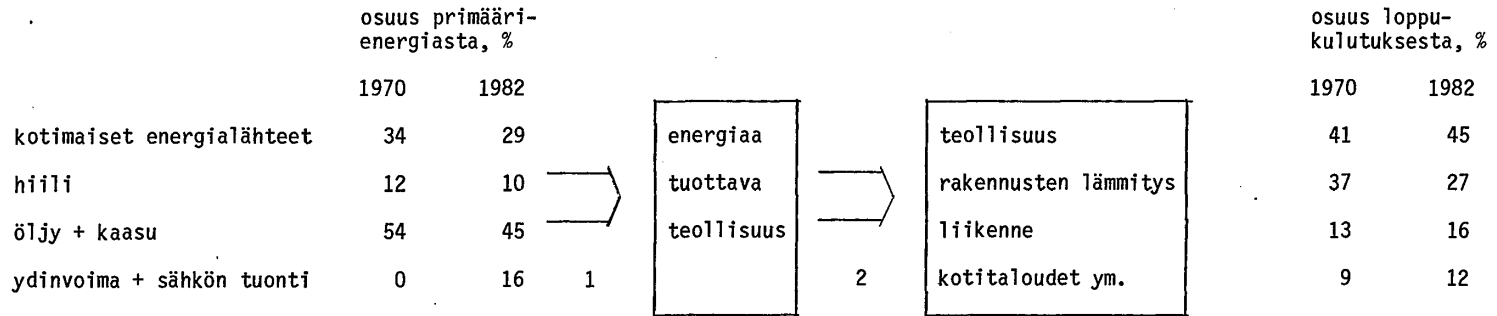
---

<sup>3</sup>Ks. esimerkiksi BERGMAN, s. 13 - 14, ja EDEN ym. (1982), s. 51 - 52. Eden ym. on erinomainen johdatus energiatalouden eri aspekteihin.

<sup>4</sup>Primääri- ja sekundäärienergian lisäksi voidaan tehdä jaottelu tertiääri- ja hyötyenergiaan, ks. esim. KORPELA (1981), s. 77 - 78. Eri käsitteiden käyttö energiamuodoista ei kuitenkaan ole aina yhtenäistä.

KUVIO 1

Energian kulku taloudessa. Eri energialähteiden osuus primäärienergiasta Suomessa sekä loppukulutus sektoreittain vuosina 1970 ja 1982



1 primäärienergian kulutus

2 energian loppukulutus (sekundäärienergian kulutus)

Lähde: Energiatilastot 1982, energiataseet.

Kuviossa 1 on esitetty myös eri energialähteiden osuus primäärienergian kulutuksesta Suomessa sekä energian loppukulutuksen jakaantuminen eri käyttäjäryhmien kesken vuosina 1970 ja 1982. Tuontisähkö ja valmiit loppukulutukseen menevät polttoaineet voidaan tulkita yhden maan näkökulmasta primäärienergiaksi, mutta globaalisesti tarkasteltuna ne ovat sekundäärienergiaa. Kotimaisilla polttoaineilla tarkoitetaan tässä turvetta, puita ja jätteitä sekä vesivoimaa. Suurin muutos eri primäärienergiälähteiden kesken on ollut ydinvoiman kasvava osuus vuodesta 1977 lähtien. Ydinvoima olikin vuonna 1982 sähköntuotannon suurin primäärienergiälähde. Sillä tuotettiin noin 42 % sähköstä. Eniten on vähentynyt primäärienergiälähteenä öljyn osuus.

Muutokset primäärienergiälähteiden kulutuksessa heijastavat muutoksia energian loppukulutuksessa: öljyn osuus on pienentynyt 55 prosentista 47 prosenttiin vuosina 1970 - 1982. Sähkön osuus on taas kasvanut 12 prosentista 20 prosenttiin. Muutokset eri käyttäjäryhmien välillä eivät ole olleet yhtä dramaattisia. Rakennusten lämmityksen osuus on kuitenkin pudonnut 37 prosentista 27 prosenttiin vuosina 1970 - 1982. Osittain tämä johtuu vuosien 1970 ja 1982 välisestä lämpötilaerosta, mutta myös energian hinnan voimakkaalla kohoamisella on ollut merkitystä. Teollisuuden osuus energian loppukulutuksesta on ollut vuodesta 1970 lähtien yli 40 %.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup>Kauppa- ja teollisuusministeriön energiatilastoissa on konstruoitu energiataseet, joista ilmenevät ainoastaan vuosien 1970, 1973, 1975, 1980, 1981 ja 1982 loppukulutusluvut.

## 2 ENERGIAN JA MUIDEN TUOTANNONTEKIJÖIDEN VÄLISISTÄ SUHTEISTA TEOLLISUUDESSA. KATSAUS EMPIIRISEEN TUTKIMUKSEEN

Teollisuuden energian kysyntään vaikuttavia tekijöitä tutkittaessa on ehkä luonnollisin tapa tarkastella energiaa teollisuuden tuotannon panoksena. Tällöin teollisuuden energian kysyntä ei ole riippuvaista ainoastaan saatavilla olevan energian hinnasta ja tuotannon tasosta vaan myös muiden tuotannontekijöiden hinnoilla on merkitystä.

Tietyn bruttotuotannon saavuttamiseksi yritys voi kombinoida eri suhteissa työtä (L), pääomaa (K), energiaa (E) ja raaka-aineita (M). Se, minkä kombinaation ne valitsevat, on riippuvaista osittain panosten välisistä suhteellisista hinnoista. Yritysten reaktiot panosten suhteellisissa hinnoissa tapahtuviin muutoksiin eivät ole kuitenkaan itsestään selviä. Jos esimerkiksi energia ja pääoma ovat komplementteja, toisen hinnan noustessa sekä energian että pääoman kysyntä laskee mutta niiden substituuettien kysyntä kasvaa. Jos ne taas ovat toistensa substituutteja, niin esimerkiksi pääoman hinnan noususta aiheutuu energian kysynnän lisääntyminen, mutta sen oma kysyntä laskee. Samoin sekä energia ja työ että energia ja raaka-aineet voivat olla joko toistensa substituutteja tai komplementteja.

Empiirisissä tutkimuksissa ei ole päästy yksimielisyyteen tuotannontekijöiden välisistä suhteista teollisuudessa. Alaluvussa 2.1 tarkastellaan eräiden tutkimusten tuloksia. Alaluvussa 2.2 pyritään etsimään syitä, miksi eri tutkimuksissa on päädytty keskenään ristiriitaisiin tuloksiin. Eri energialähteiden, polttoaineiden ja sähkön, välisiin suhteisiin ei tässä puututa. Energiapanosta tarkastellaan siis aggregaattina,

vaikka joissakin tutkimuksissa se on jaettu komponentteihin. Eri energialähteiden välisiä substituutiomahdollisuuksia tarkastellaan myöhemmin luvussa 6.2.

## 2.1 Tutkimusmetodeista ja tutkimusten tuloksista

Uusklassisessa tuotantoteoriassa panosten eksplisiittisiä kysyntäfunktioita voidaan johtaa ainakin kolmella eri tavalla: spesifioimalla kustannusfunktio, spesifioimalla tuotantofunktio ja käyttämällä sopivia lisäehtoja sekä lähtemällä epäsuorasta voittofunktiosta (ks. esim. Fuss - McFadden - Mundlak (1978)). Se, mitä lähestymistapaa kulloinkin käytetään, on riippuvaista osittain tutkimuksen tavoitteista. Myös saatavilla olevalla aineistolla on merkitystä: jos on tietoja ainoastaan tuotannon ja panosten määristä, voidaan käyttää tuotantofunktiolähestymistapaa; jos taas käytettävissä oleva hinta-aineisto on luotettava, voidaan edetä kustannusfunktioiden kautta. Kun halutaan testata teoreettisia hypoteeseja, on välttämätöntä, että lähestymistapa on mahdollisimman joustava ja ettei a priori kiinnitetä tutkimuksen kannalta tärkeitä parametreja. Tämä ei kuitenkaan aina ole mahdollista ekonometrisissä sovellutuksissa esimerkiksi liian pienen tai laadultaan huonon aineiston vuoksi.

Tuotannontekijöiden välisiä suhteita selvitettäessä on kustannusfunktioalähestymistapa osoittautunut joustavimmaksi. Tällöin tuotannontekijöiden kysyntäfunktiot voidaan johtaa käyttäen Shephardin lemmaa (ks. esim. Varian (1978) s. 32). Ehkä suosituimpia spesifikaatioita ovat ns. translog-kustannusfunktio (ks. Christensen - Jorgenson - Lau (1971, 1973)) ja yleistetty Leontief-kustannusfunktio (ks. Diewert (1971)).

Taulukossa 1 on esitetty 16 tutkimuksen kvalitatiiviset tulokset energian ja muiden tuotannontekijöiden välisistä suhteista. Mittlestädt (1983) sisältää myös erinomaisen katsauksen relevanttiin kirjallisuuteen. Siinä on esitetty myös kvantitatiiv-

## TAULUKKO 1

Energian, pääoman, työn ja raaka-aineiden välisistä suhteista eräissä tutkimuksissa

tutkimus	E - K	E - L	E - M	kustannus-funktio	aineisto
Griffin & Gregory (1976)	S	S	-	TL	9 maan tehdasteoll., yhdistetty aikasarja-aineisto, havainnot v. 1955, 1960, 1965, 1969
Pindyck (1979)	S	S	-	TL	10 maan teollisuus, yhdistetty aikasarja-aineisto v. 1963 - 1973
Özatalay & Grubaugh & Long (1979)	S	S	S	TL	7 maan teollisuus, yhdistetty aikasarja-aineisto v. 1963 - 1974
Hudson & Jorgenson (1974)	S/C	S	S/C	TL	USA, 9 teollisuustoimialaa v. 1947 - 1971
Berndt & Wood (1975)	C	S	S	TL	USA, tehdasteoll. v. 1947 - 1971
Mork (1978)	S <sup>1</sup> S <sup>2,3</sup> C <sup>2,4</sup>	S <sup>1</sup> C <sup>2,3</sup> S <sup>2,4</sup>	S <sup>1</sup> C <sup>2,3</sup> S/C <sup>2,4</sup>	L	USA, yksityinen hyödyke- ja palv. sektori neljännesvuosihavainnot v. 1949 - 1975
Field & Grebenstein (1980)	S/C	S	-	TL	USA, 10 tehdasteoll. toimialaa, poikkileikkausaineisto eri osavaltioista v. 1971
Gondrad (1983)	C	S/C	S	CD	Sama kuin Berndt & Wood (1975)
Fuss (1977)	S/C	S	S/C	TL	Kanada, tehdasteoll. yhdistetty aikasarja-aineisto (5 aluetta) v. 1961 - 1971
Denny & May & Pinto (1978)	C <sup>3</sup> C <sup>4</sup>	C <sup>3</sup> S <sup>4</sup>	S <sup>3</sup> S <sup>4</sup>	L	Kanada, tehdasteoll. v. 1949 - 1970
Magnus (1979)	C	S	-	CD	Alankomaat, teollisuus v. 1950 - 1976
Turnovsky & Folie & Ulph (1982)	S	C	S	TL	Australia, tehdasteoll. v. 1946 - 1975
Longva & Olsen (1983)	C <sup>5</sup> S/C <sup>6</sup>	S <sup>5</sup> S/C <sup>6</sup>	- S/C <sup>6</sup>	L	Norja, teollisuus v. 1962 - 1978
Dargay (1983)	C <sup>5</sup> S/C <sup>6,7</sup>	S <sup>5</sup> S/C <sup>6</sup>	S <sup>5</sup> S <sup>6</sup>	TL	Ruotsi, tehdasteoll. v. 1952 - 1976
Wibe (1983 b)	S/C <sup>8</sup>	S/C <sup>9</sup>	S	TL <sup>10</sup>	Ruotsi, koneteoll. v. 1979
Tarkka (1983)	C <sup>11</sup>	S	-	L	Suomi, tehdasteoll. v. 1960 - 1980



Selitykset taulukkoon 1:

S = tuotannontekijät ovat substituutteja

C = tuotannontekijät ovat komplementteja

- = ei estimoitu tai julkaistu

TL = translog-kustannusfunktio

L = Leontief-kustannusfunktio

CD = Cobb - Douglas-kustannusfunktio

<sup>1</sup>lyhyt aikaväli, K kiinteä tuotannontekijä

<sup>2</sup>pitkä aikaväli, myös K muuttuva tuotannontekijä

<sup>3</sup>homoteettinen kustannusfunktio

<sup>4</sup>epähomoteettinen kustannusfunktio

<sup>5</sup>koko (tehdas)teollisuus

<sup>6</sup>eri toimialoilla

<sup>7</sup>substituutteja vain yhdellä toimialalla

<sup>8</sup>pääoma on substituutti polttoaineiden mutta komplementti sähkön kanssa

<sup>9</sup>työ on komplementti polttoaineiden mutta substituutti sähkön kanssa

<sup>10</sup>translog-tuotantofunktio

<sup>11</sup>pääoma on jaettu rakennuksiin sekä koneisiin ja laitteisiin

visia arvoja panosten välisistä substituutiojoustoista.<sup>6</sup> Tässä ei kuitenkaan raportoida substituutiojoustojen kvantitatiivisia arvoja kahdesta syystä. Ensinnäkin kaikissa tarkastelluissa tutkimuksissa tuloksia ei ole raportoitu yhtenäisellä tavalla. Joissakin on esitetty estimoitavien yhtälöiden parametriestimaatteja, toisissa on esitetty ainoastaan kysyntäjoustoja ja joissakin substituutiojoustoja. Toiseksi useamman kuin kahden panoksen tapauksessa substituutiojoustoja voidaan laskea usealla eri tavalla.

---

<sup>6</sup>Substituutiojouston käsitteestä ks. ALLEN (1947), s. 340 - 345 ja 503 - 509, sekä NADIRI (1982), s. 441 - 444.

Kuten taulukosta 1 nähdään, empiirisissä tutkimuksissa ei ole päästy yksimielisyyteen energian ja muiden tuotannontekijöiden välisistä suhteista. Ainoa tuotannontekijäpari, jonka suhteesta ollaan yleensä yksimielisiä, on työ ja pääoma: ne ovat toistensa substituutteja, mutta substituutiojouston suuruudesta ollaan jo eri mieltä (ks. Mittlestädt). Suurin erimielisyys vallitsee energian ja pääoman välisestä suhteesta. Muita tuotannontekijäpareja pidetään yleensä toistensa substituutteina, vaikka poikkeaviakin tuloksia on saatu.

Griffin ja Gregory (1976), Pindyck (1979) sekä Özatalay ym. (1979) ovat yhdistettyä aikasarja-poikkileikkausaineistoa käyttäen päätyneet tulokseen, että energia on pääoman, työpanoksen ja raaka-aineiden substituutti. Pelkkää aikasarja-aineistoa käyttäen on yleensä saatu tulokseksi, että energia ja pääoma ovat toistensa komplementteja koko teollisuudessa. Joillakin toimialoilla niiden on silti havaittu olevan substituutteja (ks. Hudson ja Jorgenson (1974), Longva ja Olsen (1983)<sup>7</sup> sekä Dargay (1983)<sup>8</sup>). Turnovsky ym. (1982) on ensimmäinen aikasarja-tutkimus, jossa koko teollisuudessa energia ja pääoma ovat toistensa substituutteja.

Enemmistö esitetyistä tutkimuksista tukee käsitystä, että energia on sekä työpanoksen että raaka-aineiden substituutti. Ainoastaan Turnovsky ym. saavat tulokseksi, että energia ja työ ovat toistensa komplementteja koko tehdasteollisuudessa. Tämä voi johtua heidän mukaansa siitä, että työpanosta on käsitelty yhtenä aggregaattina (mas. 67). Lisäksi estimoidut yhtälöt eivät käyttäydy aivan moitteettomasti (mas. 65, 67). Missään tutkimuksessa ei ole päädytty tulokseen, että energia ja raaka-aineet

---

<sup>7</sup>Laajempi versio tutkimuksesta on teoksessa BJERKHOLT ym., s. 108 - 133.

<sup>8</sup>Tutkimus on esitetty myös SOHLMANIN toimittamassa teoksessa, s. 80 - 96.

olisivat aggregaattitasolla komplementteja. Joillakin toimialoilla näin voi kuitenkin olla (ks. Hudson ja Jorgenson, Longva ja Olsen sekä Dargay).

Pohjoismaissa tehdyt aikasarjatutkimukset (Longva ja Olsen, Dargay sekä Tarkka (1983)) tukevat muissa maissa aikasarja-aineistoista saatuja tuloksia. Koko teollisuudessa energia on työn ja raaka-aineiden substituutti mutta pääomapanoksen komplementti. Eri toimialoilla tuotannontekijöiden väliset suhteet voivat kuitenkin vaihdella.

Ruotsissa Wibe (1983 b) on tutkinut tuotannontekijöiden välisiä substituutiomahdollisuuksia koneteollisuudessa käyttäen poikkeileikkausaineistoa vuodelta 1979. Keskeisin tulos Wiben tutkimuksessa on se, että työ ja pääoma ovat toistensa komplementteja. Tämä tulos poikkeaa selvästi muiden taulukossa 1 esitettyjen tutkimusten tuloksista.

## 2.2 Eri tutkimustulosten välisten erojen syitä

Eri tutkimustulosten välisiin eroihin on esitetty useita syitä. Empiirisissä sovellutuksissa tulokset voivat yleensä vaihdella käytetyn aineiston, estimointimenetelmän tai funktioiden spesifikaatioiden mukaan. Tuotantoteoreettisissa sovellutuksissa erityisesti pääomapanoksen määrän (ks. esimerkiksi Salonen (1981) sekä Hirvonen ja Hjerpe (1984)) ja hinnan mittaaminen on osoittautunut ongelmalliseksi. Field ja Grebenstein (1980) saavatkin tulokseksi, että energian ja pääoman välinen suhde on riippuvaista siitä, miten pääomapanoksen hinta on laskettu.

Myös eri kustannusfunktiospesifikaatiot voivat johtaa eri tulokseen. Conrad (1983) käyttää samaa aineistoa kuin Berndt ja Wood (1975). Lisäksi hän jakaa kunkin panoksen kahteen osaan, joista toinen on kiinteässä suhteessa muihin tuotannontekijöihin mutta toinen voidaan valita vapaasti. Tulokset tukevat toisiaan, vaikka energian ja työn osalta ne hieman poikkeavatkin (ks. myös Magnus (1979) s. 481 ja Tarkka, s. 13).

Pelkkää aikasarja-aineistoa käyttäen on yleensä päädytty tulokseen, että energia ja pääoma ovat ainakin koko teollisuuden tasolla toistensa komplementteja (paitsi Turnovsky ym.). Yhdistetyissä kansainvälisissä aikasarja-poikkileikkaustutkimuksissa niiden on taas havaittu olevan substituutteja. Näitä tuloksia on tulkittu siten, että pelkästä aikasarja-aineistosta saadut tulokset heijastavat lyhyen aikavälin ja yhdistetystä aineistosta saadut tulokset pitkän aikavälin reaktioita (ks. Griffin ja Gregory, Pindyck, s. 178, Özatalay ym., s. 370, Mork (1978) sekä Field ja Grebenstein, s. 207). Yhdistetyssä aineistossa erityisesti panosten suhteellisten hintojen vaihtelu on suurempaa kuin pelkässä yhden maan aikasarja-aineistossa. Tuotannontekijöiden suhteelliset hinnat kehittyivät melko vakaasti ennen ensimmäistä öljykriisiä. Tästä voi aiheutua ekonometrisia ongelmia (multikollineaarisuus, parametrien epästabiilisuus) käytettäessä pelkkää yhden maan aikasarja-aineistoa, jossa havainnot eivät käsitä 70-lukua. Yhdistetyssä aineistossa taas panosten suhteelliset hinnat vaihtelevat enemmän. Tällöin on argumentoitu, että yhdistetystä aineistosta estimoidut parametrit kuvaavat paremmin pitkän aikavälin tasapainoa, jossa taloudenpitäjät ovat sopeutuneet suhteellisissa hinnoissa tapahtuneisiin muutoksiin. Siis ehkä lyhyellä aikavälillä jotkin panokset (erityisesti energia ja pääoma) ovat toistensa komplementteja mutta pitkällä aikavälillä substituutteja.

Tulokset voivat vaihdella myös toimialoittain. Aggregointitasolla voi olla myös merkitystä. Vaikka eri toimialoilla saataisiinkin tulokseksi, että esimerkiksi energia ja pääoma ovat toistensa komplementteja, koko teollisuuden tasolla voidaan silti samaa funktiospesifikaatiota käyttäen päätyä tulokseen, että ne ovatkin substituutteja. Tulosta voidaan kutsua aggregointiharhaksi (ks. Mittlestädt, Griffin ja Gregory, s. 85, Hudson ja Jorgenson, Mork. s. 2, 3, 31 - 32, Field ja Grebenstein, Longva ja Olsen sekä Dargay).

