

RAPPORTER

89/22

**ENERGISUBSTITUSJON I
TREFOREDINGSSEKTOREN**

AV
TORSTEIN BYE OG TOR ARNT JOHNSEN

STATISTISK SENTRALBYRÅ
CENTRAL BUREAU OF STATISTICS OF NORWAY

ENERGISUBSTITUSJON I TREFOREDINGSSEKTOREN

av

Torstein Bye

og

Tor Arnt Johnsen

**STATISTISK SENTRALBYRÅ
OSLO-KONGSVINGER 1990**

**ISBN 82-537-2873-5
ISSN 0332-8422**

EMNEGRUPPE
12 Energi

ANDRE EMNEORD
Modeller
Forbruk
Metode
Næringsøkonomi

Forord

Ved tidligere analyser av energibruk i industrisektorene i MSG har en beskrevet det relative forholdet mellom bruk av elektrisitet og bruk av olje som funksjon av det relative prisforholdet. For treforedlingssektoren har dette gitt en dårlig beskrivelse. I denne sektoren brukes mye fast brensel og sektoren er den største brukeren av tilfeldig kraft i Norge. Det har vært en økning i bruk av fast brensel i sektoren på grunn av restriksjoner på utslipp av avlut. Tilgangen på tilfeldig kraft varierer sterkt og har stor betydning for forholdet mellom bruk av elektrisitet og olje i denne sektoren.

I dette notatet analyseres energibruken i sektoren innenfor en modell med fire energivarer; fast brensel (ved, treavfall, avlut), olje, fastkraft og tilfeldig kraft. Ulike spesifikasjoner av energiaggregatet testes. Blant annet studeres hvordan økt bruk av fast brensel og tilgang på tilfeldig kraft påvirker substitusjonselastisiteten mellom elektrisitet og olje.

Statistisk sentralbyrå , Oslo, 15.desember 1989.

Arne Øien

Innhold

Tabellregister	6
Figurregister	7
1 Innledning	8
2 Beskrivelse av sektoren	9
2.1 Noen tall for undersektorene	9
2.2 Produksjonsprosesser	9
2.3 Produksjon og energibruk	10
3 Teoretisk modell	14
3.1 Kort om treforedlingssektoren i MSG-4E	14
3.2 Modifisert modell for energibruk i treforedlingssektoren	14
3.3 Økonometrisk spesifisering	16
3.3.1 Stokastisk utforming	17
4 Data	19
5 Estimeringsresultater.	20
5.1 Estimeringsresultater	20
5.2 Testresultater.	21
5.3 Økonomiske egenskaper.	23
5.4 Simuleringsegenskaper.	24
6 Konklusjoner og avslutning	27
Referanser	28
Appendix A. Utledning av kostnadsfunksjonen med en gitt faktor	29
Appendix B. Modeller	31
Appendix C. Utledning av lineære modeller	34
Appendix D. Datagrunnlaget	35
Utkommet i serien Rapporter fra Statistisk sentralbyrå etter 1. januar 1989 (RAPP)	39

Liste over tabeller

2.1.1 Sammensetning, produksjon og faktorbruk i treforedlingssektoren, 1986.	9
5.1.1 Estimeringsresultater modell 1-8, estimeringsperiode 1962-1985.	20
5.2.1 Testing av hypoteser.	23
5.3.1 Pris- og substitusjonselastisiteter.	24

Liste over figurer

2.3.1 Indeks for bruttoproduksjonsverdi i faste priser, 1962-1985.	10
2.3.2 Energiintensitet (energi pr. produsert enhet), 1962-1985.	11
2.3.3 Forbruk av energibærere (PJ), 1962-1985.	12
2.3.4 Priser på energibærerne (øre per MJ), 1962-1985.	12
3.2.1 Ulike spesifikasjoner av energiaggregatet i treforedlingssektoren	15
5.2.1 Omfattende modell og undermodeller.	22
5.4.2 Observert og estimert bruk av olje, 1962-1985.	25
5.4.3 Observert og estimert bruk av tilfeldig kraft, 1962-1985.	26

1 Innledning

I den makroøkonomiske modellen MSG-4E inngår kapital, arbeidskraft, vareinnsats og energi som produksjonsfaktorer på øvre trinn i produktfunksjonene. Sammensetningen av energiaggragatet bestemmes ved at elektrisitet og olje er substituerbare energivarer på et nedre trinn i produktfunksjonene. Det relative forhold mellom bruk av elektrisitet og olje bestemmes av det relative prisforholdet mellom de to varene. De fleste sektorene behandles likt i MSG-4E.

Energieterspørselen i treforedlingssektoren bør behandles annerledes enn i de andre sektorene av flere grunner:

- Fordelingen av energibruken på total elektrisitet og olje er avhengig av tilgangen på tilfeldig kraft.
- Mange treforedlingsbedrifter har langsiktige kontrakter for kjøp av fastkraft. Kontraktene innebærer garanterte leveranser til lave priser. Det medfører begrensede endringer i fastkraftforbruket på kort sikt.
- Avlut, ved og treavfall er viktige energibærere i næringen.

Dette notatet starter i kapittel 2 med å gi en beskrivelse av treforedlingssektoren. Kapittel 3 redegjør for en mulig teoretisk modell for energitilpasningen. Generalisert Leontief kostnadsfunksjoner anvendes i modelleringen. I kapittel 4 presenteres dataene som er benyttet. Kapittel 5 inneholder estimeringsresultater og resultater fra testing av ulike hypoteser om hvilken modell som best beskriver dataene. De viktigste resultatene oppsummeres i kapittel 6.

2 Beskrivelse av sektoren

I dette kapitlet beskrives kort treforedlingssektorens sammensetning, størrelse og faktorbruk, samt to av de viktigste produksjonsprosessene i sektoren.

2.1 Noen tall for undersektorene

Treforedlingssektoren er i standard for næringsgruppering sammensatt av fem undersektorer. Disse fem sektorene er produksjon av tremasse, cellulose, papir og papp, trefiberplater og emballasje og andre papir- og pappvarer. Noen nøkkeltall for sektoren i 1986 er gitt i tabell 1.

Tabell 2.1.1: Sammensetning, produksjon og faktorbruk i treforedlingssektoren, 1986.

	Tremasse ¹	Cellul.	Papir/papp	Trefiberpl.	Emb.o.a.	Totalt
Br.pr.verdi, 100.000 kr	20.311	24.308	59.728	2.819	27.958	132.305
Sysselsett., årsverk	1.300	1.800	5.600	400	3.900	13.000
Realkap., 100.000 kr	12.267	44.113	51.362	2.973	21.481	132.196
Fastkraft, GWh	2.058	537	1.313	71	169	4.148
Tilf.kraft, GWh	41	34	288	42	16	421
Tungolje, 1.000 t	12	80	156	12	9	269
Ved, avlut og treavf., 1.000 toe	31	217	15	3	-	266
Tilført energi, TJ	9.362	14.530	12.946	1.037	1.044	38.919

1) Kilde: Nasjonalregnskap og Energiregnskap.

