

# Interne notater

STATISTISK SENTRALBYRÅ

86/30

12. juni 1986

## SUBSTITUSJON MELLOM ELEKTRISITET OG OLJE

### I FIRE AGGREGERTE PRODUKSJONSSEKTORER

av

Brita Bye

#### INNHold

1.	INNLEDNING.....	s.	2
2.	BAKGRUNN OG PROBLEMSTILLING.....	s.	2
	2.1. Utviklingen på energimarkedet.....	s.	2
	2.2. Om substitusjon mellom elektrisitet og olje.....	s.	2
3.	PRODUKSJONSSIDEN I MSG-4E.....	s.	4
	3.1. Tilpasningen på produksjonssiden i MSG-4E.....	s.	4
	3.2. Nærmere om energiproduktfunksjonen.....	s.	6
4.	VALG AV FUNKSJONSFORM.....	s.	8
5.	DATA.....	s.	14
6.	RESULTATER FRA ESTIMERINGEN.....	s.	15
	6.1. Kommentarer til resultatene.....	s.	16
	6.2. Utviklingen i substitusjonselastisiteten.....	s.	19
7.	LITT OM TEKNOLOGISK UTVIKLING.....	s.	21
	7.1. Innføring av eksponensiell teknisk endring.....	s.	21
	7.2. Resultater fra estimeringen.....	s.	24
	7.3. Substitusjonselastisiteten som en lineær funksjon av teknisk endring.....	s.	26
	7.4. Resultater fra estimeringen.....	s.	28
8.	TESTSKJEMA.....	s.	30
9.	KONKLUSJONER.....	s.	32
	LITTERATURLISTE.....	s.	33
	VEDLEGG:		
	A. Datamaterialet.....	s.	34

#### Abstract

Notatet beskriver en analyse av substitusjonen mellom elektrisitet og olje i fire aggregerte produksjonssektorer. Det undersøkes om substitusjonselastisiteten mellom de to energivarene har vært uendret over en periode på tre år. Det blir også sett på om teknologisk endring har påvirket etterspørselen etter de to energivarene.

## 1. INNLEDNING.

I denne oppgaven vil det bli tatt utgangspunkt i visse forhold ved substitusjonen mellom olje og elektrisitet i produksjonssektorene i den norske planleggingsmodellen MSG-4 (Multi-Sectoral Growth), (Longva, Lorentsen og Olsen, 1985). MSG ble første gang presentert av L. Johansen i 1960. Etter dette er det kommet flere endrede og forbedrede versjoner av modellen. Modellen ble opprinnelig laget for å studere viktige sider ved en økonomisk vekstprosess. Det ble lagt stor vekt på å forklare forskjellene i vekstrater for de ulike sektorene i økonomien. Modellen har vært brukt av Finansdepartementet til ulike beregninger i nærmere 20 år. SSB har ansvaret for vedlikehold og utvikling av modellen.

Den siste versjonen av modellen, MSG-4E, kom i 1980. Den ble laget for spesielt å kunne studere langtidssammenhengene mellom produksjon og bruk av energi, og økonomisk vekst. Modellen har i alt 32 produksjonssektorer. Av disse er 27 sektorer for bedrifter og 5 sektorer for offentlig forvaltning.

## 2. BAKGRUNN OG PROBLEMSTILLING.

### 2.1. Utviklingen på energimarkedet.

De siste tre årene har det skjedd betydelige endringer i prisnivåene og i det relative prisforholdet mellom elektrisitet og olje. I 1950- og 1960-årene hadde man en periode med synkende oljepriser og svakt stigende elektrisitetspriser. Elektrisitetsprisen økte relativt til oljeprisen.

Fra oljeprishoppet i 1973 har vi nesten helt frem til i dag hatt en økning i oljeproduktprisen. De største økningene kom i 1973-74 og i 1978-79. I perioden 1974 til 1978 var prisstigningen på olje jevn. Oljeprisen har økt, og i perioder økt sterkt, relativt til elektrisitetsprisen. Etter 1980 har det vært en nedgang i oljeprisen, og oljeprisen har sunket betydelig i forhold til elektrisitetsprisen.

På bakgrunn av disse prisendringene har det foregått en betydelig substitusjon fra bruk av olje som innsatsfaktor til bruk av elektrisitet i store deler av industrien i løpet av perioden 1973 - 1985.

### 2.2. Om substitusjon mellom elektrisitet og olje.

I MSG-4E antas det at produksjonen i en sektor avhenger av fem innsatsfaktorer; arbeidskraft, kapital, elektrisitet, olje og annen vareinnsats. Det er forutsatt Hicks-nøytral teknisk endring og nøytral skalaendring.

Substitusjonselastisiteten mellom elektrisitet og olje er i nåværende

modell estimert på grunnlag av data fra perioden 1962 - 1981, og blir brukt ved framskrivninger med modellen fram til år 2010.

Endringene i det relative prisforholdet mellom olje og elektrisitet har som tidligere omtalt ført til en substitusjon fra bruk av olje som innsatsfaktor til bruk av elektrisitet i store deler av industrien. Hvis en tilsvarende substitusjon fortsetter vil antakelig etterhvert substitusjonsmulighetene avta hvis ikke bedriftens teknologi endres. En fortsatt substitusjon vil være avhengig av en teknologisk utvikling slik at energidelen av innsatsfaktorene blir mer elektrisitetsintensiv og mindre oljeintensiv ( T. Bye, 1984 ).

På kort sikt kan altså en bedrift p.g.a. den teknikk den har valgt stå overfor beskrankninger i tilpasningen. Det kan være små muligheter for substitusjon mellom to innsatsfaktorer som følge av endring i det relative prisforholdet mellom disse to. Det er derfor på lang sikt hvor det er færre beskrankninger i tilpasningen at man kan få til en større substitusjon mellom to innsatsfaktorer.

En substitusjon fra olje til elektrisitet i allerede etablerte bedrifter som følge av store endringer i relative priser, vil ofte være avhengig av nye investeringer i det energiforbrukende system i produksjonen, noe som det ofte kan ta flere år å gjennomføre.

Ved nyinvesteringer og ved etablering av nye bedrifter vil usikkerhet m.h.t. prisene på olje og elektrisitet (og andre energibærere) spille en viktig rolle ved valg av teknikk. En rimelig hypotese er at når prisforskjellene er små velger bedriftene et energisystem som har store substitusjonsmuligheter mellom energibærerne. Store prisforskjeller på investeringstidspunktet kan trekke i retning av oppvarmings- og prosessutstyr hvor substitusjonsmulighetene er mer begrenset.

Endringene i den relative prisen mellom de to energibærerne kan ha bidratt til at forutsetningene i MSG-4 om nøytral teknisk endring og skalaendring ikke er riktige jfr. Frenger, (1984) . Det er lite sannsynlig at substitusjonselastisiteten mellom elektrisitet og olje har vært konstant og uavhengig av en teknisk utvikling som kan ha ført til endrede input-koeffisienter de siste tyve årene, og at substitusjonselastisiteten fortsatt vil være uendret i en langsiktig prognoseperiode.

Vi skal her se nærmere på substitusjonselastisiteten mellom elektrisitet og olje. Vi skal estimere substitusjonselastisiteter på et observasjonsmateriale fra 1950 til 1981 for å teste om substitusjonselastisiteten har endret seg i løpet av perioden. Hvis substitusjonselastisiteten har endret seg i løpet av en tredve-årsperiode, er det rimelig å anta at den vil endres i løpet av en periode på femti år (1962 - 2010), som benyttes ved estimering og framskrivning av MSG-modellen, fordi det er mye som tyder på at det vil skje betydelige endringer i relative priser i årene som kommer.

Beregningene blir gjort for fire industrisektorer, to fra alminnelig industri; produksjon av næringsmidler (sektor 16) og produksjon av treforedlingsprodukter (sektor 34), og to sektorer fra den kraftkrevende industrien; produksjon av kjemiske råvarer (sektor 37) og produksjon av metaller (sektor 43).

### 3. PRODUKSJONSSIDEN I MSG-4E.

#### 3.1. Tilpasningen på produksjonssiden i MSG-4E.

Det følgende gjelder for hver produksjonssektor, og vi vil derfor droppe fotskrift for sektor nr. j.

Produktfunksjonen i en sektor kan skrives som ( T. Bye, 1984)

$$(3.1.1) \quad X = F(K, L, M, g(E, F))$$

hvor

X = total produksjon i sektoren

K = mengden av realkapital brukt i produksjonen

L = mengden av arbeidskraft brukt i produksjonen

M = mengden av annen vareinnsats brukt i produksjonen

U =  $g(E, F)$  = mengden av energi brukt i produksjonen

E = mengden av elektrisitet brukt i produksjonen

F = mengden av olje brukt i produksjonen

I denne produksjonsmodellen er det substitusjonsmuligheter mellom de fire innsatsfaktorene K, L, M og U, og mellom E og F.

Andre forutsetninger som gjelder for produktfunksjonen (3.1.1) er:

-Innsatsfaktorene er aggregerte størrelser, og innenfor hvert aggregat er det antatt faste koeffisienter mellom de enkelte innsatsfaktorene. Det er altså ikke substitusjonsmuligheter mellom innsatsfaktorene innenfor et slikt aggregat.

-Innenfor energiaggregatet, representert ved produktfunksjonen for energi  $U = g(E, F)$ , er det substitusjon mellom de to energibærerne elektrisitet og olje. De to innsatsfaktorene elektrisitet og olje er homogent separable fra de andre innsatsfaktorene. Elektrisitet og olje substitueres derfor med de andre innsatsfaktorene via energiaggregatet U.