Joissakin tutkimuksissa on jouduttu oletamaan, että raaka-ainepanos on muista tuotannontekijöistä heikosti separoituva.

Empiirisessä sovellutuksessa se on tällöin voitu jättää pois. Berndt ja Wood (1979), s. 349 - 350, kuitenkin osoittavat, että joustoestimaatit ovat tällöin harhaisia. Tästä huomauttavat myös Griffin ja Gregory, s. 852, Field ja Grebenstein, s. 207 sekä Longva ja Olsen, s. 35.

Taulukossa 1 esitetyissä tutkimuksissa on se heikkous, että niissä ei ole eksplisiittisesti otettu huomioon talouden dynamiikkaa. Käytetyt mallit ovat luonteeltaan staattisia. Parempi olisi käyttää dynaamista mallia, jossa sopeutumismoisuus olisi endogeeninen ja mallin parametrit voisivat vaihdella ajassa (ks. Longva ja Olsen, s. 20 - 21, Tarkka (1983), s. 29 sekä Berndt ja Wood (1979), s. 302). Tällaisten mallien kehittäminen ei ole kuitenkaan edennyt kovin pitkälle (ks. Berndt - Morrison - Watkins (1980)). Mork on ottanut talouden sopeutumisen huomioon siten, että pääoma on lyhyellä aikavälillä kiinteä mutta pitkällä aikavälillä muuttuva tuotannontekijä. Tällöin hän saa tulokseksi, että energia ja pääoma ovat lyhyellä aikavälillä toistensa substituutteja, mutta pitkällä aikavälillä tulos on riippuvainen homoteettisuusoletuksesta.<sup>9</sup> Epähomoteettisessa tapauksessa, jota hän preferoi, energia ja pääoma ovat komplementteja. Tulokset voivat kuitenkin johtua aggregointiharhasta.

### 2.3 Johtopäätöksiä

Teollisuuden energian kysyntää johdettaessa ei tarkastellun kirjallisuuden perusteella pystytä päättelemään juuri muuta kuin että muidenkin panosten hinnoilla on merkitystä. Suunnista ja suuruuksista ei kuitenkaan vallitse yksimielisyyttä. Erimielisyyksiin voidaan löytää useita syitä: käytetty aineisto, estimointimenetelmä, funktiospesifikaatiot, aggregointitaso, separoituvuusoletukset, dynamiikka. Yhdistetyissä kansainväli-

---

<sup>9</sup>Homoteettisuudesta ks. esim. FUSS ym., s. 222.

sissä aikasarjapoikkileikkaustutkimuksissa tuotannontekijöiden on havaittu olevan toistensa substituutteja. Näitä tuloksia on usein tulkittu siten, että ne heijastavat pitkän aikavälin reaktioita. Pitkällä aikavälillä panoksia voidaan pitää toistensa substituutteina, mutta lyhyellä aikavälillä näin ei välttämättä ole. Erilaisten kitkatekijöiden johdosta on myös syytä epäillä, että lyhyen ja pitkän aikavälin substituutiojoustot eroavat toisistaan.

Wibe (1983 a) on koornut tuloksia panosten välisistä suhteista insinöörikirjallisuudesta.<sup>10</sup> Insinööritutkimukset tukevat käsitystä, että työ, pääoma, energia ja raaka-aineet olisivat toistensa substituutteja.

Erityisesti energian ja pääoman välinen suhde on vielä sekä teoreettisesti että empiirisesti ratkaisematon kysymys. Tämä liittyy myös siihen, kuinka bruttotuotantofunktiossa panoksia voidaan separoida toisistaan. Onko luonnollista, että bruttotuotantofunktiossa työn ja pääoman muodostama aggregaatti, reaalin arvonlisäys, separoituu energiasta ja raaka-aineista? Vai onko kenties mielekkäämpää olettaa, että energia ja pääoma muodostavat oman aggregaattinsa, joka separoituu työpanoksesta ja raaka-aineista? Mahdollisesti kumpaakaan separoituvuusole- tusta ei voida pitää oikeutettuna. Tähän ongelmaan palataan vielä luvun 3.2 kahdessa viimeissä kappaleessa.

---

<sup>10</sup>Taloudellisten ja insinöörituotantofunktioiden eroista ks. esim. WIBE (1983 a), s. 2 - 3.

### 3 ENERGIAN KYSYNNÄSTÄ CES-TALOUDESSA

Tässä luvussa tarkastellaan taloutta, jonka tuotantoteknologiaa kuvataan ns. kaksitasoisen CES-tuotantofunktion avulla. Keskeisin oletus tarkasteltavassa tuotantoteknologian kuvauksessa on se, että energia-aggregaatti on separoituva työn ja pääoman muodostamasta aggregaatista, reaalisesta arvonlisäyksestä. Tähän täsmennykseen on lähinnä kaksi syytä. Kuten edellisessä luvussa havaittiin, tuotannon tekijöiden välisistä suhteista ei ole päästy yksimielisyyteen KLEM-kirjallisuudessa. Käytettävää spesifikaatiota ei siis voida pitää ehdottomasti yääränä tai edes yleisestä käytännöstä selvästi poikkeavana. Silti sitä ei pidetä tässä ehdottomasti oikeana vaan jonkinlaisena ensimmäisenä approksimaationa. Toiseksi empiiristä analyysia varten on usein jo a priori tehtävä joitakin rajoituksia. Jos käytettävissä oleva aineisto olisi laaja ja luotettava, tämä ei olisi tarpeellista. Tällaista ideaalitulaa ei ekonometrisessä tutkimuksessa tulla kuitenkaan koskaan saavuttamaan. Kussakin tapauksessa on siis erikseen ratkaistava, mihin kysymyksiin halutaan löytää vastausta aineistosta ja mihin kysymyksiin yritetään itse vastata esimerkiksi teoreettisen tarkastelun perusteella. Tällöin on muistettava, että saadut tulokset ovat empiirisessä analyysissa ehdollisia teoreettisessa viitekehyksessä tehdyille ratkaisuille.

Usein empiirisissä tutkimuksissa käytetyt energian kysyntämallit ovat luonteeltaan ad hoc -malleja,<sup>11</sup> ks. esimerkiksi Huuskonen ja

---

<sup>11</sup>Tässä tutkielmassa nimitystä ad hoc -malli käytetään sellaisesta empiirisessä analyysissa käytetystä mallista, jota ei ole johdettu mistään talousteoreettisesta kehikosta.

Mittlestädt. Tässä luvussa energia-aggregaatin ja eri energialähteiden kysyntäfunktiot johdetaan konsistentisti tietyssä kehikossa. Suoritettavaa tarkastelua ei välttämättä pidetä ainoana oikeana kuvauksena teollisuuden tuotantoteknologiasta ja teollisuuden käyttäytymisestä. Tarkastelua joudutaankin täsmen-tämään myöhemmin työn empiirisessä osassa ottamalla huomioon hintaodotukset ja hidas sopeutuminen optimiin. Tarkastelun motiivina voidaan pitää sitä, että kysyntäfunktiot johdetaan konsistentisti tietyssä kehikossa. Lisäksi saadaan eräitä rajoituksia, joita voidaan myöhemmin tutkia työn empiirisessä osassa.

Aluksi luodaan kuitenkin lyhyt katsaus CES-tuotantofunktioiden historiaan ja ominaisuuksiin (luku 3.1). Luvussa 3.2 spesifioidaan teollisuuden tuotantoteknologia. Erityisesti keskustellaan niistä rajoituksista, joita tästä täsmennyksestä seuraa. Tässä kehikossa johdetaan sitten koko energian ja eri energialähteiden kysyntäfunktiot (luku 3.3).

### 3.1 CES-tuotantofunktioista<sup>12</sup>

Ehkä yleisin tapa kuvata talouden tuotantoteknologiaa on ollut käyttää Cobb - Douglas-tuotantofunktiota (ks. Cobb ja Douglas (1928) ja Douglas (1967)). Usein sen käyttö sekä teoreettisissa että empiirisissä sovellutuksissa onkin ollut menestyksellistä. Suurimmaksi ongelmaksi Cobb - Douglas-tuotantofunktiossa on koettu se, että siinä panosten välinen substituutiojousto on rajattu yhden suuruiseksi. Erityisesti useamman kuin kahden panoksen tapauksessa tämä voi olla liian ankara rajoitus.

Arrow, Chenery, Minhas ja Solow johtivat vuonna 1961 julkais-tussa artikkelissaan ns. CES-tuotantofunktion,<sup>13</sup> jossa sen nimen

---

<sup>12</sup>Ks. FUSS ym. sekä NADIRI erilaisista tuotantofunktiospesifi-kaatioista.

<sup>13</sup>Lyhenne CES tulee sanoista constant elasticity of substitution.



mukaan panosten välinen substituuatiojousto on vakio mutta voi poiketa arvosta yksi. Lähtökohdana heillä oli se empiirinen havainto, että teollisuudessa reaalin arvonlisäys työyksikköä kohti on riippuvainen nimellisestä palkasta. Yrittäessään johtaa sellaista tuotantofunktiota, joka selittää tämän havainnon ja on ensimmäisen asteen homogeeninen funktio, sekä substituuatiojousto työn ja pääoman välillä on vakio mutta voi poiketa arvosta yksi, he päätyivät funktioon

$$(3.1) \quad V = \gamma [\alpha L^{-\beta} + (1-\alpha)K^{-\beta}]^{-\frac{1}{\beta}}$$

V on reaalin arvonlisäys, L on työpanos ja K pääomapanos.  $\alpha$ ,  $\beta$  ja  $\gamma$  ovat tuotantofunktion parametreja. Riippumatta Arrow'sta ym. Brown ja de Cani (1963) johtivat hieman eri lähtökohdista tuotantofunktion

$$(3.2) \quad V = \gamma (\alpha_1 L^{-\beta} + \alpha_2 K^{-\beta})^{-\frac{v}{\beta}}$$

$\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ja  $v$  ovat mallin parametreja.

Parametria  $\gamma$  kutsutaan tehokkuusparametriksi. Parametrit  $\alpha_1$  ja  $\alpha_2$  (parametri  $\alpha$  yhtälössä (3.1)) kuvaavat panosten intensiteettiä.  $v$  taas kuvaa tuotannon homogeenisuutta; kun  $v$  on yksi, taloudessa vallitsevat vakioiset skaalatuotot. Parametria  $\beta$  kutsutaan substituuatioparametriksi, sillä se on substituuatiojouston ( $\rho$ ) muunnos:

$$(3.3) \quad \rho = \frac{1}{1 + \beta}$$

$\beta$  voi vaihdella välillä  $[-1, \infty)$ . Kun  $\beta = -1$ , substituuatiojousto on ääretön (lineaarinen tuotantofunktio). Kun  $\beta = 0$ , voidaan helposti osoittaa, että CES-tuotantofunktio redusoituu Cobb - Douglas-tuotantofunktioksi. Kun  $\beta$  lähestyy ääretöntä, substituuatiojousto lähestyy arvoa 0 (Leontief-tuotantofunktio).

Useamman kuin kahden tuotannontekijän tapauksessa CES-tuotantofunktion yleistivät Uzawa (1962) ja Mukerji (1963). Tällöin se voidaan esittää muodossa<sup>14</sup>

$$(3.4) \quad Q = \gamma \left( \sum_i \alpha_i X_i^{-\beta} \right)^{-\frac{1}{\beta}}$$

jossa  $Q$  on tuotanto ja  $X = \{X_1, \dots, X_n\}$  on panosten joukko. Tällöin substituutiojoustot kaikkien panosten välillä ovat yhtä suuret (ks. Uzawa, s. 294). Mukerji esittää vielä yleisemmän muodon:

$$(3.5) \quad Q = \gamma \left( \sum_i \alpha_i X_i^{-\beta} i \right)^{-\frac{1}{\beta}}$$

Tässä spesifikaatiossa osittaissubstituutiojoustojen suhteet ovat vakio mutta eivät välttämättä yhtä suuria.

### 3.2 Tuotantoteknologian täsmentäminen

Tarkastellaan seuraavaksi taloutta, jossa koko teollisuuden tuotantofunktio<sup>15</sup> voidaan esittää muodossa

$$(3.6) \quad Q = Q[V(L,K), E(E_1, \dots, E_n)]$$

jossa

$Q$  = bruttotuotanto

$V$  = reaalin arvonlisäys

$L$  = työpanos

$K$  = pääomapanos

---

<sup>14</sup>Oletetaan, että taloudessa vallitsevat vakioiset skaalatuotot.

<sup>15</sup>Aggregaattituotantofunktioiden olemassaolosta on keskusteltu vilkkaasti, ks. esim. FISHER (1969). Aggregaattituotantofunktion olemassaoloa ei kuitenkaan tässä aseteta kyseenalaiseksi.

$E$  = energia-aggregaatti

$E_i$  = energia-aggregaatin  $i$ :s komponentti,  $i = 1, \dots, n$

Sekä  $Q$  että  $E$  ovat CES-funktioita. Bruttotuotantofunktio  $Q$  on siis muotoa

$$(3.7) \quad Q = \gamma_1 (\alpha_1 e^{\epsilon_1 T} V^{-\beta_1} + \alpha_2 e^{\epsilon_2 T} E^{-\beta_1})^{-\frac{v_1}{\beta_1}}$$

ja energia-aggregaatti  $E$

$$(3.8) \quad E = \gamma_2 (\sum_i \alpha_i e^{\epsilon_i T} E_i^{-\beta_2})^{-\frac{v_2}{\beta_2}}$$

$\gamma_1$  on bruttotuotantofunktion ja  $\gamma_2$  on energia-aggregaatin tehokkuusparametri.  $\alpha_1$  ja  $\alpha_2$  ovat bruttotuotantofunktion sekä  $\alpha_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , energia-aggregaatin panosten intensiteettiä kuvaavat parametrit.  $v_1$  ja  $v_2$  kuvaavat skaalatuottojen astetta.  $\beta_1$  on reaalisen arvonlisäyksen ja energia-aggregaatin välinen substituutioparametri;  $\beta_2$  on taas eri energialähteiden välinen substituutioparametri.  $T$  kuvaa aikatrendiä ja  $e$  on Neperin luku.  $\epsilon$ -parametrit kuvaavat teknisen kehityksen luonnetta.

Esitettyä bruttotuotantofunktiota kutsutaan sisäkkäiseksi kaksitasoiseksi CES-tuotantofunktioksi. Sen esitti ensimmäisenä Sato (1967). Hänellä tekninen kehitys oli kuitenkin spesifioitu Hicks-neutraaliksi.<sup>16</sup> Joko bruttotuotantofunktio  $Q$  tai energia-aggregaatti  $E$  tai molemmat voisivat olla esimerkiksi Cobb - Douglas-funktioita. Tässä kuitenkin käytetään yleisempää spesifikaatiota, koska Cobb - Douglas-funktio sisältyy CES-funktioon.

---

<sup>16</sup>Erilaisista mahdollisuuksista kuvata teknistä kehitystä ks. esim. SOLOW (1967), s. 28 - 32.

Myös funktio  $V$  voitaisiin spesifioida. Tämä lisäisi kuitenkin mallin parametrien lukumäärää, mistä voisi taas tulla vaikeuksia empiirisessä sovellutuksessa. Lisäksi tämä vaatisi informaatiota työ- ja pääomapanoksen määristä ja hinnoista.

Kun tuotantofunktiossa on panoksena energia työn ja pääoman lisäksi, syntyvä tuotos on nimenomaan bruttotuotanto eikä reaalin arvonlisäys. Esitetyssä tapauksessa relevanttiin bruttotuotannon käsitteeseen päästään lisäämällä reaaliiseen arvonlisäykseen energiapanoksen reaalin arvo (ks. Hickman (1979) s. 7). Reaalin arvonlisäys taas syntyy työn ja pääoman tuloksena. Esimerkiksi Tarkka (1979) sekä hänen esikuvansa Rasche ja Tatom (1977) mittaavat potentiaalista tuotantoa (reaalista arvonlisäystä) Cobb - Douglas-tuotantofunktiolla, jossa panoksina ovat työ, pääoma ja energia. Tuotoksen pitäisi kuitenkin olla energiapanoksella korjattu reaalin arvonlisäys.

Skaalatuottojen astetta ei tässä määrätä ennalta. Usein empiirisissä sovellutuksissa oletetaan, että taloudessa vallitsevat vakioiset skaalatuotot. Esimerkiksi Douglasin (1948, 1976) raportoimat tulokset työn ja pääoman suhteesta tukevat tätä käsitystä. Douglasin esittämässä tuotantofunktiospesifikaatioissa ei ole kuitenkaan mallitettu teknistä kehitystä. Tästä voi aiheutua harhaa parametriestimaateissa. Griliches ja Ringstad (1971) tutkiessaan tuotantoteknologiaa Norjan tehdasteollisuudessa saavat tulokseksi, että skaalatuottojen aste on eri toimialoilla yleensä suurempi kuin yksi (koko teollisuudessa noin 1.06 - 1.07). Heidän aineistonsa käsittää yli 5000 teollisuuslaitosta vuodelta 1963.

Tekninen kehitys on spesifioitu yleiseen ns. factor augmenting -muotoon. Se voi olla panosta käyttävää tai säästävää. Jos  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ , niin tekninen kehitys energia-aggregaatin ja reaaliarvonlisäyksen välillä on Hicks-neutraalia; jos  $\varepsilon_i^1 = \varepsilon_n$ ,  $i = 1, \dots, n-1$ , niin tekninen kehitys on energia-aggregaatin sisällä Hicks-neutraalia. Tarkka (1983) on tutkinut Suomen

tehdasteollisuuden teknisen kehityksen luonnetta. Hänen mukaansa se ei olisi ollut neutraalia ja sen nopeus olisi muuttunut ensimmäisen öljykriisin jälkeen. Kuten hän itsekin myöntää, tulokset voivat johtua mm. siitä, että hänen käyttämänsä malli on luonteeltaan staattinen.

Funktiot (3.7) ja (3.8) ovat homoteettisia. Ainakin Mork, Denny ym. (1978) sekä Dargay ovat tutkineet aggregaattipanosten välistä homoteettisuutta sekä Hall (1983) eri energialähteiden välistä homoteettisuutta. Kaikki tulokset tukevat epähomoteettista spesifikaatiota. Tulokset voivat olla kuitenkin harhaisia, jos teknistä kehitystä ei oteta huomioon. Ainoastaan Mork on mallittanut teknisen kehityksen. Mork saakin tulokseksi, että tekninen kehitys on ollut tarkastellussa tapauksessa energiaa käyttävää. Homoteettisuuden luonteen ja teknisen kehityksen harhaisuuden erottaminen voi kuitenkin olla usein mahdotonta, varsinkin silloin kun käytettävissä oleva havaintojen määrä on pieni.

Funktiossa (3.6) oletetaan, että energia-aggregaatti on separoituva työn ja pääoman muodostamasta aggregaatista. Separoituvuusoletuksesta seuraa, että sekä työn että pääoman substitutiojousto energian kanssa on yhtä suuri (ks. Berndt ja Christensen (1973)). Reaalisen arvonlisäyksen käsite on mielekäs tuotantofunktiokehikossa vain silloin, kun bruttotuotantofunktio on esitettyä muotoa (ks. Arrow (1974)). Toisena mahdollisuutena olisi olettaa, että työpanos olisi separoituva energian ja pääoman muodostamasta aggregaatista. Jos näin oletetaan, niin empiiristä analyysia varten tulisi konstruoida indeksit energian ja pääoman muodostaman yhdistetyn panoksen määrälle ja hinnalle. Periaatteessa tämä olisi täysin mahdollista. Käytännössä kuitenkin pääomapanoksen määrän ja hinnan mittaaminen on osoittautunut hyvin ongelmalliseksi. Jos taas käytetään funktion (3.6) spesifikaatiota ja tunnetaan reaalisen arvonlisäyksen määrä ja hinta, tämä ongelma voidaan kiertää. Tarkastellussa kehikossa reaalisen arvonlisäyksen hinnan voidaan tulkita

kuvaavan sekä työn että pääoman hintaa. Reaalisen arvonlisäyksen määrä taas kuvaa työn ja pääoman muodostaman yhdistetyn panoksen määrää.

Esimerkiksi Sheinin (1981), Rogner (1982) sekä Bruno ja Sachs (1982) kuvaavat malleissaan tuotantoteknologiaa sisäkkäisten tuotantofunktioiden avulla. Panosten lukumäärä, separoituvuus-oletukset ja funktiospesifikaatiot heillä kuitenkin vaihtelevat. Sheininin mallissa työpanos on energian ja pääoman muodostamasta aggregaatista separoituva. Rognerin sekä Brunon ja Sachsin malleissa oletetaan, että työn ja pääoman muodostama aggregaatti on energiasta separoituva. Reaalisen arvonlisäyksen separoituvuutta ovat testanneet ainakin Berndt ja Wood (1975) sekä Griffin ja Gregory. Berndtin ja Woodin tulokset eivät olleet suotuisia reaalisen arvonlisäyksen separoituvuudelle. Griffinin ja Gregoryyn tulokset taas tukevat tässä käytettyä täsmennystä.