Papir og pappproduksjonen har den største bruttoproduksjonsverdien, sysselsettingen og kapitalbruken. Celluloseproduksjonen tilføres mest energi og det er meget stor bruk av avlut i denne sektoren (omlag 65 % av totalt tilført energi i celluloseproduksjonen stammer fra ved, treavfall og avlut). Tidligere skjedde produksjonen av cellulose (sulfat- og sulfitt-) på flere bedrifter. I de senere årene er antallet cellulosebedrifter sterkt redusert.

Det største elektrisitetsforbruket har tremasseproduksjonen, mens papir og pappproducentene bruker mest tilfeldig kraft og olje. Tallene for tilført energi baseres på teoretiske brennverdier og er grove anslag. Vi har antatt at 1 GWh gir 3.6 TJ, og at 1000 t olje eller 1000 toe ved etc. gir 42 TJ. I Tremasseproduksjon, Celluloseproduksjon og Papir og pappproduksjon utgjør elektrisitetsforbruket henholdsvis 22 %, 14 %, og 12 % av det totale tilførte energiforbruket i sektorene. I tremasseproduksjonen nyttes elektrisitet til slipemaskiner som sliper tømmer opp til trefiber. Papir og pappproducentene bruker mest olje. I denne sektoren nyttes mye av energien til tørking. Sektoren fyrer olje i kjeler som kan nytte kraft istedet. Derfor har denne sektoren også et stort forbruk av tilfeldig kraft.

2.2 Produksjonsprosesser

Råmaterialet i treforedlingssektoren er i hovedsak tømmer som ikke er av god nok kvalitet, såkalt slip-tømmer, til å nyttes til skjæring ved sagbruk. Dessuten kjøper treforedlingsbedriftene flis og oppmalt kapp, som brukes på lik linje med slip-tømmer, fra

sagbrukene.

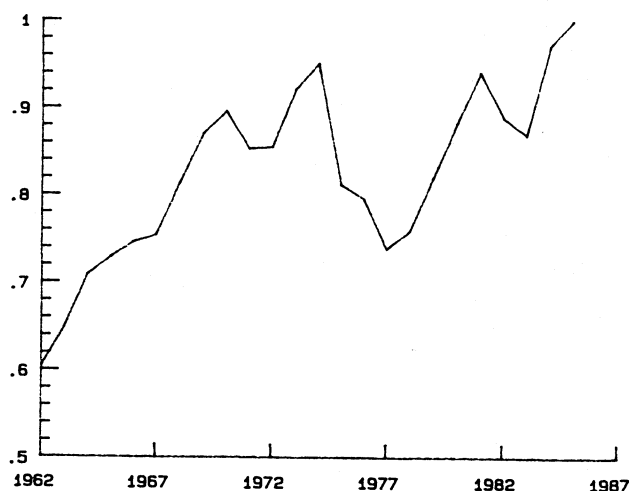
Produksjonen av cellulose skjer ved at trevirket først barkes og hugges opp til flis. Flisen kokes til cellulose under tilsetning av lut. Cellulosen vaskes, siles, blekes(klor) og etterrenses. Deretter strekkes og tørkes cellulosen før den kuttes i ark og pakkes i baller som er sluttproduktet. Bark, avlut(gjenvinnes fra kokevannet fra luteprosessen) og tungolje brennes for å produsere vanndamp. Dampen nyttes i kokeri, blekeri, tørkemaskiner samt til eventuell egen elektrisitetsproduksjon. Elektrisitet brukes til barking, flishugging og ellers til drift av annet elektrisk utstyr i prosessen. Elektrisitet kan også nyttes i tørking og i dampproduksjonen.

Produksjonen av papir og papp skjer idag ved at trevirke males (slipes) mekanisk til kortfibret tremasse. For å gi papir og papp den ønskede styrke tilsettes ulike mengder langfibret cellulose som en armering når tremassen strekkes til papir/papp. Papir og pappbedriftene kjøper cellulosen som et ferdigprodukt. Den mekaniske malingen krever mye elektrisitet, men opp til 70% av denne energien gjenvinnes fordi det i maleprosessen dannes mye varme. Den gjenvunne energien nyttes i tørkeprosessen der den armerte tremassen strekkes og tørkes. Også tungolje, bark og tilfeldig kraft brukes til å produsere varme til tørkeprosessen.

2.3 Produksjon og energibruk

Gjennom prisbevegelser er etterspørselen etter treforedlingsprodukter følsom overfor internasjonale konjunktursvingninger. Produksjonen steg med få unntak jevnt frem til 1974, jfr. figur 1. Fra 1974 til 1977 var sektoren inne i en lavkonjunktur. Store deler av

Figur 2.3.1: Indeks for bruttoproduksjonsverdi i faste priser, 1962-1985.

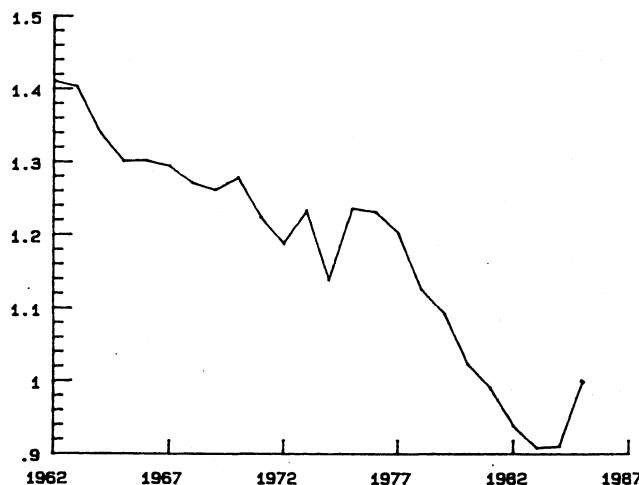


sektoren ble på denne tiden også pålagt skjerpede krav til utslipp av forurensende stof-

fer. Dette førte til en utradering av mange mindre celluloseprodusenter, som etterhvert ble erstattet av større enheter. Produksjonen har siden vært stigende med unntak av lavkonjunkturperioden 1981 til 1983.

Ved beregning av energiintensiteten har vi ikke tatt hensyn til ulik virkningsgrad for ulike energibærere. Energiintensiteten (energi pr. produsert enhet) har vært synkende stort sett hele perioden, figur 2.3.2. I perioden 1976 til 1983 ble energiintensiteten re-

Figur 2.3.2: Energiintensitet (energi pr. produsert enhet), 1962-1985.

