

Hans Terje Mysen

Nordisk energimarkedsmodell
Dokumentasjon av delmodell for
energieterspørsel i industrien

Innhold

1	Innledning	1
2	Utviklingen i energietterspørselen i industrien	2
3	Modellering av energietterspørsel	6
3.1	Mulige forklaringer på hvorfor elektrisitetsforbruket øker i forhold til oljeforbruket.	6
3.2	Kostnadsfunksjon for energietterspørsel	7
3.3	Avledninger av en CES kostnadsfunksjon	8
3.4	"Bottom up" spesifikasjoner	9
3.5	Størrelsen på energiaggregatet	10
3.6	Kriterier for valg av modell	11
4	Data	12
5	Estimeringsresultater	13
5.1	Substitusjon mellom elektrisitet og olje	13
5.2	Størrelsen på energiaggregatet	17
5.3	Pris- og produksjonselastisiteter og trender, en oppsummering	18
6	Konklusjoner	21
	Referanser	22
A	Energibruk og estimeringsresultater	24
A.1	Energibruk etter sektor og energivare	24
A.2	Estimeringsresultater	25

1 Innledning

I dette notatet analyseres energietterspørselen i industrien i de fire nordiske land Danmark, Finland, Norge og Sverige. Analysen inngår i en større studie av energimarkedene i de nordiske land som gjennomføres ved Statistisk sentralbyrå i Norge og finansieres av Nordisk ministerråd. Hensikten med prosjektet er å utvikle en modell som dekker etterspørsel, tilbud og handel med energivarer mellom de nordiske land. En utslippsmodell vil også bli tilknyttet modellen slik at miljømessige konsekvenser av forskjellig typer energipolitikk kan studeres.

Vi vil teste alternative hypoteser om etterspørselen etter energi og sammenligne resultatene mellom landene. Siden industrien ikke er homogen når det gjelder energiforbruk, vil industrien i vår analyse deles opp i tre undersektorer. I dette notatet vil hovedvekten legges på bestemmelse av nivået på sektorenes energiforbruk og på substitusjon mellom elektrisitet og olje. Forsøk på å estimere etterspørsel etter kull var ikke vellykket. Kull brukes delvis som vareinnsats og delvis til produksjon av varme og elektrisitet. For etterspørsel etter gass er tidsseriene for korte til å kunne oppnå tilfredstillende estimeringsresultater.

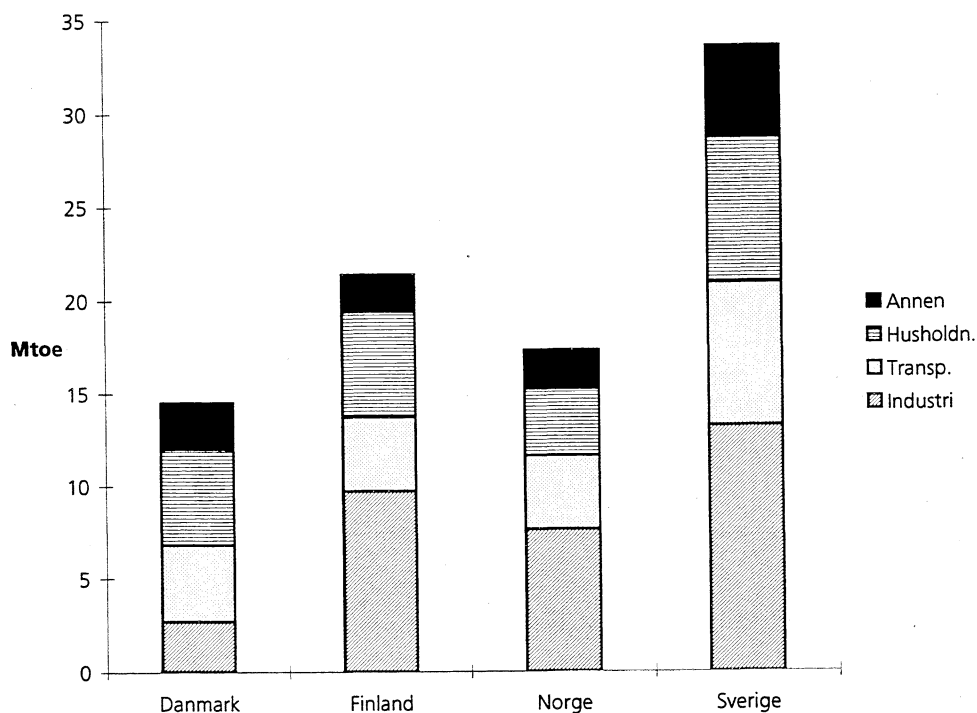
Tidligere estimeringer på data for Norge har vist at funksjonsformer som åpner for ikke-nøytral teknisk endring gir best resultater. Slike funksjonsformer vil også bli testet for de andre nordiske landene.

I kapittel 2 gir vi en deskriptiv framstilling av utviklingen i energiforbruket i de nordiske landene. Det teoretiske grunnlaget og datakildene presenteres i kapittel 3 og 4, mens estimeringsresultatene presenteres i kapittel 5. Til slutt følger en kort oppsummering i kapittel 6.

2 Utviklingen i energietterspørselen i industrien

Som vi ser av figur 2.1, har Sverige det høyeste energiforbruket av de nordiske landene. Finland og Norge bruker omtrent halvparten av hva Sverige gjør, mens Danmarks forbruk ligger noe lavere enn dette igjen.

Figur 2.1 Totalt sluttforbruk av energi etter sektor i fire nordiske land. 1988. Mtoe. Kilde: OECD Energy Balances

