

Keskusteluaiheita Discussion papers

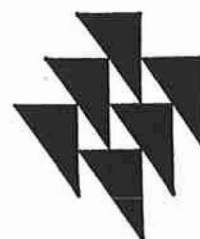
Jorma Vanninen

NÄKÖKOHTIA TEOLLISUUDEN ENERGIAN,
ERITYISESTI SÄHKÖN KYSYNNÄSTÄ

No. 164

1.10.1984

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



1. Johdanto

Sähkö on teollisuudelle tuotantopanoks. Teollisuuden sähkön ja muiden panosten kysyntä on luonteeltaan ns. johdettua kysyntää, koska se määräytyy teollisuustuotannon tason, tuotannontekijöiden suhteellisten hintojen ja lisäksi eri panosten välisten substitutiomahdollisuuksien mukaan. Teollisuuden sähkön kysynnän tarkastelussa täytyy sen vuoksi ottaa huomioon samanaikaisesti myös sähkön ja muiden panosten väliset yhteydet.

Tuotantopanoksia – työvoimaa, pääomaa, energiaa ja raaka-aineita – pidetään yleensä toistensa substituuhteina, ts. ne ovat ainakin tiettyynajaan asti korvattavissa toisillaan. Tutkimusten mukaan kiistanalaisin suhde vallitsee toisaalta sähkön ja muiden energiapanosten sekä toisaalta pääoman välillä. Nämä panokset on eräissä tutkimuksissa todettu substituuhteiksi ja toisissa komplementteiksi eli toisiaan täydentäviksi.

Tuotantopanosten välisellä suhteella ja sen voimakkuudella on tärkeitä seurannaisvaikutuksia erityisesti teollisuudessa. Jos esimerkiksi sähkö on substituutti muiden tuotantopanosten kanssa, merkitsee sähkön hinnan suhteellinen nousu muiden panosten kysynnän lisääntymistä ja toisaalta muiden panosten suhteellisten hintojen nousu sähkön käytön kasvua. Komplementtitapauksessa tilanne on päinvastainen.

Tarkasteltaessa kokonaisuutena teollisuuden käyttämää energiapanosta, jonka suhteellisen hinnan arvioidaan tulevaisuudessa tuntuvasti kohoavan, merkitsisi energian ja pääoman komplementtaarisuus tuotannon

kasvun huomattavaa hidastumista investointien vaimentuessa. Eri energialajien hintakehitys voi poiketa huomattavasti toisistaan, ja täten energialajien kesken on mahdollisuus suuriinkin kulutusosuuksien muutoksiin.

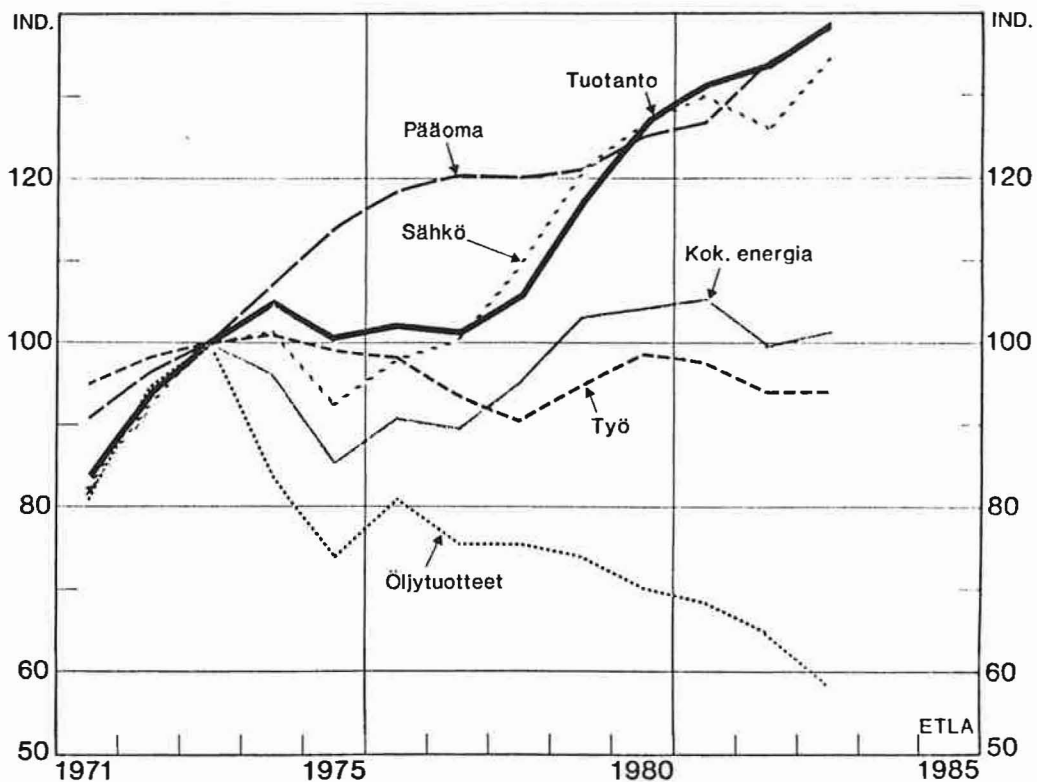
Seuraavassa on tarkoitus aluksi tarkastella lyhyesti Suomen teollisuuden tuotantopanosten volyymi- ja hintakehitystä ja sen jälkeen käsitellä yleisemmin energian (ja sähkön) kysyntämalleihin liittyviä näkökohtia ja vertailla eri maissa tehtyjen tutkimusten tuloksia. Tulosten tarkastelu keskittyy sähkön ja muiden energialajien hinta- ja substituoituvuuteen sekä energian ja muiden panosten substituoituvuuteen. Esityksen loppuosassa pyritään selvittämään Suomen teollisuuden kokonaisenergian, sähkön ja öljytuotteiden kysynnän muutoksia jakamalla muutokset tuotannon kasvun, teollisuuden rakennemuutoksen, ominaiskulutuksen pienenemisen sekä eri energialajien välisen substituution aiheuttamiksi. Tulosten perusteella voidaan tehdä johtopäätöksiä siitä, miten tuotannon kasvu vaikuttaa esimerkiksi sähkön käytön kasvuun ja mitä vaikutuksia sähkön kulutuksen muutoksilla on teollisuuden investointeihin ja tätä kautta tuotannon pääomavaltaisuuteen.

2. Suomen teollisuuden tuotantopanosten määrä- ja hintakehitys

Ajanjaksona 1960–1973 kasvoi energian kokonaiskulutus teollisuudessa keskimäärin 1.3-kertaa tuotantoa nopeammin. Öljytuotteiden kohdalla kulutuksen kasvu oli yli kaksinkertainen tuotantoon nähden. Myös sähkön kulutus lisääntyi suurin piirtein samaa vauhtia kuin

kokonaisenergiankulutus. Sen sijaan teollisuusinvestointien ja pääomakannan vuotuinen kasvu oli 1960-luvun alusta ensimmäiseen öljykriisiin asti lievästi tuotannon kasvua hitaampaa. Samoin työvoiman vuotuinen lisäys työtunneilla mitattuna oli samana ajanjaksona keskimäärin vain vajaa viidennes tuotannon kasvuvauhdista.