-Produktfunksjonen er homotetisk

-Hver av funksjonene for de fire aggregerte innsatsfaktorene er lineært homogene.

Det antas at produsentene tilpasser seg slik at produksjonskostnadene minimeres.

Fordi produktfunksjonen (3.1.3) er homotetisk kan den skrives som (Hoel, 1983)

$$(3.1.2) \quad F(K, L, M, g(E, F)) = G(k(K, L, M, g(E, F)))$$

hvor  $k(K, L, M, g(E, F))$  er homogen av grad 1.

Når (3.1.2) gjelder kan (3.1.1) skrives som

$$H(X) = k(K, L, M, g(E, F))$$

hvor

$$H(X) = G^{-1}(X)$$

d.v.s  $H(X)$  er den inverse funksjonene til (3.1.1).

Den duale kostnadsfunksjonen (Varian, 1984) til produktfunksjonen kan da skrives som

$$(3.1.3) \quad C = H(X) Q(P_K, P_L, P_M, P_U^U(P_E, P_F)) \quad i = K, L, M, U, E, F.$$

der  $Q$  er enhetskostnadsfunksjonen og  $P_i$  = prisindeks for innsatsfaktor nr.  $i$ .

$$(3.1.4) \quad P_U = P^U(P_E, P_F)$$

der (3.1.4) er den duale enhetskostnadsfunksjonen til energiproduktfunksjonen  $U = g(E, F)$ . Kostnadsfunksjonen kan tolkes som en prisindeks for energi, og den er svakt homotetisk separabel fra prisindeksene til de andre innsatsfaktorene.

Vi skal her drøfte substitusjonen mellom elektrisitet og olje, og vil derfor se nærmere på energiproduktfunksjonen  $U = g(E, F)$ .

### 3.2. Nærmere om energiproduktfunksjonen.

Energiproduktfunksjonen forutsettes å være lineær homogen. Denne forutsetningen, i tillegg til forutsetningene om separabilitet som er gjort tidligere, innebærer at optimal faktorkombinasjon kan oppnås ved først å optimere sammensetningen av elektrisitet og olje på grunnlag av prisene på de to innsatsfaktorene, slik at man kommer fram til de kostnadsminimerende inputkoeffisientene. Deretter optimeres sammensetningen av de fire innsatsfaktorene K, L, M og U.

$$(3.2.1) U = g(E, F)$$

Den tilhørende duale kostnadsfunksjonen til energiproduktfunksjonen (3.2.1) kommer man fram til ved å anta at "produsenten" innenfor en sektor minimerer de variable kostnadene ved bruk av elektrisitet og olje (C) ved en gitt mengde produsert energi U.

$$(3.2.2) C = C(P_E, P_F; U) = \min_{E, F} (P_E E + P_F F) \quad \text{gitt } U \leq g(E, F)$$

Kostnadene er en funksjon av prisene på de to innsatsfaktorene gitt nivået på den produserte mengden energi.

Fordi produktfunksjonen er forutsatt lineær homogen kan kostnadsfunksjonen skrives

$$(3.2.3) C = U c(P_E, P_F)$$

Enhetskostnadsfunksjonen c vil da gi et uttrykk for prisen på energi  $P_U$ .

$$(3.2.4) P_U = \frac{C}{U} = c(P_E, P_F)$$

som er den duale enhetskostnadsfunksjonen til (3.2.1).

Det kan vises at når forutsetningene (se kap. 3.1) for produktfunksjonen gjelder, så har kostnadsfunksjonen disse egenskapene. (Hoel, 1983)

1. Homogen av grad en i faktorprisene.

$$C(tP_E, tP_F) = t C(P_E, P_F) \quad , \quad \text{for alle } 0 \leq t$$

2. Ikke-avtakende funksjon av produsert mengde energi og av faktorprisene.

$$0 \leq \frac{\partial C}{\partial U} \quad , \quad 0 \leq \frac{\partial C}{\partial P_E} \quad , \quad 0 \leq \frac{\partial C}{\partial P_F}$$

3. Funksjonen er konkav i faktorprisene.

Hvis for alle  $P', P''$  og  $\alpha \in (0, 1)$

$$\alpha C(P') + (1-\alpha)C(P'') \leq C(\alpha P' + (1-\alpha)P'') \quad \text{så er } C(P) \text{ konkav.}$$

I følge Shepard's lemma ( Varian, 1984 ) er

$$(3.2.5) \quad E = \frac{\partial C(P_E, P_F)}{\partial P_E} = U \frac{\partial c(P_E, P_F)}{\partial P_E}$$

$$(3.2.6) \quad F = \frac{\partial C(P_E, P_F)}{\partial P_F} = U \frac{\partial c(P_E, P_F)}{\partial P_F}$$

De første ordens deriverte av kostnadsfunksjonen m.h.p faktorprisene er lik de kostnadsminimerende input av de respektive innsatsfaktorene. Disse etterspørselsfunksjonene er homogene av grad 0 i faktorprisene.

Mengden av total energi,  $U$ , er en ikke-observerbar variabel. En måte å løse dette problemet på ( T. Bye, 1984 ) er å se på forholdet mellom de to etterspørselsfunksjonene.

$$(3.2.7) \quad \frac{E}{F} = \frac{\partial c(P_E, P_F) / \partial P_E}{\partial c(P_E, P_F) / \partial P_F}$$

Da faller  $U$  bort.

#### 4. VALG AV FUNKSJONSFORM.

Produktfunksjonen (3.1.1) er en funksjon på øvre trinn i MSG-modellen, mens energiproduktfunksjonen (3.2.1) er på nedre trinn (T. Bye, 1984).

På grunn av forutsetningene som er gjort om (3.1.1) kan valg av funksjonsform for (3.2.1) (nedre trinn) foregå uavhengig av valg av funksjonsform for (3.1.1) (øvre trinn).

Ved valg av funksjonsform for (3.2.1) blir det tatt utgangspunkt i en C.E.S-funksjon (C.E.S. = constant elasticity of substitution). En får da enkle økonometriske relasjoner.

$$(4.1) U = \left[ \delta \left( \frac{F}{\delta} \right)^{-\rho} + (1-\delta) \left( \frac{E}{1-\delta} \right)^{-\rho} \right]^{-1/\rho}$$

der  $\delta$  er fordelingsparameter og  $\rho$  er substitusjonsparameter. Den tilhørende kostnadsfunksjonen kommer en fram til ved å minimere de totale kostnadene gitt produsert mengde energi. [ jfr. (3.2.2) ]

$$(4.2) C(P_E, P_F; U) = \min_{E, F} \{ P_E E + P_F F \}$$

$$\text{når } U = \left[ \delta \left( \frac{F}{\delta} \right)^{-\rho} + (1-\delta) \left( \frac{E}{1-\delta} \right)^{-\rho} \right]^{-1/\rho}$$

Den duale kostnadsfunksjonen ( Varian, 1984 ) blir da

$$(4.3) C(P_E, P_F) = U \left[ \delta (P_F)^{(1-\sigma)} + (1-\delta) (P_E)^{(1-\sigma)} \right] \left( \frac{1}{(1-\sigma)} \right)$$

$$\text{der } \sigma = \frac{1}{1+\rho}$$

Substitusjonsforholdet mellom de to faktorene kan uttrykkes ved en Allen-Uzawa substitusjonselastisitet som er definert ved

$$(4.4) El_{P_E/P_F} \left[ \frac{E(P_E, P_F)}{F(P_E, P_F)} \right] = - \frac{\partial(E/F)}{\partial(P_E/P_F)} \frac{P_E / P_F}{E / F}$$

gitt  $U = \text{konstant}$



Substitusjonselastisiteten beskriver hvor mye faktorforholdet endrer seg som følge av en endring i forholdet mellom de to faktorprisene.

Vi deriverer kostnadsfunksjonen m.h.p.  $P_E$  og  $P_F$  for å komme fram til de respektive etterspørselsfunksjonene.

$$\frac{\partial C}{\partial P_E} = U \left[ \delta (P_F)^{1-\sigma} + (1-\delta) (P_E)^{1-\sigma} \right] \left( \frac{\sigma}{1-\sigma} \right) (1-\delta) P_E^{-\sigma}$$

som gir

$$(4.5) \quad E = U (1-\delta) \left( \frac{P_E}{P_U} \right)^{-\sigma}$$

Etterspørselen etter elektrisitet er avhengig av forholdet mellom prisen på elektrisitet og prisen på olje.

$$\frac{\partial C}{\partial P_F} = U \left[ \delta (P_F)^{1-\sigma} + (1-\delta) (P_E)^{1-\sigma} \right] \frac{\sigma}{1-\sigma} \delta P_F^{-\sigma}$$

som gir

$$(4.6) \quad F = U \delta \left( \frac{P_F}{P_U} \right)^{-\sigma}$$

Det relative faktorforholdet blir da

$$(4.7) \quad \frac{E}{F} = \frac{1-\delta}{\delta} \left[ \frac{P_E}{P_F} \right]^{-\sigma}$$

som er en funksjon av det relative faktorprisforholdet.

Fra (4.4) beregnes substitusjonselastisiteten.

$$El_{P_E/P_F} \left[ \frac{E(P_E, P_F)}{F(P_E, P_F)} \right] =$$

$$(-1) \left( \frac{1-\delta}{\delta} \right) (-\sigma) \left( \frac{P_E}{P_F} \right)^{-\sigma-1} \left( \frac{P_E}{P_F} \right) \left( \frac{\delta}{1-\delta} \right) \left( \frac{P_E}{P_F} \right)^{\sigma} = \sigma$$

der

$$(4.8) \sigma = \frac{1}{1+\sigma}$$

Substitusjonselastisiteten bestemmes altså av substitusjonsparameteren.