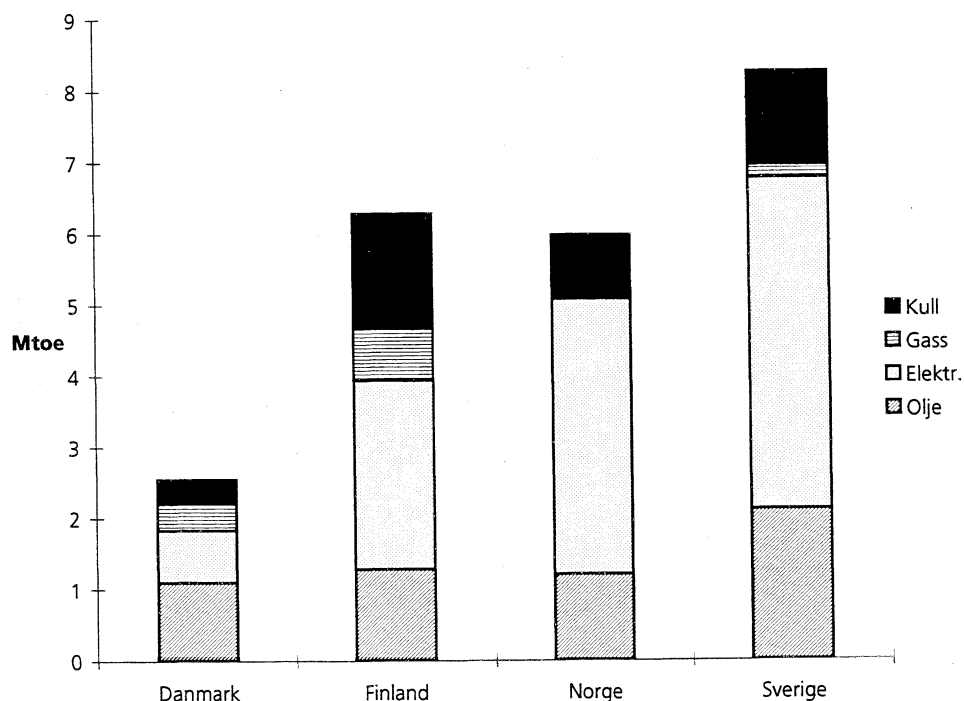


De observerte forskjeller i nivåene på det totale energiforbruket skyldes i hovedsak forskjeller i folketall og økonomisk aktivitetsnivå. Sverige har høyest folketall og BNP av de fire nordiske land i denne analysen. I Danmark er befolkningen konsentrert på et mindre område og gjennomsnittstemperaturen er høyere enn i de andre landene. I tillegg er industrien mindre energiintensiv i Danmark.

Figur 2.1 viser også at industrien er den største energibruker i Finland, Norge og Sverige mens, husholdningssektoren er den største energibruker i Danmark. Energifbruken i industrien utgjør om lag 45 prosent av den totale energibruk i både i Finland og Norge, mens den i Danmark bare utgjør om lag halvparten av dette. I Sverige foregår 39 prosent av den totale energibruken i Industrien.

Elektrisitet er den dominerende energibærer i industrien i Finland, Norge og Sverige, mens bruk av olje dominerer i den danske industrien, se figur 2.2.

Figur 2.2 Totalt sluttforbruk av energi i industrien etter energibærer. 1988. Mtoe. Kilde: OECD Energy Balances



I tidsrommet 1970 til 1988 økte energibruken i industrien i Finland og Norge med henholdsvis 1,3 og 1,5 prosent pr. år, mens energibruken i industrien i

Danmark og Sverige ble redusert med henholdsvis 1,7 og 0,3 prosent pr. år i det samme tidsrommet. En årsak til denne utviklingen er at Finland og Norge hadde større BNP-vekst i denne perioden enn Danmark og Sverige. Bruk av naturgass har økt raskere enn bruken av de andre energibærerne i løpet av denne perioden. Imidlertid har utgangsnivået for bruken av naturgass vært svært lavt.

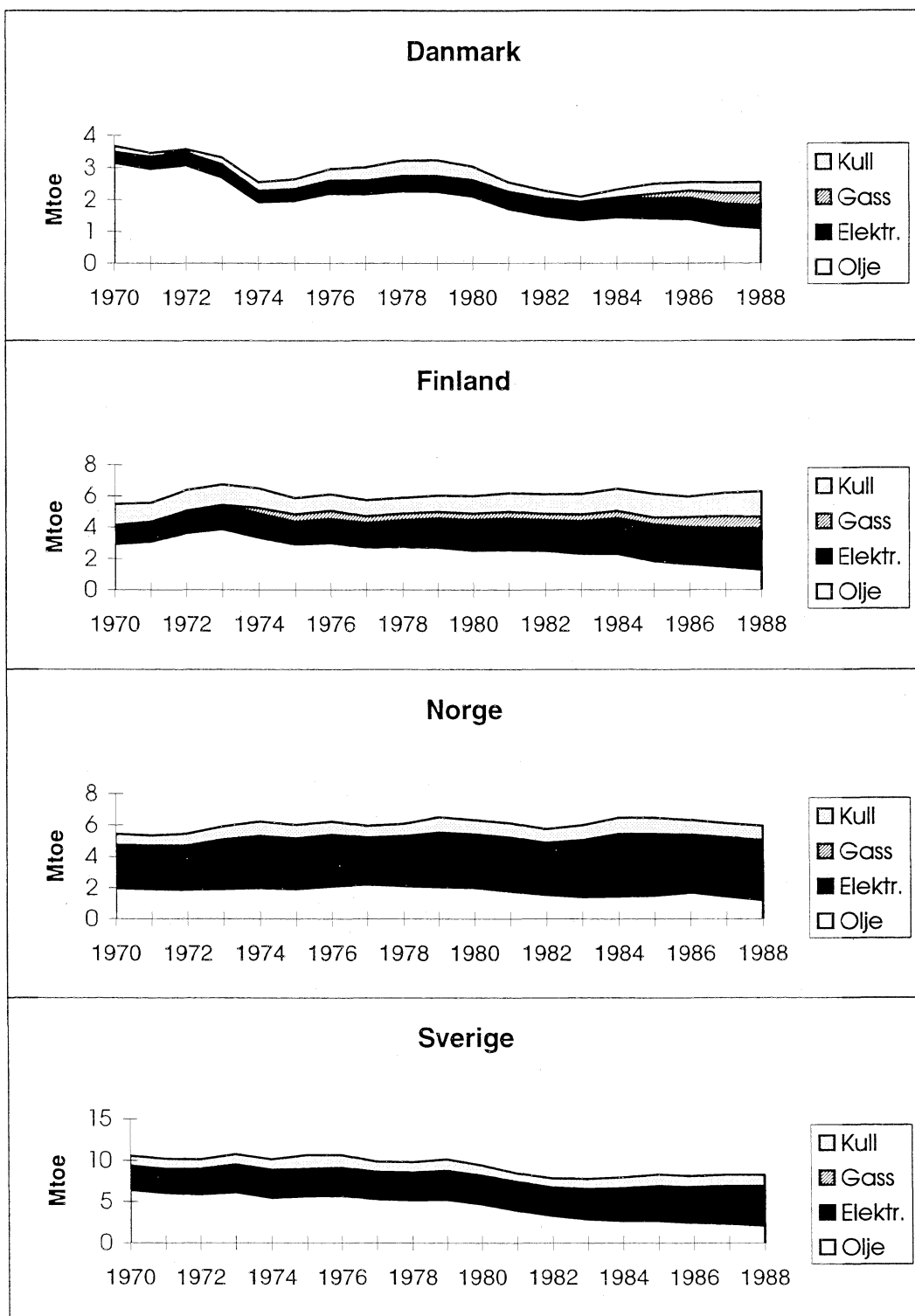
Av figur 2.3 ser vi at bruken av elektrisitet har økt i forhold til bruken av olje for alle fire land. Fram til 1982 kan en slik utvikling bli forklart med at oljeprisen økte i forhold til elektrisitetsprisen. Etter 1982 har den relative prisutviklingen snudd slik at elektrisitetsprisen har økt i forhold til oljeprisen. Dette forhindret ikke en fortsatt økning i forbruket av elektrisitet i forhold til forbruket av olje. Mulige forklaringer til denne noe overraskende utviklingen blir diskutert i neste kapittel. Imidlertid antyder denne utviklingen i etterspørselen etter olje og elektrisitet at modellen som ble anvendt i Mysen (1991) og som åpnet for ikkenøytral teknisk endring (trend) kan gi gode resultater.