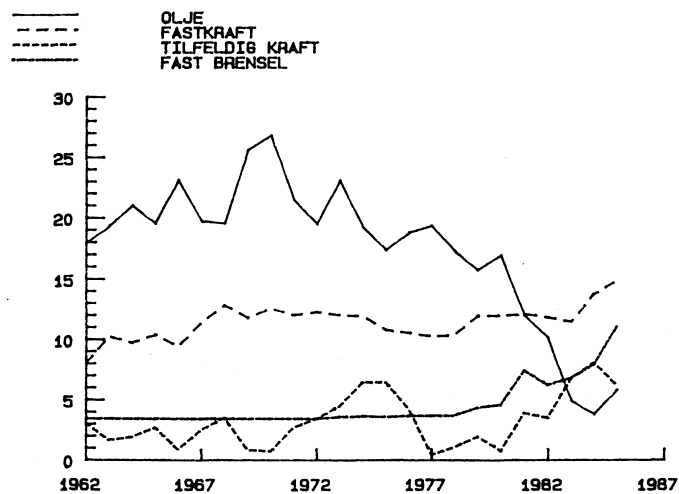


duisert med omlag 30 prosent. Fra 1984 til 1985 steg imidlertid energiintensiteten igjen.

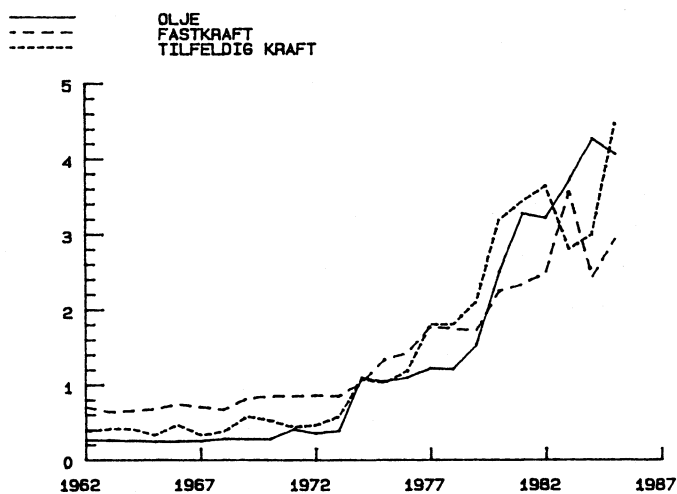
Figur 2.3.3 viser en klart synkende tendens i oljeforbruket siden 1970. Denne reduksjonen henger sammen med skjerpede utslippskrav, stigende oljepriser, økt bruk av fast brensel i sektoren (ved, treavfall og avlut) og redusert total energibruk per produsert enhet. Bruken av tilfeldig kraft svinger sterkt på grunn av svingninger i tilgangen på tilfeldig kraft. Fastkraftforbruket ser ut til å bevege seg omlag i takt med bruttoproduksjonen. En liten variasjon kan følge av utskiftning av bedrifter. Bedriftenes fastkraftforbruk er bestemt ved langsiktige kontrakter, slik at en ved uendret bedriftssammensetning burde vente en nokså stabil fastkraftbruk forutsatt at konjunktursvingningene først og fremst reduserer bruken av tilfeldig kraft, olje og fast brensel.

Prisen på tilfeldig kraft har siden 1977 ligget over fastkraftprisen med unntak av i 1983, se figur 2.3.4. Dette kan skyldes den kraftige veksten i oljeprisen siden 1978. Siden den alternative energikilden olje har blitt dyrere har bedriftene vært villige til å by opp prisen på tilfeldig kraft i større grad enn tidligere. Oljeprisen per MJ er beregnet utfra at tungolje har en virkningsgrad på 90 %. Fra figur 2.3.4 kan det se ut som denne virkningsgraden er for høy siden oljeprisen per MJ i store deler av perioden er lavere enn prisen på

Figur 2.3.3: Forbruk av energibærere (PJ), 1962-1985.



Figur 2.3.4: Priser på energibærerne (øre per MJ), 1962-1985.



tilfeldig kraft. Det kan også være slik at oljeprisen undervurderer bedriftenes kostnader ved å skifte fra elektrisitet til olje. Tankkapasitet, feiutgifter og annet vedlikehold kan føre til en høyere brukerpris på olje enn det figur 2.3.4 uttrykker. Det kraftige fallet i oljeforbruket faller sammen med prisoppgangen på olje og en økt utnyttelse av avlut i forbindelse med reduksjon av forurensende utslipp av avlut til vann.

3 Teoretisk modell

3.1 Kort om treforedlingssektoren i MSG-4E

I MSG-4E anvendes to trinns produktfunksjoner. En generell formulering av en slik funksjon er

$$Y = G(M, L, K, U(x_{EL}, x_F)), \quad (3.1)$$

der Y er produksjon og $G()$ er øvre trinn i produktfunksjonen. Her inngår innsatsfaktorene vareinnsats (M), arbeidskraft (L), kapital (K) og energi (U). Energi betraktes som en vare som blir produsert ved bruk av innsatsfaktorene elektrisitet (x_{EL}) og olje (x_F). Dette skjer på produktfunksjonens nedre trinn. Den duale kostnadsfunksjonen til (3.1) er

$$C = H(Y, \tau)C(p_K, p_L, p_M, p_U(p_{EL}, p_F)), \quad (3.2)$$

der $H(Y, \tau)$ er et ledd som tar vare på skalaendring og nøytral teknisk endring (τ). p_i er prisen på innsatsfaktor $i = K, L, U, M, EL, F$. Ved anvendelse av Shephards lemma finnes etterspørselsfunksjoner for K, L, U og M ved å derivere (3.2) med hensyn på de respektive prisene. Den duale kostnadsfunksjonen for energiaggregatet skrives generelt

$$CU = U p_U(p_{EL}, p_F). \quad (3.3)$$

Det forutsettes her at U -funksjonen i (3.1) er homogen av grad 1. Etterspørselsfunksjoner for elektrisitet og olje avledes også ved å benytte Shephards lemma. Dette opplegget er benyttet av Longva og Olsen (1982) og Bye(1984). Disse analysene ga ikke tilfredsstillende estimeringsresultater for treforedlingssektoren.

Longva og Olsen (1982) sier:

"In the Paper industry the existence of electrical boilers using surplus power favourably priced makes the inter energy substitution modelling rather complicated."

Som nevnt i innledningen er dette motivasjonen for å se nærmere på energibruken i denne sektoren.

3.2 Modifisert modell for energibruk i treforedlingssektoren

Det antas fortsatt separabilitet mellom energiaggregatet og de andre innsatsfaktorene på øvre trinn. Dermed beholdes oppdelingen av produktfunksjonen i to trinn. Elektrisitetsvaren splittes imidlertid opp i fast- (x_E) og tilfeldig kraft (x_T). Teknisk sett er x_E og x_T perfekte substitutter. Ulik leveringssikkerhet og forskjellig pris på de to varene gjør at vi spesifiserer fast- og tilfeldig kraft som to varer. Videre introduseres en ny energivare fast brensel, x_A . Denne varen er et aggregat av ved, treavfall og avlut. Energiaggregatet er nå