Ved å ta logaritmen til (4.7) får vi en enklere relasjon å estimere.

$$(4.9) \ln\left(\frac{E}{F}\right) = a - \sigma \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right) \quad \text{der } a = \ln\left(\frac{1-\delta}{\delta}\right)$$

Fordelingen av totalt energiforbruk mellom de to energibærerne elektrisitet og olje er dermed avhengig av det relative prisforholdet mellom dem, og substitusjonselastisiteten mellom dem er parameter i relasjonen.

Likning (4.9) antas å gjelde for alle produksjonssektorene. Den kan skrives som

$$(4.10) \ln\left(\frac{E}{F}\right) = a + b \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right) \quad \text{der } b = -\sigma$$

Vi skal estimere substitusjonselastisiteter for de fire sektorene som er nevnt tidligere, for å teste om forutsetningen om konstant substitusjonselastisitet i hele perioden er en rimelig antakelse i disse. Den aktuelle perioden blir delt opp i to mindre perioder for å kunne undersøke om substitusjonselastisitetene som blir estimert for de to periodene, er like. Perioden deles slik at periode 1 går fra 1950 til 1968 og periode 2 går fra 1969 til 1981. For hver sektor skal det estimeres tre substitusjonselastisiteter, en for hver av de to kortere periodene og en over hele perioden. Vi får da tre relasjoner:

$$(4.11) \ln\left(\frac{E}{F}\right)_t = a_1 + b_1 \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)_t + u_{1t}$$

for  $t = 1950, \dots, 1968$

$$(4.12) \ln\left(\frac{E}{F}\right)_t = a_2 + b_2 \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)_t + u_{2t}$$

for  $t = 1969, \dots, 1981$

$$(4.13) \ln\left(\frac{E}{F}\right)_t = a_3 + b_3 \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)_t + u_{3t}$$

for  $t = 1950, \dots, 1981$

$u_{it}$  er stokastiske restledd der  $E(u_{it}) = 0$  og  $\text{var}(u_{it}) = \sigma_{it}$  for  $i = 1, 2, 3$ .

Når koeffisientene i disse tre likningene estimeres blir estimatene for  $b$ 'ene estimater for substitusjonselastisitetene i de tre periodene (med motsatt fortegn).

For å få estimert substitusjonselastisitetene for hver av de to periodene kan man enten benytte en relasjon hvor man antar at konstantleddet er det samme i begge periodene, eller en relasjon hvor man antar at konstantleddet er forskjellig i de to periodene. Jeg har valgt å estimere begge relasjonene for å kunne teste om den delen av den relative energietterspørselen som ikke avhenger av det relative faktorprisforholdet er den samme i de to periodene. Jeg benytter binære variable for å angi hvilken periode koeffisientene gjelder for.

De tre relasjonene som skal estimeres blir da:

$$(4.14) \ln\left(\frac{E}{F}\right)_t = a_1 Z_1 + a_2 Z_2 + b_1 Z_1 \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)_t + c_1 Z_2 \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)_t + \tau_t$$

$$(4.15) \ln\left(\frac{E}{F}\right)_t = a_3 + b_2 Z_1 \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)_t + c_2 Z_2 \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)_t + u_t$$

$$(4.16) \ln\left(\frac{E}{F}\right)_t = a_4 + b_3 \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)_t + \varepsilon_t$$

hvor

$t = 1950, \dots, 1981$ , antall observasjoner er  $n = 32$ , og  $Z_1$  og  $Z_2$  er binære variable som har verdiene

$$Z_1 = \begin{cases} 1 & \text{for } t = 1950, \dots, 1968 \\ 0 & \text{ellers} \end{cases}$$

$$Z_2 = \begin{cases} 1 & \text{for } t = 1969, \dots, 1981 \\ 0 & \text{ellers} \end{cases}$$

$u_t$ ,  $\varepsilon_t$  og  $\tau_t$  er ikke-observerbare stokastiske restledd i de respektive relasjoner.

#### Restleddsforutsetninger.

For alle  $t$  gjelder

$$1. E(u_t) = 0$$

$$E(\varepsilon_t) = 0$$

$$E(\tau_t) = 0$$

$$2. \text{var}(u_t) = \omega$$

$$\text{var}(\varepsilon_t) = \mu$$

$$\text{var}(\tau_t) = \theta$$

Koeffisientene estimeres ved hjelp av programpakken OLS (ordinary least squares) i TROLL, som gir minste kvadraters estimatorer.

Hypotesen om konstant substitusjonselastisitet som skal testes er

$$(a) \quad H_0 : b_2 = c_2 \quad \text{mot} \quad H_1 : b_2 \neq c_2$$

For å teste om konstantleddene i de to periodene er like kan en sette opp hypotesen

$$(b) \quad H_0 : a_1 = a_2 \quad \text{mot} \quad H_1 : a_1 \neq a_2$$

Vi tester nullhypotesen i (a) ved å sammenligne estimerer fra relasjon (4.15) og relasjon (4.16), der relasjon (4.16) representerer nullhypotesen og relasjon (4.15) representerer den alternative hypotesen. Hvis nullhypotesen blir forkastet er substitusjonselastisitetene i de to periodene forskjellige, og relasjon (4.15) forklarer bedre endringene i den relative energietterspørselen enn relasjon (4.16).

Nullhypotesen i (b) er representert ved relasjon (4.15), og relasjon (4.14) representerer den alternative hypotesen. Disse to relasjonene blir testet mot hverandre for å undersøke om det også blir forkastning av denne nullhypotesen.

Man kan gjennomføre en slik to-trinns testing fordi relasjon (4.16) er en underhypotese av relasjon (4.15) som igjen er en underhypotese av relasjon (4.14).

Både den multiple korrelasjonskoeffisienten ( $R^2$ ) og summen av de kvadrerte avvikene (SSR) sier noe om en modells forklaringskraft (Amundsen, 1978). Vi kan derfor benytte den følgende testen: Det kan vises at (T. Bye, 1984),

$$B_{ij} = n \ln \left( \frac{SSR_i}{SSR_j} \right) \sim \chi^2_{(v_j - v_i)}$$

der  $i$  er nullhypotesen og  $j$  er den alternative hypotesen,  $n$  er antall observasjoner, og  $v_i$  er antall frihetsgrader under  $H_0$  og  $v_j$  er antall frihetsgrader under  $H_1$ .

$$SSR_k = \sum_{t=1}^n (\varphi_t)^2 \quad k = 4.14, 4.15, 4.16$$

der  $\varphi_t$  er residualet i relasjon nr.  $k$ .

$B_{ij}$  er altså tilnærmet  $k_{ji}$ -kvadratfordelt med  $(v_i - v_j)$  frihetsgrader.

$H_0$  forkastes hvis

$$B_{ij} = n \ln\left(\frac{SSR_i}{SSR_j}\right) > B_{(1-\epsilon, v_j - v_i)}$$

d.v.s hvis verdien til  $B_{ij}$  blir større enn den tilsvarende verdien i den teoretiske  $\chi^2$ -kvadratfordelingen ( $B_{(1-\epsilon, v_j - v_i)}$ ) der  $1-\epsilon$  er testnivået.

Durbin-Watson observatoren (DW) er også et mål på hvor godt en modell beskriver et observasjonsmaterialet. Den viser om en modell gir restleddskorrelasjon (Amundsen, 1978).

## 5. DATA.

Beregningene for de fire sektorene er gjort på data over mengder brukt av elektrisitet og olje og de tilhørende prisene for perioden 1950 til 1981. Energivaren elektrisitet består av fastkraft og tilfeldig kraft, og olje består vesentlig av fyringsoljer (inkl. autodiesel). Dataene er hentet fra en Energidatabase som er et utdrag av Byråets Energi-regnskap. Energiregnskapet bygger vesentlig på Industristatistikken (B. Bye, 1985).

I beregningene er prisene normerte til en i basisåret (1981), og mengdene er normerte slik at verdien (mill. kr.) er uendret.

Dataene er presentert i vedlegg A.

## 6. RESULTATER FRA ESTIMERINGEN.

Resultatene fra estimeringen av de tre relasjonene på s. 11 og s. 12 er gjengitt i tabellene 1, 2 og 3. Tallene i parentes under koeffisientene i tabellene er de respektive koeffisienters standardavvik.

Tabell 1. Koeffisienter fra estimeringen av relasjon (4.14) med ulike substitusjonselastisiteter og konstantledd i de to periodene.

MSG-sektor	$a_1$	$a_2$	$b_1$	$c_1$	$R^2$	DW	SSR
16-nær.m.	-0.616 (0.193)	-0.495 (0.072)	-0.965 (0.298)	-0.675 (0.117)	0.991	1.114	0.360
34-trefor.	-0.874 (0.092)	-0.083 (0.093)	0.199 (0.111)	-0.523 (0.123)	0.932	1.886	0.946
37-kjem.r.	1.100 (0.078)	-0.972 (0.134)	-0.491 (0.105)	0.330 (0.193)	0.913	0.746	2.500
43-metall	1.313 (0.047)	1.590 (0.077)	0.335 (0.062)	-0.115 (0.090)	0.994	1.806	0.424

Tabell 2. Koeffisienter fra estimeringen av relasjon (4.15) med ulike substitusjonselastisiteter, men likt konstantledd i de to periodene.