Før vi begynner å vurdere hvilken modell som er best egnet, vil vi studere energibruken i industrien noe mer detaljert. Bruken av energivarer etter mer disaggregerte sektorer er vist i tabell A.1.1 i appendixet. Industrisektorene i Danmark med størst bruk av energi er nærings- og nytelsesmiddel og ikke metalliske mineraler, mens sektoren med størst energibruk i Finland er treforedlingssektoren med mer enn 50 prosent av totalt elektrisitetsbruk i industrien. Metallindustrien og kjemisk industri er også store energibrukere i Finland.

I Norge er metallindustrien den største energibrukeren fulgt av kjemisk industri og treforedlingsindustrien. I metall- og treforedlingsindustrien er bruken av elektrisitet mye større enn bruken av olje, mens i kjemisk industri er det bruken av olje som dominerer. I Sverige dominerer de tre samme sektorer som i Norge når det gjelder energibruk i industrien. Treforedlingsindustrien, som er den største energibrukeren, har, som i Norge, mye større bruk av elektrisitet enn av olje. Tilsvarende er situasjonen i kjemisk industri motsatt med større bruk av olje enn av elektrisitet.

Som vi har sett varierer de forskjellige industrisektorene med hensyn til sammensetning av energibruken. Dette indikerer at ikke samme modell vil passe for alle industrisektorer.

Figur 2.3 Utvikling i energiforbruket i industrien fra 1970 til 1988 fordelt på energivare. Mtoe. Kilde OECD Energy Balances. Balances



3 Modellering av energietterspørsel

Eksempler på modellering av energietterspørsel for industrien i Norden er få, særlig på et disaggregert nivå. Det finnes imidlertid noen relevante studier fra Danmark og Norge.

Ved forskningscenteret Risø i Danmark er det utviklet en prognosemodell for energietterspørsel i industrien (Møller Andersen et. al, 1991). Modellen er beskrevet som en teknisk økonomisk prognosemodell for energietterspørsel i industrien og har en disaggregert industristruktur. To forskjellige angrepsmåter har blitt brukt i modelleringen av energietterspørselen, nemlig "top down" spesifikasjoner og "bottom up" spesifikasjoner.

"Top-down" spesifikasjonene er basert på neoklassisk produksjonsteori og et energiaggregat. Fleksible funksjonsformer (translog) er benyttet. "Bottom up" spesifikasjonene er basert på aggregert detaljbeskrivelse av teknologien. "Bottom up" spesifikasjonene, som mangler det teoretiske fundamentet som top-down spesifikasjonene har, brukes der de sistnevnte ikke gir tilfredstillende resultater. Forskjellige forklaringsfaktorer blir testet (se nedenfor).

I den norske generelle likevektsmodellen MSG-EE er nye energirelasjoner implementert (Mysen, 1991). Disse relasjonene er basert på top-down spesifikasjoner, men sammenlignet med Danmark er mindre fleksible funksjonsformer (CES) benyttet. Som vi skal se i det følgende er disse nye relasjonene forenlige med at elektrisitetsforbruket øker i forhold til oljeforbruket selv om den relative prisutviklingen skulle tilsi noe annet (jfr. forrige kapittel).

3.1 Mulige forklaringer på hvorfor elektrisitetsforbruket øker i forhold til oljeforbruket.

Det kontraintuitive faktum at elektrisitetsforbruket øker i forhold til oljeforbruket selv om elektrisitetsprisen stiger relativt sett i forhold til oljeprisen, kan forklares på flere måter.

For det første har bruk av elektrisitet til elektrisitetsspesifikt utstyr økt de siste årene. Videre har kostnader i forbindelse med installering av oljebasert oppvarmingsutstyr blitt store i forhold til tilsvarende kostnader forbundet med installering av elektrisitetsbasert oppvarmingsutstyr. Dessuten kan forventninger om framtidige økninger i oljeprisen for eksempel i forbindelse med miljøavgifter også være en forklaring.

Andre mulige forklaringer kan være at de to oljeprissjokkene på 70-tallet førte til teknologiske endringer som favoriserte bruk av elektrisitet og også at direkte reguleringer for å redusere utslipp, for eksempel "end of pipe" reguleringer for å redusere utslipp av SO_2 , gjorde bruk av olje dyrere.

For å ta hensyn til disse hypotesene kan vi formulere følgende generelle produktfunksjon for energi (U):

$$U = f(E, F, K_E, K_F, \tau_E, \tau_F, R_E, R_F, X) \quad (3.1)$$

E	Elektrisitet
F	Olje
K_E	Kapitalutstyr som bruker elektrisitet
K_F	Kapitalutstyr som bruker olje
τ_E	Teknologisk nivå på K_E
τ_F	Teknologisk nivå på K_F
R_E	Reguleringer i forbindelse med elektrisitetsbruk
R_F	Reguleringer i forbindelse med oljebruk
X	Produksjon

Med alle disse variablene inkludert i produktfunksjonen utelukkes ingen av

forklaringene nevnt ovenfor. For eksempel kan en økning i prisen på oljebasert oppvarmingsutstyr i forhold til oppvarmingsutstyr som baseres på elektrisitet føre til økt bruk av elektrisitet i forhold til olje selv om elektrisitetsprisen samtidig øker i forhold til oljeprisen.

Beklageligvis har vi ikke gode nok data til å teste hypotesene nevnt ovenfor. En mulighet, som vi skal se nærmere på i neste avsnitt, er da å la tiden representere disse effektene.

3.2 Kostnadsfunksjon for energietterspørsel

Med utgangspunkt i neoklassisk produksjonsteori spesifiseres et energiaggregat U som produseres ved elektrisitet og olje¹,

$$U = f(E, F), \quad (3.2)$$

med substitusjonsmuligheter mellom de to energivarene.

¹Gass- og kullforbruk bestemmes som faste andeler av produksjonen i sektoren.

Gitt nivået på energiaggregatet U , bestemmes det optimale forhold mellom elektrisitet og olje ved å minimere den duale kostnadsfunksjonen (Diewert, 1971),

$$CU = g(P_E, P_F), \quad (3.3)$$

hvor P_E og P_F er priser på henholdsvis elektrisitet og olje. Kostnadsfunksjonen er spesifisert som en CES²-funksjon (Varian, 1984),

$$CU = U \left[A_E P_E^{1-\sigma} + (1 - A_E) P_F^{1-\sigma} \right]^{\frac{1}{1-\sigma}}, \quad (3.4)$$

hvor A_E er en distribusjonsparameter og σ er substitusjonselastisiteten.

En måte å ta hensyn til at elektrisitetsforbruket øker i forhold til oljeforbruket, er å innføre tiden som variabel og dermed åpne for ikke-nøytral teknisk endring. Dette kan gjøres ved å la A_E variere med tiden, t :

$$A_E = e^{\alpha+\tau t} (1 + e^{\alpha+\tau t})^{-1}. \quad (3.5)$$

Trendparameteren τ forteller med hvor stor andel forholdet mellom elektrisitetsforbruk og oljeforbruk øker på et år gitt at de relativt priser ikke endres. Er $\tau = 0.1$, impliserer dette en 10 prosents økning i forholdet mellom elektrisitetsforbruk og oljeforbruk pr. år.