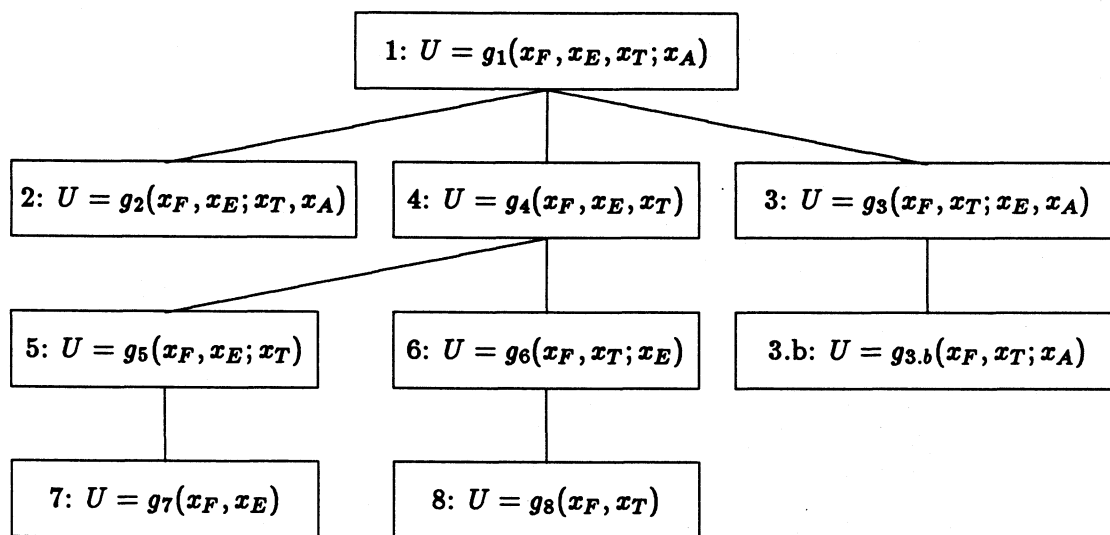
$$U = g(x_F, x_E, x_T, x_A). \quad (3.4)$$

For den enkelte bedrift er energivaren x_A sammensatt av restprodukter fra egen produksjon og innkjøpt bark og treavfall fra omkringliggende sagbruk. På grunn av høye transportkostnader for bark og treavfall vil imidlertid den enkelte treforedlingsbedrift være monopsonist i det regionale delmarkedet for bark og treavfall. Bruken av denne energivaren vil dermed i større grad være avhengig av tilgangen enn av pris. Vi velger derfor å betrakte tilgangen av ved, treavfall og avlut som en eksogen variabel i et forsøk på å identifisere sammenhengene mellom bruken av de andre energivarene i det historiske materialet. Energiaggregatet i (3.4) blir nå

$$U = g_1(x_F, x_E, x_T; x_A). \quad (3.5)$$

Denne funksjonen danner utgangspunkt for testing av ulike spesifikasjoner av energiaggregatet. Figur 3.2.1 viser de ulike spesifikasjonene vi har estimert. I flere av hypotesene

Figur 3.2.1: Ulike spesifikasjoner av energiaggregatet i treforedlingssektoren



behandles i tillegg til ved/treavfall/avlut, fast- og/eller tilfeldig kraft som eksogent gitte faktorer. Fastkraftleveransene til treforedlingssektoren er for en stor del regulert av langsiktige kontrakter. Kontraktene garanterer leveranse av kraft, og de avtalte prisene er ofte svært lave. Det kan argumenteres for at det på kort sikt ikke er prisen men tilgangen, som bestemmer bruken av fastkraft, jfr. spesifikasjon 3.

Leveranser av tilfeldig kraft avtales fra dag til dag. Produksjonen av el-kraft varierer sterkt i det norske vannkraftsystemet som følge av store variasjoner i nedbørsmengden.

Etterspørselen varierer sterkt som følge av endringer i konjunktur- og temperaturforhold. Dette skaper et marked for omsetning av tilfeldig kraft. Endel treforedlingsbedrifter har utstyr som muliggjør rask overgang mellom ulike brensler. Treforedling er den klart største kjøper av tilfeldig kraft. Siden tilfeldig kraft er overskuddskraft med liten leveringssikkerhet har den historisk sett hatt en lav pris. Figur 2.3.4 viser eksempler på at tilfeldig kraft har blitt omsatt til høyere pris enn fastkraft (1977-82, 1984-85). Kjøperne byr i en situasjon med liten tilgang opp prisen på tilfeldig kraft helt til det vil være like billig for bedriftene å benytte olje. Dette leder til en hypotese der prisen på tilfeldig kraft er av betydning for energitilpasningen. Tilnærmet gitt tilgang av tilfeldig kraft er et argument for å betrakte bruken av tilfeldig kraft som eksogent gitt.

Flere av hypotesene i figur 3.2.1 er valgt for å teste hvorvidt variable kan utelates uten at føyningen blir betydelig dårligere.

3.3 Økonometrisk spesifisering

Kostnadsfunksjonen for energiaggregatet representeres ved en Generalisert Leontief kostnadsfunksjon. Med alle faktorer som variable produksjonsfaktorer kan kostnadsfunksjonen, (3.4), skrives

$$CU = U_c(p_F, p_E, p_T, p_A) = U \sum_i \sum_j b_{ij} (p_i p_j)^{\frac{1}{2}}, \quad (3.6)$$

hvor $i, j = F, E, T, A$, og c er enhetskostnadsfunksjonen. Forutsettes tilgangen av ved, treavfall og avlut (x_A) eksogent gitt kan kostnadsfunksjonen omformes til

$$CU_1 = U_1 c_1(p_F, p_T, p_E, x_A) = U_1 \sum_{i \neq A} \sum_{j \neq A} \left[b_{ij} + \frac{b_{iA} b_{jA}}{a_A - b_{AA}} \right] (p_i p_j)^{\frac{1}{2}}, \quad (3.7)$$

hvor $a_A = \frac{x_A}{U_1}$. Funksjonen er analog til GLS-funksjonene i Frenger (1983a). I appendix A er metoden beskrevet og mellomregningen gjengitt. Fra (3.7) kan etterspørselsfunksjoner for faktorene utledes ved bruk av Shephards lemma.

$$x_i = \frac{\partial CU_1}{\partial p_i} = U_1 \sum_{j \neq A} d_{ij} \left(\frac{p_j}{p_i} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (3.8)$$

hvor d_{ij} kan skrives

$$d_{ij} = b_{ij} + \frac{b_{iA} b_{jA}}{a_A - b_{AA}}. \quad (3.9)$$

Relasjon (3.9) innsatt i (3.8) gir etterspørselsfunksjonene som svarer til modell 1 i figur 3.2.1. Etterspørselsfunksjonene er ikke-lineære i de opprinnelige parametrene. For hver av de andre spesifikasjonene i figur 3.2.1 eksisterer det en dual kostnadsfunksjon og et sett av etterspørselsfunksjoner. Hvert sett av etterspørselsfunksjoner er gjengitt i appendix B.