MSG-sektor	$a_3$	$b_2$	$c_2$	$R^2$	DW	SSR
16-nær.m.	-0.510 (0.066)	-1.128 (0.109)	-0.654 (0.110)	0.814	1.089	0.365
34-trefor.	-0.482 (0.098)	-0.223 (0.130)	-0.079 (0.148)	0.102	0.891	2.179
37-kjem.r.	0.576 (0.180)	-0.173 (0.274)	-1.400 (0.382)	0.317	0.182	19.078
43-metall	1.390 (0.046)	0.254 (0.064)	0.094 (0.066)	0.363	1.268	0.567

Tabell 3. Koeffisienter fra estimeringen av relasjon (4.16) med like substitusjonselastisiteter og konstantledd i de to periodene.

MSG-sektor	$a_4$	$b_3$	$R^2$	DW	SSR
16-nær.m.	-0.546 (0.110)	-0.893 (0.174)	0.468	0.531	1.040
34-trefor.	-0.479 (0.098)	-0.174 (0.123)	0.062	0.746	2.277
37-kjem.r.	0.461 (0.196)	-0.542 (0.272)	0.117	0.094	24.663
43-metall	1.390 (0.050)	0.180 (0.062)	0.217	1.049	0.697

#### 6.1. Kommentarer til resultatene.

Når det gjelder hvilken av de tre relasjonene som best beskriver observasjonsmaterialet, tyder både resultatene for den multiple korrelasjonskoeffisienten og DW-observatoren på at relasjon (4.14) kommer best ut. I relasjon (4.14) antar man forskjellige konstantledd i de to periodene. Relasjonen har en variabel mer enn relasjon (4.15). Den multiple korrelasjonskoeffisienten er avhengig av hvor mange parametre som er med i relasjonen, og den øker med antall parametre. Konstantleddet fanger opp virkningene av en del andre forhold enn faktorprisforholdet som er med på å bestemme den relative faktoretterterspørselen. Når konstantleddene i de to periodene ikke er de samme, så antyder det at en del andre variable som er av betydning for den relative faktoretterterspørselen også har endret seg.

#### Sektor 16 - Produksjon av næringsmidler.

Størrelsen på  $R^2$  viser at relasjonene (4.14) og (4.15) begge har god forklaringskraft. De forklarer h.h.v. ca. 99 og ca. 80 prosent av den totale varians, mens relasjon (4.16) har dårligere forklaringskraft, ca. 47 prosent.

I følge DW-observatoren ( jfr.tab. a-5, Johnston, 1984 ) gir både relasjon (4.15) og relasjon (4.16) korrelasjon i restleddene.

Alle tre relasjonene gir koeffisient-estimerer som er signifikant forskjellig fra null på 5 prosents nivå. Estimaterne for substitusjonselastisitetene har "riktig" fortegn. Dette kan tyde på at produktfunksjonen og tilpasningsbetingelsene som er benyttet, er rimelige for denne sektoren.



I følge testen for "beste relasjon" (se tab. 4) blir det klar forkastning av nullhypotesen om konstant substitusjonselastisitet. Resultatene gir ingen forkastning av nullhypotesen om uendret konstantledd i de to periodene. Substitusjonselastisiteten er forskjellig i de to periodene, mens den delen av den relative energietterspørselen som er uavhengig av det relative prisforholdet er lik i begge perioder. Relasjon (4.15) er derfor den beste for denne sektoren.

Tabell 4. Resultater fra test av beste relasjon.

MSG-sektor	B <sub>4.16/4.15</sub>	B <sub>4.15/4.14</sub>	B <sub>(0.95, 1)</sub>
16-nær.m.	33.526	0.393	3.84
34-trefor.	1.394	26.707	3.84
37-kjem.r.	8.217	64.027	3.84
43-metall	6.620	9.269	3.84

De to hypotesene og testmetoden er beskrevet på s. 13 og s. 14. Fotskriftene til B refererer til relasjonene som SSR er beregnet for. Den kritiske testverdien er oppgitt ytterst til høyre i tabellen.

Sektor 34 - Produksjon av treforedlingsprodukter.

I følge størrelsen på  $R^2$  har relasjonene (4.15) og (4.16) forholdsvis dårlig forklaringskraft, h.h.v. ca. 10 og ca. 6 prosent, mens relasjon (4.14) forklarer ca. 93 prosent av variasjonen i observasjonsmaterialet.

DW-observatoren viser at det er restleddskorrelasjon i relasjonene (4.15) og (4.16).

Estimeringen gir koeffisienter signifikante forskjellige fra null (5 prosents nivå) for konstantleddet for periode 1 og substitusjonselastisiteten for periode 2 i relasjon (4.14), og for konstantleddet i relasjon (4.15) og relasjon (4.16). De estimerte substitusjonselastisitetene har riktig fortegn bortsett fra estimatet for den første perioden i relasjon (4.14).

Treforedling er en sektor som bruker mye tilfeldig kraft. Olje som innsatsfaktor substitueres med denne kraften, men det er usikkert om det er prisforholdet mellom de to innsatsfaktorene som bestemmer sammensetningen (jfr. galt fortegn på den ene substitusjonselastisiteten). Det kan for denne sektoren antas at den viktigste forklaringsvariabelen for den relative energietterspørselen er til enhver tid tilgangen på billig elektrisk kraft. Dette kan være noe av

forklaringen på den store forskjellen i konstantleddene i relasjon (4.14). Tilpasningsbetingelsene i denne sektoren kan derfor være andre enn de som er forutsatt i modellen.

Testene for "beste relasjon" gir ikke forkastning av nullhypotesen om konstant substitusjonselastisitet, mens hypotesen om uendret konstantledd blir klart forkastet. Konstantleddene er forskjellige, men en kan ikke ut i fra testene si noe om substitusjonselastisiteten har endret seg. Estimeringsresultatene viser at relasjon (4.14) ikke er noen god modell for denne sektoren. Testresultatene og estimeringsresultatene tyder derfor på at relasjon (4.16) kommer best ut.

#### Sektor 37 - Produksjon av kjemiske råvarer.

Når det gjelder de tre relasjonenes forklaringskraft representert ved størrelsen på  $R^2$ , kommer også her relasjon (4.14) best ut med en forklaringskraft på ca. 90 prosent. Relasjonene (4.15) og (4.16) forklarer h.h.v. ca. 30 og ca. 10 prosent av den totale varians.

I følge DW-observatoren gir alle relasjonene restleddskorrelasjon.

Estimeringsresultatene viser at koeffisientene er signifikante forskjellige fra null (5 prosents nivå) bortsett fra substitusjonselastisiteten for periode 2 i relasjon (4.14), substitusjonselastisiteten for periode 1 i relasjon (4.15) og substitusjonselastisiteten i relasjon (4.16). Substitusjonselastisiteten for periode 2 i relasjon (4.14) har i tillegg galt fortegn.

I store deler av sektoren inngår elektrisitet og olje i forskjellige prosesser. Dette innebærer at de to energibærerene stort sett ikke står i et direkte substitusjonsforhold til hverandre. Rafnes f.eks. benytter en stor del av sektorens oljeforbruk som råstoff i plastproduksjon.

Nærmere halvparten av sektorens elektrisiteteforbruk inngår i eldre prosesser for ammoniakkproduksjon, mens nyere prosesser bryter ned olje og får ammoniakk fra den. Derfor er det vanskelig å tenke seg klare substitusjonsmuligheter mellom elektrisitet og olje i denne sektoren, så lenge det ikke skjer nye investeringer i form av endret teknologi. En endring i størrelsesforholdet mellom plastproduksjon og ammoniakkproduksjon vil gi utslag i substitusjonselastisiteten. Det er derfor ikke sikkert at teknologien i sektoren oppfyller modellforutsetningene. I likhet med sektor 34 kan galt fortegn på substitusjonselastisiteten og restleddskorrelasjon tyde på feilspesifisert funksjonsform.

I følge testene for "beste relasjon" gir disse forkastning for både hypotesen om konstant substitusjonselastisitet og hypotesen om uendret konstantledd, men estimeringsresultatene tyder på at relasjonene (4.14) og (4.15) heller ikke kan brukes for denne sektoren.

### Sektor 43 - Produksjon av metaller.

Relasjon (4.14) gir best forklaring av spredningen i observasjonsmaterialet i følge  $R^2$ . Den forklarer ca. 99 prosent, mens relasjonene (4.15) og (4.16) forklarer h.h.v. ca. 35 og ca. 20 prosent.

I følge DW-observatoren gir relasjon (4.16) restleddskorrelasjon.

Resultatene av estimeringen gir koeffisienter signifikante forskjellige fra null (5 prosents nivå) for relasjon (4.16). Det tilsvarende gjelder for relasjonene (4.14) og (4.15) bortsett fra de to substitusjonselastisitetene for periode 2. Alle substitusjonselastisitetene, med unntak av substitusjonselastisiteten for periode 2 i relasjon (4.14), har galt fortegn.

Aluminiumsindustrien utgjør ca. 1/3 av bruttoproduksjonen i sektoren (SØS 53, 1983; s. 223). Den er stort sett basert på elektrisk kraft. I følge Longva og Olsen (SØS 53, 1983; s. 79) er det mye som tyder på at etterspørselen etter energi som innsatsfaktor i aluminiumsindustrien er elastisk slik at skalaeffekten dominerer over substitusjonseffekten. En økning i elektrisitetsprisen kan da føre til en så redusert bruk av energi at også bruken av olje avtar. Denne reduksjonen vil ikke være større enn nedgangen i elektrisitetsforbruket, slik at det relative faktorforholdet vil avta.