3.3 Avledninger av en CES kostnadsfunksjon

Ved å derivere kostnadsfunksjonen (3.4) med hensyn til faktorprisene, oppnås de kostnadsminimerende etterspørselsfunksjonene for elektrisitet og olje (Shephards lemma, Varian, 1984). Ved å ta logaritmen til faktorforholdet oppnås en funksjonsform som er egnet for estimering.

Vi er interessert i å sammenligne modellen med trend i retning av økt bruk av elektrisitet, med andre modeller. Ved å sette $\tau = 0$ får vi en modell uten denne trenden. Logaritmen til faktorforholdet er da gitt ved:

$$\ln\left(\frac{E}{F}\right) = a - \sigma \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right), \quad (3.6)$$

²En årsak til at funksjonsformen CES (Constant Elasticity of Substitution) er benyttet er at antallet parametere å estimere er lavere enn hva som er tilfelle med mer fleksible funksjonsformer. Dette er en fordel siden antall observasjoner er lavt (13). Dessuten er det enkelt å implementere ikke-nøytral teknisk endring i en etterspørselsfunksjon basert på en CES kostnadsfunksjon.

hvor $a = \ln\left(\frac{A_E}{1-A_E}\right)$.

En antagelse om delvis tilpasning (partial adjustment, Harvey, 1981) kan synes mer realistisk og leder til følgende dynamiske ligning:

$$\ln\left(\frac{E}{F}\right) = a - \sigma \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right) + \gamma \ln\left(\frac{E}{F}\right)_{-1}. \quad (3.7)$$

Jo større γ er jo lenger tid tar tilpasningen.

En annen måte å modellere tregheter i tilpasningen på, er å spesifisere en feiljusteringsmodell (error correction model, Harvey (1981)). I denne modellen er endringen i venstresidevariabelen en funksjon av endringen i det optimale nivået for denne variabelen og avviket fra det optimale nivået i foregående periode,

$$\Delta \ln\left(\frac{E}{F}\right) = \rho_0 + \rho_1 \Delta \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right) - \mu \ln\left(\frac{E}{F}\right)_{-1} + \lambda \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)_{-1}, \quad (3.8)$$

hvor Δ representerer endringen fra en periode til den neste, ρ_1 er den kortsiktige substitusjonselastisiteten og $-\frac{\lambda}{\mu}$ er den langsiktige substitusjonselastisiteten.

I en situasjon hvor vi har en trend (dvs. $\tau \neq 0$) vil logaritmen til faktorforholdet være gitt ved:

$$\ln\left(\frac{E}{F}\right) = \alpha - \sigma \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right) + \tau t. \quad (3.9)$$

Feiljusteringsversjonen av denne modellen blir som følger:

$$\Delta \ln\left(\frac{E}{F}\right) = \rho_0 + \rho_1 \Delta \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right) - \mu \ln\left(\frac{E}{F}\right)_{-1} + \lambda \ln\left(\frac{P_E}{P_F}\right)_{-1} + \theta t_{-1}. \quad (3.10)$$

Modellene (3.6) til (3.10) er estimert på vårt datamateriale.

3.4 "Bottom up" spesifikasjoner

For noen av sektorene passer ikke modellene som er presentert ovenfor. De estimerte parameterne kan være usignifikante eller ha "gale" fortegn, eller

forklaringskraften kan være for lav. Det kan også være problemer med autokorrelasjon.

I likhet med Møller Andersen et al. (1991) vil vi for slike sektorer benytte oss av "bottom up" spesifikasjoner hvor en relasjon spesifiseres for hver energivare. Forskjellige forklaringsfaktorer blir testet, og som utgangspunkt har vi valgt en loglineær spesifikasjon med produksjon, egenpris og pris på den andre energivaren som forklaringsfaktorer. En etterspørselsfunksjon for elektrisitet som er egnet for estimering, kan således være gitt ved,

$$\ln E = \beta_0 + \beta_1 \ln X + \beta_2 \ln \frac{P_E}{P} + \beta_3 \ln \frac{P_F}{P} \quad (3.11)$$

hvor X er produksjon i sektoren og P en prisindeks. På tilsvarende måte kan etterspørsel etter olje spesifiseres. Med en slik loglineær spesifisering av modellen kan koeffisientene tolkes som elastisiteter.

Andre mulige forklaringsfaktorer som er testet er investeringer, sysselsetting og tiden. Vi har også testet dynamiske spesifikasjoner av de loglineære relasjonene.

3.5 Størrelsen på energiaggregatet

Fra en av ligningene (3.6) til (3.10) bestemmes det optimale faktorforholdet mellom elektrisitets- og oljeforbruk. For å bestemme etterspurt kvantum av de to energivarene må vi bestemme størrelsen på energiaggregatet U . I en makroøkonomisk modell hvor energi er en av innsatsfaktorene som bestemmer sektorens produksjon, vil størrelsen på energiaggregatet bestemmes endogent som en funksjon av de relative faktorpriser og av sektorens produksjonsnivå. Et eksempel på en slik modell er Statistisk sentralbyrås MSG-modell (Bjerkholt et. al, 1983).

Imidlertid ser vi her på en partiell energimodell uten tilbakevirkninger fra energimarkedet til resten av økonomien. Derfor må størrelsen på energiaggregatet bestemmes på en enklere måte. Vi har valgt å modellere energiaggregatet som en loglineær funksjon av energiprisen, produksjonsnivået og tiden. Tiden er inkludert i modellen for å ta hensyn til teknisk endring.

$$\ln U = \alpha_0 + \alpha_1 \ln P_U + \alpha_2 \ln X + \alpha_3 t \quad (3.12)$$

3.6 Kriterier for valg av modell

Det er flere kriterier å ta hensyn til ved valg av modell. For det første bør parameterestimatene være signifikante og ha "riktig" fortegn. F. eks. bør substitusjonselastisitetene være positive. Man bør kunne være i stand til å tolke resultatene i lys av teori og tidligere resultater. Dessuten bør forklaringskraften til modellen være av en viss størrelsesorden. I tillegg bør det ikke være autokorrelasjon eller heteroskedastisitet. Valget av modell er basert på en vurdering ut fra alle disse kriterier.

4 Data

Hovedkildene for data om energiforbruk har vært OECD Energy Balances og OECD Energy Statistics. OECD dataene for Finland var ikke tilfredstillende. De finske dataene er derfor hentet fra en nasjonal kilde (Mäenpää og Tervo, 1991). Prisdatabe er delvis hentet fra OECD Energy Prices and Taxes og diverse nasjonale kilder. For Danmark er prisdatabe for elektrisitetsforbruk i industrien hentet fra Energiverkernes Tiårsoversigt, for Finland fra Energiatlastot, for Norge fra energiregnskapet og for Sverige fra Elforsörningen och fjärrvarmeforsörningen. Data for produksjon, investeringer og sysselsetting er hentet fra OECD National Accounts.