Kuvio 1. Teollisuustuotannon ja eräiden tuotantopanosten määrien kehitys 1971-1983 (1973 = 100)

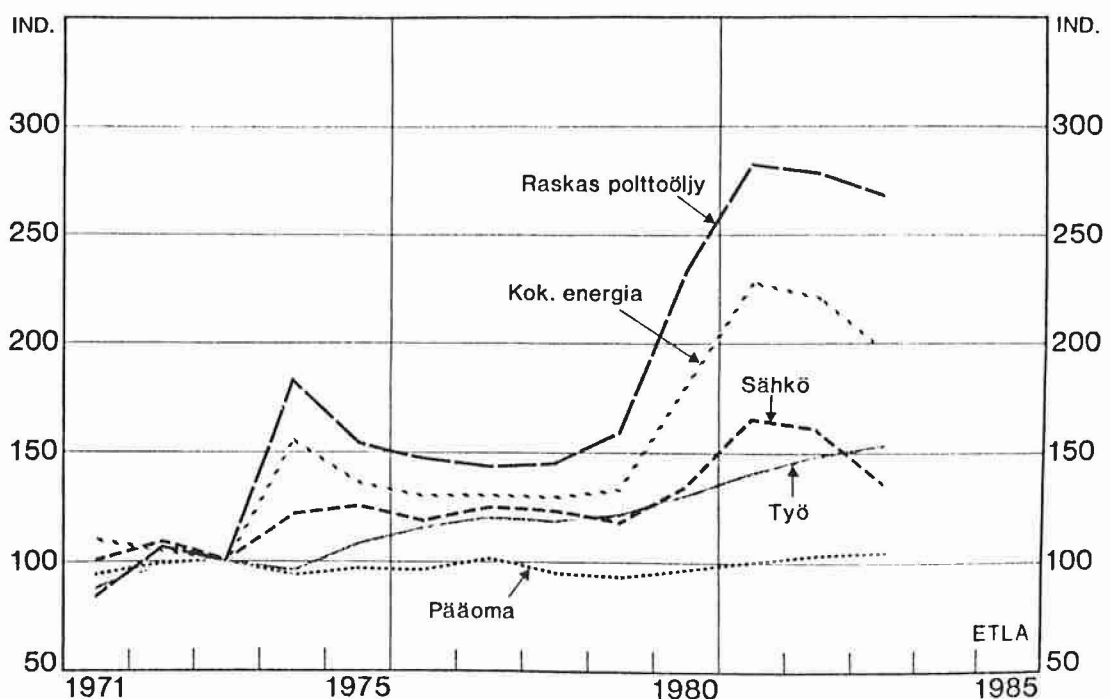


Vuodesta 1973 lähtien ovat kasvuvauhdit tuntuvasti hidastuneet, osittain on jopa tapahtunut panosten käytön supistumista. Teollisuustuotannon määrä oli vuonna 1983 kuitenkin lähes 40 % suurempi kuin kymmenen vuotta aikaisemmin eli tuotanto kasvoi vuodesta 1973 vuoteen 1983 noin 3.3 % vuosittain. Tämä oli kuitenkin vain

puolet 1960-luvun kasvuvauhdista. Samoin pääomakannan vuotuinen lisäys on jäänyt 3.3 prosenttiin. Tehtyjä työtunteja oli vähemmän kuin vuonna 1973. Energian kokonaiskulutuksen pysyessä lähes ennallaan supistui teollisuuden energianintensiteetti (ominaiskulutus) yli 25 %. Teollisuuden öljytuotteiden kulutus väheni vuosittain yli 5 %, mutta sähkön kulutus on sitä vastoin kasvanut lähes samaa tahtia tuotannon kanssa eli vuosittain noin 3 %.

Kuten ylläolevasta ilmenee, on teollisuuden käyttämien tuotantopanosten kesken tapahtunut verrattain voimakasta substituotumista, joka 1970-luvulla on ollut erilaista kuin 1960-luvulla. Substituotumiseen on oleellisena tekijänä vaikuttanut panosten erilainen hintakehitys. Kuvioon 2 on piirretty eräiden tuotantopanosten reaalihintojen kehitys. Reaali hinnat on laskettu jakamalla kunkin tuotantopanoksen hinta teollisuustuotannon hintaindeksillä. Kuvioita 1 ja 2

Kuvio 2. Eräiden teollisuuden tuotantopanosten reaalihintojen kehitys 1971-1983 (1973=100)



vertaamalla voidaan jo päätellä, että substituuutiota on tapahtunut erityisen voimakkaasti työn ja pääoman välillä. Lisäksi kokonais-energiankäytön sisällä sähkö on vallannut alaa muilta energialajeilta. Kysymystä sähkön ja yleensä energian substituuutti/komplementti-luonteesta suhteessa muihin tuotantopanoksiin käsitellään tarkemmin luvussa 4.

3. Energian kysyntämalleista

Energian kysyntää koskevissa taloustieteellisissä tutkimuksissa oli aikaisemmin yleistä, että tarkastelu perustui yhden yhtälön malleihin (ns. 1. sukupolven mallit), joissa energian hinta ja tuotannon määrä olivat pääselittäjät energian kysynnälle. Tällöin energian ja muiden tuotantopanosten väliset kytkennät jäivät vaille riittävää huomiota. Tuloksena oli usein epärealistisen suuria hintakertoimia.

Energian merkityksen korostuessa tuotantopanoksena 1970-luvulla myös tutkimusmenetelmät kehittyivät. Näin yleistyivät mallit, joissa yritysten lyhyen aikavälin tuotantopanosten kysyntään on yhdistetty panosten väliset suhteet (ns. 2. sukupolven mallit). Tämä mahdollistaa eri panosten välisen pitkän aikavälin substituuutiojoustojen laskemisen, joskaan nämäkään mallit eivät tutki kysynnän sopeutumisen sisäisiä kustannuksia, jolloin olisi mahdollista laskea sekä lyhyen, keskipitkän että pitkän aikavälin hintajoustoja.

Edellä mainittu ongelma on periaatteessa ratkaistu ns. dynaamisissa optimointimalleissa, joissa tuotantopanosten sopeutuminen pitkän

aikavälin tasapainoon tapahtuu endogeenisesti ja joissa tulokset saadaan sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä (ns. 3. sukupolven mallit). Tuotantopanosten suhteellisten hintojen muutoksista aiheutuvat sopeutumiskustannukset johtavat panosten kysynnän muutoksiin jo lyhyelläkin tähtämellä, ja pitkän tähtäimen tasapaino perustuu jatkuvaan taloudelliseen optimointiin, jossa sopeutumisen nopeus ja ilmenemismuodot määräytyvät kustannusten minimoimisen perusteella. (Energian kysyntämalleista ks. esim. Berndt, Morrison ja Watkins sekä Mittlestädt s. 41-42).

Energian hinnannousujen myötä 1970-luvulla yleistynyt tutkimus energian ja muiden tuotantopanosten välisistä suhteista on käyttänyt yleensä ns. 2. sukupolven malleja. Tutkimuksissa on käsitelty myös eri energialajien välisiä suhteita. Teoreettinen perusta tutkimuksille on tavallisesti ollut neoklassinen tuotantoteoria. Tuotantofunktion avulla suhteutetaan tuotanto ja panosten käyttö toisiinsa tietyin käyttäytymisoletuksin, joista keskeisiä ovat tuottajien kustannuksia minimoiva käyttäytyminen ja tuotanto- ja kustannusfunktioiden vastaavuus. Myös itse estimointimethodeihin liittyy joukko oletuksia ja rajoituksia, joita tässä yhteydessä ei kuitenkaan käsitellä tarkemmin.

Tuotantopanosten kysyntäfunktioden johtamisessa ovat yleisimmät tavat tuotanto- tai kustannusfunktioiden spesifioiminen. Tutkimuksen tavoite usein ratkaisee, kumpaa lähestymistapaa käytetään. Myös aineisto asettaa tutkimusmetodille omat rajoituksensa. Energia-aggregaatin tai eri energiapanosten osalta suurimpana vaikeutena on ollut luotettavan hinta-aineiston kokoaminen, jota tarvitaan kustannusfunktion estimoinneissa. Tuotantofunktioiden estimointiin riittävät tuotannon

ja panosten määrätiedot. Kuitenkin eniten käytetty lähestymistapa panosten välisiä suhteita tutkittaessa on ehkä ollut kustannusfunktio-tyyppinen, ja tällöin yleisimmät spesifikaatiot ovat olleet ns. translog- sekä yleistetty Leontief-kustannusfunktio.