3.3.1 Stokastisk utforming

Med utgangspunkt i de utledede etterspørselsfunksjonene i appendix B kan en spesifisere fire stokastiske regresjonsmodeller. Ved estimering kan en velge mellom spesifikasjoner der etterspørsel, faktorandeler, kostnadsandeler eller relative forhold mellom etterspørselen er avhengig variabel. Longva og Olsen (1982) estimerer etterspørselslikninger på øvre trinn. Etterspørselsfunksjonene på nedre trinn skrives

$$x_{it} = U_t f_i(p_i, U_t, \dots) + u_{it}. \quad (3.10)$$

Frenger (1983a) bruker faktorandeler som avhengig variabel, dvs.

$$a_{it} = \frac{x_{it}}{U_t} = f_i(p_i, U_t, \dots) + v_{it}. \quad (3.11)$$

Longva og Olsen bruker kostnadsandeler ved estimering på nedre trinn. I vårt opplegg svarer dette til

$$\frac{p_{it} x_{it}}{\sum_i p_{it} x_{it}} = \frac{p_{it} f_i(p_i, U_t, \dots)}{\sum_i p_{it} f_i(p_i, U_t, \dots)} + w_{it}. \quad (3.12)$$

En annen avhengig variabel kan være faktorforholdet

$$\frac{x_{it}}{x_{jt}} = \frac{f_i(p_i, U_t, \dots)}{f_j(p_j, U_t, \dots)} + \epsilon_{it}. \quad (3.13)$$

A priori er det ikke klart hvilken av disse spesifikasjonene en skal velge. Forutsetter en at restleddet i en av spesifikasjonene ovenfor har bestemte egenskaper vil egenskapene til restleddene i de andre ligningene følge automatisk.

Vi har valgt å se nærmere på de to første av alternativene ovenfor. Anta at restleddene i ligningene (3.10) har forventning null og kovariansmatrise

$$E(u_{it} u_{jt}) = \begin{pmatrix} \sigma_{FF}^2 & \sigma_{FE}^2 & \sigma_{FT}^2 \\ \sigma_{EF}^2 & \sigma_{EE}^2 & \sigma_{ET}^2 \\ \sigma_{TF}^2 & \sigma_{TE}^2 & \sigma_{TT}^2 \end{pmatrix},$$

der elementene i kovariansmatrisen er konstanter. Denne restleddsforutsetningen innebærer at nivået på etterspørselen har konstant og tidsuavhengig varians. Restleddene i samme ligning eller på tvers av ligninger forutsettes å være ukorrelerte over tid.

Lar en disse restleddsforutsetningene gjelde, og spesifiserer faktorandeler som avhengige variable vil restleddene i faktorandelsfunksjonene være $v_{it} = \frac{u_{it}}{U_t}$. Varians og kovarians til et slikt restledd blir

$$E(v_{it} v_{jt}) = \frac{\sigma_{ij}^2}{U_t^2}. \quad (3.14)$$

Varianser og kovarianser er her mindre jo større energibruken er, dvs. vi har heteroskedastisitet i modellen der faktorandeler er avhengig variabel. Hvis dette ikke tas

hensyn til vil de estimerte parametrene ikke være effisiente. Variabelen U_t inngår i dette tilfellet både i restleddet og som en forklaringsvariabel. Det kan vises at restleddet likevel er ukorrelert med U_t . Estimatorene er dermed fortsatt konsistente, jfr. Biørn og Aasness (1988).

Ovenfor spesifiserte vi restleddsegenskapene utfra additive restledd i ligningene for etterspørselsfunksjonene (3.10). Alternativt kan en ta utgangspunkt i additive restledd (v_{it}) i faktorandelsfunksjonene i (3.11). Forutsetter en at disse har samme egenskaper som restleddene u_{it} får en følgende kovariansmatrise

$$E(v_{it}v_{jt}) = \begin{pmatrix} \omega_{FF}^2 & \omega_{FE}^2 & \omega_{FT}^2 \\ \omega_{EF}^2 & \omega_{EE}^2 & \omega_{ET}^2 \\ \omega_{TF}^2 & \omega_{TE}^2 & \omega_{TT}^2 \end{pmatrix}.$$

Brukes disse forutsetningene vil restleddene i etterspørselsfunksjonene (3.10) være $u_{it}^* = u_{it}U_t$, og ha varians og kovarians

$$E(u_{it}^*u_{jt}^*) = U_t^2\omega_{ij}^2. \quad (3.15)$$

Variansen i etterspørselsfunksjonene er i denne modellen proporsjonal med kvadratet av energibruken. Nå har vi heteroskedastisitet i modellen (3.10).

Valget av restleddsforutsetninger og avhengig variabel kan ikke gjøres uavhengig. Fra diskusjonen ovenfor er det ikke åpenbart hvilken form de avhengige variablene bør ha.

Vi har estimert modellene i appendix B med både etterspørsel og faktorandel som avhengig variabel. Residualene fra etterspørselsfunksjonene kan sammenlignes med residualene fra faktorandelsfunksjonene for å finne ut hvilken spesifisering som egner seg best. Hvis (3.10) er en god modell skal residualene fra (3.10) være "hvit støy", og residualene fra (3.11) skal ha avtagende varians med økende U_t^2 . Om (3.11) er en god spesifisering skal residualene fra (3.11) være "hvit-støy", mens residualene fra (3.10) skal ha økende varians med økende U_t^2 .

Det er liten forskjell på resultatene fra de to modellene. For enkelte av modellene ser det ut til at formen (3.11) føyer best. Residualene fra disse modellene er plottet mot U_t^2 . Residualplottene tyder ikke på noen systematisk samvariasjon mellom residualer og U_t^2 . Valget av avhengig variabel ser derfor ikke ut til å være viktig. I resten av notatet skal vi benytte faktorandeler (a_{it}) som avhengig variabel.

Relasjon (3.8) med faktorandel som avhengig variabel skrives

$$a_i = \sum_{j \neq A} \left[b_{ij} + \frac{b_{iA}b_{jA}}{a_A - b_{AA}} \right] \left(\frac{p_j}{p_i} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (3.16)$$

Merk at $a_A = \frac{z_A}{U_1}$ inngår på høyresiden i dette uttrykket. Total energibruk, U_1 i denne modellen, er en uobserverbar variabel da total energibruk og faktorandeler bestemmes

simultant. Vi har valgt å løse dette problemet ved å konstruere instrumentvariable for total energibruk i hver enkelt modell. Ikke alle modellene har alle energivarene med i energiaggregatet, slik at vi trenger flere ulike instrumenter for total energibruk. Beregningen av instrumentvariablene er foretatt ved å ta utgangspunkt i virkningsgrader og teoretisk energiinnhold i de enkelte energivarene, jfr. kapittel 4. Forhåpentligvis gir dette instrumentvariable som er høyt korrelert med de uobserverbare U -ene.

4 Data

Tidsserier for forbruk av de enkelte energivarene målt i fysiske enheter og tilhørende priser er hentet fra Energiregnskapet, Ljones (1982). Energiregnskapet gir tall for treforedlingssektoren sett under ett. Siden energibruk inngår som en variabel på høyresiden i flere av modellene vi har estimert har vi konstruert en instrumentvariabel for energibruken. Samlet energibruk (U_{1t}) i modellene som omfatter alle fire energibærerne er konstruert ved

$$U_{1t} = E_t + T_t + (F_t * 0.9 * 41.9 * \frac{1}{3.6}) + (A_t * 0.65 * 11.8).$$

E_t og T_t er henholdsvis fastkraft og tilfeldig kraft målt i 100 GWh. F_t er oljeforbruket (olje består hovedsakelig av tungolje) målt i 100.000 tonn, mens A_t er forbruket av fast brensel målt i 1000 tonn oljeekvivalenter (toe).