5 Estimeringsresultater

5.1 Substitusjon mellom elektrisitet og olje

Som nevnt i kapittel 3 er valg av modell basert på en vurdering med hensyn på flere kriterier. Estimeringsresultatene for industrisektorene basert på en CES kostnadsfunksjon er presentert i appendixet, tabell A.2.1-A.2.3³. Kolonnene i tabellene representerer modellene som ble diskutert i kapittel 3. Tabellene inneholder parameterestimater for langsiktige substitusjonselastisiteter og trend i retning av økt bruk av elektrisitet med t-verdier i parenteser. Standardavviket til residualet (SER) og Durbin Watson (DW) testobservator er også oppgitt. Hvilke modeller som ble valgt (både "top down" og "bottom up") for de enkelte sektorene presenteres senere i dette kapitlet.

Som vi så i kapittel 2, varierer de forskjellige industrisektorene tildels betydelig hva nivå og sammensetning av energibruk angår. Fra tidligere studier vet vi at substitusjons mulighetene varierer mellom sektorer. Derfor har vi splittet den totale industrien opp i tre mer homogene subaggregater. På denne måten kan vi bedre skille ut effekter på energietterspørselen av strukturendringer i industrien.

For Norge er industrien splittet opp i metallindustrien, treforedlingsindustrien og annen industri. Bakgrunnen for denne oppdelingen er at metallindustrien er energiintensiv med spesielt høyt elektrisitetsforbruk og små muligheter for substitusjon mellom olje og elektrisitet, mens treforedlingsindustrien som også er energiintensiv, har gode substitusjonsmuligheter. I en analyse av industrien i Norge (Johnsen og Mysen (1991)) var det denne oppdelingen som ga de beste estimeringsresultater.

For sammenligningens skyld og siden både Finland og Sverige har viktige og energiintensive metall- og treforedlingsindustrier, har vi valgt å dele opp industrien i disse to landene på samme måte som for Norge. Når det gjelder Danmark med mindre betydningsfull metall- og treforedlingsindustri, er en annen oppdeling påkrevet. Med utgangspunkt i arbeidet til Møller Andersen et al. (1991) har vi splittet den danske industrien opp i metallindustri, kjemisk industri pluss nærings- og nytelsesmiddel (slått sammen) og annen industri.

Metallindustrien ble valgt som egen sektor på grunn av dens høye energi-

³Siden vi har brukt "bottom up" spesifikasjoner for de tre finske industrisektorene, har vi ikke tatt med estimeringsresultater for Finland basert på en CES-funksjon her.

intensitet sammenlignet med andre industrisektorer. I tillegg var estimeringsresultatene for denne sektoren tilfredsstillende. Årsaken til at kjemisk industri og nærings- og nytelsesmiddel er slått sammen, er at energiforbruket i begge sektorene viser tilnærmedesvis like historiske forløp. I begge sektorene øker elektrisitetsforbruket mens oljeforbruket synker. Likevel er oljeforbruket i 1988 betydelig i begge sektorene. Et annet fellestrekk er at gassforbruket øker selv om det fortsatt er lavt.

Table 5.1.1: Estimering av substitusjon mellom elektrisitet og olje i industrisektorene i fire nordiske land. Utvalgte modeller.

Sektor		Danmark	Norge	Sverige	Finland
Metall	Modell	(3.8)	(5.1) (5.2)	(3.9)	(5.3) (5.4)
	Subst.el.	0.29 (2.38)		0.28 (3.53)	
	Trend	0.14 (14.58)		0.06 (4.99)	
Treforedl.	Modell	(5.7) (5.8)	(3.9)	(3.8)	(5.5) (5.6)
	Subst.el.		1.64 (1.70)	0.08 (0.93)	
	Trend		0.24 (2.36)	0.17 (12.04)	
Annen ind.	Modell	(5.11) (5.12)	(3.9)	(3.9)	(5.9) (5.10)
	Subst.el.		0.41 (5.20)	0.19 (0.62)	
	Trend		0.09 (17.92)	0.13 (5.16)	

Et av hovedresultatene fra estimeringen er at modellene med trend ga bedre tilpasning til data enn de uten. Disse resultatene er i samsvar med de norske resultatene fra estimeringen av energirelasjonene i den siste versjonen av MSG-modellen (Mysen (1991)). Imidlertid var estimeringsresultatene for metallsektoren i Norge, kjemisk mm. og annen industri i Danmark og de tre finske industrisektorene, ikke tilfredsstillende. For disse sektorene ble forskjellige "bottom up" spesifikasjoner valgt. Også resultatene fra "bottom

up” estimeringen antyder en trend i retning av økt forbruk av elektrisitet i forhold til olje.

Tabell 5.1.1 og ligningene (5.1) til (5.12) presenterer parameterestimerer fra de valgte modellene. Tabellen viser at de estimerte substitusjonselastisitetene for metallsektoren i Danmark og Sverige er av samme størrelsesorden. For Norge er bruk av elektrisitet og bruk av olje bestemt på samme måte som i MSG-modellen (Bye (1993)), dvs. som faste andeler av produksjonsnivået i sektoren ((5.1) og (5.2)). Årsaken til dette er at kapitalutstyret i metallsektoren i Norge ikke tillater substitusjon. Dessuten er oljeforbruket i denne sektoren lavt i forhold til elektrisitetsforbruket.

For metallsektoren i Finland er ”bottom up” spesifikasjoner valgt ((5.3) og (5.4)). Etterspørsel etter elektrisitet er en funksjon av produksjonsnivået i sektoren, egenpris og tiden, mens etterspørsel etter olje er en funksjon av produksjonsnivået, egenpris, elektrisitetspris og tiden. Parameterestimatene knyttet til tiden, positiv for elektrisitet og negativ for olje, har tilsvarende implikasjoner som trendparameteren i CES-funksjonene. Etterspørsel etter elektrisitet øker mens etterspørsel etter olje avtar gitt konstante relative priser. For metallsektoren synes denne trenden å være sterkere i Danmark enn i de andre tre landene.

Metallindustrien i Norge:

$$E = 0.019 * X \quad (5.1)$$

$$F = 0.001 * X \quad (5.2)$$

Metallindustrien i Finland:

$$\ln E = 7.27 - 0.64 \ln\left(\frac{P_E}{P}\right) + 0.265 \ln X + 0.02t \quad (5.3)$$

$$\ln F = -14.675 - 0.379 \ln\left(\frac{P_F}{P}\right) + 2.499 \ln X + 1.56 \ln\left(\frac{P_E}{P}\right) - 0.07t \quad (5.4)$$

Den estimerte substitusjonselastisiteten i treforedlingssektoren i Norge er svært høy, mens den i Sverige ikke er signifikant forskjellig fra 0. Kapitalutstyret i den norske treforedlingsindustrien tillater rask substitusjon fra

elektrisitet til olje og motsatt. Således kan sektoren effektivt tilpasse seg de fluktuierende priser på tilfeldig kraft. I treforedlingssektoren i Finland er etterspørsel etter elektrisitet estimert som en funksjon av produksjonsnivået i sektoren, egenpris og tiden, og etterspørsel etter olje er estimert som en funksjon av produksjonsnivået og tiden. Generelt er trendparameterestimatene større i denne sektoren enn i metallsektoren.