Kustannusfunktiossa määritellään tuotantopanosten riippuvuus tuotannontekijöiden hinnoista. Tuotantopanokset on energian kysyntämalleissa yleensä jaettu neljään aggregaattiin: energiaan (ja eri energialajeihin, tavallisesti sähköön ja polttoaineisiin), pääomaan, työvoimaan ja raaka-ainepanoksiin. Tietyllä tuotannon ja panoshintojen tasolla oletetaan yritysten valitsevan sen panos-kombinaation, joka minimoi tuotantokustannukset. Tuotannon ja kustannusten vastaavuus mahdollistaa energian ja muiden panosten kysyntäyhtälöiden johtamisen kustannusfunktioista. Lisäksi saadaan käytettyä tuotantoteknologiaa vastaavat panosten substitutiomahdollisuudet selville. Energian kysyntä on näin osa yhtälömallia, jossa panosten kysyntä suhteutetaan yhteen tuotannon tason ja suhteellisten panoshintojen kanssa.

Mallin estimointi antaa tulokseksi kunkin tuotannontekijän kysynnän hintajoustot sekä näiden väliset substitutioujoustot. Jos substitutiomahdollisuudet energian ja muiden tuotantopanosten välillä ovat merkittävät, jäävät kohonneiden energiahintojen vaikutukset tuotantoon vähäisiksi. Jos taas substitutiomahdollisuudet ovat rajalliset, on teollisuuden sopeutuminen energian hinnannousuun vaikeaa.

Panosten välisillä substitutiomahdollisuuksilla on merkittäviä seurannaisvaikutuksia tuotannon kasvuun, investointeihin ja

työllisyyteen. Jos energia on substituoitu sekä pääomalle että työvoimalle, kiihdyttää energian hintojennousu investointeja ja lisää työllisyyttä. Komplementtisuhteen tapauksessa tilanne on päinvastainen.

Tuloksien tarkasteluissa erotetaan usein pitkän ja lyhyen aikavälin vaikutukset toisistaan. Energian ja muiden panosten väliset substituutiomahdollisuudet ovat pitkällä aikavälillä suuremmat kuin lyhyellä, koska teollisuus pystyy ajan mittaan muuttamaan tuotantoteknologiaansa ja myös tuotekoostumustaan suhteellisten panoshintojen muutosten mukaisesti.

Ajanjakso, joka vaaditaan sopeutumisprosessiin, riippuu pääoman taloudellisesta kiertonopeudesta, suhteellisista panoshinnoista, kilpailuolosuhteista sekä teknisestä kehityksestä kullakin toimialalla.

4. Tutkimustuloksia energian substituutio- ja hintajoustoista

Seuraavassa referoidaan lyhyesti eri tutkimuksissa saatuja tuloksia. Teollisuuden tuotantopanosten välinen substituutiotarkastelu joudutaan esittämään energian osalta aggregaattitasolla, koska sähköä ei ole yleensä tutkittu erikseen muuten kuin energiapanosten välisessä substituutiossa.

Taulukossa 2 on esitetty Pikkaraisen (1984) tutkimuksesta joukko kvalitatiivisia tutkimustuloksia energian ja muiden tuotantopanosten välisistä suhteista. Yksityiskohtaisia tuloksia ei esitellä, koska eri tutkimuksissa tulokset eivät ole suoraan esim. joustojen suuruuksien mukaan vertailukelpoisia. Kuitenkin energian ja muiden panosten välisistä substituutiomahdollisuuksista voidaan tehdä seuraavia johtopäätöksiä.

Taulukko 1. Energian (E), pääoman (K), työn (L) ja raaka-aineiden (M) 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 ¹ S ^{2,3} C ^{2,4}	S ¹ C ^{2,3} S ^{2,4}	S ¹ C ^{2,3} S/C ^{2,4}	L	USA, yksityinen hyödyke- ja palvel. 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 ³ C ⁴	C ³ S ⁴	S ³ S ⁴	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 ⁵ S/C ⁶	S ⁵ S/C ⁶	- S/C ⁶	L	Norja, teollisuus v. 1962 - 1978
Dargay (1983)	C ⁵ S/C ^{6,7}	S ⁵ S/C ⁶	S ⁵ S ⁶	TL	Ruotsi, tehdasteoll. v. 1952 - 1976
Wibe (1983 b)	S/C ⁸	S/C ⁹	S	TL ¹⁰	Ruotsi, koneteoll. v. 1979
Tarkka (1983)	C ¹¹	S	-	L	Suomi, tehdasteoll. v. 1960 - 1980

Lähde: Pikkarainen (1984). Merkkien selitykset seuraavalla sivulla.

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

¹ lyhyt aikaväli, K kiinteä tuotannontekijä

² pitkä aikaväli, myös K muuttuva tuotannontekijä

³ homoteettinen kustannusfunktio

⁴ epähomoteettinen kustannusfunktio

⁵ koko (tehdas)teollisuus

⁶ eri toimialoilla

⁷ substituutteja vain yhdellä toimialalla

⁸ pääoma on substituutti polttoaineiden mutta komplementti
sähkön kanssa

⁹ työ on komplementti polttoaineiden mutta substituutti sähkön
kanssa

¹⁰ translog-tuotantofunktio

¹¹ pääoma on jaettu rakennuksiin sekä koneisiin ja laitteisiin

- (1) energia ja työvoima ovat substituutteja. Mittlestädt (1983) esittelee eri tutkimuksista saatujen substituutiojoustojen vaihtelevan USA:n osalta välillä 0.6 – 2.2 sekä Japanin ja Länsi-Euroopan osalta välillä 0.8 – 1.1. Tulokset merkitsevät, että esim. Euroopassa energian hinnan noustessa ja täten energian ja työvoiman hintasuhteen muuttuessa 1 prosentilla voidaan sama tuotantotaso ylläpitää lisäämällä työvoiman käyttöä siten, että käytettyjen energia- ja työpanosten suhde muuttuu 0.8 – 1.1 % työvoiman eduksi. Myös Suomen osalta sähkö ja työvoima on todettu substituuteiksi, joskin jousto jäi estimointiperiodista riippuen 0.2 – 0.6:een. Tuloksen mukaan työn hinnan noustessa 1 prosentin sähkөөn nähden lisäänty

sähkön käyttö suhteessa työvoiman käyttöön 0.2 - 0.6 % samalla tuotantotasolla. Sen sijaan polttoaineet ja työvoima lienevät komplementteja Suomessa.

- (ii) energia ja muut raaka-aineet ovat myös substituuotteja jouston vaihdellessa välillä 0.4-1.0. Jos energian hinta suhteessa raaka-aineiden hintoihin halpenee prosenttin, kasvaa energian käyttö suhteessa raaka-aineiden käyttöön 0.4-1.0 prosenttia. Substituutiojousto yksittäisen energialajin kuten sähkön kohdalla saattaa olla vieläkin suurempi. Erityisen ajankoh-
tainen on tilanne tässä suhteessa Suomen kemiallisessa metsä-
teollisuudessa. Siirtyminen mekaanisen massan lisäkäyttöön aiheuttaa tuntu-
van sähkön käytön kasvun, mutta samalla selvän säästön puuraaka-
aineen käytössä. Vaikka kyseessä on osaltaan tuotantoprosessiin
liittyvä tekninen muutos, voidaan toisaalta ajatella myös puuraaka-
aineen saatavuuden ja tätä kautta hinnan epävarmuustekijöiden
vievän osaltaan samaan tulokseen.
- (iii) Energian ja pääoman suhteesta tutkimustulokset poikkeavat
varsin voimakkaasti toisistaan. Varhaisemmissa USA:n ja
Kanadan teollisuutta koskeneissa tutkimuksissa saatiin tuloksiksi
energian ja pääoman vahva komplementtaarisuus. Myöhemmin on
kuitenkin aikasarja-aineistosta estimoitu energia ja pääoma joko
heikoiksi komplementeiksi tai heikoiksi substituuhteiksi (jouston
itseisarvo lähellä nollaa). Aivan viimeaikaisissa tutkimuksissa,
joissa tutkimusperiodi on ulottunut pisimmälle, on saatu energia
ja pääoma selviksi substituuhteiksi. Poikkileikkausaineistoon
perustuneessa tutkimuksessa vaihteli energian ja pääoman substituutio-

jousto välillä 0.6-1.2 eli energian ja pääoman hintasuhteen noustessa prosentilla, lisääntyy pääoman käyttö, suhteessa energian käyttöön 0.6-1.2 %. Jouston symmetrisyyden takia sama pätee toisinpäin päinvastaisessa hintasuhteen muutoksessa. Myös pääoman ja sähkön substituoijousto on lähellä ykköstä.