### 3.3 Energian kysynnän johtaminen

Esitetty bruttotuotantofunktio on vahvasti separoituva (ks. Berndt ja Christensen, s. 405). Tästä seuraa, että taloudenpitäjien voidaan ajatella tekevän päätöksensä vaiheittain: ensin ne valitsevat eri energialähteiden välillä, sen jälkeen ne päättävät, missä suhteessa ne käyttävät työtä, pääomaa ja energiaa. Tämä merkitsee myös sitä, että myös estimointi voidaan suorittaa kahdessa vaiheessa: ensin estimoidaan eri energia-komponenttien kysyntäfunktiot ja sitten aggregaattipanosten kysyntäfunktiot.<sup>17</sup>

Annetusta tuotantofunktiosta panosten kysyntäfunktiot voidaan johtaa usealla eri tavalla. Yhtenä mahdollisuutena olisi johtaa annettua tuotantofunktiota vastaava kustannusfunktio ja käyttää Shephardin lemmaa. Toinen mahdollisuus olisi johtaa epäsuora

---

<sup>17</sup>Ks. SATO, s. 205, ja FUSS ym., s. 244.

voittofunktio ja käyttää Hotellingin lemmaa (ks. esim. Varian, s. 31). Taloudenpitäjän voidaan ajatella maksimoivan myös jotakin muuta kohdefunktiota kuin voittofunktiota. Tällöin panosten kysyntäfunktiot voidaan johtaa maksimoimalla kohdefunktio tuotantofunktiorajoituksella. Eri oletukset taloudenpitäjien tavoitefunktiosta, talouden toiminnasta sekä käytetyt funktiospesifikaatiot johtavat eri muotoisiin kysyntäfunktioihin. Tässä sovelletaan suoraan ehtoa, että tasapainossa panosten välinen rajasubstituutiosuhde on yhtä kuin panosten hintojen välinen suhde.

Koko energian kysyntäfunktio saadaan siis ehdosta

$$(3.9) \quad \frac{Q_E}{Q_V} = \frac{PE}{PV}$$

$Q_E$  = bruttotuotantofunktion (3.7) osittaisderivaatta E:n suhteen

$Q_V$  = bruttotuotantofunktion (3.7) osittaisderivaatta V:n suhteen

PE = energia-aggregaatin hinta

PV = arvonlisäyksen hinta

Ottamalla osittaisderivaatat yhtälöstä (3.7) ja soveltamalla ehtoa (3.9) saadaan tulokseksi

$$(3.10) \quad \frac{E}{V} = \left( \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \right) \left( \frac{PE}{PV} \right)^{-\frac{1}{1+\beta_1}} \left( \frac{e_1 T}{e_2 T} \right)^{-\frac{1}{1+\beta_1}}$$

Lausekkeen (3.10) voidaan tulkita kuvaavan energia-aggregaatin ja reaalisen arvonlisäyksen välistä optimaalista suhdetta tasapainossa. Esimerkiksi Mittlestädt on estimoinut energian kysyntäfunktioita, joissa hän käyttää selittäjänä mm. reaalista arvonlisäystä. Tarkastellussa kehikossa kuitenkin energia-aggregaatin jousto V:n suhteen (pitkällä aikavälillä) on yksi. E:n regresoiminen V:tä vastaan olisi myös tulkinnallisesti

vaikeaa, sillä molemmat ovat tässä taloudenpitäjän päätösparametreja. Lausekkeessa (3.10) on se hyvä puoli, että siinä ei esiinny bruttotuotannon määrää  $Q$ . Tämä johtuu siitä, että käytetty CES-funktio on homoteettinen. Empiirisessä sovellutuksessa ei siis tarvitse tuntea bruttotuotannon määrää. Skaalatuottojen aste  $v_1$  ei myöskään esiinny lausekkeessa (3.10).

Eri energiakomponenttien kysyntäyhtälöt saadaan vastaavasti ehdosta

$$(3.11) \quad \frac{E_{E_i}}{E_{E_n}} = \frac{PE_i}{PE_n} \quad i = 1, \dots, n-1$$

jossa

$E_{E_i}$  = energia-aggregaatin (3.8) osittaisderivaatta komponentin  $i$  suhteen,  $i = 1, \dots, n-1$

$E_{E_n}$  = energia-aggregaatin (3.8) osittaisderivaatta komponentin  $n$  suhteen

$PE_i$  = energialähteen  $i$  hinta,  $i = 1, \dots, n-1$

$PE_n$  = energialähteen  $n$  hinta

Ottamalla osittaisderivaatat yhtälöstä (3.8) ja soveltamalla ehtoa (3.11) pitkän aikavälin tasapainoehdoksi saadaan

$$(3.12) \quad \frac{E_i}{E_n} = \left( \frac{\alpha_n}{\alpha_i} \right)^{-\frac{1}{1+\beta_2}} \left( \frac{PE_i}{PE_n} \right)^{-\frac{1}{1+\beta_2}} \left( \frac{e_n^T}{e_i^T} \right)^{-\frac{1}{1+\beta_2}}$$

Indeksi  $i$  saa arvot  $1, \dots, n-1$ . Kun siis käytetään tyyppiä (3.4) olevaa CES-funktiota, substituutiojoustot eri energialähteiden välillä ovat yhtä suuret. Tästä voitaisiin vapautua käyttämällä Mukerjin esittämää muotoa (3.5). Koska tässä tutkielmassa energia-aggregaatti jaetaan vain kahteen komponenttiin, tällä rajoituksella ei ole merkitystä.



Jos tekninen kehitys reaalisen arvonlisäyksen ja energia-aggregaatin välillä sekä eri energialähteiden kesken on Hicks-neutraalia, lausekkeiden (3.10) ja (3.12) viimeiset termit supistuvat pois. Tällöin lauseke (3.10) redusoituu muotoon

$$(3.13) \quad \frac{E}{V} = \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)^{-\frac{1}{1+\beta_1}} \left(\frac{PE}{PV}\right)^{-\frac{1}{1+\beta_1}}$$

Kun  $n = 2$ , lauseke (3.12) saadaan vastaavasti muotoon

$$(3.14) \quad \frac{E_1}{E_2} = \left(\frac{\alpha_2'}{\alpha_1}\right)^{-\frac{1}{1+\beta_2}} \left(\frac{PE_1}{PE_2}\right)^{-\frac{1}{1+\beta_2}}$$

Usein oletetaan, että aggregaattifunktiot ovat Cobb - Douglas-tyyppiä. Tällöin (pitkän aikavälin) substituutiojousto energia-aggregaatin ja reaalisen arvonlisäyksen välillä sekä eri energialähteiden välillä olisi yksi. Substituutiojoustojen suuruuksia ja teknisen kehityksen luonnetta aggregaattipanosten ja eri energialähteiden välillä Suomen teollisuudessa vuosina 1960 - 1982 tarkastellaan myöhemmin työn empiirisessä osassa. Tässä luvussa suoritettua staattista tarkastelua kuitenkin täydennetään ottamalla huomioon panosten hintoihin liittyvät odotukset ja sallimalla hidas sopeutuminen optimiin.

#### 4 TUTKIELMASSA KÄYTETTY AINEISTO

Tutkielmassa käytetty aineisto käsittää vuodet 1960 - 1982. Kaikki aikasarjat ovat vuosisarjoja. Aineisto on pääosin peräisin kauppa- ja teollisuusministeriön energiatilastoista. Hintatietojen osalta aineistoa on jouduttu täydentämään myös muista lähteistä sekä joitakin määräsarjoja myös itse arvioimaan. Tehdyt ratkaisut esitetään alaluvuissa 4.1 ja 4.2. Aineisto on esitetty liitteessä 1.

##### 4.1 Energiamäärät

Kauppa- ja teollisuusministeriön energiatilastoissa (ks. Energiatilastot 1982, taulut 7.1 ja 7.2) teollisuuden energian kulutus on jaettu sähköön ja 14 polttoaineeseen. Sähkön kulutus on tilastoitu toimialoittain vuodesta 1960 lähtien sekä polttoaineet koko teollisuudessa pääasiassa vuodesta 1960 lähtien. Kevyen (FU1) ja raskaan polttoöljyn (FU2) sekä hiilen (FU7) osalta vuosien 1960 - 1969 arvioita ei ole kuitenkaan esitetty. Jotta ekonometrista analyysia varten saataisiin tarpeeksi havaintoja, puuttuvat havainnot oli itse arvioitava.

Sarjan FU1 vuosia 1960 - 1969 koskevia havaintoja konstruoitaessa on käytetty referenssinä kevyen polttoöljyn kulutusta koko teollisuudessa ml. energiaa tuottava teollisuus (ks. Energiatilastot 1982, taulu 2.2, sarake 4). Sarjan FU1 havainnot vuosilta 1960 - 1969 on saatu käyttäen referenssisarjan suhteellisia muutoksia. Vastaavasti on menetelty sarjan FU2 osalta. Referenssisarjana on käytetty raskaan polttoöljyn kulutusta koko teollisuudessa ml. energiaa tuottava teollisuus (Energiatilastot 1982, taulu 2.1, sarake 7).

Hiilen (FU7) osalta edellä kuvattu menettely ei kuitenkaan onnistunut energian tuotannossa tapahtuneiden rakennemuutosten takia. Niinpä vuosien 1960 - 1969 hiilen kulutusta arvioitaessa jouduttiin turvautumaan ns. taaksepäin ennustamisen menetelmään.<sup>18</sup> Menetelmä on lyhyesti seuraava: tunnetaan hiilen kulutus vuosina 1970 - 1982 sekä lisäksi mm. ko. sektorin reaalin arvonlisäys koko tarkasteluperiodilla. Etsitään jokin mahdollisimman vakaa ja uskottava suhde vuosien 1970 - 1982 hiilen kulutuksen ja mahdollisten referenssisarjojen väliltä. Kun tämä on löydetty ja tunnetaan referenssisarjojen kehitys vuodesta 1960 lähtien, voidaan ennustaa hiilen kulutus vuosina 1960 - 1969.

Referenssisarjoina kokeiltiin mm. ko. sektorin reaalista arvonlisäystä (V) sekä aikatrendiä. Myös lukuisia funktiospesifikaatioita sekä mahdollisia rajoituksia kokeiltiin. Parhaiten<sup>19</sup> toimi seuraava relaatio:

$$(4.1) \quad \log(FU7) = b_0 + b_1 \log(V)$$

Estimoimalla tämä tavallisella pienimmän neliösumman (PNS) menetelmällä saatiin tulokseksi yhtälö

$$(4.2) \quad \log(FU7) = -9.899 + 0.925 \log(V) \\ (1.857) \quad (0.182)$$

$$R^2 = 0.701 \quad DW = 1.124$$

<sup>18</sup>HIRVONEN ja HJERPPE käyttävät tätä menetelmää arvioidessaan vuosien 1900 - 1947 työpanosta koko taloudessa. Saatua sarjaa he käyttävät estimoidessaan Cobb - Douglas-tuotantofunktiota koko taloudelle vuosilta 1900 - 1980.

<sup>19</sup>Eri mallien paremmuutta tutkittiin seuraavin kriteerein: mallin tilastollinen toimivuus; graafinen tarkastelu; vertailtiin eri mallien antamia "ennusteita" vuosiksi 1960 - 1969.

Parametriestimaattien alla suluissa olevat luvut ovat parametriestimaattien keskihajontoja.  $R^2$  on mallin selitysaste sekä DW Durbin - Watson-testisuure. Tavanomaisin tilastollisin kriteerein tarkasteltuna malli toimii moitteettomasti ja sen kertoimet ovat luontevia. Tätä relaatiota käytettiin siis hyväksi konstruoitaessa sarjan FU7 havaintoja vuosilta 1960 - 1969. Lisäksi ko. sarja pakotettiin kulkemaan vuoden 1970 havaitun arvon kautta.

Osa polttoaineista käytetään tarkasteltavalla sektorilla sähkön tuotantoon. Kaksinkertaisen laskemisen välttämiseksi on tämä otettava huomioon. Näin saadaan energian loppukulutusarvioksi sarja E.

Energiamääriä laskettaessa on jouduttu tekemään joitakin ehkä hieman kyseenalaisia ratkaisuja. Erityisesti voidaan kritisoida tapaa, jolla vuosien 1960 - 1969 hiilen kulutus on arvioitu. Menettelyssä on kehäpäätelmän vaara. Tehty ratkaisu toimii kuitenkin parhaiten kaikista kokeilluista ja sen antamia arvioita voidaan pitää aika luontevina. Lisäksi on huomattava, että hiilen osuus koko polttoaineiden kulutuksesta on ollut vuodesta 1970 lähtien keskimäärin vain noin 10 %. Estimoitu kulutus säilyy 60-luvulla keskimäärin samalla tasolla.

#### 4.2 Energian hinnat

Energiatilastoissa ei ole juuri arvioita eri energialähteiden hinnoista tarkasteluperiodilla. Teollisuuden jätelämmön (FU11), jätelipeän (FU12) sekä jättepuun (FU13) hintoja on myös vaikea arvioida. Koska hintatietoja on näin niukasti saatavilla ja osa vuosien 1960 - 1969 polttoaineiden kulutuksesta jouduttiin itse arvioimaan, energia-aggregaatti jaetaan tästä lähtien kahteen komponenttiin: sähkөөn ja polttoaineisiin.

Polttoaineiden hintaindeksi on laskettu kevyen ja raskaan polttoöljyn sekä hiilen ja maakaasun hintojen perusteella.

Öllytuotteiden hinnat on saatu Neste Oy:stä. Hiilen ja maakaasun osalta on käytetty tuonnin yksikköarvoindeksijä (Energiatilastot 1982, taulu 10.1). Tuontihintojen muutosten oletetaan siis menevän samassa suhteessa kuluttajahintoihin. Vuosiaineistossa tämä lienee aika hyvä approksimaatio. Sähkön hinta on saatu Imatran Voima Oy:stä. Polttoaineiden hintaindeksi (PFU) ja koko energian hintaindeksi (PE) ovat ns. muuttuvapainoisia Divisia-Törnqvist-indeksejä (ks. esim. Törnqvist (1974)).

#### 4.3 Muut sarjat

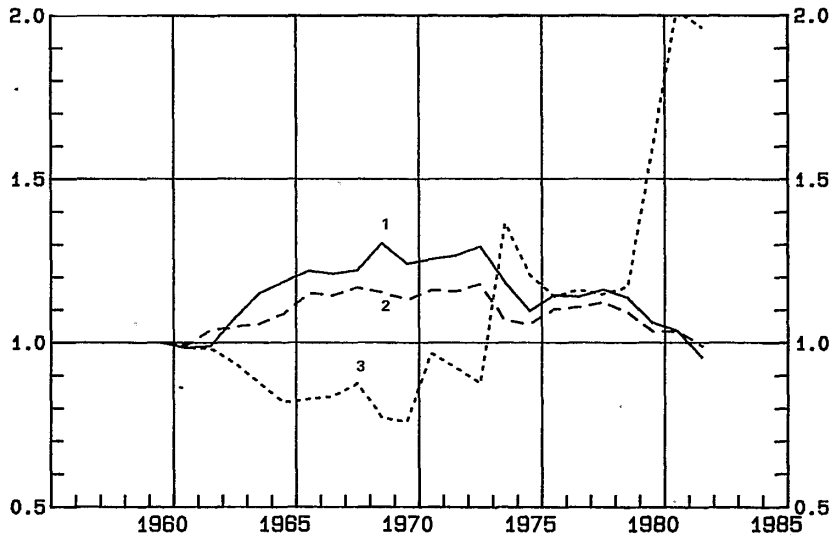
Energian hintojen ja määrien lisäksi tarvitaan tietoja teollisuuden reaalisesta arvonnäyksestä (V) sekä arvonnäyksen hinnasta (PV). Ne on saatu kansantalouden tilinpidosta. Sarja PV on sektoreiden 2 (kaivos- ja muu kaivannaistoiminta) ja 3 (teollisuus) BKT-deflaattori.

#### 4.4 Keskeisten aikasarjojen kehitys 1960 - 1982

Energian reaalin hinta (energia-aggregaatin ja arvonnäyksen hintojen suhde) oli vuonna 1970 selvästi alemmalla tasolla kuin vuonna 1960 (kuviot 2). Vuodesta 1970 lähtien energian reaalin hinnan trendi on kuitenkin ollut selvästi positiivinen. Hintojen kehitys ei ole ollut tasaista, vaan sitä dominoivat rajut nousut vuodesta 1973 vuoteen 1974 ns. ensimmäisen öljykriisin aikana sekä toisen kerran 70- ja 80-luvun vaihteessa ns. toisen öljykriisin aikana.

Kuvio 2.

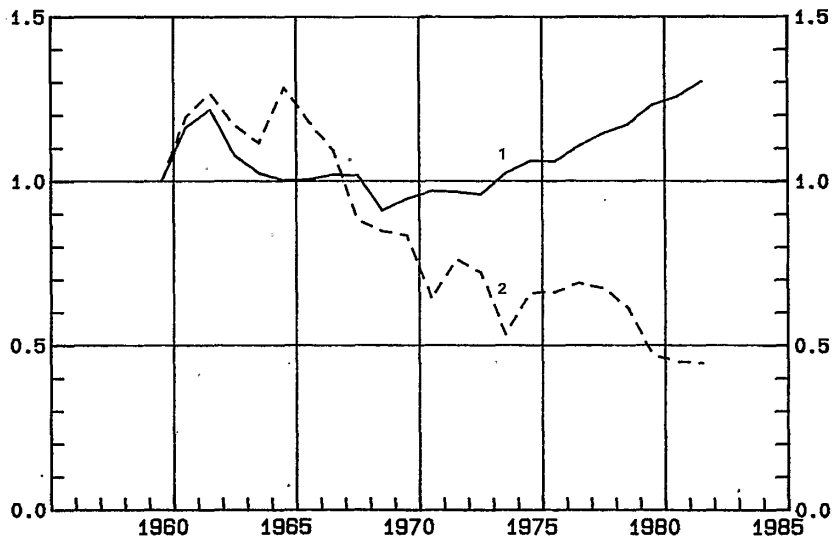
## ENERGIAINTENSITEETTI JA SUHTEELLISET HINNAT



1. Teollisuuden energiantensiteetti  
 2. Koko talouden energiantensiteetti  
 3. Energian reaalin hinta  
 1960 = 1.00

Kuvio 3.

## SÄHKÖN JA POLTTOAINEIDEN VÄLINEN SUBSTITUUTIO TEOLLISUUDESSA



1. Sähkön ja polttoaineiden kulutuksen suhde  
 2. Sähkön ja polttoaineiden hintojen suhde  
 1960 = 1.00

Suhteellisten hintojen muutoksilla on ollut selvästi vaikutusta panosten kysyntään. Vuoteen 1973 asti teollisuuden energia-intensiteetti (energiapanos per reaalin arvonlisäys) kasvoi. Ensimmäisen öljykriisin jälkeen teollisuuden energaintensiteetti on kuitenkin laskenut ja saavuttanut 80-luvun alussa kuta-kuinkin saman tason kuin 20 vuotta aikaisemmin. Vuonna 1982 teollisuuden energaintensiteetti laski edelleen, vaikka myös energian reaalihinta laski. Tämä voi johtua hintaodotuksista. Koko talouden energaintensiteetti on kehittynyt samansuuntaisesti kuin teollisuudessa. Koko talouden energaintensiteettiä on mitattu kuviossa 2 koko talouden primäärienergian kulutuksen ja bruttokansantuotteen suhteella. Koko talouden energaintensiteetin vaihtelu on kuitenkin ollut pienempää kuin teollisuudessa.

Vuodesta 1969 lähtien sähkön ja polttoaineiden kulutuksen suhde on kasvanut voimakkaasti (kuvio 3). Tämä on ainakin osittain ollut seurausta sähkön hinnan halpenemisestä suhteessa polttoaineiden hintaan. 60-luvulla sähkön ja polttoaineiden hintojen ja kulutettujen määrien välinen suhde ei ole ollut yhtä selvä kuin 70-luvulla.

Suhteellisten hintojen muutoksista on siis aiheutunut selvästi substituutiota energian sekä työn ja pääoman muodostaman aggregaatin, reaalin arvonlisäyksen, välillä. Samoin on tapahtunut energia-aggregaatin sisällä sähkön ja polttoaineiden välillä. Sellaisten mallien käyttäminen, joissa panosten välisiä suhteellisia hintoja ei ole otettu huomioon, voidaan hylätä jo pelkän graafisen tarkastelun perusteella. Vaikka luotettavaa ja kattavaa hinta-aineistoa onkin vaikea saada, on jonkinlainen substituutiomahdollisuuksien arvioiminen parempi kuin ei mitään. Substituution kvantitatiivinen arvioiminen onkin seuraavan luvun keskeinen teema.