Treforedlingsindustrien i Finland:

$$\ln E = 2.10 - 0.09 \ln\left(\frac{P_E}{P}\right) + 0.91 \ln X + 0.06t \quad (5.5)$$

$$\ln F = 7.97 + 0.15 \ln X - 0.05t \quad (5.6)$$

I kjemisk pluss nærings- og nytelsesmiddel i Danmark er "bottom up" spesifikasjoner valgt. Som vi kan se av (5.7) er etterspørsel etter elektrisitet en funksjon av produksjonsnivået, egenpris, investeringer og tiden. Det negative parameterestimatet knyttet til investering kan tyde på at elektrisitet og kapital er alternative innsatsfaktorer i denne sektoren. Etterspørsel etter olje er en funksjon av produksjonsnivået og egenpris⁴. Vi ser at den estimerte produksjonselastisiteten (koeffisienten foran $\ln X$) er større for elektrisitet enn olje. En produksjonsøkning vil således føre til at elektrisitetens andel av energiforbruket øker.

Kjemisk og nærings- og nytelsesmiddel i Danmark:

$$\ln E = 15.88 - 0.21 \ln\left(\frac{P_E}{P}\right) + 0.71 \ln X - 0.35 \ln I + 0.02t \quad (5.7)$$

$$\ln F = \alpha - 0.3 \ln\left(\frac{P_F}{P}\right) + 0.35 \ln X \quad (5.8)$$

I annen industri i Norge er substitusjonselastisiteten signifikant ulik 0, mens den ikke er det i Sverige. Trendparameterne er noe lavere enn i treforedlingssektoren. I Finland er etterspørselen etter både elektrisitet og olje estimert som en funksjon av produksjonsnivået i sektoren og tiden. Etterspørsel etter elektrisitet er positivt korrelert med tiden, mens etterspørsel etter olje er negativt korrelert med tiden.

⁴Her greide vi ikke å oppnå tilfredstillende estimeringsresultater. Vi har derfor hentet parameterestimater fra Møller Andersen et al. (1991). Det samme gjelder også for (5.11).

Annen industri i Finland:

$$\ln E = 0.63 + 0.78 \ln X + 0.01t \quad (5.9)$$

$$\ln F = 2.96 + 0.71 \ln X - 0.04t \quad (5.10)$$

På grunn av sektorinndelingen vil annen industri i Danmark ha en noe annen sammensetning enn annen industri i de tre andre land. Både etterspørsel etter elektrisitet og etterspørsel etter olje er estimert som funksjoner av egenpris, produksjonsnivå og tid. Også her er etterspørselen etter elektrisitet positivt korrelert med tiden, mens etterspørsel etter olje er negativt korrelert med tiden.

Annen industri i Danmark:

$$\ln E = \alpha - 0.4 \ln\left(\frac{P_E}{P}\right) + 0.8 \ln X + 0.04t \quad (5.11)$$

$$\ln F = 9.4 - 0.1 \ln\left(\frac{P_F}{P}\right) + 1.02 \ln X - 0.08t \quad (5.12)$$

5.2 Størrelsen på energiaggregatet

For å bestemme nivået på etterspørselen etter elektrisitet og olje trenger vi, som tidligere nevnt, å bestemme størrelsen på energiaggregatet. Forsøk på å estimere energiaggregatet som en funksjon av pris, produksjonsnivå og tid førte, på grunn av for dårlig kvalitet på dataene, ikke fram. Derfor har vi valgt å bruke parameterestimater som virker rimelige i lys av økonomisk teori og tidligere analyser. Våre parameterestimater er først og fremst basert på den tidligere nevnte analysen av industrien i Danmark utført av Møller Andersen et al. (1991):

$$\ln U = \alpha_0 - 0.25 \ln PU + 0.9 \ln X - 0.01t \quad (5.13)$$

Denne relasjonen blir benyttet for alle sektorer hvor vi har tatt utgangspunkt i en CES-funksjon. Estimaten impliserer at en 1 prosents økning i energiprisen PU fører til en 0,25 prosents reduksjon i energietterspørselen, mens en 1 prosents økning i produksjonen fører til en 0,9 prosents økning i energietterspørselen. Den tekniske endringen vil være på 1 prosent pr. år.

5.3 Pris- og produksjonselastisiteter og trender, en oppsummering

En oppsummering av estimeringsresultatene hva pris- og produksjonselastisiteter angår er gitt i tabell 5.3.1. Priselastisitetene, ϵ_E and ϵ_F , forteller med hvor mange prosent etterspørselen etter henholdsvis elektrisitet og olje endres 1 prosent økning i de respektive priser. Priselastisiteten tar hensyn til både substitusjonseffekter og skalaeffekter⁵. Produksjonselastisitetene, Σ_E and Σ_F , forteller med hvor mange prosent energietterspørselen øker når produksjonsnivået i sektoren øker med 1 prosent.

Table 5.3.2: Pris- og produksjonselastisiteter for etterspørselen etter energi i industrien.

	Metall				Treforedl.*				Annen ind.			
	ϵ_E	ϵ_F	Σ_E	Σ_F	ϵ_E	ϵ_F	Σ_E	Σ_F	ϵ_E	ϵ_F	Σ_E	Σ_F
Danmark	-0.26	-0.28	0.9	0.9	-0.21	-0.30	0.71	0.35	-0.12	-0.10	0.8	1.02
Finland	-0.06	-0.38	0.27	2.50	-0.09	-	0.91	0.15	-	-	0.78	0.71
Norge	-	-	1	1	-0.44	-1.45	0.9	0.9	-0.28	-0.38	0.9	0.9
Sverige	-0.26	-0.27	0.9	0.9	-0.22	-0.11	0.9	0.9	-0.24	-0.20	0.9	0.9

* For Danmark: Kjemisk og nærings- og nytelsesmiddel

Et hovedinntrykk er at energietterspørselen i industrien i de fire nordiske land som inngår i denne analysen, er relativt uelastisk. Med unntak av treforedlingssektoren i Norge er priselastisitetene i alle sektorer lavere enn 0,5.

Av tabell 5.3.1 ser vi at etterspørselen etter elektrisitet og olje i Danmark er mer prisfølsom i metallsektoren og i sektoren produksjon av kjemiske produkter og nærings- og nytelsesmiddel enn i resten av industrien. Det er nærmere forbindelse mellom produksjonsnivået og energietterspørselen i metallsektoren og i annen industri enn i kjemisk og nærings- og nytelsesmiddel-sektoren. Prisfølsomheten til energietterspørselen synes å være vesentlig lavere i den finske industrien enn i den danske. Det er også verdt å merke seg den høye produksjonselastisiteten til etterspørsel etter olje i den finske metallsektoren.

⁵Husk at det i denne modellen ikke er noen tilbakevirkninger fra energiprisene til produksjonsnivået i sektorene.

Som nevnt tidligere er sammensetningen av energietterspørselen i treforedlingsindustrien i Norge svært følsom overfor endringer i de relative priser. Fra tabellen kan vi se at etterspørselen etter olje er mer prisfølsom enn etterspørselen etter elektrisitet. Energietterspørselen i metallsektoren i Danmark og Sverige viser omtrent lik prisfølsomhet. I annen industri er prisfølsomheten høyest i Norge og lavest i Danmark.