Testresultatene for "beste relasjon" gir forkastning av begge nullhypotesene, dvs. både substitusjonselastisiteten og konstantleddet er forskjellige i de to periodene, men estimeringsresultatene kan også her tyde på at den modellen som benyttes ikke passer for sektoren produksjon av metaller.

### Hovedresultater.

Resultatene viser at modellen som er brukt ikke passer for den kraftkrevende industrien, produksjon av kjemiske råvarer og produksjon av metaller.

For alminnelig industri representert ved sektorene 16 og 34 blir resultatet noe mere usikkert. Modellen passer godt for sektor 16 og testene viser at forutsetningen om konstant substitusjonselastisitet ikke holder. Resultatene for sektor 34 viser at det har skjedd endringer i faktorer som er av betydning for konstantleddet, men det er mye som tyder på at substitusjonselastisiteten ikke har endret seg i løpet av perioden.

### 6.2. Utviklingen i substitusjonselastisiteten.

For relasjonene (4.14) og (4.15), hvor det antas at substitusjonselastisitetene er forskjellige i de to periodene, viser estimeringsresultatene for de fire sektorene en tendens til avtakende substitusjonselastisitet.

I den første perioden er prisforholdet stigende, mens i den andre perioden er det avtakende. Når substitusjonselastisiteten har avtatt kan dette antyde at endringene i bruk av elektrisitet og olje ikke har vært symmetriske. Hvis substitusjonelastisiteten hadde vært den samme i begge periodene skulle endringene i elektrisitetsforbruket i periode

2 vært like stort som endringene i oljeforbruket i periode 1 hvis endringene i det relative prisforholdet hadde vært like store. Det har ikke vært tilfelle.

På kort sikt, når bedriftens teknologi er konstant, vil substitusjonsmulighetene og dermed substitusjonselastisiteten avta etter hvert som det foregår en substitusjon over fra den ene innsatsfaktoren til den andre. En funksjonsform hvor substitusjonselastisiteten er konstant vil derfor ofte passe dårlig. Hvis bedriften på lengre sikt p.g.a. endring i relative faktorpriser o.l. endrer teknologien, kan substitusjonselastisiteten øke igjen, men her kommer spørsmålet om hvilke teknologiske muligheter som finnes inn. Hvis det skjer en teknologisk endring slik at input-koeffisientene endres, gjelder ikke lenger forutsetningen om nøytral teknisk endring.

## 7. LITT OM TEKNOLOGISK UTVIKLING.

I MSG-modellen er det forutsatt Hicks-nøytral teknisk endring. I de foregående kapitler er det vist, i følge testen for "den beste relasjonen", at substitusjonselastisiteten mellom elektrisitet og olje har endret seg i løpet av en tredve-årsperiode for en av sektorene. For å forklare endringene i det relative faktorforholdet er det relative faktorprisforholdet brukt som forklaringsvariabel, og estimeringsresultatene viser at den modellen som er brukt ikke passer for to av de fire sektorene. Ved å trekke inn teknisk endring kan en kanskje si noe om endringene i den relative faktoretterspørselen kan skyldes teknologisk utvikling, slik at den ene innsatsfaktoren er blitt relativt mer produktiv enn den andre.

### 7.1. Innføring av eksponensiell teknisk endring.

Vi antar en eksponensiell teknisk endring.

$$E(t) = E e^{\alpha t}$$

$$F(t) = F e^{\gamma t}$$

Etterspurt mengde av de to innsatsfaktorene er avhengig av den teknologiske utviklingen, og  $\alpha$  og  $\gamma$  er tekniske endringsrater for h.h.v. elektrisitet og olje.

Energiproduktfunksjonen blir

$$(7.1.1.) \quad U = \left[ \delta \left( \frac{F e^{\gamma t}}{\delta} \right)^{-\rho} + (1-\delta) \left( \frac{E e^{\alpha t}}{1-\delta} \right)^{-\rho} \right]^{-1/\rho}$$

Kostnadsminimering gir den duale kostnadsfunksjonen til produktfunksjonen.

$$(7.1.2) \quad C(P_E, P_F) = U \left[ \delta e^{-\gamma(1-\sigma)t} (P_F)^{(1-\sigma)} + (1-\delta) e^{-\alpha(1-\sigma)t} (P_E)^{(1-\sigma)} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}}$$

$$\text{der } \sigma = \frac{1}{1+\rho}$$

som er substitusjonselastisiteten mellom de to energibærerene, jfr. (4.4). Man kommer frem til faktoretterspørselsfunksjonene ved å derivere kostnadsfunksjonen.

$$(7.1.3) \quad E = \frac{\partial C}{\partial P_E} = U (1-\delta) e^{-\alpha (1-\sigma)t} \left(\frac{P_E}{P_U}\right)^{(-\sigma)}$$

$$(7.1.4) \quad F = \frac{\partial C}{\partial P_F} = U \delta e^{-\gamma (1-\sigma)t} \left(\frac{P_E}{P_U}\right)^{(-\sigma)}$$

Det relative faktorforholdet blir da

$$(7.1.5) \quad \frac{E}{F} = \frac{1-\delta}{\delta} e^{(\gamma-\alpha) (1-\sigma)t} \left(\frac{P_E}{P_F}\right)^{(-\sigma)}$$

På logaritmisk form får vi

$$(7.1.6) \quad \ln\left(\frac{E}{F}\right) = a_0 - \sigma \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right) + dt$$

$$\text{der } a_0 = \ln\left(\frac{1-\delta}{\delta}\right) \text{ og } d = (\gamma - \alpha) (1 - \sigma)$$

Den relative faktoretterspørselen mellom de to energibærerene elektrisitet og olje er avhengig av det relative prisforholdet mellom dem, og substitusjonselastisiteten er parameter i relasjonen. Teknisk endring inngår lineært som en parameter i relasjonen.

Hvis  $\gamma = \alpha$ , ( $d = 0$ ), er den teknologiske endringsraten lik for begge energibærerene, og man har Hicks-nøytral teknisk endring. Relasjonen for den relative energietterspørselen blir tilsvarende likning (4.9) der teknisk endring ikke ble trukket inn.

Hvis  $\gamma \neq \alpha$ , ( $d \neq 0$ ), endres faktorforholdet ved en teknologisk utvikling, og vi har ikke-nøytral teknisk endring.

Vi kan få  $d = 0$  hvis  $\sigma = 1$ . Da vil en prosentvis økning i faktorprisforholdet føre til en prosentvis like stor nedgang i faktorforholdet, og man står over for tilfellet med nøytral teknisk endring.

(7.1.6) kan skrives som

$$(7.1.7) \quad \ln\left(\frac{E}{F}\right)_t = a_0 + b_0 \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)_t + dt + u_t$$

der  $b_0 = -\sigma$  og  $u_t$  er et stokastisk restledd med  $E(u_t) = 0$  og  $\text{var}(u_t) = \kappa$  for alle  $t$ .

Relasjon (7.1.7) estimeres over hele datamaterialet for hver av de fire sektorene for å finne ut om det har forgått en teknisk endring som har ført til at den ene innsatsfaktoren er blitt relativt mer produktiv enn den andre. Trendleddet  $t$  går fra -31 i 1950 til 0 i 1981. Hypotesen som skal testes blir,

$$H_0 : d = 0 \quad \text{mot} \quad H_1 : d \neq 0$$

Hvis det blir forkastning av  $H_0$  holder ikke lenger forutsetningen om Hicks-nøytral teknisk endring.

Relasjon (4.16) i kap. 4 er en underhypotese av relasjon (7.1.7). For å teste hypotesen testes relasjon (7.1.7) mot relasjon (4.16) ved hjelp av testmetoden som ble presentert i kap. 4, s. 13 og s. 14. Forkastes nullhypotesen er relasjon (7.1.7) den beste relasjonen, og det har foregått en teknologisk utvikling som har vært av betydning for den relative faktoretterspørselen.

## 7.2. Resultater fra estimeringen.

Resultatene fra estimeringen av relasjon (7.1.7) er gjengitt i tabell 5.

Tabell 5. Koeffisienter fra estimeringen av relasjon (7.1.7), med forutsetning om ikke-nøytral teknisk endring.

MSG-sektor	$a_0$	$b_0$	$d$	$R^2$	DW	SSR
16-nær.m.	-0.517 (0.058)	-0.454 (0.105)	0.019 (0.002)	0.856	1.482	0.282
34-trefor.	-0.126 (0.089)	-0.201 (0.083)	0.022 (0.004)	0.584	1.632	1.009
37-kjem.r.	-1.312 (0.151)	0.097 (0.113)	-0.097 (0.007)	0.878	0.644	3.401
43-metall	1.456 (0.082)	0.155 (0.067)	0.003 (0.003)	0.243	1.075	0.674

Estimeringen gir signifikante koeffisientestimater for trendleddet i tre av sektorene ( 16, 34 og 37 ). Resultatene for substitusjonselastisitetene gir at leddet  $(1-\sigma)$  i trendleddet  $d$  er positivt for alle fire sektorene. Derfor er det forholdet mellom  $\gamma$  og  $\alpha$  som er av betydning for om teknologisk utvikling har en positiv eller negativ innvirkning på den relative faktoretterterspørselen.

Når det gjelder sektorene 16 og 34 er  $d > 0$  som medfører at  $\gamma > \alpha$ . I disse to sektorene har den teknologiske endringen vært oljebesparende, og det har ført til at det har blitt brukt relativt mer elektrisitet i produksjonen. Tilsvarende gjelder også for sektor 43, men der er ikke koeffisientestimatet for trendleddet signifikant.