Pohjoismaiden osalta (Longva & Olsen 1983, Dargay 1983 ja Tarkka 1983) koko teollisuutta koskevat tutkimustulokset ovat yhteneväiset muiden maiden kanssa siinä suhteessa, että energia ja työvoima sekä raaka-ainepanokset ovat substituoituvia. Energia ja pääoma todettiin Pohjoismaissa komplementeiksi, joskin jotkut toimialat muodostivat poikkeuksia. Komplementtisuuden olemassaolo merkitsisi energian käytön vähenemisessä esimerkiksi hinnannousun seurauksena myös investointitoiminnan vähenemistä.

Tutkimustulosten eroihin voidaan osoittaa useita syitä. Pikkarainen (1984) toteaa eri tutkimuksiin viitaten, että empiirisissä sovellutuksissa tulokset voivat vaihdella käytetyn aineiston, estimointimenetelmän tai funktioiden spesifikaation mukaan. Erityisesti pääomapanoksen määrän ja hinnan mittaaminen on osoittautunut ongelmalliseksi.

Pelkkää aikasarja-aineistoa käyttäen on yleensä päädytty tulokseen, että energia ja pääoma ovat ainakin koko teollisuuden tasolla komplementteja. Yhdistetyissä aikasarja-poikkileikkaustutkimuksissa niiden on taas havaittu olevan substituoituvia.

Tuloksia on tulkittu siten, että pelkästä yhden maan aikasarja-aineistosta saadut tulokset heijastavat lyhyen aikavälin ja

yhdistetyistä kansainvälisistä aineistosta saadut tulokset pitkän aikavälin reaktioita. Tulokinnan mukaan pitkällä aikavälillä energia ja pääoma olisivat siten toistensa substituuotteja. Joissakin tutkimuksissa ei ole pystytty erottamaan raaka-aine-panosta muista tuotantopanoksista, ja se on jätetty pois. Useissa tutkimuksissa on kuitenkin osoitettu, että joustoestimaatit muodostuvat tällöin harhaisiksi.

Useimmat taulukossa 2 esitetyt mallit ovat luonteeltaan staattisia. Dynaamisten, ns. kolmannen sukupolven mallien käyttö olisi perustellumpaa, mutta näiden mallien kehittäminen ei ole kuitenkaan edennyt kovin pitkälle.

Taulukkoon 3 on kerätty OECD:ssa tehtyjä laskelmia teollisuuden tulo- ja hintajoustoista eri maissa (Mittlestädt 1983). Estimointiperiodi käsitti vuodet 1960-1978. Aikasarja-analyysin pohjalta yhtälöt estimoitiin tasomuodosta 7-vuoden Almonin viiveellä. Taulukosta havaitaan, että teollisuuden energiakysynnän hintajousto kasvaa pitkällä aikavälillä ja on useimmissa maissa keskimäärin -0.5. Suomessa vastaava hintajousto on lähes -1, mikä osoittanee, että Suomen teollisuus joutuisi vähentämään energiankäyttöön hinnan noustessa huomattavasti muita maita enemmän. Tulojoustot (tuotantoujoustot) saavat useilla mailla yli ykkösen arvoja, mikä johtuu osittain tutkimuksessa käytetystä tulomuuttujasta eli BKT:n määrästä. Käytettäessä teollisuustuotannon volyymia tulomuuttujana pienenee tulojousto useimmiten alle ykkösen, koska teollisuustuotanto vaihtelee selvästi BKT:n muutoksia enemmän. Kuitenkin käytetyllä muuttujalla voidaan havaita Suomen teollisuuden alhainen jousto. Suomen

teollisuuden energiasaiteiteetti on kansainvälisestii tarkastellen verraten korkea. Alhainen tulojousto (tuotantojousto) saattaa kuvata tilannetta, jossa Suomen teollisuuden energian ominaiskulutus on parantunut muita maita enemmän, ja Suomessa tuotannon kasvu ei edellytä yhtä suurta energiapanosta kuin muissa maissa.

Taulukko 2. Teollisuuden energiansaiteen tulo- ja hintajoustit eräissä maissa.

	Tulo- jousto	Hintajousto	
		Lyhyt- aika- väli	Pitkä- aika- väli
USA	1.30	-0.13	-0.51
Japani	1.03	-0.09	-0.37
Länsi-Saksa	0.91	-0.17	-0.67
Ranska	1.06	-0.13	-0.53
Iso-Britannia	0.59	-0.13	-0.53
Italia	1.06	-0.18	-0.73
Kanada	0.96	-0.05	-0.18
Itävalta	1.16	-0.41	-1.63
Hollanti	2.25	-0.11	-0.46
Tanska	0.93	-0.17	-0.68
Ruotsi	1.24	-0.24	-0.47
Suomi	0.58	-0.24	-0.97

Lähde: Mitttestädt 1983.

Teollisuuden käyttämien eri energialajien hintajoustit ovat tutkineet mm. Dargay (1980) Ruotsissa sekä Pindyck (1979) ja Fuss (1977) USA:ssa ja Kanadassa. Sähkön hintajousto on kaikissa tutkimuksissa selvästi itseisarvoltaan alle ykkösen ja alhaisin eri energialajeista. Sähkön hinnan kasvaessa sen kysyntä teollisuudessa ei siis vähene yhtä paljon kuin muiden energiapanosten. Ruotsin osalta tulokset on esitetty tärkeimmiltä toimialoilta taulukossa 4, johon on myös kerätty eri energiapanosten välisiä substituutiojoustit.

Taulukko 3. Energiapanosten hinta- ja substituuutiojoustot Ruotsin teollisuudessa.

	Metsä- teolli- suus	Kemian teolli- suus	Raken- nus- aine- teolli- suus	Metallien perus- teolli- suus	Kone- teolli- suus	Teolli- suus yhteensä
Hintajoustot						
Sähkö	-0.12	-0.09	-0.12	-0.12	-0.20	-0.16
Öljytuotteet	-0.24	-0.15	-0.25	-0.26	-0.27	-0.26
Kiinteät polttoaineet	-1.39	-1.80	-1.42	-0.14	-1.02	-0.60
Substituutiojoustot						
Sähkö- öljytuotteet	0.22	-0.23	-0.24	0.24	0.36	0.21
Sähkö-kiinteät polttoaineet	1.00	1.54	1.40	0.18	1.11	0.55
Öljytuotteet kiinteät polttoaineet	2.28	3.29	1.91	0.39	1.05	0.96

Lähde: Dargay 1980.

Tulosten mukaan suurimmat substituuatiomahdollisuudet ovat Ruotsin teollisuudessa öljytuotteiden ja kiinteiden polttoaineiden kesken. Erityisen suuri substituuutiojousto on toimialoilla, joilla kiinteiden polttoaineiden osuus koko energiankulutuksesta on merkittävä, esimerkiksi metsäteollisuudessa. Sähkön ja öljytuotteiden välillä on tulosten mukaan marginaalisia, mutta kuitenkin nolasta poikkeavia substituuatiomahdollisuuksia. Kemian teollisuudessa ja rakennusaine-teollisuudessa saatu komplementtaarisuus sähkön ja öljytuotteiden välillä vaikuttaa oudolta. Edelleen substituuatiomahdollisuudet sähkön ja kiinteiden polttoaineiden välillä tuntuvat yllättävän suurilta ja -ottaen huomioon näiden energiamuotojen keskenäisen suhteen - ainakin Suomen oloissa epätodennäköisiltäkin.