I tabell 5.3.2 gis en oppsummering av trendparameternes verdier. Her forteller τ med hvor stor andel forholdet mellom elektrisitet og olje endres pr. år (CES-funksjonene), mens τ_E og τ_F forteller med hvor stor andel etterspørselen etter henholdsvis elektrisitet og olje endres pr. år ("bottom up" funksjonene). På trinnet over CES-funksjonene er det i tillegg lagt inn en 1 prosents reduksjon pr. år i energiaggregatet av elektrisitet og olje gitt uendrede priser og produksjonsnivå (jfr. likning (5.13)).

Table 5.3.3: Trender i etterspørselen etter energi i industrien.

	Metall			Treforedl.*			Annen ind.		
	τ	τ_E	τ_F	τ	τ_E	τ_F	τ	τ_E	τ_F
Danmark	0.14				0.02			0.04	-0.08
Finland		0.02	-0.06		0.06	-0.05		0.01	-0.04
Norge				0.24			0.09		
Sverige	0.06			0.17			0.13		

* For Danmark: Kjemisk og nærings- og nytelsesmiddel

Vi ser av tabellen at i metallsektoren er det en trend i retning av økt bruk av elektrisitet i forhold til olje i Danmark, Finland og Sverige. Trenden er sterkest i Danmark. I treforedlingsektoren er det Norge som har den sterkeste trenden men det er også en betydelig trend i retning av økt bruk av elektrisitet i Sverige og Finland. I kjemisk pluss nærings- og nytelsesmiddelindustri i Danmark er det en svak trend i retning av økt elektrisitetsforbruk, mens det ikke er mulig å oppdage noen trend i oljeforbruket.

Trenden i retning av økt elektrisitetsforbruk på bekostning av oljeforbruk i annen industri er relativ sterk i Danmark, Norge og Sverige, mens den er relativ svak i Finland. For "bottom up" funksjonene ser vi at det er et dominerende trekk at den trendmessige prosentvise reduksjonen i oljeforbruket er høyere enn den trendmessige prosentvise økningen i elektrisitetsforbruket, noe som er et uttrykk for at det totale energibruk pr. produsert enhet

har blitt redusert. Dette er det samme fenomen som kommer til uttrykk ved hjelp av den negative trendparameteren i likning (5.13).

Sammenlignet med de beskjedne elastisitetene må de pris- og produksjonsuavhengige trendene som er påvist i datamaterialet, sies å være betydelige. Dette samsvarer med et av funnene til Howarth et al. (1991) i sin analyse av energibruk i åtte OECD land. De fant at energiintensitetene falt raskere i perioden fram mot 1973 da det var høye investeringer enn i perioden etter 1973 da energiprisene økte drastisk.

Tar vi annen industri i Danmark som et eksempel vil en τ_F på 0.08 implisere at oljeforbruket om 30 år er en tidel av dagens oljeforbruk gitt uendrede priser og uendret produksjonsnivå. Et slikt resultat kan synes noe ekstremt. Man kan ikke se bort fra at mulighetene for at den trendmessige substitusjon mellom elektrisitet og olje, som kan observeres i det historiske materialet, er i ferd med å uttømmes eller vil bli uttømt i løpet av ikke altfor lang tid. På denne bakgrunn er det lagt inn muligheter i modellen for å styre trenden eksogent slik at det blir opp til brukeren av modellen å bestemme hvor sterk trenden skal være.

6 Konklusjoner

I dette arbeidet har vi studert energietterspørsel i industrien i de fire nordiske land Danmark, Finland, Norge og Sverige. Vi har presentert estimeringsresultater basert på tidsseriedata for industrien som er delt opp i tre aggregerte sektorer.

Vi har fokusert på substitusjon mellom elektrisitet og olje og på bestemmelsen av størrelsen på energiaggregatet som består av elektrisitet og olje. Estimeringsresultatene viser en signifikant trend i retning av at elektrisitetsforbruket øker i forhold til oljeforbruket uavhengig av utviklingen i de relative priser. Grovt sett antyder trenden en økning i forholdet mellom elektrisitet og olje på 10 prosent pr. år.

Bortsett fra for Danmark synes trenden å være sterkere i treforedlingssektoren enn i de andre sektorene. Forklaringer på en slik trend kan være økt bruk av elektrisitetsspesifikt utstyr, store kapitalkostnader i forbindelse med installering av oljebasert oppvarmingsutstyr og forventninger om økte oljepriser i framtiden f. eks. i forbindelse med CO_2 -avgifter på fossile brenslere.

Bare Danmark og Sverige har en metallsektor med signifikant substitusjonselastisitet, mens substitusjonselastisiteten i de to andre industrisektorene bare er signifikant i Norge. Substitusjonsmulighetene i treforedlingssektoren i Norge synes å være særlig høye.

For omlag halvparten av sektorene ga antagelser om kostnadsminimerende adferd og bruk av CES-funksjoner tilfredsstillende resultater. For resten av sektorene ble "bottom up" relasjoner benyttet. De viktigste forklaringsvariablene for etterspørselen etter de to energibærerne var egenpris, produksjonsnivå i sektoren og tiden.

For å bestemme etterspørselen etter elektrisitet og olje i de sektorene hvor CES-funksjoner var benyttet måtte størrelsen til energiaggregatet bestemmes. Dessverre tillot ikke kvaliteten på våre data estimering av en etterspørselsfunksjon for energiaggregatet. Derfor ble parameterestimater hentet fra andre studier benyttet.

Referanser

Andersen F. Möller, N. A. Kilde, L. H. Nielsen, og S. Præstegård (1991): En teknisk-økonomisk prognosemodell for industriens energiforbrug samt energirelaterede CO_2 - SO_2 - og NO_X -emissioner, Risø-M-2920, Forskningscenter Risø, Roskilde.

Bjerkholt O., S. Longva, Ø. Olsen, and S. Strøm (1983): *Analysis of Supply and Demand of Electricity in the Norwegian Economy*, Samfunnsøkonomiske studier 53, Statistisk sentralbyrå, Oslo.

Bye T., T. A. Johnsen, and H. T. Mysen (1991): An Integrated Economy-Energy-Environment General Equilibrium Model of the Norwegian Economy. Paper presentert på EMS-konferansen i London 1991.

Bye B., and H. T. Mysen (1991): Energisubstitusjon, forurensninger og virkemidler *Sosialøkonomen* 2, februar 1991.

Diewert W. E. (1971): An Application of the Shephard Duality Theorem: A Generalized Leontief Production Function, *Journal of Political Economy*, 79.

Harvey A. C. (1981): *The Econometric Analysis of Time Series*, Phillip Allan, Oxford.

Hetland T., T. Vik, og A. Aaheim (1990): Tilgang og bruk av energi, Interne notater 90/2, Statistisk sentralbyrå.

Howarth R. B., L. Schipper, P. A. Duerr, and S. Strøm (1991): Manufacturing energy use in eight OECD countries, *Energy Economics* April 1991.

Johnsen T., and H. T. Mysen (1991): Energirelasjoner og datagrunnlag i en nordisk energimodell, *Upublisert*, Statistisk sentralbyrå, Oslo.

Johnston J. (1984): *Econometric Methods*, Singapore: McGraw-Hill Book Co.

Mäenpää I., and H. Tervo (1991): Suomen talouden toimialoittaiset energiankulutus- ja hintasarjat 1970-1988, University of Oulu.