Resultatene for sektor 37 gir  $d < 0$ , som viser at  $\gamma < \alpha$ . Her har den teknologiske endringen vært elektrisitetsbesparende, som har ført til at det er blitt brukt relativt mer olje som innsatsfaktor i produksjonen. For sektor 37 har den estimerte substitusjonselastisiteten "galt" fortegn, og den er heller ikke signifikant. Som tidligere omtalt er de forskjellige produksjonsprosessene innenfor sektoren kjemiske råvarer av en slik art at de to energibærerene stort sett ikke står i et direkte substitusjonsforhold til hverandre. Estimeringsresultatene tyder på at det har foregått en teknologisk utvikling som har endret faktorforholdet mellom de to energibærerene slik at olje nå blir mer brukt. Dette kan være en følge av at nyere ammoniakkproduksjon bruker olje som råstoff istedenfor elektrisitet i framstillingen av ammoniakk. Det ikke-signifikante estimatet for substitusjonselastisiteten støtter opp om dette, og viser at endringer i det relative faktorprisforholdet ikke har innvirkning på den relative faktoretterterspørselen.



Estimeringen av koeffisientene for sektor 43 viser at det ikke har skjedd noen teknisk endring som har virket inn på den relative faktoreterspørselen. Den estimerte substitusjonselastisiteten har "galt" fortegn, og det kan derfor være andre forhold enn det relative faktorprisforholdet og teknologisk utvikling som bestemmer den relative faktoreterspørselen i denne sektoren.

Estimeringsresultatene for relasjon (7.1.7) gir en forholdsvis høy multippel korrelasjonskoeffisient for sektorene 16, 34 og 37. For sektorene 16 og 34 har koeffisientestimatet for substitusjonselastisiteten "riktig" fortegn og det er ingen restleddskorrelasjon. Når det gjelder sektor 37 har den estimerte substitusjonselastisiteten "galt" fortegn, og verdien på DW-observatoren tyder på restleddskorrelasjon.

Den multiple korrelasjonskoeffisienten er lav for sektor 43 og verdien på DW-observatoren gir restleddskorrelasjon. I tillegg til galt fortegn på substitusjonselastisitetene tyder disse resultatene på at relasjon (7.1.7) ikke er noen god modell for denne sektoren.

Resultatene av testen for "beste relasjon" som er gjengitt i tabell 6. gir forkastning av nullhypotesen om Hicks-nøytral teknisk endring i sektorene 16, 34 og 37, mens det blir ingen forkastning for sektor 43.

Tabell 6. Resultater fra test av beste relasjon :  
(Mellom relasjon (4.16) og relasjon (7.1.7) )

MSG-sektor	$B_{4.16/7.1.7}$	$B_{(0.95, 1)}$
16-nær.m.	41.762	3.84
34-trefor.	26.045	3.84
37-kjem.r.	63.400	3.84
43-metall	1.074	3.84

Hypotesen og testmetoden er beskrevet på h.h.v. s. 23 og s.13 og s.14. Fotskriftene til B refererer til de respektive relasjonene som SSR er beregnet for. Den kritiske testverdien er oppgitt ytterst til høyre i tabellen.

Resultatene viser at det har vært en teknologisk utvikling som har endret den relative faktoreterspørselen for de to sektorene fra alminnelig industri (16 og 34). For den kraftkrevende industrien viser estimeringsresultatene og testresultatene at heller ikke relasjon (7.1.7) er noen brukbar modell for å forklare endringer i den relative energietterspørselen.

### 7.3. Substitusjonselastisiteten som en lineær funksjon av teknisk endring.

Vi vil i dette avsnittet anta at selve substitusjonselastisiteten er en lineær funksjon av den tekniske endringen, og den duale kostnadsfunksjonen til en slik energiproduktfunksjon blir da

$$(7.3.1) \quad C(P_E, P_F) = U \left[ \delta P_F^{1-(\beta+\gamma t)} + (1-\delta) P_E^{1-(\beta+\gamma t)} \right]^{\frac{1}{1-(\beta+\gamma t)}}$$

Deriveres kostnadsfunksjonen finner en faktoretterspørselsfunksjonene.

$$(7.3.2) \quad E = U (1-\delta) \left[ \frac{P_E}{P_U} \right]^{-(\beta+\gamma t)}$$

$$(7.3.3) \quad F = U \delta \left[ \frac{P_F}{P_U} \right]^{-(\beta+\gamma t)}$$

Det relative faktorforholdet blir da

$$(7.3.4) \quad \frac{E}{F} = \frac{1-\delta}{\delta} \left[ \frac{P_E}{P_F} \right]^{-(\beta+\gamma t)}$$

I følge (4.4) er substitusjonselastisiteten

$$(7.3.5) \quad \sigma = \beta + \gamma t$$

På logaritmisk form får vi

$$(7.3.6) \quad \ln\left(\frac{E}{F}\right) = A_0 - (\beta + \gamma t) \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)$$

$$\text{der } A_0 = \ln\left(\frac{1-\delta}{\delta}\right)$$

Den relative energietterspørselen mellom elektrisitet og olje er også i dette tilfellet avhengig av det relative prisforholdet mellom dem. Substitusjonselastisiteten som er en lineær funksjon av teknisk end-

ring, er parameter i relasjonen. (7.3.6) kan skrives som

$$(7.3.7) \quad \ln\left(\frac{E}{F}\right)_t = A_0 + (B_0 + C_0 t) \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)_t + \tau_t$$

der  $B_0 = -\beta$ ,  $C_0 = -\gamma$  og  $\tau_t$  er et stokastisk restledd med  $E(\tau_t) = 0$  og  $\text{var}(\tau_t) = \mu$  for alle  $t$ .

Vi estimerer relasjon (7.3.7) over datamaterialet for å teste om substitusjonselastisiteten er en lineær funksjon av teknisk endring. Koeffisientene blir også her estimert ved hjelp av programpakken OLS (se s. 13). Hypotesen som skal testes er

$$H_0 : C_0 = 0 \quad \text{mot} \quad C_0 \neq 0$$

Hvis  $H_0$  forkastes er substitusjonselastisiteten en lineær funksjon av den tekniske utviklingen.

Relasjon (4.16) i kap. 4 er en underhypotese av relasjon (7.3.7). Relasjon (7.3.7) testes mot relasjon (4.16) ved hjelp av testmetoden som ble presentert i kap. 4, s. 13 og s. 14. Hvis det blir forkastning av nullhypotesen er relasjon (7.3.7) den beste relasjonen, og substitusjonselastisiteten som en lineær funksjon av teknisk endring, er av betydning for den relative faktoretterspørselen.

#### 7.4. Resultater fra estimeringen.

Resultatene fra estimeringen av relasjon (7.3.7) er gjengitt i tabell 7.

Tabell 7. Koeffisienter fra estimeringen av relasjon (7.3.7), der det forutsettes at substitusjonselastisiteten er en lineær funksjon av tiden.

MSG-sektor	$A_0$	$B_0$	$C_0$	$R^2$	DW	SSR
16-nær.m.	-0.614 (0.066)	-0.316 (0.130)	0.027 (0.004)	0.815	1.145	0.361
34-trefor.	-0.447 (0.085)	0.283 (0.171)	0.033 (0.009)	0.331	1.170	1.625
37-kjem.r.	-0.581 (0.239)	-1.214 (0.809)	-0.038 (0.043)	0.140	0.120	24.018
43-metall	1.389 (0.050)	0.112 (0.104)	-0.005 (0.006)	0.233	1.063	0.682

Estimeringen gir signifikante koeffisienter for konstantleddet  $A_0$  for alle fire sektorene. I tillegg er konstantleddet i den lineære funksjonen for substitusjonselastisiteten signifikant for sektor 16, og koeffisienten foran trendleddet er signifikant for sektorene 16 og 34. Substitusjonselastisiteten har riktig fortegn for sektorene 16 og 37. For sektor 34 vil fortegnet på substitusjonselastisiteten skifte fra riktig til galt i løpet av estimeringsperioden fordi trendleddet t går fra -31 i 1950 til 0 i 1981. Substitusjonselastisiteten har galt fortegn for sektor 43.

Resultatene fra estimeringen viser at relasjon (7.3.7) har merkbart bedre forklaringskraft representert ved den multiple korrelasjonskoeffisienten enn relasjon (4.16) for sektorene 16 og 34. Verdiene er h.h.v. ca. 0.8 og ca. 0.3 for relasjon (7.3.7) mot ca. 0.5 og ca. 0.06 for relasjon (4.16) (se s. 16). For sektorene 37 og 43 har ikke relasjon (7.3.7) noen bedre forklaringskraft enn relasjon (4.16) i følge den multiple korrelasjonskoeffisienten. Relasjon (7.3.7) gir restleddskorrelasjon for alle fire sektorene.

Resultatene av testen for "beste relasjon" er gjengitt i tabell 8. Testene gir forkastning av nullhypotesen for sektorene 16 og 34, mens det blir ingen forkastning for sektorene 37 og 43.

Tabell 8. Resultater fra test av beste relasjon:  
(Mellom relasjon (4.16) og relasjon (7.3.7))

MSG-sektor	B 4.16/7.3.7	B (0.95 , 1)
16-nær.m.	33.859	3.84
34-trefor.	10.795	3.84
37-kjem.r.	0.848	3.84
43-metall	0.696	3.84

Hypotesen og testmetoden er beskrevet på h.h.v. s. 27 og s. 13 og s. 14. Fotskriftene refererer til de respektive relasjonene som SSR er beregnet for. Den kritiske testverdien er oppgitt ytterst til høyre i tabellen.