## 5 EMPIIRISTEN YHTÄLÖIDEN SPESIFIOINTI, ESTIMOINTI JA STABIILISUUS

### 5.1 Empiiristen mallien spesifiointi

Kolmannessa luvussa johdettiin kysyntäyhtälöt energia-  
aggregaatille (3.10) sekä sähkölle ja polttoaineille (3.12).  
Tarkastelu tapahtui staattisessa maailmassa. Todellisuudessa  
esimerkiksi panosten hintoihin liittyy epävarmuutta. Panosten  
välitön sopeutuminen optimiin ei myöskään välttämättä pidä  
paikkaansa. Tässä luvussa johdetaan joitakin staattisia  
kysyntäyhtälöitä (3.10) ja (3.12) vastaavia dynaamisia versioi-  
ta. Dynamisointi tehdään käyttämällä kolmea eri oletusta  
yritysten dynaamisesta käyttäytymisestä.<sup>20</sup>

Yhtenä mahdollisuutena olisi käyttää osittaisen sopeutumisen  
mallia muodossa

$$(5.1) \quad \frac{X}{X_{-1}} = \left(\frac{X^*}{X_{-1}}\right)^\lambda$$

jossa

$X^*$  = panosten välinen optimaalinen suhde hetkellä  $t$

$X$  = toteutunut suhde hetkellä  $t$

$X_{-1}$  = toteutunut suhde hetkellä  $t-1$

---

<sup>20</sup>Tyylikkääntä olisi ollut tarkastella panosten kysyntää  
dynaamisena optimointiongelmana ottamalla huomioon  
sopeutumiskustannukset ja panosten hintoihin liittyvä  
epävarmuus.



$\lambda$  = sopeutumisnopeus,<sup>21</sup>  $0 \leq \lambda < 1$

Yritykset siis määrittävät hetkellä  $t$  panosten välisen optimaalisen suhteen (yhtälöt (3.10) ja (3.12)), mutta ne eivät välittömästi pysty sopeuttamaan panoksiaan haluamalleen tasolle. Sopeutumisnopeus  $\lambda$  on vakio. Kun  $\lambda$  saa arvon yksi, sopeutuminen optimiin tapahtuu välittömästi.

Toinen mahdollisuus olisi tulkita yhtälöissä (3.10) ja (3.12) esiintyvät suhteelliset hinnat odotusmuuttujiksi. Panosten välinen suhde hetkellä  $t$  olisi siis riippuvainen periodin  $t$  odotetuista suhteellisista hinnoista.

Kolmantena mahdollisuutena olisi yhdistää ensimmäinen ja toinen lähestymistapa. Periodin  $t$  haluttu panosten kysyntä olisi siis riippuvainen panosten odotetusta hintasuhteesta hetkelle  $t$ , mutta sopeutuminen optimiin ei tapahtuisi välittömästi.

Hintaodotusten muodostumistapa on kuitenkin tuntematon. Edempänä tarkastellaan kolmea konventionaalista hintaodotusten muodostushypoteesia: adaptiivisia, ekstrapolatiivisia ja staattisia odotuksia.<sup>22</sup> Adaptiiviset odotukset voidaan esittää muodossa

$$(5.2) \quad p_t^e = p_{t-1}^e + \eta(p_{t-1} - p_{t-1}^e)$$

jossa

$p_t^e$  = periodilla  $t-1$  tehty odotus muuttujan  $p$  arvosta hetkellä  $t$

$p_{t-1}^e$  = periodilla  $t-2$  tehty odotus muuttujan  $p$  arvosta hetkellä  $t-1$

<sup>21</sup>Sopeutumisnopeudet aggregaattipanosten sekä eri energialähteiden tapauksessa eivät välttämättä ole yhtä suuria.

<sup>22</sup>Ks. esim. TUOVINEN (1979) erilaisista odotushypoteeseista ja niiden tulkinnasta.

$p_{t-1}$  = muuttujan  $p$  havaittu arvo hetkellä  $t-1$   
 $\eta$  = ns. adaptiokerroin,  $0 \leq \eta \leq 1$

Muuttuja  $p$  on tässä panosten suhteellinen hinta (tai sen logaritmi). Adaptiivisten odotusten hypoteesin mukaan hetkellä  $t-1$  tehty odotus muuttujan  $p$  arvosta hetkellä  $t$  on yhtä kuin hetkelle  $t-1$  tehty odotus korjattuna odotusvirheellä.

Ekstrapolatiiviset odotukset voidaan esittää muodossa

$$(5.3) \quad p_t^e = \eta_1 p_{t-1} + \eta_2 (p_{t-1} - p_{t-2})$$

$\eta_1$  ja  $\eta_2$  ovat odotusmallin parametrit. Odotuksia kutsutaan staattisiksi, kun

$$(5.4) \quad p_t^e = p_{t-1}$$

Staattiset odotukset saadaan erikoistapauksina adaptiivisista odotuksista, kun  $\eta = 1$ , ja ekstrapolatiivisista odotuksista, kun  $\eta_1 = 1$  ja  $\eta_2 = 0$ .

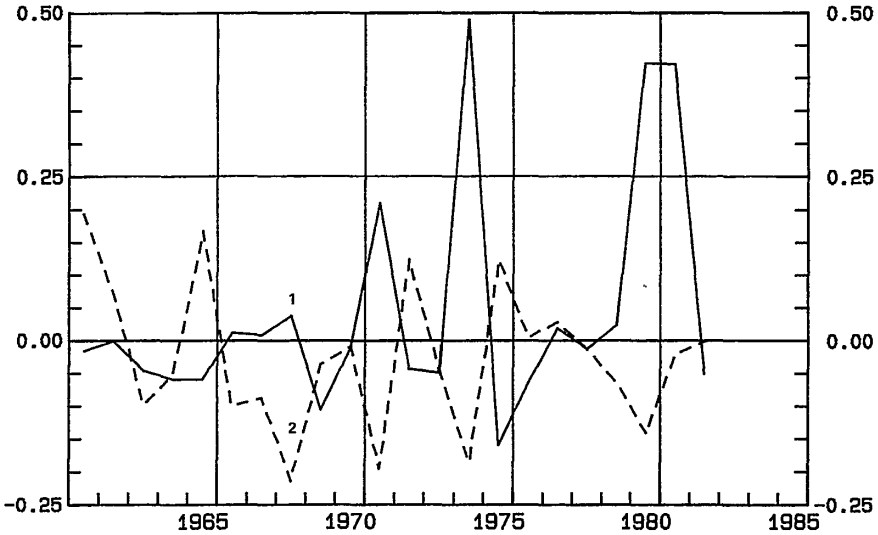
Erityisesti ns. rationaalisten odotusten koulukunta<sup>23</sup> on kritisoinut edellä esitettyjä konventionaalisia odotushypoteeseja. Jos odotukset ovat rationaalisia, taloudenpitäjät eivät tee systemaattisia virheitä odotuksia muodostaessaan. Tämä ei päde edellä kuvattujen odotushypoteesien tapauksissa. Jos hintaodotuksia muodostettaessa relevantti informaatiojoukko sisältää vain tarkasteltavan sarjan oman menneisyyden, tällöin voidaan yrittää konstruoida odotusmuuttujia esimerkiksi ARIMA-mallien avulla. Muuttujan PE/PV tapauksessa tämä ei kuitenkaan onnistu, sillä sarjat PE/PV,  $\Delta(\text{PE/PV})$  sekä  $\Delta^2(\text{PE/PV})$  ovat epästationaarisia (differensioitujen sarjojen varianssi on selvästi suurempi

---

<sup>23</sup>BEGG (1982) on hyvä johdatus rationaalisten odotusten maailmaan.

Kuvio 4.

## SUHTEELLISTEN HINTOJEN STABIILISUUS



1. Energian reaalisin hinnan differenssi  
 2. Sähkön ja polttoaineiden hintasuhteen differenssi

70-luvulla kuin 60-luvulla). Sarja  $\Delta(PE/PV)$  on esitetty kuviossa 4. Logaritmoinnista ei myöskään ole apua. ARIMA-mallien sovittaminen ei siis onnistu tässä tapauksessa.<sup>24</sup>

Muuttujan PEL/PFU ensimmäinen differenssi  $\Delta(PEL/PFU)$  on kuta-kuinkin stationaarinen, ks. kuvio 4. (Sarja  $\Delta^2(PEL/PFU)$  on ylidifferensioitu.) Auto- ja osittaisautokorrelaatiofunktioiden perusteella se on valkoista kohinaa. Lisäksi suoritettiin regressiokokeita,<sup>25</sup> joissa sarjaa PEL/PFU selitettiin sen omilla viivästetyillä arvoilla ja vakioilla. Tulos ei tästä muuttunut: vain ensimmäinen viivästymä (ei edes vakio) oli tilastollisesti

<sup>24</sup>Lisäksi on otettava huomioon havaintojen vähäinen lukumäärä.

<sup>25</sup>Näitä kokeita ei ole raportoitu tässä.

merkitsevä eikä sen arvo poikennut merkitsevästi arvosta yksi. Sarja PEL/PFU noudattaa siis ns. satunnaiskulkuprosessia ja staattiset odotukset yhtyvät tässä mielessä rationaalsiin odotuksiin.<sup>26</sup> Tämä tuntuu aika luonnolliselta juuri suhteellisten hintojen tapauksessa.

Estimoitavat redusoidun muodon yhtälöt on johdettu liitteessä 2. Kussakin tapauksessa mallin rakennemuodon muodostavat tasapainoa kuvaava kysyntäyhtälö, sopeutumisyhtälö sekä hintaodotuksia kuvaava malli (ei kuitenkaan mukana ensimmäisessä lähestymistavassa). Erityistä huomiota kiinnitetään rakennemuodon parametrien identifioituvuuteen tapauksessa, jossa redusoidun muodon yhtälöt estimoidaan tavallisella pienimmän neliösumman menetelmällä.

Estimoitaviin yhtälöihin ei ole merkitty näkyviin virhetermejä. Ongelmana on se, että tarkalleen ottaen ei tiedetä, missä vaiheessa ja minkä muotoisina virhetermit tulevat mukaan. Ne voivat olla joissakin yhtälöissä additiivisia mutta toisissa multiplikatiivisia. Lisäksi eri yhtälöiden virhetermit voivat korreloida keskenään. Täydellisyyteen pyrittäessä kaikkiin rakennemuodon yhtälöihin olisi voitu merkitä virhetermit ja johtaa edelleen, missä muodossa ne tulevat redusoidun muodon yhtälöihin. Tällöin voisi osoittautua, että redusoidun muodon virheet noudattavat jotakin ARMA-rakennetta, joka olisi voitu ottaa estimoinnissa huomioon. Tällaista menettelyä näkee kuitenkin harvoin ekonometrisissa sovellutuksissa.

---

<sup>26</sup>Ollettaen todellakin, että relevantti informaatio odotuksia muodostettaessa sisältyy muuttujan omaan menneisyyteen.

## 5.2 Estimointimenetelmästä ja stabiilisuustesteistä

Yhtälöt on estimoitu tavallisella pienimmän neliösumman menetelmällä. Stokastisten differenssiyhtälöiden tapauksissa olisi voitu käyttää esimerkiksi suurimman uskottavuuden tai jotakin instrumenttimenetelmää.<sup>27</sup> Periaatteessa myös jonkin epälineaaristen mallien estimointimenetelmän käyttö olisi ollut mahdollista. Tämä olisi helpottanut rakennemuodon parametrien identifioituvuutta. Havaintojen vähäisyyden takia tyydytään tässä kuitenkin PNS-menetelmään.

Energian saatavuuden oletetaan olevan annetuilla hinnoilla täysin joustavaa. Tarjontakäyrän oletetaan siis olevan vaaka-suora. Tätä voidaan pitää varsin realistisena oletuksena Suomessa. Tällöin vältytään simultaanisuuden aiheuttamista ongelmista.

Estimoitujen yhtälöiden jäännösten autokorreloituneisuutta on tutkittu Durbin - Watson-, portmanteau- sekä Durbinin h-testisuureen avulla.<sup>28</sup> Stokastisten differenssiyhtälöiden tapauksissa Durbin - Watson- ja portmanteau-testisuuretta ei voida käyttää. Portmanteau-testisuuretta laskettaessa on otettu mukaan vain neljä ensimmäistä autokorrelaatiokerrointa havaintojen vähäisen määrän vuoksi.

70-luvulla panosten suhteellisissa hinnoissa tapahtui huomattavia muutoksia ja hintaepävarmuus lisääntyi (vrt. kuviot 2, 3 ja 4). Ympäristössä aiheutuneiden muutosten on syytä epäillä aiheuttaneen muutoksia yritysten käyttäytymisessä. Tämä voi ilmetä esimerkiksi siten, että panosten kysyntäfunktiot ovat epästabiileja. Tämän vuoksi regressiomallien stabiilisuutta

---

<sup>27</sup>Stokastisten differenssiyhtälöiden estimoinnista ks. MALINVAUD (1970), luku 14, sekä HARVEY (1982), luku 8.

<sup>28</sup>Ks. esim. HARVEY.

ajassa on tutkittu Brownin, Durbinin ja Evansin (1975) esittämin tavoin. Systemaattisuuden vuoksi kaikille malleille on siis tehty rekursiivisia residuaaleja käyttäen CUSUM-testi ja CUSUM-neliötesti (CUSUMSQ) sekä ns. homogeenisuus- ja timetrend-testi. Näitä testejä voidaan käyttää myös yleisinä spesifiointitesteinä (vrt. Harvey, s. 148 - 154).

Homogeenisuus-testisuuretta laskettaessa periodi on jaettu kahteen osaan. Tällöin testi redusoituu ns. Chow-testiksi (ks. Chow (1960)), jossa tutkitaan regressiomallin kaikkien parametrien stabiilisuutta ajassa. Timetrend-testit on suoritettu siten, että mallin kaikki parametrit ovat riippuvaisia lineaarisesti ajasta. Chow-testi voitaisiin tehdä myös siten, että tutkitaan vain joidenkin parametrien stabiilisuutta ja pidetään osa mallin parametreista vakiona koko estimointiperiodilla. Samoin timetrend-testissä voitaisiin tutkia vain joidenkin parametrien riippuvuutta ajasta. Riippuvuus ajasta voisi olla myös polynomaalista. CUSUM- ja CUSUMSQ-testin osalta tulokset on raportoitu 5 prosentin merkitsevyytasolla, Chow- ja timetrend-testien osalta sekä 5 että 1 prosentin merkitsevyytasolla. Stokastisten differenssiyhtälöiden tapauksissa ko. stabiilisuustestien luottamusrajoja ei tarkalleen tunneta. Näissä tapauksissa stabiilisuustestien tuloksia on tulkittava varoen.<sup>29</sup>

Mallit on estimoitu käyttäen vuosiaineistoa vuosilta 1960 - 1982. Kaikki yhtälöt on estimoitu tasomuodossa. Yhtälöiden estimoimista differenssimuodossa olisi myös voitu käyttää yleisenä spesifiointitestinä, ks. esimerkiksi Plosser ym. (1982). Heidän esittämänsä testisuureet ovat kuitenkin niin vaikeasti laskettavissa, että siihen ei tässä ryhdytty.

---

<sup>29</sup>PIKKARAINEN (1984) on tutkinut simulointikokeiden avulla CUSUM- ja CUSUMSQ-testin käyttäytymistä stokastisten differenssiyhtälöiden tapauksessa. Pienissä otoksissa CUSUM-testi on liian konservatiivinen, kun taas CUSUMSQ-testi hylkää liian herkästi hypoteesin mallin parametrien stabiilisuudesta. Testien voimakkuus on myös riippuvainen siitä, mikä mallin parametreista on epästabiili.

### 5.3 Estimointitulokset ja mallien stabiilisuus

#### 5.3.1 Energia-aggregaatti

Taulukoissa 2, 3 ja 4 on esitetty estimointitulokset energia-aggregaatin ja reaalisien arvonlisäyksen välisestä suhteesta käyttäen luvussa 5.1 esitettyjä eri lähestymistapoja. Stabiilisuustestien tulokset löytyvät taulukosta 5.

Osittaisen sopeutumisen malleista parhaiten toimivat versiot 1C ja 1D. Staattiset spesifikaatit ovat epästabiileja. Lisäksi mallissa 1A jäännökset ovat selvästi autokorreloituneita. Mallissa 1D (sekä 1B) myös trendi saa tilastollisesti merkitsevän kertoimen. Tekninen kehitys olisi siis ollut tarkastelu-periodilla energiaa käyttävää ja pitkän aikavälin substituutiojousto energia-aggregaatin ja reaalisien arvonlisäyksen välillä olisi mallin 1D mukaan noin 0.54.

"Puhtaat" odotusmallit (lähestymistapa 2) ovat kaikki epästabiileja. Malleissa 2B ja 2C jäännökset ovat lisäksi autokorreloituneita. Ekstrapolatiivisten hintaodotusten malleissa 2C ja 2F jälkimmäinen suhteellisten hintojen kerroin ei poikkea merkittävästi nolasta. Mallien 2E ja 2F perusteella tekninen kehitys olisi ollut energiaa käyttävää. Adaptiivisten odotusten mallissa 2D trendi ei kuitenkaan saa tilastollisesti merkitsevää kerrointa.

Yhdistettyjen odotus- ja osittaisen sopeutumisen mallien (lähestymistapa 3) perusteella energia-aggregaatin ja reaalisien arvonlisäyksen välinen tekninen kehitys olisi ollut Hicks-neutraalia. Hicks-neutraaleista malleista estimointitulokset tukevat staattisten hintaodotusten spesifikaatiota. Timetrend-testin mukaan se on kuitenkin epästabiili 5 prosentin mutta ei 1 prosentin merkitsevyystasolla. Pitkän aikavälin substituutiojousto energia-aggregaatin ja reaalisien arvonlisäyksen välillä olisi mallin 3B mukaan noin 0.45.

TAULUKKO 2

Koko energian kysyntäyhtälöt. Osittaisen sopeutumisen mallit

tunnus	vakio	$\frac{PE}{PV}$	T	$\left(\frac{E}{V}\right)_{-1}$	$R^2$	$DW_h$	$Q_4$	SJ	SN
1A	-8.172 0.016	-0.202 0.059			0.358	0.315	23.15	0.202	
1B	-9.074 0.145	-0.436 0.052	0.013 0.002		0.782	1.700	3.68	0.436	
1C	-2.060 0.750	-0.131 0.028		0.747 0.092	0.869	2.145 -0.377		0.518	0.253
1D	-3.779 1.133	-0.230 0.058	0.005 0.002	0.576 0.123	0.892	2.428 -1.230		0.543	0.424

Kaikki muuttujat paitsi trendi T ovat logaritimuudessa. Parametriestimaattien alla olevat luvut ovat parametriestimaattien keskihajontoja.

$R^2$  = mallin selitysaste  
 DW = Durbin - Watson-testisuure  
 h = Durbinin h-testisuure  
 $Q_4$  = portmanteau-testisuure  
 SJ = (pitkän aikavälin) substituutiojousto  
 SN = sopeutumisnopeus



TAULUKKO 3

Koko energian kysyntäyhtälöt. Adaptiiviset, staattiset ja ekstrapolatiiviset hintaodotukset

tunnus	vakio	$\left(\frac{PE}{PV}\right)_{-1}$	$\left(\frac{PE}{PV}\right)_{-1}$ $\left(\frac{PE}{PV}\right)_{-2}$	T	$\left(\frac{E}{V}\right)_{-1}$	R <sup>2</sup>	DW h	Q <sub>4</sub>	SJ	huom.
2A	-2.426 0.962	-0.132 0.042			0.703 0.118	0.818	1.947 0.149		0.446	adapt. od.
2B	-8.170 0.014	-0.256 0.060				0.477	0.553	12.06	0.256	staatt. od.
2C	-8.165 0.013	-0.298 0.066	0.103 0.111			0.592	0.810	4.84	0.298	ekstr. od.
2D	-2.741 1.932	-0.150 0.101		0.001 0.003	0.670 0.212	0.818	1.955 1.091		0.453	adapt. od.
2E	-8.827 0.163	-0.425 0.062		0.009 0.002		0.718	1.658	3.22	0.425	staatt. od.
2F	-8.720 0.175	-0.451 0.072	0.132 0.091	0.008 0.002		0.745	1.687	5.15	0.451	ekstr. od.

Selityksiä: ks. taulukko 2

TAULUKKO 4

Koko energian kysyntäyhtälöt. Adaptiiviset, staattiset ja ekstrapolatiiviset hintaodotukset ja osittainen sopeutuminen

tunnus	vakio	$\left(\frac{PE}{PV}\right)_{-1}$	$\left(\frac{PE}{PV}\right)_{-1}$ $\left(\frac{PE}{PV}\right)_{-2}$	T	$\left(\frac{E}{V}\right)_{-1}$	$\left(\frac{E}{V}\right)_{-2}$	R <sup>2</sup>	DW h	SJ	SN	huom.
3A	-3.174 1.044	-0.149 0.049			0.621 0.269	-0.010 0.224	0.818	2.168	0.383	.	adapt. od.
3B	-2.426 0.962	-0.132 0.042			0.703 0.118		0.818	1.947	0.446	0.297	staatt. od.
3C	-3.143 1.092	-0.146 0.056	-0.009 0.080		0.615 0.134		0.818	2.172 -0.499	0.380	0.385	ekstr. od.
3D	-2.878 1.898	-0.133 0.101		-0.001 0.003	0.647 0.308	-0.005 0.234	0.819 1.091	2.158	0.370		adapt. od.
3E	-2.741 1.932	-0.150 0.101		0.001 0.003	0.670 0.212		0.818	1.955 1.091	0.453	0.330	staatt. od.
3F	-2.459 2.441	-0.103 0.149	-0.027 0.101	-0.001 0.004	0.687 0.267		0.819	2.195	0.329	0.313	ekstr. od.