Mysen H. T. (1991): *Substitusjon mellom olje og elektrisitet i produksjonssektorene i en makromodell*, Rapport 91/7, Statistisk sentralbyrå.

Pindyck R. S. (1979): *The structure of world energy demand*. Cambridge, Massachusetts and London, England: The MIT Press.

Varian H. R. (1984): *Microeconomic Analysis*, New York: Norton.

A Energibruk og estimeringsresultater

A.1 Energibruk etter sektor og energivare

Table A.1.1: Forbruk av energivarer etter sektor. 1988. Mtoe.

Sektor	Danmark				Finland				Norge				Sverige			
	el.	olje	gass	kull	el.	olje	gass	kull	el.	olje	gass	kull	el.	olje	gass	kull
Total industri	0.73	1.10	0.39	0.33	2.66	1.91	0.73	1.62	3.88	2.39	-	0.90	4.66	3.18	0.18	1.31
Jern og stål	0.06	0.05	0.03	0.00	0.16	0.20	0.09	0.91	0.72	0.03	-	0.66	0.47	0.35	-	0.76
Kjemisk	0.13	0.12	0.07	-	0.33	0.82	0.02	0.06	0.48	1.33	-	0.10	0.59	1.21	0.06	0.07
Annen metall	0.00	0.00	0.01	0.00	0.12	0.04	-	0.00	1.49	0.09	-	0.01	0.23	0.06	-	0.04
Ikke-met. mineraler	0.06	0.20	0.09	0.15	0.06	0.12	0.09	0.53	0.07	0.10	-	0.11	0.11	0.22	-	0.26
Transp. utstyr	0.03	0.03	0.00	-	-	0.05	-	-	0.04	0.02	-	-	0.21	0.04	-	0.02
Maskiner	0.09	0.14	0.02	-	0.17	0.12	-	0.00	0.15	0.06	-	-	0.38	0.27	0.00	-
Gruvedr.	-	0.01	-	0.04	0.05	0.07	-	-	0.06	0.06	-	0.00	0.21	0.07	-	0.03
Nærings- og nyt.m.	0.17	0.32	0.11	0.10	0.10	0.19	0.02	0.03	0.18	0.19	-	0.01	0.21	0.21	0.08	0.03
Treforedl.	0.06	0.04	0.04	0.04	1.46	0.09	0.48	-	0.53	0.11	-	0.01	1.70	0.52	0.00	0.08
Papirind.	0.04	0.02	-	-	0.10	0.08	0.01	0.08	0.06	0.04	-	-	0.17	0.05	-	-
Verkst.	0.02	0.13	0.00	-	0.04	0.05	-	-	0.06	0.34	-	-	0.08	-	-	-
Tekstil	0.03	0.03	0.02	-	0.03	0.04	-	-	0.02	0.01	-	-	0.04	0.05	-	-
Annen industri	0.05	0.01	0.00	-	0.04	0.05	0.00	0.01	0.00	-	-	-	0.24	0.14	0.05	0.03

Kilde: OECD Energy Balances

A.2 Estimeringsresultater

Table A.2.2: Substitusjon mellom elektrisitet og olje i industrien i Danmark. Estimeringsresultater.

Sektor		(3.6)	(3.7)	(3.8)	(3.9)	(3.10)
Metall	Subst.el.	.5657 (1.00)	2.3443 (1.32)	2.2844 (1.28)	.2888 (2.38)	.4153 (2.23)
	Trend				.1397 (14.58)	.1345 (11.55)
	SER	.5329	.1466	.1552	.1132	.1181
	DW	.1828	2.3571	2.3483	1.9583	2.2090
Treforedl.	Subst.el.	.1292 (.27)	-1.2417 (.28)	.8841 (.41)	-.0850 (.38)	.0762 (.20)
	Trend				.1081 (6.04)	.1022 (4.10)
	SER	.4509	.2768	.2793	.2113	.2304
	DW	.4718	2.2682	2.1694	1.6655	1.7572
Annen ind.	Subst.el.	.1628 (.3206)	4.9000 (.20)	-5.5120 (.14)	.0482 (.51)	.1177 (.63)
	Trend				.1255 (16.76)	.1258 (9.99)
	SER	.4808	.1114	.1118	.0893	.0947
	DW	.1271	2.2585	2.2565	1.5561	1.9944

Table A.2.3: Substitusjon mellom elektrisitet og olje i industrien i Norge. Estimeringsresultater.

Sektor		(3.6)	(3.7)	(3.8)	(3.9)	(3.10)
Metall	Subst.el.	-.1699 (1.11)	-.2349 (.10)	-.1625 (.10)	-.1194 (1.15)	-.1263 (.70)
	Trend				.0322 (3.66)	.0382 (1.94)
	SER	.1561	.1267	.1343	.1043	.1149
	DW	.7132	1.3493	1.3536	1.5010	1.5303
Treforedl.	Subst.el.	1.7765 (2.23)	3.7202 (1.25)	-.3017 (.05)	1.5713 (4.33)	1.6417 (1.70)
	Trend				.1817 (6.31)	.2417 (2.36)
	SER	.7578	.5007	.3559	.3432	.3147
	DW	.2437	1.4674	1.6988	1.1	1.5314
Annen ind.	Subst.el.	-.0366 (.11)	4.7228 (.32)	-5.0000 (.14)	.3439 (5.47)	.4108 (5.20)
	Trend				.0918 (17.31)	.0911 (17.92)
	SER	.3303	.0957	.0925	.0594	.0552
	DW	.1339	1.4799	1.8819	1.7274	1.8427

Table A.2.4: Substitusjon mellom elektrisitet og olje i industrisektorene i Sverige. Estimeringsresultater.

Sektor		(3.6)	(3.7)	(3.8)	(3.9)	(3.10)
Metall	Subst.el.	.5363 (4.62)	.7011 (1.53)	.9086 (1.70)	.2282 (5.49)	.2790 (3.53)
	Trend				.0619 (11.30)	.0599 (4.99)
	SER	.1828	.0574	.0581	.0494	.0451
	DW	.4276	1.5160	1.6136	1.3405	1.9269
Treforedl.	Subst.el.	.7855 (2.98)	2.5739 (.40)	-3.1750 (.18)	.0831 (.93)	.0925 (.50)
	Trend				.1411 (12.04)	.1667 (4.75)
	SER	.4152	.1017	.1029	.1058	.0867
	DW	.3047	1.4140	1.5215	.9276	1.5179
Annen ind.	Subst.el.	.6777 (2.37)	16.7966 (.17)	3.3265 (.72)	.0891 (1.36)	.1900 (.62)
	Trend				.1329 (17.93)	.1281 (5.16)
	SER	.3863	.0465	.0458	.6719	.0436
	DW	.2607	2.2656	1.9427	.8118	1.9284

Statistisk sentralbyrå

Oslo
Postboks 8131 Dep.
0033 Oslo

Telefon: 22 86 45 00
Telefaks: 22 86 49 73

Kongsvinger
Postboks 1260
2201 Kongsvinger

Telefon: 62 88 50 00
Telefaks. 62 88 50 30



Statistisk sentralbyrå
Statistics Norway