Testresultatene og estimeringsresultatene med lav multippel korrelasjonskoeffisient, ikke-signifikante koeffisienter og galt fortegn på substitusjonselastisiteten for sektor 43 viser at relasjon (7.3.7) ikke er noen god modell for å forklare endringer i den relative energietterspørselen. Substitusjonselastisiteten er ingen lineær funksjon av teknisk endring. Det samme gjelder for sektor 34. Selv om testen gir forkastning av nullhypotesen viser estimeringsresultatene at substitusjonselastisiteten skifter fra riktig til galt fortegn i løpet av estimeringsperioden. Derfor er heller ikke relasjon (7.3.7) brukbar for sektor 34.

Både resultatene av testen og estimeringsresultatene for sektor 16 viser at relasjon (7.3.7) forklarer godt endringene i den relative faktoretterspørselen. For denne sektoren er substitusjonselastisiteten en lineær funksjon av den tekniske utviklingen, men dette gjelder ikke for de tre andre sektorene.

## 8. TESTSKJEMA.

De fem relasjonene som har blitt estimert og testet for hver sektor er:

$$(1) \quad \ln\left(\frac{E}{F}\right) = a_1 Z_1 + a_2 Z_2 + b_1 Z_1 \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right) + c_1 Z_2 \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)$$

$$(2) \quad \ln\left(\frac{E}{F}\right) = a_3 + b_2 Z_1 \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right) + c_2 Z_2 \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)$$

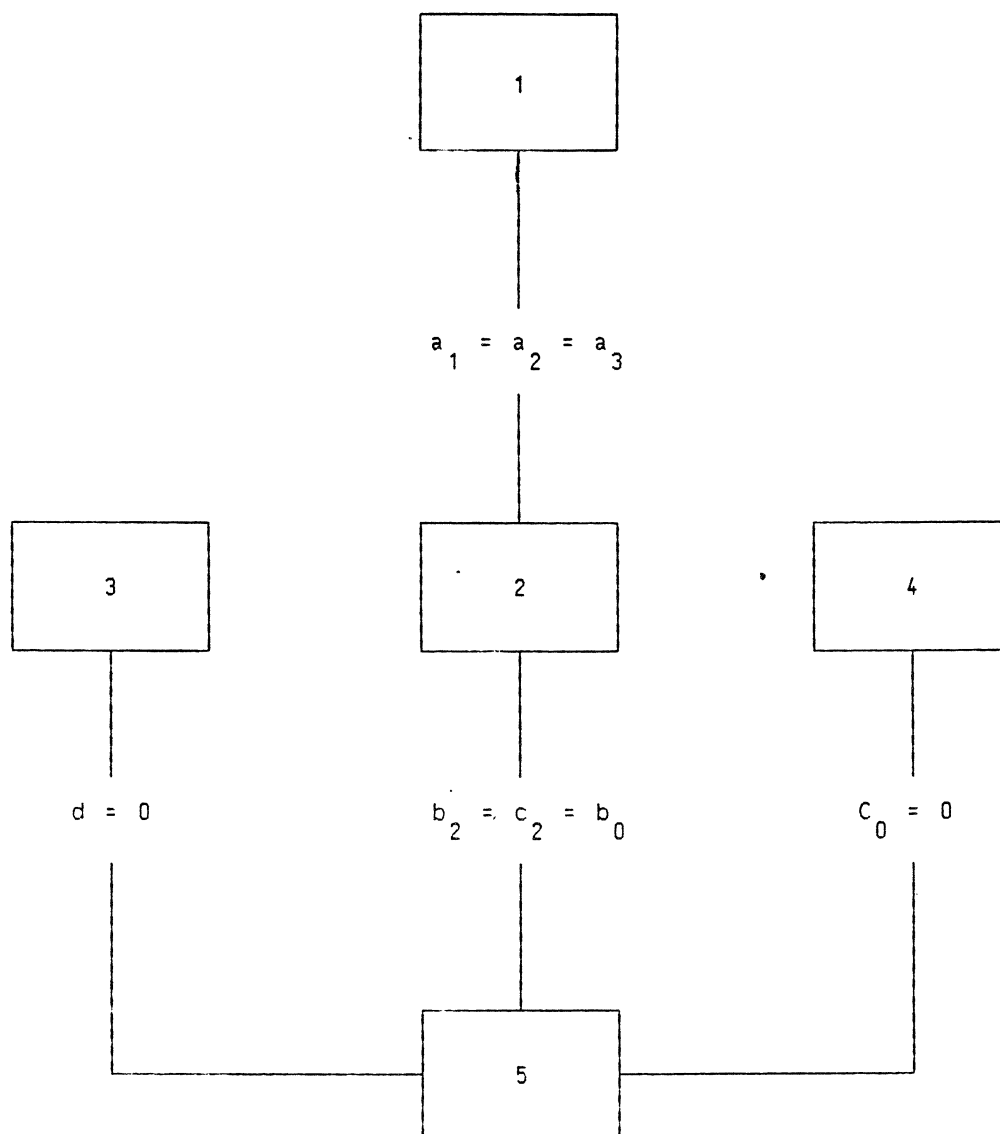
$$(3) \quad \ln\left(\frac{E}{F}\right) = a_0 + b_0 \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right) + d t$$

$$(4) \quad \ln\left(\frac{E}{F}\right) = A_0 + (B_0 + C_0 t) \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)$$

$$(5) \quad \ln\left(\frac{E}{F}\right) = a_4 + b_3 \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)$$

I fig. 1. er det laget et skjema som viser sammenhengen mellom relasjonene. Skjemaet er laget slik at nullhypotesen alltid ligger nedenfor den alternative hypotesen i figuren.

Fig. 1. Testskjema.



Relasjonene (3) og (4) representerer ingen underhypoteser av relasjonene (1) eller (2). Relasjon (3) kan f.eks. heller ikke framstilles som en underhypotese av relasjon (4). Vi kan derfor ikke teste om f.eks. relasjon (4) er bedre enn relasjon (3) ved den testmetoden som er benyttet ( se s. 13 og s. 14).

## 9. KONKLUSJONER.

Estimeringsresultatene og resultatene av testene viser at man kun for sektor 16 kan fastslå at substitusjonselastisiteten mellom elektrisitet og olje har endret seg i løpet av tredve-årsperioden. Resultatene viser at for alminnelig industri representert ved sektorene 16 og 34, forklarer den modellen som er benyttet (se s. 11 og s. 12) forholdsvis godt endringer i den relative faktoretterspørselen. For den kraftkrevende industri viser resultatene at modellen som blir brukt er feilspesifisert. Det er andre forklaringsvariable i tillegg til det relative prisforholdet i de to periodene, og et annet funksjonsforhold som forklarer endringene i den relative faktoretterspørselen.

Teknisk endring er av betydning for den relative faktoretterspørselen i to av sektorene (16 og 34). Det viser seg også at for sektor 16 er substitusjonselastisiteten lineært avhengig av den teknologiske utviklingen.



LITTERATURLISTE.

- Amundsen, H.T. : Statistisk Metodelære 2, Oslo 1978.
- Arrow, K.J., H.B. Chenery, B.S. Minhas and R.M. Solow : Capital - Labour Substitution and Economic Efficiency, The Review of Economics and Statistics, aug. 1961.
- Bernd, E.R. and L.R. Christensen : The internal Structure of Functional Relationships : Separability, Substitution and Aggregation, Review of Economic Studies, vol. 40, 1973.
- Bjerkholt, O., S. Longva, Ø. Olsen and S. Strøm : Analysis of Supply and Demand of Electricity in the Norwegian Economy, SØS 53, Statistisk Sentralbyrå, Oslo 1983.
- Bye, B. : Energidatabase på TROLL, Dokumentasjonsnotat, Statistisk Sentralbyrå, Oslo 1985.
- Bye, T. : Energisubstitusjon i næringssektorene i en makromodell, Rapporter 84/2, Statistisk Sentralbyrå, Oslo 1984.
- Frenger, P. : Energy Substitution with a Non-Homothetic Technology, Statistisk Sentralbyrå, Oslo 1984.
- Hoel, M. : Notat om produksjonsteori, Sosialøkonomisk Institutt, Oslo 1983.
- Johnston, J. : Econometric Methods, 1984.
- Longva, S., L. Lorentsen and Ø. Olsen : The Multisectoral Growth Model MSG-4 Formal Structure and Empirical Characteristics, Statistisk Sentralbyrå, Oslo 1985.
- Varian, H.R. : Microeconomic Analysis, Second Edition, 1984.