Selityksiä: ks. taulukko 2.

TAULUKKO 5

Stabiilisuustestien tulokset koko energian kysyntäyhtälöistä

Malli	CUSUM	CUSUMSQ	CHOW		TIMETREND	
			F	Tulos	F	Tulos
1A	+	+	38.04	- (-)	18.49	- (-)
1B	+	-	7.94	- (-)	13.05	- (-)
1C	+	+	0.84	+	1.59	+
1D	+	+	0.66	+	2.39	+
2A	+	+	0.99	+	4.21	- (+)
2B	+	+	10.71	- (-)	7.73	- (-)
2C	+	+	4.49	- (+)	3.41	- (+)
2D	+	+	2.68	+	5.70	- (-)
2E	-	+	5.15	- (+)	14.47	- (-)
2F	+	+	2.23	+	5.17	- (+)
3A	+	+	0.84	+	2.55	+
3B	+	+	0.99	+	4.21	- (+)
3C	+	+	1.08	+	2.39	+
3D	+	+	2.19	+	3.33	- (+)
3E	+	+	2.68	+	5.70	- (-)
3F	+	+	1.97	+	2.58	+

+ = malli on stabiili  
 - = malli on epästabiili  
 F = F-testisuureen arvo

Chow- ja timetrend-testien tulos 1 prosentin merkitsevyystasolla on esitetty suluissa.

### 5.3.2 Sähkö ja polttoaineet

Sähkön ja polttoaineiden kysyntäyhtälöiden estimointitulokset on esitetty taulukossa 6 sekä stabiilisuustestien tulokset taulukossa 7. Malleja, joissa trendi on mukana, ei tässä raportoida, sillä trendi ei saanut missään täsmennyksessä tilastollisesti merkitsevää kerrointa. Energia-aggregaatin sisällä tekninen kehitys olisi siis ollut Hicks-neutraalia.

Molemmissa osittaisen sopeutumisen malleissa (lähestymistapa 1) jäännökset ovat selvästi autokorrelloituneita. Ne ovat myös epästabiileja. (tosin malli 1B vain timetrend-testin mukaan

TAULUKKO 6

Sähkön ja polttoaineiden kysyntäyhtälöt

tunnus	vakio	PEL PFU	(PEL) PFU <sub>-1</sub>	(PEL) PFU <sub>-1</sub> (PEL) PFU <sub>-2</sub>	(EL) FU <sub>-1</sub>	(EL) FU <sub>-2</sub>	R <sup>2</sup>	DW h	Q <sub>4</sub>	SJ	SN	huom.
1A	-1.420 0.024	-0.113 0.059					0.152	0.427	23.56	0.113		
1B	-0.188 0.200	-0.050 0.037			0.866 0.140		0.715	1.280 2.243		0.372	0.134	
1C	-0.289 0.104	-0.121 0.055			0.599 0.165			2.353 -1.235		0.274	0.441	Hatanaka- estimointi
2A	-0.208 0.195		-0.065 0.039		0.853 0.138		0.729	1.357 1.970		0.442		adapt. od.
2B	-1.418 0.024		-0.131 0.063				0.176	0.320	24.76	0.131		staatt. od.
2C	-1.426 0.024		-0.174 0.068	0.185 0.154			0.270	0.380	19.52	0.174		ekstr. od.

Taulukko 6. Jatkoa

tunnus	vakio	PEL PFU	$\left(\frac{PEL}{PFU}\right)_{-1}$	$\left(\frac{PEL}{PFU}\right)_{-1}$ $\left(\frac{PEL}{PFU}\right)_{-2}$	$\left(\frac{EL}{FU}\right)_{-1}$	$\left(\frac{EL}{FU}\right)_{-2}$	$R^2$	DW h	$Q_4$	SJ	SN	huom.
3A	-0.234 0.173		-0.073 0.032		1.029 0.181	-0.187 0.193	0.837	2.371		0.431		adapt. od. ja ositt. sop.
3B	-0.208 0.195		-0.065 0.039		0.853 0.137		0.728	1.357 1.970		0.442	0.147	staatt. od. ja ositt. sop.
3C	-0.196 0.155		-0.096 0.033	0.101 0.073	0.869 0.109		0.846	2.300 -0.794		0.732	0.131	ekstra. od. ja ositt. sop.

Kaikki muuttujat ovat logaritimuodossa. Parametriestimaattien alla olevat luvut ovat parametriestimaattien keskihajontoja.

$R^2$  = mallin selitysaste

DW = Durbin - Watson-testisuure

h = Durbinin h-testisuure

$Q_4$  = portmanteau-testisuure

SJ = (pitkän aikavälin) substituutiojousto

SN = sopeutumisnopeus

5 prosentin merkitsevyystasolla). Mallin 1B jäännösten autokorrelaation korjaamiseksi se estimoitiin kokeeksi Hatanakan (1974) esittämällä tavalla. Viivästetyn selitettävän instrumenttina käytettiin viivästettyä suhteellista hintaa. Pitkän aikavälin substituutiojousto putoaakin arvosta 0.37 arvoon 0.27.

Kaikissa lähestymistapaa 2 käyttäen estimoiduissa malleissa jäännökset ovat autokorreloituneita. Lisäksi mallit ovat epästabiileja.

Yhdistetyistä odotus- ja osittaisen sopeutumisen malleista toimii estimointitulosten perusteella ehkä parhaiten staattisten odotusten versio 3B. CUSUM-neliötestin perusteella se olisi kuitenkin epästabiili ja sen jäännökset ovat ehkä autokorreloituneita. Sähkön ja polttoaineiden välinen pitkän aikavälin substituutiojousto olisi mallin 3B mukaan noin 0.44.

#### TAULUKKO 7

Stabiilisuustestien tulokset sähkön ja polttoaineiden kysyntäyhtälöistä

Malli	CUSUM	CUSUMSQ	CHOW		TIMETREND	
			F	Tulos	F	Tulos
1A	+	+	11.08	- (-)	35.05	- (-)
1B	+	+	2.52	+	4.36	- (+)
2A	+	-	0.77	+	0.94	+
2B	+	+	5.31	- (+)	15.59	- (-)
2C	+	+	5.95	- (-)	18.15	- (-)
3A	+	+	2.28	+	2.56	+
3B	+	-	0.77	+	0.94	+
3C	+	+	3.09	+	1.96	+

+ = malli on stabiili  
 - = malli on epästabiili  
 F = F-testisuureen arvo

Chow- ja timetrend-testien tulos 1 prosentin merkitsevyystasolla on esitetty suluissa.

#### 5.4 Johtopäätöksiä empiirisistä tuloksista

Suoritetut regressiokokeet näyttävät viittaavan siihen, että sellaiset mallit, joissa sopeutuminen optimiin ei tapahdu välittömästi, toimivat useassa suhteessa selvästi paremmin kuin sellaiset mallit, joissa sopeutuminen tapahtuu välittömästi. Lyhyen ja pitkän aikavälin substituutiojoustot eroavat siis selvästi toisistaan. Substituutiojousto energia-aggregaatin ja reaalisien arvonlisäyksen välillä on pitkällä aikavälillä noin 0.5 (mallit 1D ja 3B). Sähkön ja polttoaineiden välinen substituutiojousto on ehkä hieman alhaisempi: mallien 1B ja 3B perusteella se olisi noin 0.4. Hitaan sopeutumisen johdosta lyhyen aikavälin substituutiojoustot ovat selvästi alhaisempia. Osittaisen sopeutumisen mallien 1B ja 1D sekä "puhtaiden" odotusmallien 2E ja 2F perusteella tekninen kehitys olisi ollut tarkasteluperiodilla energiaa käyttävää. Lähestymistavan 3 mukaisissa malleissa se olisi ollut taas Hicks-neutraalia. Energia-aggregaatin sisällä tekninen kehitys näyttää olleen selvemmin Hicks-neutraalia. Teknisen kehityksen neutraalisuutta ei kuitenkaan tässä päästä suoraan testaamaan, koska trendin kerroin voi olla "pieni" myös silloin, kun substituutiojousto on "pieni" (ks. liite 2). Erotuksen  $\epsilon_1 - \epsilon_2$  poikkeavuutta arvosta 0 voitaisiin testata, jos yhtälöt olisi estimoitu jollakin epälineaaristen mallien estimointimenetelmällä. Siihen ei kuitenkaan tässä ryhdytty havaintojen vähäisen lukumäärän vuoksi.

Odotusmalleista ehkä parhaiten toimii staattisten odotusten malli. Sen paremmuus ei kuitenkaan ole kiistatonta mallien epästabiliisuuden vuoksi. Koska tarkastellut odotushypoteesit voidaan kaikki esittää erikoistapauksina mallista

$$(5.5) \quad p_t^e = \sum_{i=1}^{\infty} w_i p_{t-i}$$

jossa painot  $w_j$  voidaan valita vapaasti,<sup>30</sup> suoritettiin joitakin regressiokokeita siten, että käytettiin tätä yleisempää spesifikaatiota.<sup>31</sup> Kokeiltujen viivästymien maksimi oli kolme. Kaikissa kokeissa ainakin yksi viivästettyjen suhteellisten hintojen kerroin ei poikennut merkitsevästi arvosta nolla. Sähkön ja polttoaineiden osalta kaikissa malleissa, joissa viivästetty selitettävä ei ollut yhtenä selittäjänä, jäännökset olivat autokorrelloituneita.

Ongelmana on erityisesti sähkön ja polttoaineiden kysyntämallien osalta mallien epästabiilisuus ja jäännösten autokorrelloitus. Molempia ilmiöitä voidaan tulkita siten, että mallit ovat puutteellisesti spesifioituja. Tässä jää kuitenkin selvittämättä, mistä tämä johtuu. Eräänä mahdollisuutena olisi tarkempi käyttäytymisen mallittaminen, kun panosten hintoihin ja saatavuuteen liittyy epävarmuutta. Kysymykseen palataan vielä tutkielman viimeisessä luvussa.

---

<sup>30</sup>Adaptiivisten odotusten mallissa painot  $w_j$  laskevat geometrisesti.

<sup>31</sup>Ei raportoitu tässä.



## 6 VERTAILUA MUIDEN TUTKIMUSTULOSTEN KANSSA

Tässä luvussa vertaillaan edellisessä luvussa saatuja tuloksia muissa empiirisissä tutkimuksissa saatuihin tuloksiin. Alaluvussa 6.1 tarkastellaan kahta tutkimusta, joissa teollisuuden energian kysyntää on tutkittu yhden yhtälön malleilla. Näitä luonteeltaan ad hoc -malleja kohtaan voidaan esittää kritiikkiä myös luvuissa 2 ja 3 suoritetun teoreettisen tarkastelun perusteella. Alaluvussa 6.2 tarkastellaan eräiden moniyhtälömallien antamia tuloksia.

### 6.1 Yhden yhtälön mallit

Suomessa Huuskonen on estimoinut energian kulutusyhtälöitä talouden eri sektoreille käyttäen vuosiaineistoa lähinnä 60-luvulta. Kuten tässäkin tutkielmassa hän jakaa teollisuuden energian kysynnän kahteen komponenttiin: sähkөөn ja polttoaineisiin. Sähkön kulutusyhtälöt hän estimoii eri toimialoille. Ainut selittäjä malleissa on ko. toimialan tuotannon volyyymi-indeksi. Saadut joustot tuotannon suhteen vaihtelevat 0.71:stä 1.37:ään. Polttoaineiden kysyntäyhtälö on estimoitu ainoastaan koko teollisuudelle. Selittäjänä on kokeiltu tuotannon volyyymi-indeksin lisäksi aikatrendiä. Polttoaineiden kysynnän jousto tuotannon suhteen on 0.91 trendittömässä mallissa ja 1.17 mallissa, jossa trendi on mukana.

Huuskosen menettelyä voidaan kritisoida mm. sen perusteella, että hän estimoii sähkön ja polttoaineiden kysyntäyhtälöt erikseen eikä ota huomioon sähkön ja polttoaineiden välistä substituutiomahdollisuutta. Hän perustelee tätä sillä, että

sähkön ja polttoaineiden välinen substituutiovaikutus olisi ollut hyvin pieni tarkasteluperiodilla (mts., 24). Tässä tutkielmassa saatujen tulosten perusteella tämä ei kuitenkaan pidä paikkaansa. Vaikka Huuskosen saamat joustot ovatkin järkevän suuruisia, käytetyt mallit ovat väärin täsmennettyjä ja saadut parametriestimaatit harhaisia, koska hintavaikutuksia ei ole otettu huomioon.

Mittlestädt on estimoinut eri sektoreiden loppuenergian kysyntäyhtälöitä käyttäen 13 OECD-maan vuosiaineistoa vuosilta 1960 - 1978. Mallina hän käyttää tavallista log-lineaarista kysyntäyhtälöä, jossa energian kulutus on riippuvainen reaalisesta bruttokansantuotteesta sekä energian reaalisesta hinnasta. Hintamuuttujasta on käytetty Almonin viivästymiä. Yhdistetyssä aikasarja-poikkileikkausanalyysissä (taulu 8, 11 maata) tuotantojoustoksi saadaan 0.96 ja pitkän aikavälin hintajoustoksi -0.36. Estimoidessaan eri maiden kysyntäyhtälöitä (taulu 10) tuotantojoustojen aritmeettiseksi keskiarvoksi<sup>32</sup> hän saa 1.10 (minimi 0.58, maksimi 2.25), lyhyen aikavälin hintajoustojen aritmeettiseksi keskiarvoksi -0.17 ja pitkän aikavälin hintajoustojen aritmeettiseksi keskiarvoksi -0.68 (minimi -0.18, maksimi -1.68). Suomelle hän saa tuotantojouston arvoksi 0.58, lyhyen aikavälin hintajoustoksi -0.24 ja pitkän aikavälin hintajoustoksi -0.97. Tässä yhtälössä jäännökset ovat kuitenkin positiivisesti autokorreloituneita.<sup>33</sup>

Mittlestädtin Suomen aineistosta saamia tuloksia on hieman vaikea verrata tässä tutkielmassa saatuihin tuloksiin kahdesta-

---

<sup>32</sup>Aritmeettinen keskiarvo ei ole välttämättä paras suure kuvaamaan "keskimääräistä" joustoa.

<sup>33</sup>NORDHAUSIN (1977) tutkimus on hyvin samankaltainen kuin Mittlestädtin tutkimus. Aineisto käsittää 7 OECD-maata, vuodet 1955 - 1972. Hänkin estimoi koko talouden ja sen eri sektoreiden kysyntäyhtälöitä. Nordhausin tulokset eivät oleellisesti poikkea Mittlestädtin tuloksista.

kin syystä. Ensinnäkin hänen käyttämänsä aineisto on osittain tuntematonta<sup>34</sup> ja estimointiperiodi poikkeaa tässä tutkielmassa käytetystä periodista. Toiseksi Mittlestädtin lähestymistapa poikkeaa tässä tutkielmassa käytetystä. Niinpä vertailun vuoksi estimointiin joitakin koko energian kysyntäyhtälöitä käyttäen tavallista log-lineaarista kysyntäfunktiota.<sup>35</sup> Tulokset on esitetty liitteessä 3. Pitkän aikavälin jousto "tuotannon" suhteen olisi näiden mallien mukaan hieman suurempi kuin yksi sekä hintajousto noin -0.5. Molemmat ovat lähellä Mittlestädtin tulosten maittaisia keskiarvoja (ks. taulu 10). Ne poikkeavat kuitenkin huomattavasti Mittlestädtin saamista Suomea koskevista tuloksista. Liitteessä 3 esitetyt spesifikaatiot ovat kuitenkin kaikki epästabilleja. Mittlestädt ei ole tutkinut malliensa stabiilisuutta ajassa.

## 6.2 Moniyhtälömallit

Toisessa luvussa tarkasteltiin jo 16 empiirisessä tutkimuksessa saatuja kvalitatiivisia tuloksia teollisuuden aggregaattipanosten välillä. Ainoastaan kolmessa ensimmäisessä taulukossa 1 esitettyssä tutkimuksessa kaikki aggregaattipanokset ovat toistensa substituutteja. Yhteistä näille kolmelle tutkimukselle on se, että niissä on käytetty yhdistettyä kansainvälistä aikasarja-poikkileikkausaineistoa. Näiden tulosten on usein tulkittu kuvaavan pitkän aikavälin substituutiomahdollisuuksia. Muissa taulukossa 1 esitettyissä tutkimuksissa tulokset eivät ole näin yhtenäisiä. Niinpä taulukkoon 8 on koottu ainoastaan näissä kolmessa tutkimuksessa saatuja substituutiojoustojen arvoja.

---

<sup>34</sup>Jostakin syystä OECD:n käyttämä aineisto poikkeaa kaupp- ja teollisuusministeriön energiatilastoissa julkaistusta aineistosta. Mahdollisena syynä voi olla eri hyötysuhteiden käyttäminen eri energialähteitä yhteismitalliseksi muutettaessa.

<sup>35</sup>Huomaa, että Mittlestädin kysyntäyhtälöissä energian tuotantojousto on lyhyellä ja pitkällä aikavälillä yhtä suuri. Liitteessä 3 esitettyissä täsmennyksissä 3 ja 4 ne kuitenkin eroavat toisistaan.

Substituutiojoustojen keskiarvot ovat kaikissa kolmessa tutkimuksessa aika lähellä arvoa yksi. Ne voivat kuitenkin vaihdella huomattavasti maasta toiseen. Taulukossa 8 esitettyjen substituutiojoustojen perusteella ei voida myöskään tehdä ehdottomia johtopäätöksiä siitä, onko energia-aggregaatin substituutiojousto pääoman kanssa suurempi, pienempi vai kutakuinkin yhtä suuri kuin työn kanssa. Taulukossa 8 raportoitujen tulosten perusteella luvussa 5 saatua pitkän aikavälin substituutiojoustojen arvoa 0.5 energia-aggregaatin ja reaalisen arvonlisäyksen (työn ja pääoman muodostaman aggregaatin) välillä voidaan pitää järkevänä.

#### TAULUKKO 8

Energian ja pääoman ( $\rho_{EK}$ ) sekä energian ja työn ( $\rho_{EL}$ ) välisten substituutiojoustojen arvoja eräissä tutkimuksissa

tutkimus	$\bar{\rho}_{EK}$	$\min(\rho_{EK})$	$\max(\bar{\rho}_{EK})$	$\bar{\rho}_{EL}$	$\min(\rho_{EL})$	$\max(\rho_{EL})$
Griffin & Gregory <sup>1</sup>	1.04	1.02	1.07	0.83	0.78	0.87
Pindyck <sup>2</sup>	0.80	0.56	1.77	0.96	0.05	1.23
Özatalay ym. <sup>3</sup>	1.22	1.15	1.22	1.03	1.03	1.05

$\bar{\rho}$  = substituutiojoustojen aritmeettinen keskiarvo

$\min(\cdot)$  = substituutiojoustojen minimi

$\max(\cdot)$  = substituutiojoustojen maksimi

<sup>1</sup>Taulu 2.

<sup>2</sup>Taulu 4.

<sup>3</sup>Taulut 1 ja 2 (raportoitu vain 3 maalle 7:stä).

Taulukossa 1 esitetyissä Pindyckin, Fussin (1977), Turnovskyn ym., Longvan ja Olsenin sekä Wiben (1983 b) tutkimuksissa energia-aggregaatti on jaettu eri komponentteihin. Erillisiä tutkimuksia eri energialähteiden välisistä suhteista teollisuudessa ovat tehneet ainakin Halvorsen (1977), Uri (1979) sekä

Hall. Eri tutkimuksissa disaggregointi kuitenkin vaihtelee. Samoin vaihtelevat tulokset eri energialähteiden välisistä substituutiomahdollisuuksista. Ainoastaan Uri, Fuss ja Wibe saavat tulokseksi, että eri energialähteet ovat toistensa substituutteja. Muiden tutkimusten mukaan jotkin energialähteet voivat olla myös toistensa komplementteja.