5. Teollisuuden energiankysynnän muutoksen osatekijät

Teollisuuden energiankysynnän ja tuotannon suhteessa tapahtui 1970-luvun energian hinnannousujen myötä radikaali muutos. Mielenkiintoinen kysymys on, kuinka paljon energiankysynnän muutokseen on vaikuttanut toisaalta tuotannon jatkuva kasvu sekä toisaalta tehostunut energiankäyttö yhdessä teollisuuden rakennemuutoksen kanssa. Teollisuustuotannon lisääntyminen ja energian ominaiskulutuksen pieneneminen muuttavat energiankulutusta eri suuntiin. Edelleen teollisuuden energiankysynnän muutos heijastuu eri energialähteiden välillä tapahtuvaan substituutiioon.

Teollisuuden energiankäyttöön vaikuttavat tuotannon määrä, suhteelliset tuotantopanoshinnat sekä panosten väliset substituutiomahdollisuudet. Seuraavassa pyritään jakamaan teollisuuden energiankäytön muutokset seuraaviin tekijöihin:

- (i) Tuotannon muutoksen vaikutus. Kysymys on energiankulutuksen muutoksesta tuotannon tason muuttuessa. Tuotannon kasvu yleensä lisää energiankulutusta.
- (ii) Ominaiskulutuksen muutoksen vaikutus (energiaintensiteetin muutoksen vaikutus, 'säästö'). Kysymys on energiapanosten suhteellisissa hinnoissa tapahtuneiden muutoksien aiheuttamista toimenpiteistä, esim. parantuneen teknologian tuomasta säästöstä. Energian suhteellisen hinnan noustessa ominaiskulutus yleensä pienenee. Ominaiskulutusta on mitattu käytetyn energian ja tuotannon määrän suhteena.

- (iii) Teollisuuden rakennemuutoksen vaikutus. Normaalisti paljon energiaa käyttävät toimialat kohtaavat energian hinnannousun vakavampana kuin vähemmän energiaa käyttävät, ja lopputuotteiden hintojen noustessa tuotantokustannusten myötä pienenee näiden toimialojen tuotteiden kilpailukyky. Teollisuuden sisällä näiden toimialojen osuus supistuu. Teollisuuden rakennetta on mitattu kunkin toimialan tuotannon osuudella koko teollisuustuotannosta.
- (iv) Substituutiovaikutus. Kysymys on energia-aggregaatin sisällä eri energialajien osuudesta. Eri energialajien suhteellisten hintojen muuttuessa se energialaji lisää osuuttaan, jonka suhteellinen hinta halpenee.

Laskentakehikko on seuraava¹⁾:

Teollisuus on jaettu 7 alatoimialaan energiankulutuksen suuruuden mukaan. Alatoimialat ovat paperi- ja massateollisuus, puuteollisuus, kemian teollisuus, metallien valmistus, metallituote- ja koneteollisuus, rakennusaineteollisuus sekä residuaalina muut toimialat. Kunkin toimialan energiankulutus voidaan ilmaista toimialan energian ominaiskulutuksen, toimialan tuotanto-osuuden (koko teollisuustuotannosta) sekä koko teollisuustuotannon määrän tulona.

1) Sovellettu FT Yrjö Vartian kehittämää menetelmää. Käytetyt indeksikaavat perustuvat Yrjö Vartian väitöskirjaan "Relative Changes and Index Numbers", ETLA A4, 1976. Ohjelmointi on suoritettu ETLAssa. Myös P. Criqui on tutkinut samaa ongelmakenttää, mutta hänen käyttämässään menetelmässä on ongelmana kerrannaisvaikutusten (ristikkäistermien) jääminen energiankysynnän muutoksiin vaikuttaneiden osatekijöiden ulkopuolelle. Ks. P. Criqui: Impacts of the first oil crisis, (1983).

$$(1) \quad ec_i^t = x_i^t y_i^t Q^t$$

jossa ec_i^t = toimialan i energiankulutus vuonna t

x_i^t = toimialan i energian ominaiskulutus vuonna t

$$= \frac{ec_i^t}{q_i^t}$$

q_i^t = toimialan i tuotannon määrä vuonna t

y_i^t = toimialan i osuus teollisuustuotannon määrästä vuonna t

$$= \frac{q_i^t}{Q^t}$$

Q^t = koko teollisuustuotannon määrä vuonna t

Koko teollisuuden energiankulutus on toimialojen kulutuksien summa.

$$(2) \quad EC^t = \sum_i ec_i^t, \text{ jossa}$$

EC^t = teollisuuden energian kokonaiskulutus vuonna t.

Energiankulutuksen suhteellinen muutos vuodesta 0 vuoteen t vastaa tulon tekijöiden suhteellisen muutoksen tuloa.

$$(3) \quad \frac{EC^t}{EC^0} = x_0^t y_0^t Q_0^t$$

Jotta muutos saadaan ositettua konsistentisti em. tekijöille, se lasketaan logaritmisena.

$$(4) \quad \log\left(\frac{EC^t}{EC^0}\right) = \log x_0^t + \log y_0^t + \log Q_0^t$$

Kukin tulon osatekijä muodostuu seuraavasti:

$$(5) \quad \log x_0^t = w_1^t \log \left(\frac{x_1^t}{x_1^0} \right), \text{ ja vastaavasti } Y:\text{lle ja } Q:\text{lle.}$$

Tulon tekijöiden paino, w_1^t , kuvaa sitä energiankulutuksen osuutta, joka yksittäisellä toimialalla on teollisuuden kokonaisenergiankulutuksesta.

Tulon tekijöiden painoina on tässä yhteydessä käytetty Vartia-indeksin painoja. Merkitään

$$(6) \quad w_1^t = \frac{L(ec_1^t, ec_1^0)}{L(EC^t, EC^0)}$$

Energiankulutuksen muutos voidaan laskea osatekijöittäin myös absoluuttisissa yksiköissä, esim. ekvivalenteissa öljytonneissa.

$$(7) \quad EC^t - EC^0 = \log(x_0^t) L(EC^t, EC^0) + \log(Y_0^t) L(EC^t, EC^0) + \log(Q_0^t) L(EC^t, EC^0).$$

Laskentamenetelmä yksittäisten energialajien (sähkö, öljytuotteet) kohdalla on samanlainen, paitsi että eri energialajien välistä substituotumista on merkitty muuttujalla, joka kuvaa yksittäisen energialajin osuutta koko energiankulutuksesta kullakin toimialalla. Näin öljytuotteiden kohdalla yhtälö on muotoa:

$$(8) \quad oc_1^t = z_1^t y_1^t q_1^t, \text{ jossa}$$

$$z_1^t = \frac{oc_1^t}{ec_1^t} = \text{öljytuotteiden osuus kokonaisenergiankulutuksesta toimialalla } i \text{ vuonna } t.$$

Energialajien tarkastelussa ei ole laskettu teollisuuden rakennemuutoksen vaikutusta. Rakennemuutoksen vaikutus sisältyy tällöin osittain tuotannon kasvun vaikutukseen ja osittain ominaiskulutuksen muutoksen vaikutukseen. Painoina on käytetty kunkin toimialan kuluttamien eri energialajien osuutta koko teollisuuden kuluttamasta samasta energialajista Vartia-indeksi painokaavan mukaan.

Laskentamenetelmä on kaiken kaikkiaan tekninen määräidentiteetti, jonka avulla energiankulutuksen muutosten osittaminen tapahtuu loogisesti ja konsistentisti. Kaavaa voi soveltaa mihin tahansa taloudellisesti perusteltuun muuttujaan. Kaavan taustalla ei ole mitään käyttäytymistä koskevaa teoriaa, joten tulosten tulkinta tapahtuu muun tiedon perusteella. Erityisesti tämä koskee hintamuuttujan keskeistä osuutta, joka ei ylläolevissa yhtälöissä näy eksplisiittisesti.

Energian ja eri energialajien (eli sähkön ja öljytuotteiden) kulutuksen muutoksien kontribuutiot laskettiin ns. ketjustrategialla eli vuodesta toiseen eri osatekijöiden osalta. Taulukkoon 1 on kerätty ekvivalenteissa öljytonneissa ilmaistut eri osatekijöiden kontribuutiot teollisuuden energiankulutuksen muutokseen summaamalla vuosittaiset muutokset.