VEDLEGG:

A. Datamaterialet.

Sektor 16:

BRIT1\_S16\_PV73 - DATE REVISED: 8/22/85  
ANNUAL DATA FROM 1958 TO 1981

PRODUKSJON AV NAERINGSMIDLER  
FASTKRAFT + TILFELDIG KRAFT  
OERE/KWH

1958	3.81304	4.21224	4.80641	4.44896
1954	4.39968	4.95839	4.83269	5.59114
1958	4.68489	5.40629	5.40827	4.74268
1962	5.78912	5.62605	5.69856	5.6
1966	5.5	5.5	5.5	6.1
1970	6.6	6.7	6.9	6.9
1974	7.5	8.9	10.1	11.7
1978	12.3	14.	15.2	17.1

BRIT1\_S16\_FV73 - DATE REVISED: 8/22/85  
ANNUAL DATA FROM 1958 TO 1981

PRODUKSJON AV NAERINGSMIDLER  
FASTKRAFT + TILFELDIG KRAFT  
100G/H

1958	2.87	2.45	2.34	2.71
1954	3.14	3.1	3.61	3.61
1958	5.23	4.45	5.08	6.42
1962	6.424	8.61747	7.62532	8.83
1966	8.61	9.88	9.54	9.55
1970	9.61	10.3	11.18	12.1
1974	12.95	12.41	12.71	13.84
1978	14.19	14.27	15.81	16.334

BRITALS16\_PV48 - DATE REVISED: 8/22/85  
ANNUAL DATA FROM 1938 TO 1981

PRODUKSJON AV NÆRINGSMIDLER  
OLJE  
DEK/KG

1958	16.2384	20.349	23.5192	22.7787
1954	20.5376	22.7744	22.8584	29.1934
1958	25.4213	24.5912	23.2874	22.8946
1962	31.1117	32.3889	28.866	27.8999
1966	27.6999	30.5999	31.2999	30.8999
1970	22.5	28.	26.7999	31.6
1974	49.9999	54.1999	57.1999	62.2999
1978	66.1999	80.4999	120.9	161.

BRITALS16\_FV48 - DATE REVISED: 8/22/85  
ANNUAL DATA FROM 1938 TO 1981

PRODUKSJON AV NÆRINGSMIDLER  
OLJE  
100.000TONN

1958	0.92	1.02	1.04	0.99
1954	1.33	1.29	1.66	1.36
1958	1.64	1.6	1.75	1.86
1962	2.22884	2.27254	2.65684	2.614
1966	3.147	3.295	3.13	2.767
1970	3.262	3.252	3.371	3.241
1974	3.199	3.891	3.521	3.59
1978	3.148	3.632	2.828	2.692

Sektor 34:

BRITAI\_S34\_PV73 - DATE REVISED: 8/22/85  
ANNUAL DATA FROM 1958 TO 1981

PRODUKSJON AV TREFOREDLINGSPRODUKTER  
FASTKRAFT + TILFELDIG KRAFT  
OERE/KWH

1958	1.28384	1.44842	1.69524	1.6821
1954	1.72972	1.90985	2.30274	2.38865
1958	2.48393	2.43457	2.17567	2.12801
1962	2.22925	2.28111	2.22531	2.2
1966	2.6	2.3	2.2	2.9
1970	3.	2.8	2.8	2.8
1974	3.8	4.4	4.9	6.4
1978	6.3	6.4	8.29999	9.4

BRITAI\_S34\_FV73 - DATE REVISED: 8/22/85  
ANNUAL DATA FROM 1958 TO 1981

PRODUKSJON AV TREFOREDLINGSPRODUKTER  
FASTKRAFT + TILFELDIG KRAFT  
18834H

1958	15.53	14.25	13.24	14.36
1954	17.97	17.97	16.42	19.56
1958	28.1	28.51	25.44	28.88
1962	30.8546	33.8528	32.3933	36.42
1966	28.73	36.75	45.4799	35.25
1970	37.87	48.96	43.6799	45.86
1974	51.82	47.95	41.88	29.76
1978	32.	38.7	35.49	44.55

BRITAI\_S34\_PV48 - DATE REVISED: 8/22/85  
ANNUAL DATA FROM 1938 TO 1981

PRODUKSJON AV TREFOREDLINGSPRODUKTER  
OLJE  
OERE/KG

1958	14.6533	15.4775	17.9719	16.2865
1954	14.3375	15.4125	18.4786	24.2821
1958	14.9135	12.3452	11.8848	11.3496
1962	18.8133	9.99193	9.68291	9.89998
1966	9.89999	9.59999	10.8	10.3
1970	18.5	15.6	13.3	14.8
1974	41.4999	39.2999	41.4999	46.1999
1978	45.3999	57.6999	94.1	124.

BRITAI\_S34\_FV48 - DATE REVISED: 8/22/85  
ANNUAL DATA FROM 1938 TO 1981

PRODUKSJON AV TREFOREDLINGSPRODUKTER  
OLJE  
100.000TONN

1958	1.99	2.75	2.42	2.6
1954	2.99	3.45	3.51	3.19
1958	3.26	3.85	3.94	3.83
1962	4.27981	4.68851	5.8232	4.661
1966	5.532	4.713	4.666	6.122
1970	6.41	5.134	4.646	5.52
1974	4.582	4.135	4.483	4.62
1978	4.123	3.753	4.852	2.861

Sektor 37:

BRIT1\_S37\_FV73 - DATE REVISED: 8/22/85  
ANNUAL DATA FROM 1958 TO 1981

PRODUKSJON AV KJEMISKE RÅVARER  
FASTKRAFT + TILFELDIG KRAFT  
0ERE/KWH

1958	0.398843	0.458285	0.644288	0.746352
1954	0.749369	0.835882	0.894955	1.06932
1958	1.15884	1.25835	1.47758	1.55642
1962	1.76299	1.66309	1.38762	1.3
1966	1.6	2.3	1.8	1.7
1970	2.	2.	2.2	2.4
1974	2.7	3.3	3.4	3.8
1978	4.6	5.1	5.9	6.4

BRIT1\_S37\_FV73 - DATE REVISED: 8/22/85  
ANNUAL DATA FROM 1958 TO 1981

PRODUKSJON AV KJEMISKE RÅVARER  
FASTKRAFT + TILFELDIG KRAFT  
100G/H

1958	39.67	42.9	38.95	36.46
1954	42.8	43.21	39.25	36.82
1958	41.25	43.38	44.51	53.88
1962	52.8476	53.1612	71.1526	73.6799
1966	67.8899	72.44	68.8899	52.7599
1970	44.16	49.1	52.53	52.8699
1974	52.22	51.94	51.25	45.1799
1978	46.55	54.35	53.98	57.241

BRIT1\_S37\_FV48 - DATE REVISED: 8/22/85  
 ANNUAL DATA FROM 1938 TO 1981

PRODUKSJON AV KJEMISKE RAFFINERER  
 OLJE  
 ODEK/KG

1958	16.3783	16.9721	17.6208	16.3298
1954	14.1253	15.0628	18.4495	23.5257
1958	17.075	13.5677	12.6877	13.9069
1962	11.6575	11.6514	11.2434	10.6
1966	8.99999	9.29999	10.6	10.6
1970	11.	12.	13.5	14.3
1974	35.2	39.3	54.7999	57.7999
1978	65.7999	66.9999	81.9999	112.

BRIT1\_S37\_FV48 - DATE REVISED: 8/22/85  
 ANNUAL DATA FROM 1938 TO 1981

PRODUKSJON AV KJEMISKE RAFFINERER  
 OLJE  
 100.000TONN

1958	0.23	0.43	0.72	0.84
1954	0.91	0.94	1.07	1.05
1958	1.04	0.99	1.04	0.87
1962	1.41062	1.55518	1.88577	1.667
1966	2.195	2.835	2.619	4.187
1970	5.447	5.818	5.481	5.33
1974	5.861	4.93	4.696	5.387
1978	8.257	10.536	11.448	10.635

Sektor 43:

BRITAI\_S43\_PV73 - DATE REVISED: 8/22/85  
ANNUAL DATA FROM 1950 TO 1981

PRODUKSJON AV METALLER  
FASTKRAFT + TILFELDIG KRAFT  
0ERE/KWH

1950	0.757558	0.541048	1.09442	1.01457
1954	1.07413	1.15358	1.27765	1.44736
1958	1.44842	1.53616	1.64866	1.7787
1962	1.75876	1.73738	1.75551	1.73515
1966	1.82377	1.88213	1.93827	1.97296
1970	2.04794	2.27515	2.3468	2.47647
1974	2.95389	3.42406	3.48888	4.03929
1978	4.27133	4.59338	5.4924	5.5

BRITAI\_S43\_FV73 - DATE REVISED: 8/22/85  
ANNUAL DATA FROM 1950 TO 1981

PRODUKSJON AV METALLER  
FASTKRAFT + TILFELDIG KRAFT  
100GWH

1950	28.91	30.72	32.68	33.97
1954	35.64	44.81	52.03	58.85
1958	61.9	71.08	79.08	83.17
1962	76.4555	81.4671	101.367	121.89
1966	128.41	141.33	173.62	176.77
1970	183.56	195.07	193.08	218.4
1974	228.64	216.03	228.07	210.65
1978	219.43	235.85	230.39	221.001



BRITAI\_S43\_PV48 - DATE REVISED: 8/22/85  
 ANNUAL DATA FROM 1938 TO 1981

PRODUKSJON AV METALLER  
 OLJE  
 OERE/KG

1958	19.208	19.5719	23.65	24.3965
1954	24.5831	24.9778	24.5414	29.8596
1958	26.1838	23.2808	21.9178	21.125
1962	18.8651	17.1788	15.9721	15.4392
1966	15.626	16.762	14.3384	14.2246
1978	15.3716	19.6813	22.2852	24.2769
1974	43.6665	49.8061	51.5851	56.2467
1978	56.6559	77.9863	113.623	151.

BRITAI\_S43\_FV48 - DATE REVISED: 8/22/85  
 ANNUAL DATA FROM 1938 TO 1981

PRODUKSJON AV METALLER  
 OLJE  
 100.000TONN

1958	0.25	0.32	0.3	0.29
1954	0.32	0.54	0.58	0.52
1958	0.52	0.52	0.56	0.48
1962	0.583389	0.688166	0.7565	0.712
1966	0.872	0.769	1.374	1.623
1978	1.617	1.738	1.556	1.877
1974	1.887	1.763	1.667	1.716
1978	1.527	1.763	1.86	1.755