Ainoastan Longvan ja Olsenin<sup>36</sup> sekä Wiben tutkimuksissa energia-aggreaatti on jaettu sähköön ja polttoaineisiin kuten tässäkin tutkielmassa. Käyttäen poikkileikkausaineistoa Ruotsin koneteollisuudessa vuodelta 1979 Wibe saa sähköön ja polttoaineiden väliseksi substituutiojoustoksi 12.16. Longvan ja Olsenin tutkimuksessa sähköön ja polttoaineiden välisten substituutiojoustojen keskiarvoksi 15 toimialan substituutiojoustoista Norjan teollisuudessa saadaan noin 0.65. Korkein substituutiojousto, 1.85, oli juoma- ja tupakkateollisuudessa. Ainoastaan kemikaaleja valmistavassa teollisuudessa sähkö ja polttoaineet olivat selvästi toistensa komplementteja. Longvan ja Olsenin tutkimuksen valossa Wiben saama substituutiojouston arvo tuntuu liian suurelta. Tässä tutkielmassa sähköön ja polttoaineiden väliseksi pitkän aikavälin substituutiojoustoksi saatiin noin 0.4, mikä tuntuu varsin kohtuulliselta arviolta verrattuna Longvan ja Olsenin saamiin tuloksiin.

---

<sup>36</sup>Ks. teoksessa BJERKHOLT ym. esitettyä versiota.

## 7 LOPUKSI

Tässä tutkielmassa on tarkasteltu tekijöitä, jotka ovat vaikuttaneet teollisuuden energian kysyntään Suomessa vuosina 1960 - 1982. Työn teoreettinen kehikko rakennettiin luvuissa 2 ja 3. Toisessa luvussa tarkasteltiin eräitä empiirisiä tutkimuksia, joissa on tutkittu panosten välisiä suhteita teollisuudessa. Suurin erimielisyys tutkijoiden kesken vallitsee energian ja pääoman välisestä suhteesta: joidenkin mielestä ne ovat toistensa substituutteja, toisten mielestä ne ovat taas komplementteja. Muita tuotannontekijöitä pidetään yleensä toistensa substituutteina. Erimielisyyksiin voidaan löytää useita syitä: käytetty aineisto, estimointimenetelmä, funktioiden spesifiointi, aggregointitaso, separoituvuusoletukset ym. Ainakin pitkällä aikavälillä panoksia voidaan pitää toistensa substituutteina.

Kolmannessa luvussa tarkasteltiin tiettyä teollisuuden tuotantoteknologian kuvausta. Teollisuuden tuotantoteknologiaa kuvattiin ns. kaksitasoisen CES-tuotantofunktion avulla, jossa energiapanos on separoituva työn ja pääoman muodostamasta aggregaatista, reaalisesta arvonlisäyksestä. Tämä oletus ei ole ristiriidassa yleisen käytännön kanssa. Tekninen kehitys spesifioitiin yleiseen ns. factor augmenting -muotoon. Tässä kehikossa johdettiin energia-aggregaatin (energia-aggregaatin ja reaalisesta arvonlisäyksen suhteen) sekä eri energialähteiden kysyntäfunktiot.

Tutkielmassa käytetty aineisto on esitetty luvussa 4. Suomessa energiatilastot eivät ole kovin hyvät varsinkaan ekonometrasta tutkimustyötä ajatellen. Erityisesti energialähteiden hinnoista on vaikea saada tietoja. Myös osa käytetyistä energiamääristä

jouduttiin itse arvioimaan. Empiiristä analyysia varten energia-aggregaatti voitiinkin jakaa vain kahteen komponenttiin: sähköön ja polttoaineisiin.

Varsinainen empiirinen analyysi on suoritettu luvussa 5. Empiiristä analyysia varten 3. luvussa suoritettua staattista tarkastelua jouduttiin täsmentämään. Staattisten kysyntäfunktioiden dynamisointi tehtiin käyttämällä hyväksi osittaisen sopeutumisen mallia sekä erilaisia hypoteeseja hintaodotusten muodostumistavoista. Estimoitavat yhtälöt on johdettu liitteessä 2. Yhtälöt estimoitiin tavallisella pienimmän neliösumman menetelmällä. Erityistä huomiota kiinnitettiin regressiomallien stabiilisuuteen ajassa.

Mitä suurempia panosten väliset substituutiomahdollisuudet ovat, sitä helpommin talous pystyy suojautumaan energian hintojen muutoksilta. Tässä tutkielmassa pitkän aikavälin substituutiojoustoksi energia-aggregaatin ja reaalisen arvonlisäyksen välillä saatiin noin 0.5 sekä sähkön ja polttoaineiden välillä noin 0.4. Nämä tulokset ovat sopusoinnussa eräiden muissa maissa tehtyjen tutkimusten kanssa. Hitaan sopeutumisen johdosta lyhyen aikavälin substituutiojoustot ovat selvästi alhaisempia. Näitä tuloksia voidaan tulkita esimerkiksi siten, että energian reaalihinnan 10 prosentin korotus, ceteris paribus, alentaa talouden energiaintensiteettiä pitkällä aikavälillä noin 5 %. Vastaavasti sähkön hinnan 10 prosentin alennus suhteessa polttoaineiden hintaan nostaa sähkön ja polttoaineiden kulutuksen suhdetta pitkällä aikavälillä noin 4 %. Sopeutuminen optimiin ei kuitenkaan tapahdu välittömästi.

Energia-aggregaatin sisällä tekninen kehitys näyttää olleen tarkasteluperiodilla Hicks-neutraalia. Joidenkin täsmennysten mukaan tekninen kehitys energia-aggregaatin ja reaalisen arvonlisäyksen välillä olisi ollut energiaa käyttävää. Evidenssi ei kuitenkaan ole kiistatonta eikä käytetyn estimointimenetelmän johdosta teknisen kehityksen neutraalisuutta päästy suoraan

testaamaan. Käytetyistä odotushypoteeseista toimi staattisten odotusten malli suhteellisille hinnoille ehkä parhaiten.

Ehkä mielenkiintoisin havainto empiirisessä analyysissä oli estimoitujen kysyntäfunktioiden epästabiilisuus. Epästabiilisuuden syitä ei kuitenkaan tässä pystytty ratkaisemaan. Yritysten toimintaympäristössä tapahtui kuitenkin 70-luvulla huomattavia muutoksia. Energian hinta suhteessa työn ja pääoman hintaan kohosi voimakkaasti ja hintaepävarmuus lisääntyi. Ensimmäisen öljykriisin aikana myös energian saatavuuteen liittyi epävarmuutta. Voi olla, että ympäristössä tapahtuneiden muutosten havaitseminen on muuttanut yritysten käyttäytymistä siten, että ne pyrkivät entistä paremmin hallitsemaan panosten hintoihin ja saatavuuteen liittyviä epävarmuustekijöitä. Mahdollisesti aggregaattipanosten sekä eri energialähteiden väliset substituutiojoustot eivät ole pysyneet vakioina ajassa. Samoin sopeutumismisnopeuksissa on voinut tapahtua muutoksia. Niinpä tässä esitettyä analyysia ja tuloksia tuleekin pitää alustavina.

Vastaisuudessa tarkastelua tulee laajentaa sekä teoreettiseen että empiiriseen suuntaan. Panosten väliset substituutiomahdollisuudet voivat vaihdella huomattavasti toimialoittain. Energia-aggregaatin disaggregointia tulisi myös laajentaa. Vaikka tässä tutkielmassa saatiinkin tulokseksi, että sähkön ja polttoaineiden välinen pitkän aikavälin substituutiojousto on vain noin 0.4, mahdollisuudet eri polttoaineiden väliseen substituutioon voivat silti olla huomattavasti suuremmat. Suurin ongelma empiirisessä analyysissä on kuitenkin sopivan aineiston puuttuminen.

Keskeisin ongelma, johon myöhemmin tulisi pureutua, on energian kysyntäfunktioiden epästabiilisuus. Tätä haastetta voidaan lähestyä ainakin kahdella tavalla. Yhtenä mahdollisuutena olisi yrittää selvittää ekonometrisin menetelmin, mistä epästabiilisuus johtuu. Tätä voitaisiin yrittää hahmottaa esimerkiksi



dummy-muuttujien avulla tai parametrisoimalla malleja jotenkin muuten uudelleen. Rekursiivisen regressioanalyysin tuottamista parametriestimaateista voisi myös olla apua. Suurimpana ongelmana on kuitenkin se, että on hyvin vaikea a priori päätellä, miten esimerkiksi hintaepävarmuuden lisääntyminen vaikuttaa substituutiojoustoisiin tai sopeutumismopeuksiin. Lisäksi käytettävissä olevan aineiston pitäisi olla kattavampi. Toisena mahdollisuutena olisi teoreettisen viitekehyksen laajentaminen. Keskeisiksi kysymyksiksi yritysten dynaamisessa käyttäytymisessä nousevat tällöin odotusten muodostuminen, suhtautuminen riskiin ja sopeutumiskustannukset. Tätä voidaan ehkä pitää luotettavampana tienä kuin puhdasta empiiristä lähestymistapaa.

## LÄHTEET

ALLEN, R.G.D. (1947) Mathematical Analysis for Economists. MacMillan and Co., Limited, London.

ARROW, KENNETH J. (1974) The Measurement of Real Value Added. Nations and Households in Economic Growth (ed. Paul A. David & Melvyn W. Reder), Academic Press, New York, s. 3 - 19.

ARROW, K.J., CHENERY, H.B., MINHAS, B.S. ja SOLOW, R.M. (1961) Capital - Labour Substitution and Economic Efficiency. Review of Economics and Statistics, s. 225 - 250.

ASPLUND, RITA (1983) Household Electricity Demand in Finland, An Empirical Investigation for the Years 1975 - 1981. Kansantaloustieteen lisensiaattitutkimus, Helsingin yliopisto.

BEGG, DAVID K.H. (1982) The Rational Expectations Revolution in Macroeconomics. Philip Allan.

BERGMAN, LARS (1977) Energy and Economic Growth in Sweden, An analysis of Historical Trends and Present Choices. Ekonomiska Forskningsinstitut vid Handelshögskolan i Stockholm.

BERNDT, ERNST R. ja CHRISTENSEN, LAURITS R. (1973) The International Structure of Functional Relationships: Separability, Substitution, and Aggregation. Review of Economic Studies, s. 403 - 410.

BERNDT, ERNST R., MORRISON, CATHERINE J. ja WATKINS, G. CAMPBELL (1980) Dynamic Models of Energy Demand: An Assessment and Comparison. University of British Columbia, Resources Paper No. 49.

BERNDT, ERNST R. ja WOOD, DAVID O. (1975) Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy. Review of Economics and Statistics, s. 259 - 268.

BERNDT, ERNST R. ja WOOD, DAVID O. (1979) Engineering and Econometric Interpretations of Energy - Capital Complementary. American Economic Review, s. 342 - 354.

BJERKHOLT, OLAV, LONGVA, SVEIN, OLSEN, ØYSTEIN ja STRØM, STEINAR (ED., 1983) Analysis of Supply and Demand of Electricity in the Norwegian Economy. Central Bureau of Statistics of Norway.

BROWN, MURRAY ja DE CANI, JOHN S. (1963) Technological Change and the Distribution of Income. International Economic Review, s. 289 - 309.

BROWN, R.L., DURBIN, J. ja EVANS, J.M. (1975) Techniques for Testing the Constancy of Regression Relationships over Time (with discussion). Journal of the Royal Statistical Society, s. 149 - 192.

BRUNO, MICHAEL ja SACHS, JEFFREY (1982) Input Price Shocks and the Slowdown in the Economic Growth: the Case of U.K. Manufacturing. Review of Economic Studies, s. 679 - 705.

CHOW, GREGORY C. (1960) Tests of Equality between Sets of Coefficients in Two Linear Regressions. Econometrica, s. 591 - 605.

CHRISTENSEN, LAURITS R., JORGENSON, DALE W. ja LAU, LAWRENCE J. (1971) Conjugate Duality and the Transcendental Logarithmic Function (abstract). Econometrica, s. 255 - 256.

CHRISTENSEN, LAURITS R., JORGENSON, DALE W. ja LAU, LAWRENCE J. (1971) Transcendental Logarithmic Production Frontiers. Review of Economics and Statistics, s. 28 - 45.

COBB, CHARLES W. ja DOUGLAS, PAUL H. (1928) A Theory of Production. American Economic Review, s. 139 - 172.

CONRAD, KLAUS (1983) Costs, Prices and Partially Fixed Factor Proportions in Energy Substitution. European Economic Review, s. 299 - 312.

DARGAY, JOYCE M. (1983) The Demand for Energy in Swedish Manufacturing Industries. Scandinavian Journal of Economics, s. 37 - 51.

DENNY, M., MAY, J.D. ja PINTO, C. (1978) The Demand for Energy in Swedish Manufacturing Industries. Scandinavian Journal of Economics, s. 300 - 313.

DIEWERT, W.E. (1971) An Application of the Shephard Duality Theorem: A Generalized Leontief Production Function. Journal of Political Economy, s. 481 - 507.

DOUGLAS, PAUL H. (1948) Are There Laws of Production? American Economic Review, s. 1 - 41.

DOUGLAS, PAUL H. (1967) Comments on the Cobb-Douglas Production Function. The Theory and Empirical Analysis of Production (ed. Murray Brown), National Bureau of Economic Research, s. 15 - 22.

DOUGLAS, PAUL H. (1976) The Cobb-Douglas Production Function Once Again: Its History, Its Testing, and Some New Empirical Values. Journal of Political Economy, s. 903 - 915.

EDEN, RICHARD, POSNER, MICHAEL, BENDING, RICHARD, CROUCH, EDMUND ja STANISLAW, JOE (1982) Energy Economics. Growth, Resources and Policies. Cambridge University Press.

FIELD, BARRY C. ja GREBENSTEIN, CHARLES (1980) Capital - Energy Substitution in U.S. Manufacturing. Review of Economics and Statistics, s. 207 - 212.

FISHER, FRANKLIN M. (1969) The Existence of Aggregate Production Functions. Econometrica, s. 553 - 577.

FUSS, MELVYN A. (1977) The Demand for Energy in Canadian Manufacturing. Journal of Econometrics, s. 89 - 116.

FUSS, MELVYN, MCFADDEN, DANIEL ja MUNDLAK, YAIR (1978) A Survey of Functional Forms in the Economic Analysis of Production. Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications, Volume 1 (ed. M. Fuss & D. McFadden), North-Holland Publishing Company, Amsterdam, New York, Oxford, s. 219 - 268.

GRIFFIN, JAMES M. ja GREGORY, PAUL R. (1976) An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses. American Economic Review, s. 845 - 857.

GRILICHES, Z. ja RINGSTAD, V. (1971) Economies of Scale and the Form of the Production Function: An Econometric Study of the Norwegian Manufacturing Establishment Data, North-Holland Publishing Company, Amsterdam, London.

HALL, V.B. (1983) Industrial Sector Interfuel Substitution Following the First Major Oil Shock. Economic Letters, s. 377 - 382.

HALVORSEN, ROBERT (1977) Energy Substitution in U.S. Manufacturing. The Review of Economics and Statistics, s. 381 - 388.

HATANAKA, MICHIO (1974) An Efficient Two-Step Estimator for the Dynamic Adjustment Model with Autoregressive Errors. Journal of Econometrics, s. 199 - 220.

HARVEY, A.C. (1982) The Econometric Analysis of Time Series. Philip Allan.

HICKMAN, BERT G. (1979) Energy in National Models. A Paper Presented for the Eleventh Annual Meeting of Project LINK, Helsinki.

HIRVONEN, JUHANI ja HJERPPE, RIITTA (1984) Taloudellinen kasvu Suomessa 1880 - 1980. Sata vuotta suomalaista kansantaloustiedettä (toim. H. Koskenkylä & J. Pekkarinen & A. Räikkönen & P. Vartia), Vammala, s. 141 - 175.

HUDSON, EDWARD A. ja JORGENSON, DALE W. (1974) U.S. Energy Policy and Economic Growth, 1975 - 2000. Bell Journal of Economics and Management Science, s. 461 - 514.

HUUSKONEN, OLAVI (1973) Energiakulutuseennusteiden ongelmista. Kansantaloustieteen pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto.

JAAKONAHO, MAURI (1973) Suomen sähköenergian kokonaiskulutusta ja sen ennakointia koskeva empiirinen tutkimus, Suomen Pankki, D:32.

KORPELA, TIMO (1981) Suomen energiatalouden kokonaismallit, Esitutkimus. SITRA, Sarja A, n:o 68.

LONGVA, SVEIN ja OLSEN, ØYSTEIN (1983) Price Sensitivity of Energy Demand in Norwegian Industries. Scandinavian Journal of Economics, s. 17 - 36.

MAGNUS, JAN R. (1979) Substitution between Energy and Non-Energy Inputs in the Netherlands 1950 - 1976. International Economic Review, s. 465 - 484.

MALINVAUD, E. (1970) Statistical Methods of Econometrics. North-Holland Publishing Company, Amsterdam, London.

MITTLESTÄDT, AXEL (1983) Use of Demand Elasticities in Estimating Energy Demand. OECD, Economics and Statistics Department, Working Paper No. 1.

MORK, KNUT A. (1978) The Aggregate Demand for Primary Energy in the Short and Long Run for the U.S. 1949 - 75. MIT, Energy Laboratory, Report No. MIT-EL 78-007WP.

MUKERJI, V. (1963) A Generalized S.M.A.C. Function with Constant Ratios of Elasticity of Substitution. Review of Economic Studies, s. 233 - 236.

MÄENPÄÄ, ILMO, VIITANEN, MIKKO ja ALIKOSKI, RISTO (1983) Energiatalouden ja kokonaistalouden vuorovaikutus. Kauppa- ja teollisuusministeriö, Energiaosasto, Sarja B:27.

NADIRI, M. ISHAQ (1982) Producers Theory. Handbook of Mathematical Economics, Vol. 2 (ed. K.J. Arrow & M.D. Intriligator), North-Holland Publishing Company, s. 431 - 490.

NORDHAUS, WILLIAM D. (1977) The Demand for Energy: An International Perspective. International Studies of the Demand for Energy (ed. William D. Nordhaus), North-Holland Publishing Company, s. 239 - 285.

- PIDNYCK, ROBERT S. (1979) Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: An International Comparison. Review of Economics and Statistics, s. 169 - 179.
- PIKKARAINEN, PENTTI (1984) CUSUM- ja CUSUMSQ-testistä. Simulointikokeita stokastisten differenssiyhtälöiden tapauksessa. Suomen Pankki, tutkimusosasto, TU 12/84.
- PLOSSER, CHARLES I., SCHWERT, G. ja WHITE, HALBERT (1982) Differencing as a Test of Specification. International Economic Review, s. 535 - 552.
- RASCHE, ROBERT H. ja TATOM, JOHN A. (1977) Energy Resources and Potential GNP. Federal Reserve Bank of St. Louis, June, s. 10 - 24.
- ROGNER, HANS-HOLGER (1982) A Long-Term Macroeconomic Model for the European Community. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- SALONEN, ILKKA (1981) Teknisen kehityksen mittaamisesta tuotantofunktion avulla ja sovellutus Suomen kansantalouteen. Suomen Pankki, D:51.
- SATO, K. (1967) A Two-Level Constant-Elasticity-of-Substitution Production Function. Review of Economic Studies, s. 201 - 218.
- SHEININ, YAKOV (1981) Wharton Mini Growth Model of the U.S. Economy. Wharton Econometric Forecasting Associates.
- SOHLMAN, ÅSA M. (ED., 1983) Energy Demand Analysis. Report from the French-Swedish Energy Conference, Stockholm, 30th June - 2nd July, 1982.



SOLOW, ROBERT M. (1967) Some Recent Developments in the Theory of Production. The Theory and Empirical Analysis of Production (ed. Murray Brown), National Bureau of Economic Research, s. 25 - 53.

TARKKA, HELENA (1979) Potentiaalisen tuotannon käsite ja mittaaminen neljässä pohjoismaassa. Kansantaloustieteen pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto.

TARKKA, HELENA (1983) Factor Proportions and Technical Change in Finnish Manufacturing. Taloudellinen suunnittelukeskus, Helsinki, Raportti n:o 8.

TUOVINEN, MARJA (1979) Inflaatio-odotusten mittaamisesta ja erään inflaatio-odotussarjan optimaalisuudesta. Suomen Pankki, D:44.

TURNOVSKY, MICHELLE, FOLIE, MICHAEL ja ULPH, ALISTAIR (1982) Factor Substitutability in Australian Manufacturing with Emphasis on Energy Inputs. Economic Record, s. 61 - 72.

TÖRNQVIST, LEO (1974) Aikasarjojen konstruointi (toim. Anitta Kautio-Toikka). Oy Gaudeamus Ab.

URI, NOEL D. (1979) Energy Demand and Interfuel Substitution in India. European Economic Review, s. 181 - 190.

UZAWA, Z. (1962) Production Functions with Constant Elasticities of Substitution. Review of Economic Studies, s. 291 - 299.

VARIAN, HAL R. (1978) Microeconomic Analysis. W.W. Norton & Company, Inc., New York, London.

WIBE, SÖREN (1983 a) Engineering Production Functions - A Survey. Umeå Economic Studies No. 127.