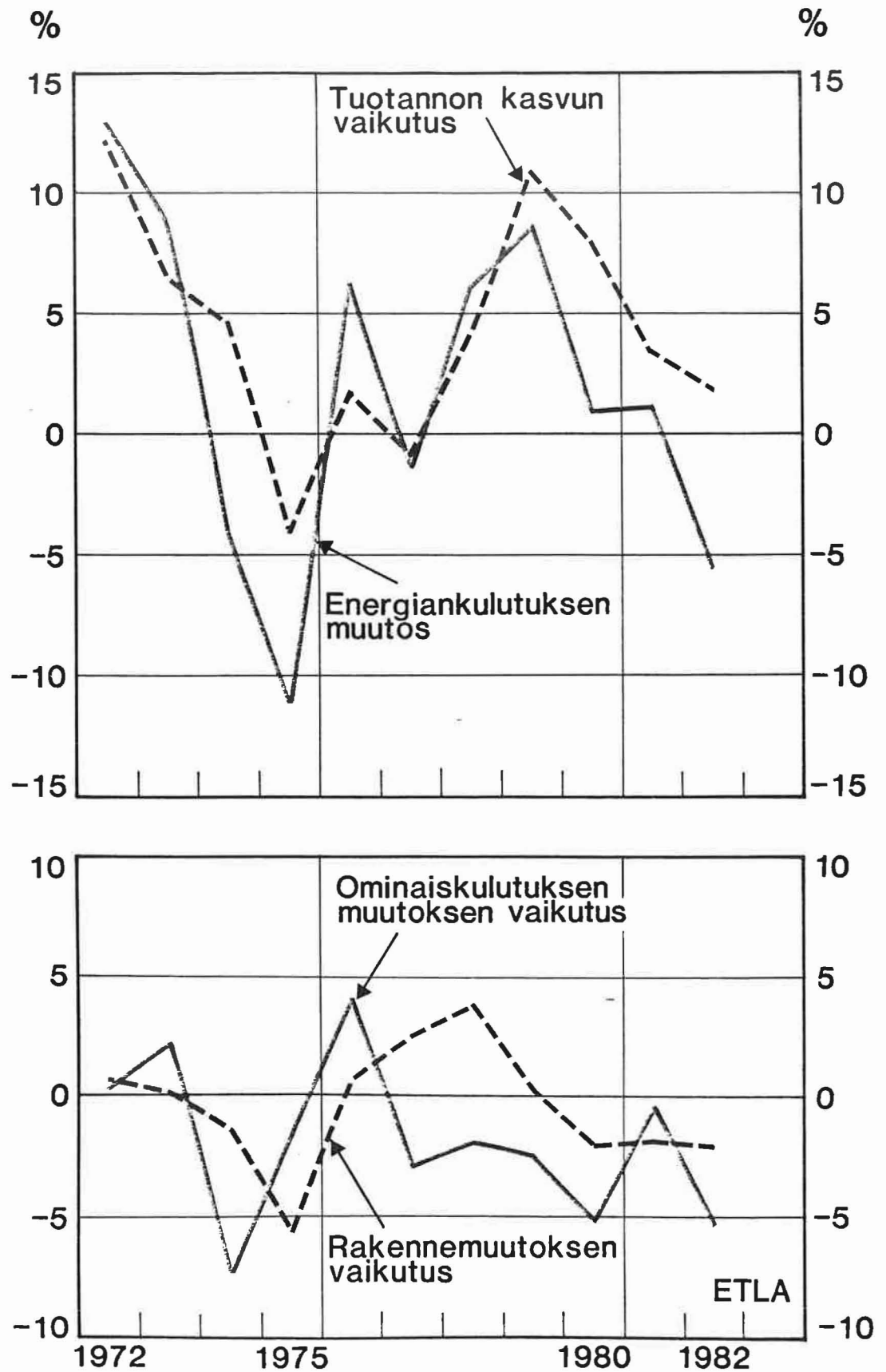
Teollisuuden kuluttaman kokonaisenergian määrä ei juurikaan muuttunut tarkastelujaksolla 1973–1982. Mikäli teollisuuden rakenne ja energian ominaiskulutus olisivat pysyneet samoina kuin vuonna 1973, olisi teollisuustuotannon kasvun vaikutus lisännyt energiankulutusta varsin tuntuvasti. Tuotannon kasvuvaikutushan ylsi vuosina 1973–1982 lähes 2.5 miljoonaan ekvivalenttiseen öljytonniin, kun teollisuuden käyttämä

kokonaisenergiämäärä vaihteli samana ajanjaksona 7-8.5 miljoonan ekvivalenttista öljytonnia vastaavan määrän välillä. Teollisuuden tehostunut energiankäyttö (ominaiskulutuksen pieneneminen), "säästö", kuitenkin lähes mitätöi kasvuvaikutuksen. Säästötoimenpiteiden vaikutus näyttää lisäksi pysyneen melko tasaisena molempien öljykriisien jakeisinä vuosina, poikkeuksena kuitenkin vuosi 1976 (kuvio 3). Teollisuuden rakennemuutoksen vaikutus energiankulutuksen pienenemiseen ajoittuu pääasiassa 1980-luvulle.

Taulukko 4. Eri tekijöiden vaikutus teollisuuden kokonaisenergian, sähkön ja öljytuotteiden kulutuksen muutokseen 1000 toe.

	Kulutuk- sen muutos	Tuotan- non kasvun vaikutus	Ominais- kulutuk- sen muu- toksen vaikutus	Rakenne- muutok- sen vaikutus	Energia- lajien välinen substi- tuutio vaikutus
Kokonais- energia					
1973-1982	-20	2380	-1880	-520	
1973-1979	250	1260	-990	-20	
1979-1982	-270	1120	-890	-500	
Sähkö					
1973-1982	420	430	-360		350
1973-1979	330	280	-180		230
1979-1982	90	150	-180		120
Öljytuotteet					
1973-1982	-1470	730	-780		-1420
1973-1979	-1020	520	-470		-1070
1979-1982	-450	210	-310		-350

Kuvio 3. Teollisuuden energiankulutuksen vuosittaiset muutokset ja niiden jakautuminen eri osatekijöihin.