Oljeforbruket er regnet om til 100 GWh ved å anta en virkningsgrad på 0.9. Energiinnholdet er satt til 41.9 TJ/1000tonn for tungolje og 3.6 TJ/GWh for elektrisitet. For fast brensel er virkningsgraden satt til 0.65 og energiinnholdet er antatt å tilsvare 11.8 Gwh per 1000 toe, jfr. tabell 2.8 og 2.9 i Rapporten 89/1 (1989).

I endel av modellene vi estimerer, jfr appendix B, er enkelte energibærere utelatt. I disse relasjonene brukes instrumenter for energibruk eksklusive de/den utelatte energivare, jfr. appendix D. Instrumentene for energibruk er normert slik at de er lik 1 i 1985. Ved alle estimeringer benyttes data for perioden 1962 til 1985. Prisene er normert slik at de er lik 1 i 1985. Kvantumstallene er normert slik at verditalleene stemmer. Dataene er gjengitt i tabeller i appendix D.

5 Estimeringsresultater.

5.1 Estimeringsresultater

Tabell 5.1.1: Estimeringsresultater modell 1-8, estimeringsperiode 1962-1985.

Modell	1	3	3.b	4	5	6	7	8
Est.met.	FIML	FIML	FIML	FIML	FIML	FIML	OLS	OLS
b_{FF}	-1,798.3 (4.1)	68.4 (1.5)	-675.2 (6.5)	-177.9 (4.8)	-52.9 (19.1)	-451.0 (6.3)	138.5 (61.1)	139.5 (80.1)
b_{FE}	475.9 (4.4)	-242.5 (1.4)		164.9 (5.4)	225.7 (3.3)	-257.2 (4.2)	206.7 (38.6)	()
b_{FT}	1048.4 (4.4)	68.4 (1.5)	701.6 (6.4)	424.9 (7.8)	-281.5 (4.9)	623.4 (5.7)		468.7 (72.9)
b_{FA}	-671.1 (3.5)	-121.6 (1.3)	-398.6 (4.9)					
b_{EE}	145.7 (5.7)	218.9 (4.1)		122.0 (6.5)	171.5 (4.3)	92.9 (7.8)	-550.9 (23.8)	
b_{ET}	-42.8 (2.1)	58.0 (2.8)		79.8 (5.3)	55.7 (3.2)	24.6 (2.8)		
b_{EA}	169.3 (3.5)	-0.4 (4.0)						
b_{TT}	-604.3 (13.2)	177.4 (3.3)	-300.8 (15.8)	-1282.3 (5.8)	-117.4 (9.4)	-422.5 (14.8)		-796.9 (67.2)
b_{TA}	204.8 (1.9)	15.9 (1.8)	215.7 (4.3)					
b_{AA}	-111.1 (4.1)	-19.3 (3.4)	-60.4 (4.5)					
FCN	18.3	15.3	13.9	15.3	14.5	14.4		
R^2 :	a_F 0.90	a_E 0.67	a_T 0.80	0.70	0.81	0.83	0.57	0.65
	a_E 0.74			0.66	0.66			
	a_T 0.75	-0.02	0.61			0.79		
SER^* :	a_F 60.4	109.3	64.2	83.1	65.5	62.1	70.8	48.8
	a_E 24.7			33.7	33.8			
	a_T 52.0	103.8	62.9			44.4		
DW:	a_F 0.94	0.69	0.65	0.52	0.65	1.16	0.45	0.91
	a_E 1.79		0.72	0.69				
	a_T 0.76	0.82	0.79			1.09		

Modellene er estimert ved full informasjons maksimum likelihood metoden i Troll (FIML). Dette er en iterativ estimeringsmetode. Det viste seg vanskelig å få estimert parametrene i modellen der både tilfeldig kraft og ved, treavfall og avlut er gitte faktorer, modell 2. Selv med mange forskjellige startverdier på parametrene og ulike valg av konvergen-skriterie ville ikke modellen konvergere. Vi har derfor sløffet modell 2 i tabell 5.1.1. Estimatenes standardavvik står i parentes. I små sampel kan disse være misvisende. FCN er verdien på likelihoodfunksjonen, R^2 er den multiple korrelasjonskoeffisienten for den enkelte relasjon, SER^* er standardavviket rundt regresjonsplanet. SER^* er ikke

korrigert for antall frihetsgrader, og kan skrives $(\frac{SSR}{24})^{\frac{1}{2}}$. SSR er summen av kvadrerte residualer. DW er Durbin-Watson observatoren.

Føyningen er brukbar i alle de estimerte relasjonene bortsett fra relasjonen for tilfeldig kraft i modell 3. Durbin-Watson observatoren antyder autokorrelerte restledd. Det kan skyldes at viktige forklaringsfaktorer er utelatt. Spesielt kan utelatte lag-variable gi autokorrelasjon. Stort innslag av fleksibelt energiforbrukende utstyr i bedriftene taler i mot en hypotese om viktige lag-effekter. Derimot taler lageroppbygging av fast brensel for at lag-effekter kan være viktige. Bare en utvidet empirisk analyse kan bidra til å kaste lys over denne problemstillingen.

5.2 Testresultater.

Vi har estimert alle spesifikasjonene i figur 3.2.1. Disse spesifikasjonene er ikke-nestede. Ved å foreta annengrads Taylorekskasjoner på etterspørselsfunksjonene fremkommer lineære tilnærminger til de ikke-lineære etterspørselsfunksjonene. Utfra de lineære funksjonene konstrueres funksjoner som omfatter begge de funksjoner en ønsker å teste. De enkelte funksjonene testes deretter indirekte via denne funksjonen, se Frenger (1983b) og appendix C for utledning av denne metoden for den foreliggende problemstillingen.

Modell 1 er den mest generelle modellen. Vi starter med å teste de forenklete modellene 2, 3 og 4 mot modell 1. I modell 2 er tilgangen av tilfeldig kraft eksogen. Det vil si at tilgangen av tilfeldig kraft er av betydning for bruken av de øvrige energibærerne. I modell 1 derimot er det bare prisen på tilfeldig kraft som påvirker bruken av de andre energibærerne. En lineær modell som omfatter både modell 1 og 2 er ($i = E, F$), (se appendix C)

$$a_i = \sum_{j=F,E} r_{ij} \left(\frac{p_j}{p_i}\right)^{\frac{1}{2}} + r_{iT} \left(\frac{p_T}{p_i}\right)^{\frac{1}{2}} + t_{i1} x_T + t_{i2} x_T^2 + t_{i3} x_A + t_{i4} x_A^2. \quad (5.1)$$

Vi kaller denne modellen for en "omfattende" modell. Denne modellen omfatter flere undermodeller.