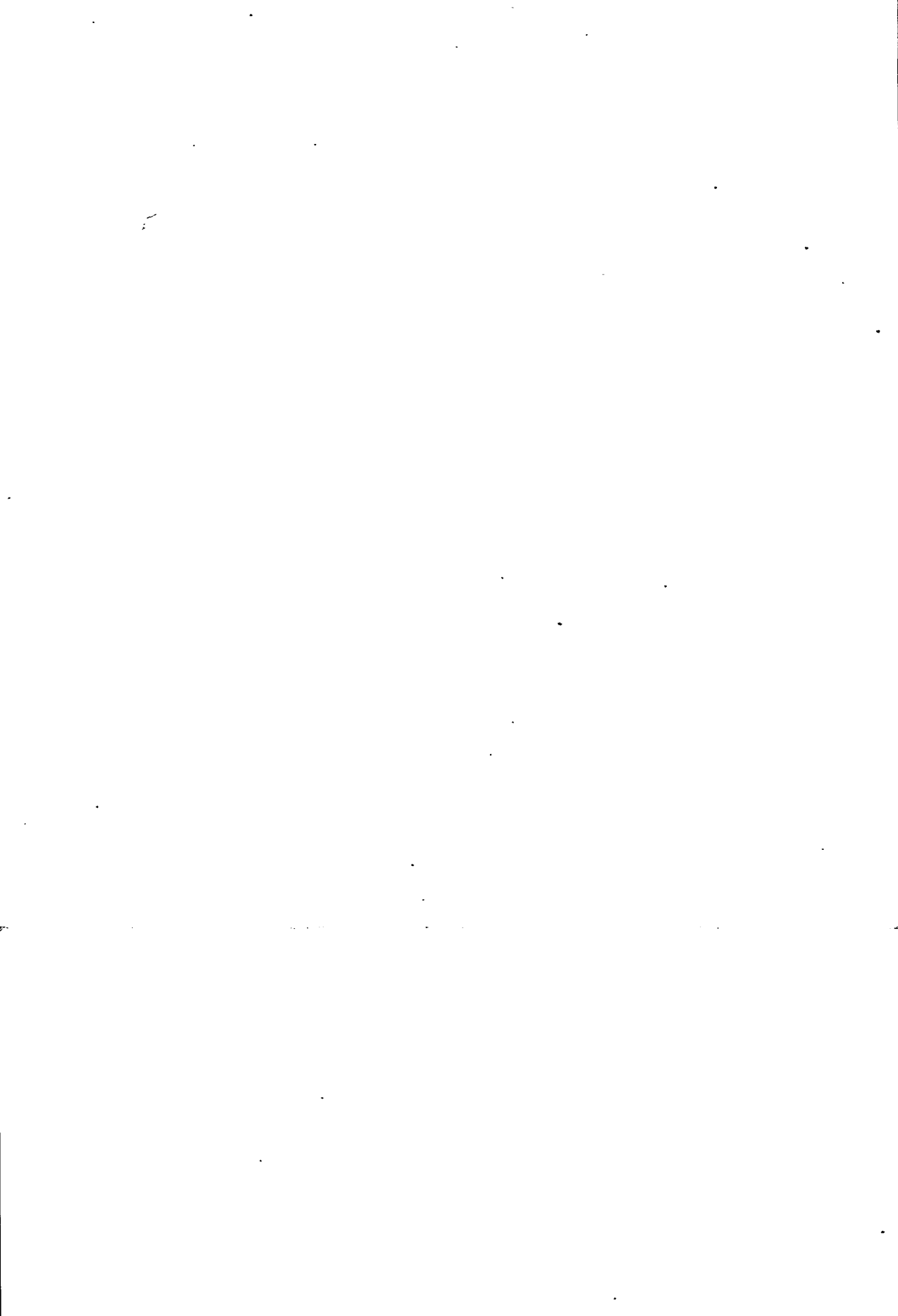
WIBE, SÖREN (1983 b) Substitution and Complementary in the Machine-Making Industry. Umeå Economic Studies No. 132.

ÖZATALAY, SAVAS, GRUBAUGH, STEPHEN ja LONG, THOMAS V. (1979) Energy Substitution and National Energy Policy. American Economic Review, s. 369 - 371.

Tilastot:

Kansantalouden tilinpito, Tilastokeskus.

Energiatilastot 1982, kauppaja teollisuusministeriö.



## TUTKIELMASSA KÄYTETTY AINEISTO

Käytetyt symbolit ovat seuraavat:

- FU1 = kevyen polttoöljyn kulutus, mtoe<sup>1</sup>  
 FU2 = raskaan polttoöljyn kulutus, mtoe  
 FU3 = nestekaasun kulutus, mtoe  
 FU4 = teollisuusbensinän kulutus, mtoe  
 FU5 = jäteöljyn kulutus, mtoe  
 FU6 = jalostamokaasujen kulutus, mtoe  
 FU7 = hiilen kulutus, mtoe  
 FU8 = maakaasun kulutus, mtoe  
 FU9 = kaupunkikaasun kulutus, mtoe  
 FU10 = masuunikaasun kulutus, mtoe  
 FU11 = jätelämmön kulutus, mtoe  
 FU12 = jätelipeän kulutus, mtoe  
 FU13 = jätepuun, hakkeen ym. kulutus, mtoe  
 FU14 = polttoturpeen kulutus, mtoe  
 FU = polttoaineiden kulutus yhteensä, mtoe  
 EL = sähkön kulutus, mtoe  
 E = energian loppukulutus, mtoe
- PFU1 = kevyen polttoöljyn hinta, 1960 = 1.00  
 PFU2 = raskaan polttoöljyn hinta, 1960 = 1.00  
 PFU7 = hiilen hinta, 1960 = 1.00  
 PFU8 = maakaasun hinta, 1980 = 1.00  
 PFU = polttoaineiden hinta, 1960 = 1.00  
 PEL = sähkön hinta, 1960 = 1.00  
 PE = koko energian hintaindeksi, 1960 = 1.00
- V = teollisuuden arvonlisäys, th, 1975-mmk  
 PV = teollisuuden arvonlisäyksen hinta, 1960 = 1.00

---

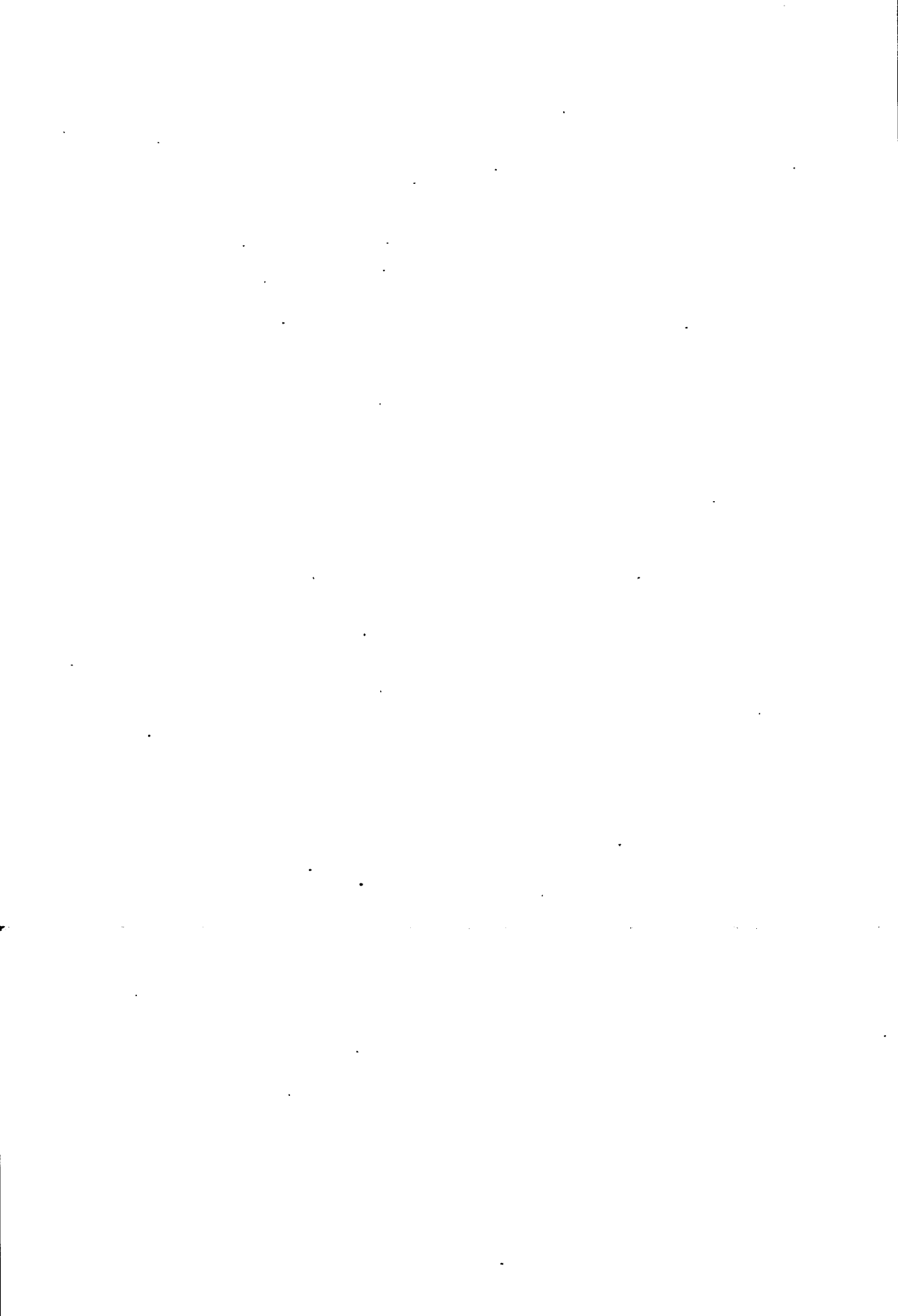
<sup>1</sup>Miljoonaa ekvivalenttista öljytonnia.

	FU1	FU2	FU3	FU4	FU5	FU6	FU7
1960	0.124	0.514	0.003	0.002	0.000	0.000	0.249
1961	0.141	0.471	0.004	0.005	0.000	0.000	0.270
1962	0.159	0.513	0.007	0.004	0.000	0.000	0.282
1963	0.177	0.749	0.008	0.005	0.000	0.000	0.292
1964	0.194	1.041	0.009	0.005	0.000	0.000	0.311
1965	0.212	1.209	0.012	0.005	0.000	0.000	0.328
1966	0.230	1.452	0.013	0.005	0.000	0.000	0.343
1967	0.247	1.511	0.018	0.006	0.000	0.000	0.355
1968	0.292	1.639	0.020	0.030	0.000	0.000	0.369
1969	0.333	2.438	0.022	0.069	0.000	0.000	0.413
1970	0.379	2.626	0.027	0.058	0.000	0.000	0.455
1971	0.367	2.763	0.028	0.033	0.005	0.009	0.488
1972	0.478	3.161	0.039	0.036	0.006	0.108	0.587
1973	0.355	3.505	0.022	0.046	0.008	0.073	0.684
1974	0.389	2.830	0.048	0.036	0.009	0.152	0.793
1975	0.403	2.470	0.040	0.010	0.010	0.108	0.600
1976	0.480	2.640	0.033	0.002	0.011	0.161	0.547
1977	0.448	2.450	0.064	0.008	0.007	0.172	0.624
1978	0.458	2.430	0.069	0.011	0.010	0.148	0.605
1979	0.464	2.380	0.073	0.005	0.010	0.193	0.629
1980	0.434	2.239	0.078	0.004	0.010	0.170	0.709
1981	0.420	2.190	0.083	0.002	0.010	0.178	0.776
1982	0.401	1.975	0.088	0.002	0.010	0.151	0.771

	FU8	FU9	FU10	FU11	FU12	FU13	FU14
1960	0.000	0.006	0.015	0.009	0.690	0.757	0.015
1961	0.000	0.006	0.015	0.011	0.818	0.720	0.015
1962	0.000	0.007	0.035	0.014	0.868	0.681	0.015
1963	0.000	0.007	0.039	0.060	0.966	0.675	0.015
1964	0.000	0.007	0.081	0.083	1.075	0.659	0.015
1965	0.000	0.007	0.140	0.098	1.153	0.623	0.015
1966	0.000	0.007	0.134	0.100	1.183	0.613	0.015
1967	0.000	0.008	0.154	0.108	1.242	0.504	0.015
1968	0.000	0.008	0.144	0.118	1.291	0.516	0.015
1969	0.000	0.006	0.156	0.113	1.370	0.528	0.015
1970	0.000	0.006	0.150	0.119	1.360	0.480	0.015
1971	0.000	0.006	0.140	0.131	1.310	0.549	0.015
1972	0.000	0.006	0.163	0.154	1.363	0.495	0.009
1973	0.000	0.005	0.186	0.165	1.399	0.734	0.017
1974	0.394	0.005	0.173	0.157	1.387	0.454	0.013
1975	0.497	0.005	0.176	0.173	1.160	0.358	0.004
1976	0.609	0.004	0.184	0.156	1.203	0.309	0.030
1977	0.572	0.004	0.227	0.114	1.125	0.400	0.036
1978	0.598	0.004	0.251	0.088	1.327	0.481	0.109
1979	0.587	0.004	0.263	0.111	1.578	0.643	0.172
1980	0.557	0.003	0.283	0.109	1.597	0.753	0.171
1981	0.492	0.003	0.292	0.132	1.607	0.788	0.194
1982	0.487	0.003	0.252	0.127	1.448	0.735	0.222

	FU	EL	E	PFU1	PFU2	PFU7	PFU8
1960	2.38	0.56	2.70	1.00	1.00	1.00	
1961	2.48	0.67	2.90	0.98	0.97	0.98	
1962	2.59	0.73	3.06	1.01	1.00	1.00	
1963	2.99	0.75	3.44	1.01	0.92	1.03	
1964	3.46	0.82	3.74	1.00	0.90	1.06	
1965	3.80	0.89	4.31	0.94	0.82	1.00	
1966	4.09	0.96	4.64	0.99	0.88	0.95	
1967	4.16	0.99	4.74	1.10	0.95	0.98	
1968	4.44	1.05	5.05	1.35	1.18	1.18	
1969	5.46	1.16	6.08	1.70	1.16	1.18	
1970	5.74	1.22	6.43	1.75	1.18	1.26	
1971	5.84	1.32	6.58	1.75	1.61	2.12	
1972	6.60	1.49	7.43	1.80	1.62	1.79	
1973	7.20	1.61	8.09	2.18	1.85	1.77	
1974	6.82	1.62	7.76	4.12	4.59	4.00	0.47
1975	6.02	1.49	6.90	3.53	4.05	4.39	0.47
1976	6.39	1.58	7.33	3.99	4.30	4.31	0.47
1977	6.25	1.61	7.24	4.79	4.52	4.73	0.52
1978	6.58	1.76	7.77	5.29	4.93	4.89	0.54
1979	7.11	1.94	8.34	6.66	5.86	5.18	0.53
1980	7.10	2.03	8.42	10.33	6.08	6.22	0.00
1981	7.14	2.09	8.51	12.93	6.99	6.55	1.41
1982	6.67	2.02	8.03	13.41	6.31	6.04	1.38

	PFU	PEL	PE	V	PV
1960	1.00	1.00	1.00	11010	1.00
1961	0.98	1.17	1.02	12020	1.00
1962	0.96	1.21	1.01	12580	1.00
1963	0.96	1.12	1.00	13075	1.07
1964	0.96	1.07	0.98	13963	1.12
1965	0.88	1.13	0.93	14808	1.14
1966	0.92	1.09	0.96	15519	1.16
1967	0.99	1.09	1.02	15970	1.21
1968	1.22	1.08	1.19	16845	1.36
1969	1.20	1.02	1.17	19013	1.31
1970	1.23	1.03	1.20	21094	1.38
1971	1.72	1.10	1.58	21361	1.63
1972	1.69	1.29	1.61	23929	1.74
1973	1.90	1.37	1.79	25476	2.04
1974	4.13	2.21	3.55	22758	2.67
1975	3.85	2.54	3.56	25966	2.65
1976	4.05	2.68	3.75	26063	2.88
1977	4.37	3.02	4.08	25885	3.52
1978	4.71	3.18	4.38	26992	3.81
1979	5.37	3.29	4.88	29874	4.16
1980	8.30	5.91	7.07	32368	4.44
1981	11.22	9.04	9.45	33499	4.69
1982	11.44	9.12	9.63	32449	4.90



## ESTIMOITAVIEN YHTÄLÖIDEN JOHTAMINEN

Tässä liitteessä esitetään energia-aggregaatille (energia-aggregaatti per reaalin arvonlisäys) estimoitavien yhtälöiden johtaminen erilaisten käyttäytymishypoteesien tapauksissa. Täysin analogisiin malleihin päädytään sähkön ja polttoaineiden kysynnän osalta. Erityistä huomiota kiinnitetään rakennemuodon parametrien identifioitavuuteen, kun yhtälöt estimoidaan tavallisella pienimmän neliösumman menetelmällä. Estimoitaviin yhtälöihin ei ole merkitty näkyviin virhetermejä.

## A. Osittaisen sopeutumisen malli

Kolmannessa luvussa johdettiin energia-aggregaatin ja reaalin arvonlisäyksen väliseksi optimaaliseksi suhteeksi (lauseke (3.10))

$$(1) \quad \frac{E}{V} = \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right)^{-\frac{1}{1+\beta_1}} \left(\frac{PE}{PV}\right)^{-\frac{1}{1+\beta_1}} \left(\frac{e^{\epsilon_1 T}}{e^{\epsilon_2 T}}\right)^{-\frac{1}{1+\beta_1}}$$

Soveltamalla tähän osittaisen sopeutumisen mallia (5.1) ja logaritmoimalla se estimoitavaksi yhtälöksi saadaan

$$(2) \quad \log\left(\frac{E}{V}\right) = -\frac{\lambda}{1+\beta_1} \log\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right) - \frac{\lambda}{1+\beta_1} \log\left(\frac{PE}{PV}\right) - \frac{\lambda}{1+\beta_1} (\epsilon_1 - \epsilon_2) T \\ + (1-\lambda) \log\left(\frac{E}{V}\right) - 1$$

Rakennemuodon parametreista ovat identifioitavissa vain sopeutumisnopeus  $\lambda$  ja substituutiojousto  $1/(1+\beta_1)$ .



## B. Pelkät odotusmallit

Tarkastellaan seuraavaksi malleja, joissa energian kysyntä kullakin hetkellä on riippuvainen periodille odotetuista suhteellisista hinnoista. Adaptiivisten odotusten tapauksessa mallin rakennemuodon muodostavat yhtälöt (3.10) ja (5.2). Ratkaisemalla yhtälöstä (3.10) hintaodotusten lauseke, sijoittamalla tämä adaptiivisten odotusten malliin (5.2) ja logaritmoimalla lauseke saadaan estimoitavaksi yhtälöksi

$$(3) \quad \log\left(\frac{E}{V}\right) = -\frac{\eta}{1+\beta_1} \log\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right) - \frac{1-\eta}{1+\beta_1} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \\ - \frac{\eta}{1+\beta_1} \log\left(\frac{PE}{PV}\right)_{-1} - \frac{\eta}{1+\beta_1} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)_{-1} \\ + (1-\eta) \log\left(\frac{E}{V}\right)_{-1}$$

Yhtälön (3) kaksi ensimmäistä termiä muodostavat yhdessä estimoitavan yhtälön vakion. Ainoastaan adaptioparametri  $\eta$  ja substituutiojousto identifioituvat. Staattisten hintaodotusten tapauksessa  $\eta = 1$  ja yhtälön (3) viimeinen termi häviää.

Jos taloudenpitäjät muodostavat hintaodotukset ekstrapolatiivisen mallin (5.3) mukaisesti, estimoitavaksi yhtälöksi saadaan vastaavasti

$$(4) \quad \log\left(\frac{E}{V}\right) = -\frac{1}{1+\beta_1} \log\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right) - \frac{\eta_1}{1+\beta_1} \log\left(\frac{PE}{PV}\right)_{-1} \\ - \frac{\eta_2}{1+\beta_1} (\log\left(\frac{PE}{PV}\right)_{-1} - \log\left(\frac{PE}{PV}\right)_{-2}) - \frac{1}{1+\beta_1} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)_{-1}$$

Ekstrapolatiivisten odotusten tapauksessa rakennemuodon parametreista ei ole mikään identifioitavissa. Jos kuitenkin a priori oletetaan, että  $\eta_1 = 1$ , niin sekä substituutioparametri  $\beta_1$  että odotusmallin parametri  $\eta_2$  identifioituvat.