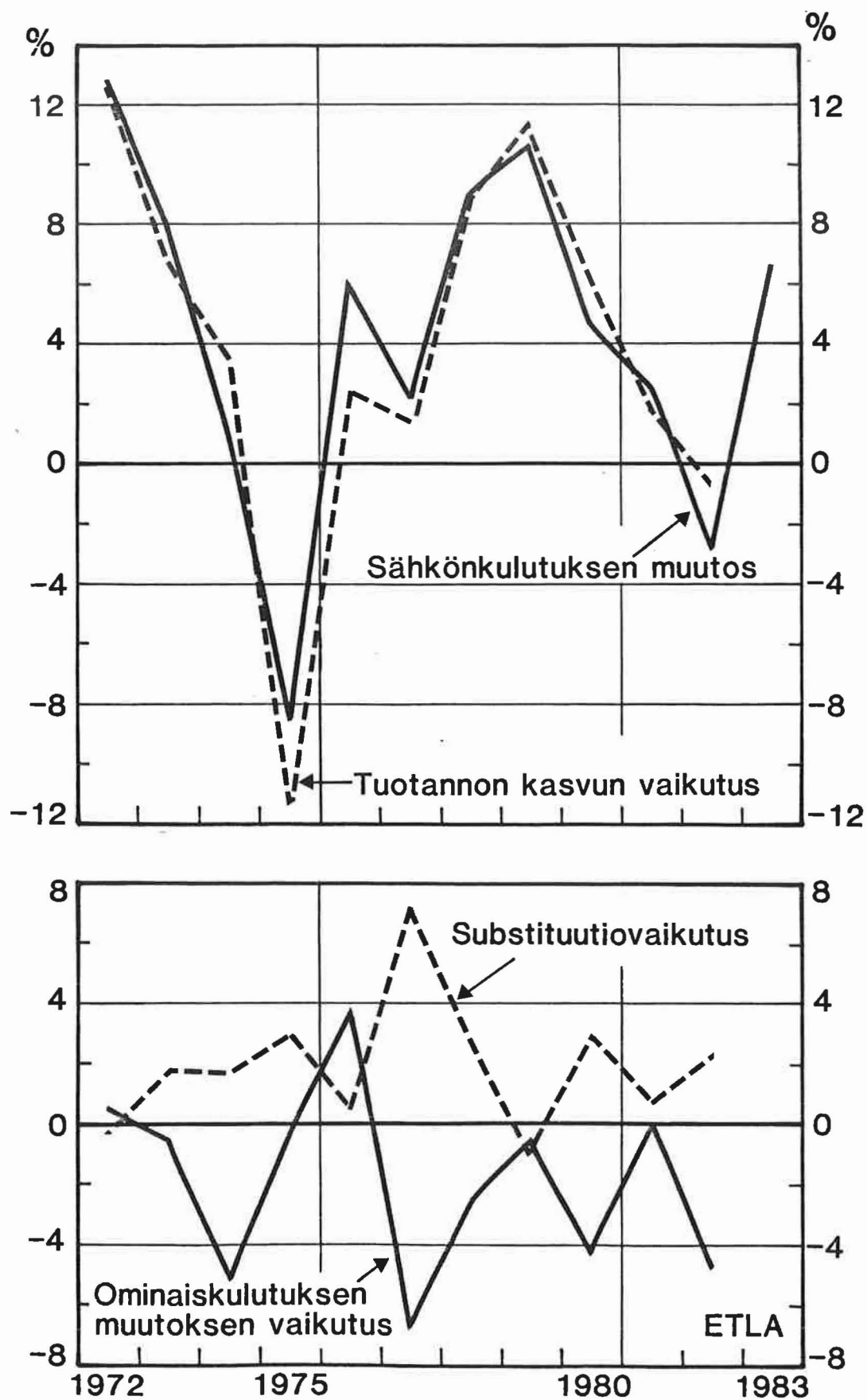


Teollisuuden sähkönkulutus on kasvanut tarkastelukaudella 420 000 ekvivalenttista öljytonnia vastaavan määrän. Kasvu on aiheutunut miltei tarkalleen tuotannon kasvun vaikutuksesta, koska ominaiskulutuksen pienenemisestä seurannut kulutuksen väheneminen on korvautunut sähkön osuuden lisääntymisenä teollisuuden energialähteenä (substituutiovaikutus energia-aggregaatin sisällä). Lisäksi vuosittaiset poikkeamat substituutiovaikutuksen ja ominaiskulutuksen vaikutuksen välillä ovat melko vastakkaisia, kuten kuviosta 4 havaitaan. Aina kun ominaiskulutuksen paraneminen on pienentänyt sähkönkulutusta, on sähkö myös merkittävästi lisännyt osuuttaan. Kaiken kaikkiaan teollisuuden sähkönkulutuksen kasvu on erittäin voimakkaasti sidoksissa tuotannon kasvuun.

Suoritetussa laskelmassa ei ole eksplisiittisesti tarkasteltu hinnan vaikutusta sähkönkulutukseen. Voidaan kuitenkin todeta, että teollisuuden maksama sähkön hinta on tarkastelukaudella 1973–1982 noussut tukkutariffin mukaan noin 3.5-kertaiseksi, kun vastaavasti esimerkiksi raskaan polttoöljyn hinta kohosi lähes 7-kertaiseksi. Täten sähkön suhteellisen hinta-aseman paraneminen on näkynyt tässä suoritetussa tarkastelussa kaikissa osatekijöissä: tuotannon kasvun vaikutus teollisuuden sähkönkulutukseen on ollut merkittävä, ominaiskulutuksen pieneneminen ei ole kohdistunut sähköön yhtä selvästi kuin esim. öljytuotteisiin sekä sähkö on lisännyt osuuttaan energiamuotona teollisuudessa substituutiovaikutuksen ollessa huomattava.

Sähkön käytön kasvulle voidaan löytää myös muita syitä. Ominaiskulutuksen pieneneminen keskimääräistä vähemmän sekä substituutiovaikutuksen voimakkuus voivat viitata siihen, että sähkön käytön lisäys tuo säästöä muiden panosten käytössä ja ilmenee esimerkiksi pääoman käytön

Kuvio 4. Teollisuuden sähkönkulutuksen vuosittaiset muutokset ja niiden jakautuminen eri osatekijöihin.



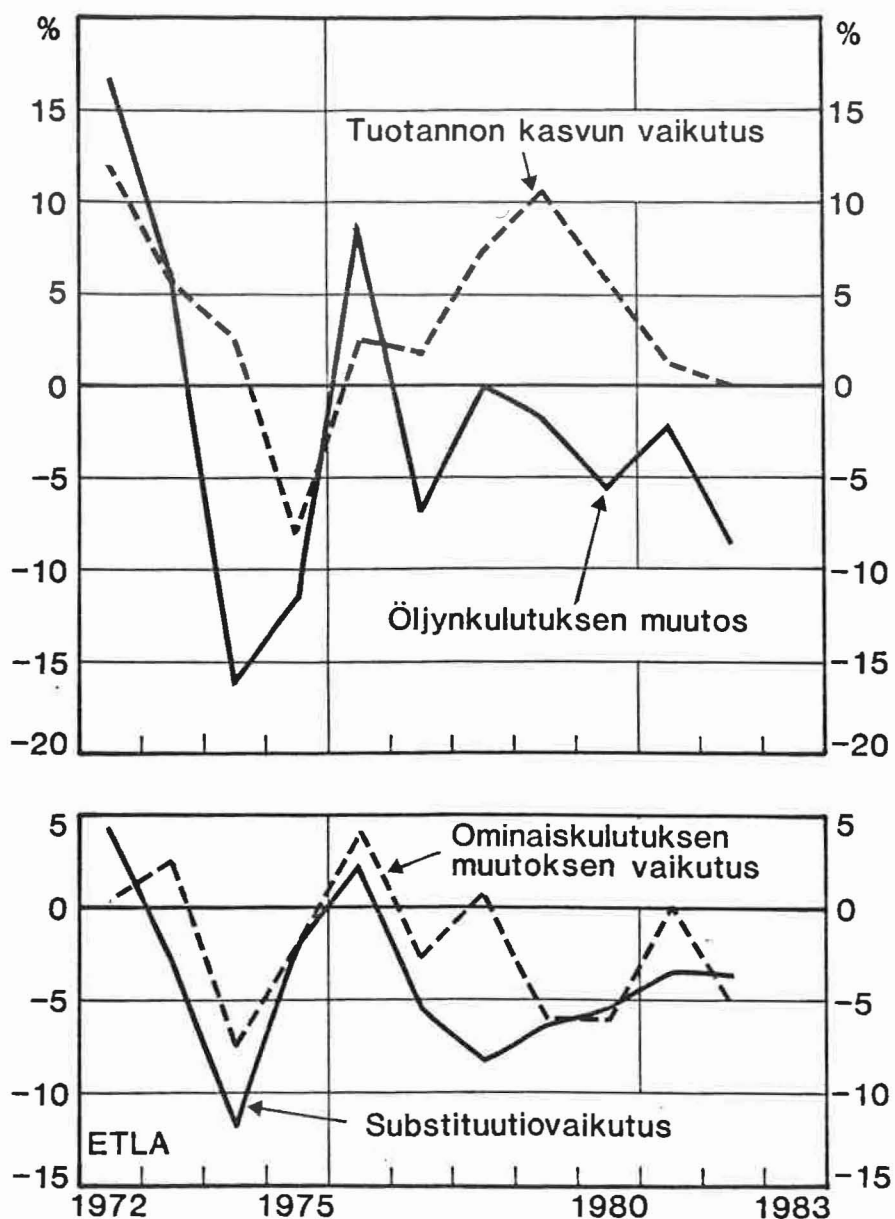
tehostumisena. Tarkkoja tutkimustuloksia tästä asiasta ei ole kuitenkaan käytettävissä.