Modellene a og c i figur 5.2.1 er tilnærminger til en modell der prisen på tilfeldig kraft er av betydning for etterspørselen etter de andre energibærerne. Modell b og d er tilnærminger til en modell der tilgangen av tilfeldig kraft er av betydning for etterspørselen etter de andre energibærerne. Modell e svarer til en modell der hverken pris eller tilgang av tilfeldig kraft er av betydning for etterspørselen etter de andre energibærerne. Det medfører et energiaggregat av typen

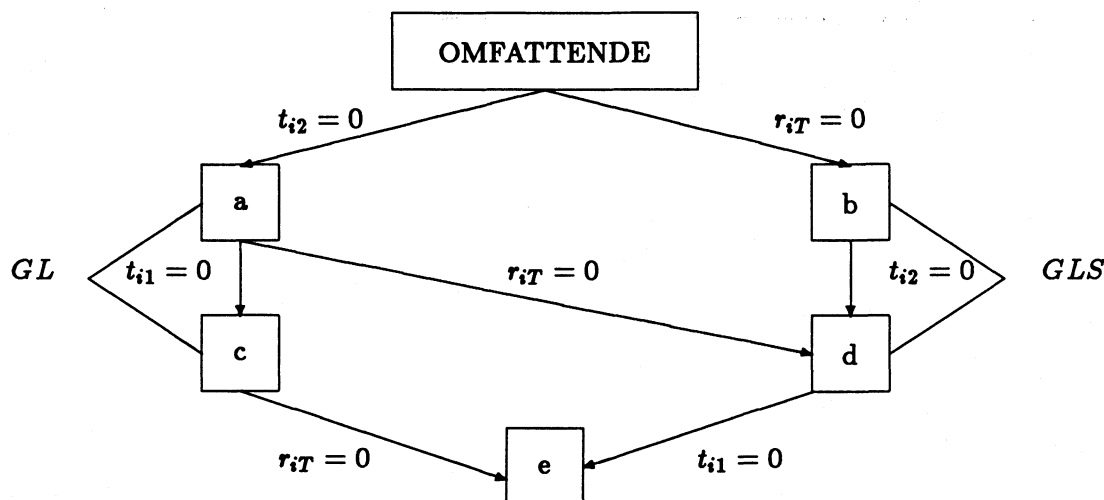
$$U = g(x_F, x_E; x_A)$$

Den omfattende modell for modell 1 og 3 kan skrives:

$$a_i = \sum_{j=F,T} r_{ij} \left(\frac{p_j}{p_i}\right)^{\frac{1}{2}} + r_{iE} \left(\frac{p_E}{p_i}\right)^{\frac{1}{2}} + t_{i1} x_E + t_{i2} x_E^2 + t_{i3} x_A + t_{i4} x_A^2. \quad (5.2)$$

Utgangspunktet for testing av modell 4 mot modell 1 er

Figur 5.2.1: Omfattende modell og undermodeller.



$$a_i = \sum_{j \neq A} r_{ij} \left(\frac{p_j}{p_i}\right)^{\frac{1}{2}} + r_{iA} \left(\frac{p_A}{p_i}\right)^{\frac{1}{2}} + t_{i1} x_A + t_{i2} x_A^2. \quad (5.3)$$

Siden vi ikke har prisobservasjoner for avlut kan vi med utgangspunkt i denne modellen bare estimere spesifikasjonene b, d og e i figur 5.2.1. Modell 1 svarer til b og d, mens modell 4 svarer til e i figuren. Dersom modell 4 godtas kan en konstruere en omfattende modell der modell 4, 5 og 7 inngår. Denne modellen skrives

$$a_i = \sum_{j=F,E} r_{ij} \left(\frac{p_j}{p_i}\right)^{\frac{1}{2}} + r_{iT} \left(\frac{p_T}{p_i}\right)^{\frac{1}{2}} + t_{i1} x_T + t_{i2} x_T^2. \quad (5.4)$$

Her tilsvarende modell 4 a og c, modell 5 b og d og modell 7 svarer til e. På samme måte kan en konstruere en omfattende modell for modellene 4, 6 og 8

$$a_i = \sum_{j=F,T} r_{ij} \left(\frac{p_j}{p_i}\right)^{\frac{1}{2}} + r_{iE} \left(\frac{p_E}{p_i}\right)^{\frac{1}{2}} + t_{i1} x_E + t_{i2} x_E^2. \quad (5.5)$$

Det kan testes om undermodellene er rimelige forenklinger av den omfattende modellen. Ved hjelp av en F-fordelt testobservator. I et eksempel hvor undermodell a testes mot den omfattende modellen (o) er denne observatoren

$$F(s, T - k) = \frac{SSR_a - SSR_o (T - k)}{SSR_o s}, \quad (5.6)$$

der SSR_i er summen av kvadrerte residualer i modell i, T er antall år i estimeringsperioden, k er antall estimerte parametre i den omfattende modellen og s er differansen mellom antall estimerte parametre i de to modellene (dvs. antall parameterrestriksjoner som pålegges den omfattende modellen for å få undermodell a). Tabell 5.2 viser utfallet av testene for de omfattende modellene (5.2)–(5.5).

Tabell 5.2.1: Testing av hypoteser.

	(5.5) ¹	(5.3)	(5.4)	(5.6)	(5.7)
a mot 0	..	1.85	6.73	3.11	23.47
b mot 0	..	2.31	0.47	0.60	1.06
c mot 0	..	10.76	6.39	24.36	68.82
d mot 0	..	1.75	4.18	2.42	13.86
e mot 0	..	30.32	4.51	25.66	54.63
c mot a	..	18.78	4.59	41.27	53.77
d mot a	..	1.58	1.23	1.57	2.00
e mot a	..	42.55	2.58	33.41	33.06
d mot b	3.78	1.12	8.14	4.33	26.59
e mot b	44.85	41.33	6.74	38.97	81.18
e mot c	..	34.25	0.48	8.76	3.52
e mot d	41.08	81.03	3.88	63.55	61.20

1) Modeller som ikke er estimert er markert med ..
 Testobservatorene i (5.5) er Kji-kvadratfordelt, jfr. Frenger (1983b).
 Ikke signifikante testverdier er uthevet.

Fra den første kolonnen i tabell ser vi at hypotesen om at tre-faktor funksjonen modell 4 er en lovlig forenkling av modell 1 forkastes klart. I den andre kolonnen ser vi at modell 2 er en rimelig forenkling av modell 1. I modell 2 er både avlut og tilfeldig kraft gitte faktorer, mens fastkraft og olje substitueres ved energitilpasningen. Hypotesen om at tilfeldig kraft ikke er av betydning for bruken av de andre faktorene (e) forkastes klart. Det lot seg som tidligere nevnt ikke gjøre å få den ikke-lineære versjonen av modell 2 til å konvergere.