### C. Odotusmallit ja osittainen sopeutuminen

Adaptiivisten odotusten tapauksessa rakennemuodon muodostavat kysyntäyhtälö (3.10), osittaisen sopeutumisen malli (5.1) sekä odotusten muodostumista kuvaava lauseke (5.2). Sijoitetaan ensin staattinen kysyntäyhtälö (3.10) osittaisen sopeutumisen malliin (5.1) ja logaritmoidaan saatu lauseke. Ratkaisemalla tämä odotusmuuttujan suhteen ja sijoittamalla ratkaisu lausekkeeseen (5.3) saadaan estimoitavaksi yhtälöksi

$$\begin{aligned}
 (5) \quad \log\left(\frac{E}{V}\right) &= -\frac{n\lambda}{1+\beta_1} \log\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right) - \frac{(1-n)\lambda}{1+\beta_1} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \\
 &\quad - \frac{n\lambda}{1+\beta_1} \log\left(\frac{PE}{PV}\right)_{-1} - \frac{n\lambda}{1+\beta_1} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)_{-1} \\
 &\quad + (2-\lambda-n)\log\left(\frac{E}{V}\right)_{-1} + (\lambda-1+n(1-\lambda))\log\left(\frac{E}{V}\right)_{-2}
 \end{aligned}$$

Parametrit  $\lambda$  ja  $n$  voidaan yrittää identifioida kahden viimeisen termin kertoimen avulla. Tällöin saadaan kuitenkin toisen asteen yhtälö joko  $\lambda$ :lle tai  $n$ :lle ja parametrit ovat identifioitavissa vain tietyin ehdoin (nämä ehdot on helppo johtaa, joten niitä ei tässä esitetä). Tasapainossa kuitenkin  $\lambda = n = 1$ , jolloin pitkän aikavälin substituutiojousto on ratkaistavissa.

Staattisten hintaodotusten tapauksessa ( $n = 1$ ) yhtälön (5) viimeinen termi häviää. Tällöin sopeutusparametri  $\lambda$  ja substituutiojousto ovat identifioitavissa.

Ekstrapolatiivisten hintaodotusten tapauksessa mallin rakennemuodon muodostavat yhtälöt (3.10), (5.1) ja (5.3). Estimoitavaksi yhtälöksi saadaan

$$\begin{aligned}
 (6) \quad \log\left(\frac{E}{V}\right) &= -\frac{\lambda}{1+\beta_1} \log\left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2}\right) - \frac{\eta_1 \lambda}{1+\beta_1} \log\left(\frac{PE}{PV}\right)_{-1} \\
 &\quad - \frac{\eta_2 \lambda}{1+\beta_1} \left( \log\left(\frac{PE}{PV}\right)_{-1} - \log\left(\frac{PE}{PV}\right)_{-2} \right) \\
 &\quad - \frac{\lambda}{1+\beta_1} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)T + (1-\lambda) \log\left(\frac{E}{V}\right)_{-1}
 \end{aligned}$$

Ainoastaan sopeutumisnopeus  $\lambda$  voidaan välittömästi identifioida. Jos a priori oletetaan, että  $\eta_1 = 1$ , niin myös  $\beta_1$  ja  $\eta_2$  identioituvat.

Huomaa, että yhtälö (5) redusoituu yhtälöksi (3) ja yhtälö (6) yhtälöksi (4), kun  $\lambda = 1$ .

ERÄÄN AD HOC -KYSYNTÄFUNKTION ESTIMOINTITULOKSET ENERGIA-AGGREGAATISTA

tunnus	vakio	$\frac{PE}{PV}$	V	T	$E_{-1}$	$R^2$	DW h	$Q_4$	hinta- jousto	tuotanto- jousto
1	-10.573 0.330	-0.419 0.042	1.243 0.033			0.990	2.055	3.52	-0.419	1.243
2	-11.554 0.938	-0.394 0.048	1.410 0.154	-0.010 0.009		0.990	2.076	3.42	-0.394	1.410
3	-6.960 1.372	-0.325 0.052	0.822 0.159		0.335 0.124	0.991	2.326 -0.939		-0.489	1.234
4	-7.702 1.788	-0.316 0.055	0.937 0.238	-0.005 0.008	0.316 0.129	0.991	2.284 -0.836		-0.463	1.371

Kaikki muuttujat paitsi trendi T ovat logaritmuudessa. Parametriestimaattien alla olevat luvut ovat parametriestimaattien keskihajontoja. Huomaa, että selitettävänä muuttujana on  $\log(E)$  eikä  $\log(\frac{E}{V})$  kuten luvussa 5 esitetyissä malleissa.

$R^2$  = mallin selitysaste  
 DW = Durbin - Watson-testisuure  
 h = Durbinin h-testisuure  
 $Q_4$  = portmanteau-testisuure



## The Demand for Energy in Finnish Industry in 1960 - 1982

by Pentti Pikkarainen

### SUMMARY

The aim of the study is to examine the possibilities of substitution between energy and other factors of production, as well as among the various energy sources, in Finnish industry in 1960 - 1982. An econometric approach is used in the study. The neoclassical theory of production is used as the theoretical frame of reference.

First, the so-called KLEM literature is briefly reviewed. In these studies, attempts have been made to examine empirically the possibilities of substitution in industry between labour, capital, energy and raw materials. The major controversy concerns the relation between energy and capital: some writers consider that they are substitutes for each other, others that they are complements. Several reasons can be found for these divergent views: the data used, the level of aggregation, the separability assumptions, the dynamic representation etc. In the long run, inputs can be regarded as substitutes for each other, whereas, in the short run, this need not be the case.

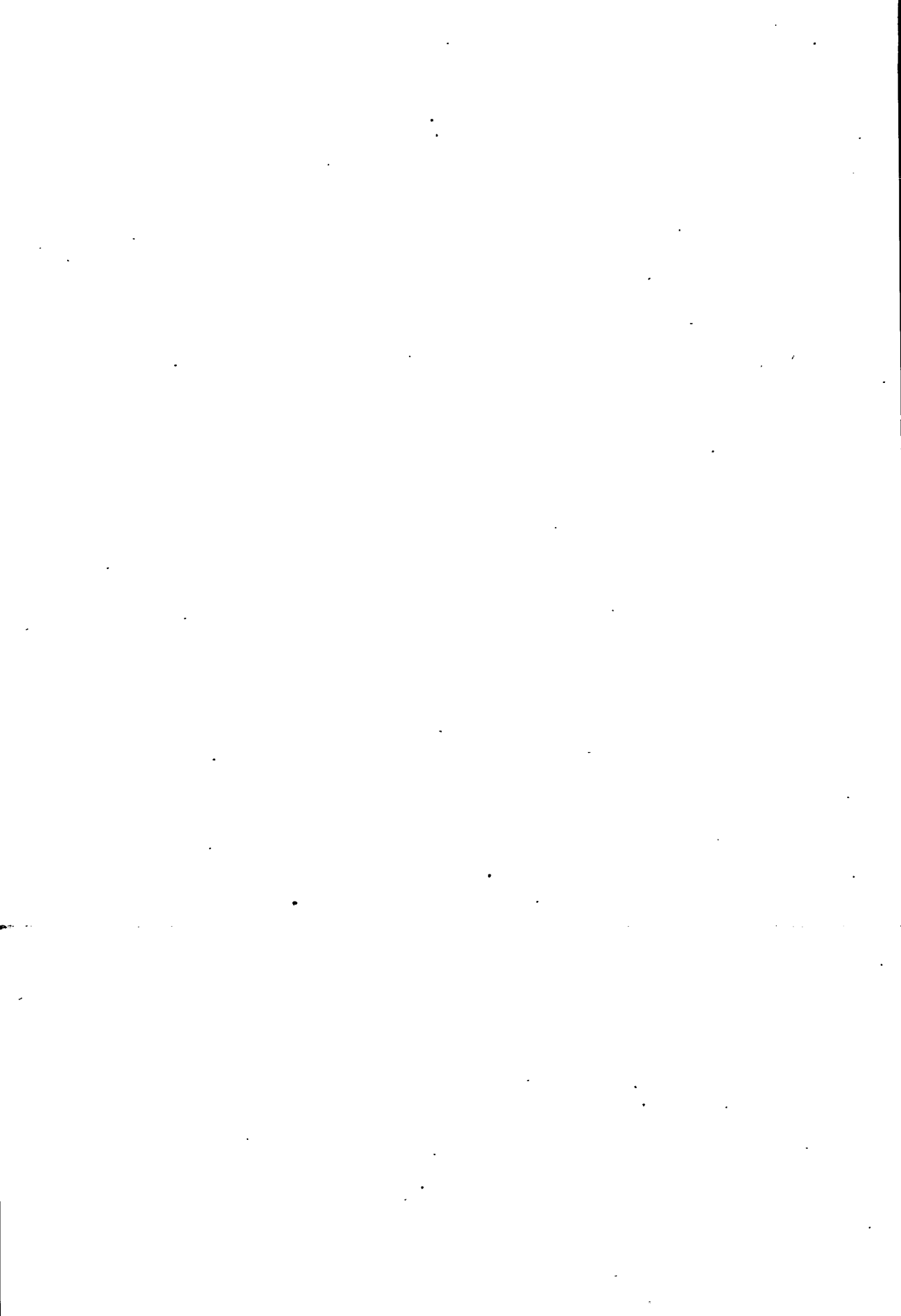
For the empirical analysis, demand functions are derived for both the energy aggregate and the various energy sources in the economy, the production technology of which is described by means of the so-called two-level CES production function. The most important assumption in the analysis is the fact that the energy aggregate can be separated from the aggregate comprising labour and capital, i.e. from the real value added.

In the empirical section of the study, the energy demand functions derived from the CES production function are estimated by using annual data on Finnish industry. The demand equations are given a dynamic representation by taking into account expectations about the prices of inputs and allowing slow adjustment to the optimum. In the 1970s, the relative prices of inputs underwent substantial changes and uncertainty over prices increased. Hence, special attention is paid to the stability of demand functions.

The long-run elasticity of substitution between the energy aggregate and the real value added (the combined input comprising labour and capital) is about 0.5 and that between electricity and fuels about 0.4. Adjustment to the optimum takes place slowly. According to certain specifications, technical development between the energy aggregate and the real value added seems to have been energy-consuming. Within the energy aggregate, technical development has been more clearly Hicks-neutral. Most of the model specifications prove unstable.







SUOMEN PANKIN JULKAISUJA

Sarja D (ISSN 0355-6042)

(N:ot 1 - 30 Suomen Pankin taloustieteellisen tutkimuslaitoksen julkaisuja, ISSN 0081-9506)

1. PERTTI KUKKONEN On the Measurement of Seasonal Variations. 1963. 11 s.
2. The Index Clause System in the Finnish Money and Capital Markets. 1964, tarkistettu laitos 1969. 15 s.
3. J.J. PAUNIO Adjustment of Prices to Wages. 1964. 15 s.
4. HEIKKI VALVANNE - JAAKKO LASSILA The Taxation of Business Enterprises and the Development of Financial Markets in Finland. 1965. 26 s.
5. MARKKU PUNTILA Likvidien varojen kysyntä ja yleisön likviditeetin kehitys Suomessa vuosina 1948-1962. 1965. 110 s.
6. J.J. PAUNIO Taloudellinen kasvu ja suhdannevaihtelut dynaamisen makrotarkastelun valossa. 1965. 117 s.
7. AHTI MOLANDER Kokonaistaloudelliseen hinta- ja palkkatasoon vaikuttavat tekijät Suomessa vuosina 1949-1962. 1965. 159 s.
8. ERKKI PIHKALA Keskinäisen taloudellisen avun neuvoston pysyvät komissiot työnjaon toteuttajina. 1965. 35 s.
9. KARI NARS Statens prispolitiska parametrar. 1965. 118 s.

10. HEIKKI VALVANNE The Framework of the Bank of Finland's Monetary Policy. 1965. 34 s.
11. JOUKO SIVANDER Ulkomaankaupan substituutiojoustojen teoriasta ja mittaamisesta. 1965. 91 s.
12. TIMO HELELÄ - PAAVO GRÖNLUND - AHTI MOLANDER Muistio palkkaneuvotteluja varten. 1965. 56 s.
13. ERKKI LAATTO Suomen ulkomaisen tavarakaupan volyymi-indeksit neljännesvuosittain vuosina 1949-1964 eräistä lyhytaikaisista vaihteluista puhdistettuina. 1965. 24 s. (Englanninkielinen tiivistelmä.)
14. DOLAT PATEL The Share of the Developing Countries in Finnish Foreign Trade. 1966. 31 s.
15. PEKKA LAHIKAINEN Tuotoksen ja työpanoksen välisen suhteen vaihteluista. 1966. 25 s.
16. HEIKKI U. ELONEN Yrityksen rahoituspääomien kysynnästä ja tarjonnasta. 1966. 88 s.
17. TIMO HELELÄ - J.J. PAUNIO Memorandum on Incomes Policy. 1967. 10 s.
18. KARI NARS Undersökning av efterfrågetrycket. 1967. 119 s.
19. KARI PUUMANEN Indeksivaateet valintakohteina. 1968. 186 s.
20. RICHARD ALAND Sijoituspankkitoiminta Yhdysvalloissa - The Investment Banking Function in the United States. 1968. 31 s.
21. TIMO HELELÄ Työnseisaukset ja teolliset suhteet Suomessa vuosina 1919-1939. 1969. 341 s. (Kahtena niteenä)

22. SIRKKA HÄMÄLÄINEN Kotitalouksien säästämiseen vaikuttavista psykologisista tekijöistä ja niiden mittaamismahdollisuuksista. 1969. 177 s.
23. HEIKKI KOSKENKYLÄ An Evaluation of the Predictive Value of the Investment Survey of the Bank of Finland Institute for Economic Research. 1969. 12 s.
24. HEIKKI KOSKENKYLÄ Suomen Pankin investointikyselyn otantaan liittyvistä ongelmista. 1970. 71 s.
25. PERTTI KUKKONEN - ESKO TIKKANEN Jäänmurtajat ja talviliikenne. 1970. 136 s.
26. HEIKKI U. ELONEN - ANTERO ARIMO Tutkimus kirkon taloudesta. 1970. 73 s.
27. JUHANI HIRVONEN Kansainvälisen talouden ekonometrinen simultaanimalli. 1971. 64 s.
28. HEIKKI KOSKENKYLÄ Teoreettisen ja empiirisen investointianalyysin ongelmista. Suomen tehdasteollisuuden investointitoiminta vuosina 1948-1970. 1972. 182 + 58 s. (ISBN 951-686-001-X)
29. A Quarterly Model of the Finnish Economy by the Model Project Team of the Research Department. 1972. 105 s. (ISBN 951-686-002-8, toinen painos ISBN 951-686-007-9)
30. HANNU HALTTUNEN Tuotanto, hinnat ja tulot Suomen kansantalouden ekonometrisessa kokonaismallissa. 1972. 120 s. (Toisessa painoksessa englanninkielinen tiivistelmä; 123 s.) (ISBN 951-686-003-6, toinen painos ISBN 951-686-013-3)
31. SIMO LAHTINEN Työn kysyntä Suomen kansantalouden ekonometrisessa kokonaismallissa. 1973. 171 s. (Englanninkielinen tiivistelmä.) (ISBN 951-686-008-7)

32. MAURI JAAKONAHO Suomen sähköenergian kokonaiskulutusta ja sen ennakointia koskeva empiirinen tutkimus. 1973. 144 s.  
(ISBN 951-686-009-5)
33. ESKO AURIKKO Ulkomaankauppa Suomen kansantalouden ekonometrisessä kokonaismallissa. 1973. 100 s. (Englanninkielinen tiivistelmä.)  
(ISBN 951-686-011-7)
34. HEIKKI KOSKENKYLÄ - ILMO PYYHTIÄ Suomen allokaatio-ongelman peruspiirteistä ja taustasta. 1974. 61 s. (ISBN 951-686-014-1)
35. IMMO POHJOLA Ekonometrinen tutkimus Suomen rahamarkkinoista. 1974. 120 s. (ISBN 951-686-016-8)
36. JUHANI HIRVONEN On the Use of Two Stage Least Squares with Principal Components. 1975. 91 s. (ISBN 951-686-023-0)
37. HEIKKI KOSKENKYLÄ - ILMO PYYHTIÄ Pääomakerroin makro- ja mikrota- loudellisena investointikriteerinä. 1975. 65 s. (Englannin- kielinen tiivistelmä.) (ISBN 951-686-024-9)
38. ALPO WILLMAN Ekonometrinen tutkimus finanssipolitiikan vaikutuk- sista. 1976. 217 s. (ISBN 951-686-028-1)
39. JORMA HILPINEN Muuttoliike, työhön osallistuminen ja suhdanteiden eteneminen työllisydessä. 1976. 69 s. (ISBN 951-686-030-3)
40. OLAVI RANTALA Säästämiskohteiden valintaan vaikuttavat tekijät Suomessa. 1976. 115 s. (ISBN 951-686-031-1)
41. Rahoitustilinpito analyysivälineenä (AHTI HUOMO Rahoitustilinpido- llinen näkökulma; TAPIO KORHONEN Maksutaseen ja valtiontalouden rahoitusmarkkinakytkennät; IMMO POHJOLA Valtiontalous rahoitusti- linnissä; OLAVI RANTALA Rahoitustilinnin käyttö ja rajoituk- set kvantitatiivisissa analyysissa). 1976. 98 s.  
(ISBN 951-686-033-8)

42. ILMO PYYHTIÄ Varjohinnat ja tuotannontekijöiden allokaatio Suomen tehdasteollisuudessa vuosina 1948-1975. 1976. 176 s.  
(ISBN 951-686-035-4)
43. PETER NYBERG Työvoiman tarjonnan vaihteluista Suomessa. 1978. 65 s. (ISBN 951-686-046-X)
44. MARJA TUOVINEN Inflaatio-odotusten muodostumisesta ja erään inflaatio-odotussarjan optimaalisuudesta. 1979. 154 s.  
(ISBN 951-686-056-7)
45. KALEVI TOURUNEN Teollisuuden varastoinvestoinneista Suomessa vuosina 1961-1975. 1980. 71 s. (ISBN 951-686-059-1)
46. URHO LEMPINEN Rationaaliset odotukset makroteoriassa. 1980. 83 s.  
(ISBN 951-686-060-5)
47. HANNU HALTTUNEN - SIXTEN KORKMAN Central Bank Policy and Domestic Stability in a Small Open Economy. 1981. 79 s.  
(ISBN 951-686-066-4)
48. SEPPÖ KOSTIAINEN Rahoitusmarkkinavaikutusten välittymismekanismit ja teollisuuden sijoittumispäätökset Suomessa. 1981. 126 s.  
(Englanninkielinen tiivistelmä.) (ISBN 951-686-067-2)
49. URHO LEMPINEN Teoreettinen tutkimus keskuspankkirahoituksen ja ulkomaisen rahoituksen substituutiosta. 1981. 131 s.  
(ISBN 951-686-069-9)
50. ILMO PYYHTIÄ Suomen Pankin investointitiedustelu teollisuuden investointien ennakoitivälineenä. 1981. 93 s. (ISBN 951-686-071-0)
51. ILKKA SALONEN Teknisen kehityksen mittaamisesta tuotantofunktion avulla ja sovellutus Suomen kansantalouteen. 1981. 93 s.  
(ISBN 951-686-073-7)
52. ALPO WILLMAN The Effects of Monetary and Fiscal Policy in an Economy with Credit Rationing. 1981. 66 s. (ISBN 951-686-075-3)

53. JOHNNY ÅKERHOLM Finanspolitikens totalekonomiska effekter på kort sikt. 1982. 73 s. (ISBN 951-686-078-8)
54. HANNELE LUUKKAINEN Kotitaloussektorin kulutus-, investointi- ja rahoituspäätökset yhdistävä malli. 1983. 128 s. (Englanninkielinen tiivistelmä.) (ISBN 951-686-085-0)
55. Inflaatio ja talouspolitiikka (TAPIO PEURA Inflaatio Suomessa; JOHNNY ÅKERHOLM Eri inflaatiokeselitykset ja talouspolitiikka; JUKKA PEKKARINEN Suomen palkkainflaatiosta: reaali-palkkojen vai tulo-jaon jäykkyys? ALPO WILLMAN Kotimaisen inflaation riippuvuus ulkomaisesta inflaatiosta suomalaisen inflaatiotutkimuksen valossa; PENTTI FORSMAN Inflaation pitkän aikavälin kustannuksista; P. SCHELDE ANDERSEN Inflation: Theories, Evidence and Policy Implications; GAVIN BINGHAM Inflation: an Overview). 1983. 204 s. (ISBN 951-686-088-5)
56. PETER JOHANSSON Korkopolitiikan vaikutus kokonaistuotantoon ja hintatasoon. 1984. 91 s. (Englanninkielinen tiivistelmä.) (ISBN 951-686-091-5)
57. PENTTI PIKKARAINEN Teollisuuden energian kysynnästä Suomessa 1960-1982. 1984. 86 s. (Englanninkielinen tiivistelmä.) (ISBN 951-686-096-6)







IVA5a 1984 35509

Suomen

Suomen Pankki

D:057

Pikkarainen, Pentti

Teollisuuden energian kysynnästä

Suomessa 1960-1982.

1996-05-14

**SUOMEN PANKIN  
KIRJASTO**