Teollisuuden kuluttamien öljytuotteiden määrä on vähentynyt voimakkaasti 1970-luvun hinnannousujen takia. Tuotannon kasvun vaikutuskin on kohdistunut öljytuotteisiin melko vaimeana, ja pääosin vain 1970-luvun loppupuolella ennen toista öljykriisiä. Tuotannon kasvusta johtuneen öljynkulutuksen lisäyksen on puolestaan neutraloinut ominaiskulutuksen pieneneminen. Näin ajanjaksolla 1973-1982 öljytuotteiden kulutuksen supistumiseen on kontribuoinut voimakkaaimmin substituutiovaikutus eli öljytuotteiden korvautuminen muilla energialähteillä. Kuitenkin substituutiovaikutuksen suuruus näyttää vaimenevan 1980-luvun alussa (kuvio 5).

6. Johtopäätöksiä

Teollisuustuotannon kasvun ja sähkönkulutuksen kasvun suhteessa on Suomessa tapahtunut lievä pieneneminen verrattaessa aikaa ennen ja jälkeen ensimmäisen öljykriisin (1973). Kuitenkin teollisuuden sähkönkulutus on edelleen kasvanut miltei samaa vauhtia tuotannon kanssa. Vaikka energian ominaiskulutuksen pieneneminen vähentää sähkönkulutusta, tämä vaikutus on kompensoitunut sähkön substituutioefektillä. Sähkö energiamuotona on vallannut ajanjaksona 1973-82 muilta energialajeilta yhtä paljon alaa kuin ominaiskulutuksen pieneneminen on vähentänyt sähkönkulutusta. Koska energian kokonaiskulutuksessa ei tapahtune lähivuosina teollisuudenkaan osalta voimakasta kasvua, kiristyy kilpailu eri energialajien kesken. Ilmeisesti substituutiovaikutus pysyy edelleen

Kuvio 5. Teollisuuden öljytuotteiden kulutuksen vuosittaiset muutokset ja niiden jakautuminen eri osatekijöihin.



sähkönkulutusta kasvattavana, jos sähkön hinta suhteessa muihin energiapanoksiin halpenee. Toisaalta ominaiskulutuksen muutoksen sähkönkulutusta pienentävä vaikutus vaimentunee insenttiivien heikentyessä, mikäli sähkön hintakehitys pysyy nykynäkymien mukaisesti reaalisesti vakaana tai jopa laskevana. Täten ei ole mitään syytä olettaa vuodesta 1973 jatkuneen sähkönkulutuksen ja tuotannon kasvun suhteen oleellisesti ainakaan pienentyvän, vaan tämä suhde saattaa jopa kasvaa.

Sähkön hintajouston alhaisuus, joka on johdonmukaisesti todettu useissa tutkimuksissa, antaa aiheen otaksua, että hinnan tuntuvatkaan muutokset eivät vaikuta sähkönkulutukseen välittömästi yhtä paljon kuin on laita muiden energialajien kohdalla.

Energian (ja sähkön) sekä pääoman suhde on tutkimusten mukaan kiistanalainen. Mikäli uusimmat tutkimustulokset, joiden mukaan energia ja pääoma ovat substituuotteja, pitävät paikkansa, ei energian arvioitu reaali-hinnannousu pitkällä aikavälillä välttämättä johda pääomanmuodotuksen vaimentumiseen. Täten edellytykset tuotannon kasvulle ovat investointien osalta edelleen olemassa pitkälläkin aikavälillä.

Energia ja raaka-aineet ovat keskenään substituuotteja. Eräillä teollisuudenaloilla raaka-aineiden käytön tehostuminen, "säästö", lisää tuntuvasti etenkin sähkönkulutusta tuotantoprosessin teknisen muutoksen myötä. Raaka-aineiden käytön muutoksilla saattaa lisäksi olla merkittävä vaikutus energian ja muiden tuotantopanosten, esim. pääoman väliseen suhteeseen. Vaikutusta on a priori vaikea määritellä, mutta on merkkejä siitä, että ainakin eräillä toimialoilla energian ja raaka-aineiden substituuuttisuhde vaikuttaa myös energian ja pääoman substituoitumista edistävasti. Tämä koskee ainakin Suomen massateollisuutta.

Eri energialajien väliset substituuutiojoustot ovat yleensä huomattavasti tuotantopanosten välisiä substituuutiojoustoja suuremmat. Tällöin mahdollisuudet siirtymiin eri energialajien välillä lienevät pitkällä aikavälillä verraten tuntuvat. Energiapanosten väliset substituuotiomahdollisuudet koskevat tutkimusten mukaan eniten hiiltä, öljyä ja kaasua.

Kirjallisuutta:

- Berndt, E.R., Morrison, C.J. ja Watkins, G.C. (1980): Dynamic Models of Energy Demand: An Assessment and Comparison, University of British Columbia, Research Paper No. 49.
- Conrad, K. (1983): Costs Prices and Partially Fixed Factor Proportions in Energy Substitution. *European Economic Review*, s. 299-312.
- Criqui, P. (1983): Impacts of the first oil crisis, international comparisons from the Sibilin data base, teoksessa *Energy demand analysis*, Energy Systems Studies, AES 1983:2, Stockholm.
- Dargay, J.M. (1980): The Demand for Energy in Swedish Manufacturing, IUI, Working Paper No. 33.
- Dargay, J.M. (1983): The Demand for Energy in Swedish Manufacturing Industries. *Scandinavian Journal of Economics*, s. 37-51.
- Field, B.C. ja Grebenstein, C. (1980): Capital-Energy Substitution in U.S. Manufacturing. *Review of Economics and Statistics*, s. 207-212.
- Fuss, M.A. (1977): The Demand for Energy in Canadian Manufacturing. *Journal of Econometrics*, s. 89-116.
- Griffin, J.M. ja Gregory, P.R. (1976): An Intercountry Translog Model of Energy Substitution Responses. *American Economic Review*, s. 845-857.
- Hudson, E.A. ja Jorgenson, D.W. (1974): U.S. Energy Policy and Economic Growth, 1975-2000. *Bell Journal of Economics and Management Science*, s. 461-514.
- Longva, S. ja Olsen, Ø. (1983): Price Sensitivity of Energy Demand in Norwegian Industries. *Scandinavian Journal of Economics*, s. 17-36.
- Magnus, J.R. (1979): Substitution between Energy and Non-Energy Inputs in the Netherlands 1950-1976. *International Economic Review*, s. 465-484.
- Mittlestädt, A. (1983): Use of Demand Elasticities in Estimating Energy Demand. OECD, Economics and Statistics Department, Working Paper n:o 1.
- Mork, K.A. (1978): The Aggregate Demand for Primary Energy in the Short and Long Run for the U.S. 1949-1975, MIT, Energy Laboratory, Report n:o MIT-EL 78-007WP.
- Pikkarainen, P. (1984): Teollisuuden energian kysynnästä Suomessa vuosina 1960-1982, Suomen Pankki, TU 6/1984.
- Pindyck, R.S. (1979): Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: An International Comparison. *Review of Economics and Statistics*, s. 169-179.

- Tarkka, H. (1983): Factor Proportions and Technical Change in Finnish Manufacturing. Taloudellinen Suunnittelukeskus, Raportti n:o 8.
- Turnovsky, M., Folie, M., Ulph, A. (1982): Factor Substitutability in Australian Manufacturing with Emphasis on Energy Inputs, Economic Record, s. 61-72.
- Vartia, Y.O. (1976): Relative Changes and Index Numbers. Etla A 4.
- Wibe, S. (1983): Substitution and Complementary in the Machine-Making Industry, Umeå Economic Studies N:o 132.
- Özatalay, S., Grubaugh, S. ja Long, T.T. (1979): Energy Substitution and National Energy Policy. American Economic Review, s. 369-371.