Den tredje kolonnen indikerer for det første at modell 3 er en rimelig forenkling av modell 1 (b og d godtas som forenklinger av 0). Resultatene er tvetydige med hensyn til om fastkraft er helt uten betydning for bruken av de andre faktorene, dvs. modell 3.b Undermodell e forkastes som forenklinger av 0 og b, men godtas som forenkling av undermodell d. Valget mellom modell 3 og 3.b må basere seg på de to modellenes økonomiske egenskaper og deres simuleringsegenskaper. De to siste kolonnene tester modeller som er underhypoteser av modell 4. Vi står dermed igjen med modellene 3 og 3.b. I neste avsnitt skal vi undersøke disse modellene mer inngående.

5.3 Økonomiske egenskaper.

Om modeller som skal brukes til langsiktige fremskrivninger sier Barker (1981) blant annet:

1. *It should be price homogenous,*
2. *The price effects should be symmetrical and of the "right" sign,*
3. *Highly complex non-linear equations with many parameters to be fitted to a small*

sample should be avoided. They can cause serious problems. First, special fitting procedures may be necessary and they may be very expensive of computer time. Second, a wide variation in parameter values may fit the data more or less equally well, yet give very different properties to the model. Finally, the economics of the equation may not be easy to interpret or understand.

Alle modellene som er estimert er homogene av grad 0 i prisene. Symmetriske parametre er pålagt som en restriksjon i utgangspunktet. "Right sign" dreier seg om modellens krumningsegenskaper, pris- og substitusjonselastisiteter.

Begrepet substitusjonselastisitet er ikke entydig. Allen–Usawa (Usawa (1962)) substitusjonselastisiteten (AUES) er definert ved

$$AUES_{ij} = \frac{\delta x_i}{\delta p_j} \frac{CU}{x_i x_j}. \quad (5.7)$$

Skyggesubstitusjonselastisiteten (SES), Frenger (1988) er definert ved

$$SES_{ij} = \frac{-\frac{\delta x_i}{\delta p_i} + 2 \frac{\delta x_i}{\delta p_j} - \frac{\delta x_j}{\delta p_j}}{\frac{1}{p_i x_i} + \frac{1}{p_j x_j}}. \quad (5.8)$$

I to-faktortilfellet er de to elastisitetene like. Tabell 5.3.1 viser de beregnede pris- og substitusjonselastisiteter. Det er stor forskjell mellom de to modellene med hensyn til økonomisk tolkning. Prisfølsomheten er langt større i modellen der fastkraft ikke er med i energiaggregatet (modell 3.b) enn i modellen der fastkraft er med i energiaggregatet (modell 3). Egenpriselastisitetene er ca. -0.8 i modell 3.b. Det vil si at om prisen på olje øker med 1 % vil etterspørselen etter olje reduseres med 0.8 % forutsatt at totalt energiforbruk ikke endres. Substitusjonselastisiteten uttrykker hvor mange prosent faktorforholdet endres når det inverse faktorprisforholdet endres med 1 %. I modell 3.b er substitusjonselastisiteten 1.64. Dette resultatet stemmer godt overens med en hypotese om at energitilpasningen i treforedlingssektoren er fleksibel.

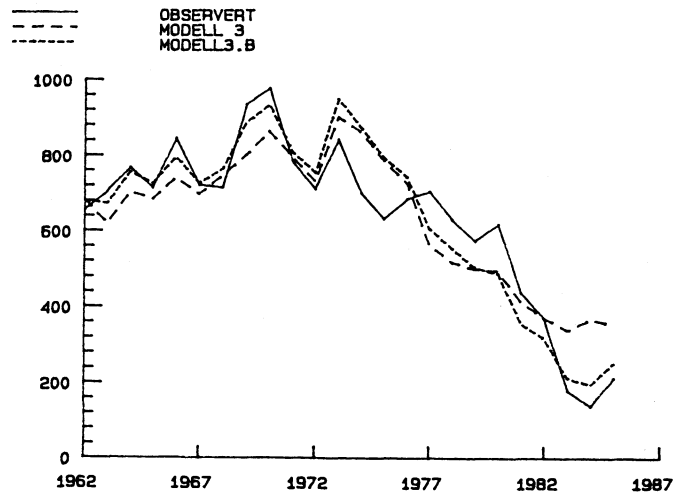
Tabell 5.3.1: Pris- og substitusjonselastisiteter.

	η_F	η_T	Subst.el.
Modell 3	-0.01	-0.02	0.04
Modell 3.b	-0.78	-0.86	1.64

5.4 Simuleringsegenskaper.

Modellens simuleringsegenskaper kan undersøkes ved å simulere den over estimeringsperioden. Siden modellen er statisk vil en slik simulering bare vise den estimerte regresjonskurven.

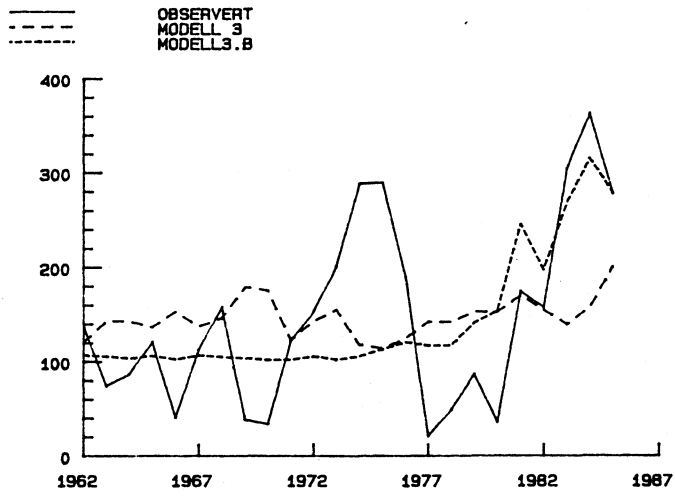
Figur 5.4.2: Observert og estimert bruk av olje, 1962-1985.



Figur 5.4.2 viser at modell 3.b for de aller fleste årene treffer oljeforbruket bedre enn modell 3. Også i de siste årene 1983-1985 viser modell 3.b god føyning til det observerte oljeforbruket. Begge modellene har problemer med å forklare oljeforbruket i perioden 1973-1980, da oljeprisen steg sterkt.

Hverken modell 3 eller modell 3.b klarer å forklare svingningene i bruken av tilfeldig kraft frem til 1976. Etter 1976 derimot, viser modell 3.b en bedre føyning enn modell 3. Dette har to forklaringer. Modell 3 er en komplisert modell som trolig har problemer med å føyne forbruket av tilfeldig kraft. I begge modellene inngår fast brensel som en fast faktor. Frem til ca. 1978 viser ikke forbruket av fast brensel noen variasjon. Det kan ha ført til at modellen underestimerer variasjonen i bruken av tilfeldig kraft frem til 1978. Om en sammenligner figur 5.4.3 med figur 2.3.1 ser en at toppene og bunnene i tilfeldig kraft forbruket ofte faller sammen med topper og bunner i produksjonen. Det er mulig at modellen her utelater en forklaringsfaktor.

Figur 5.4.3: Observert og estimert bruk av tilfeldig kraft 1962-1985.



6 Konklusjoner og avslutning

Treforedlingssektoren bruker mye tilfeldig kraft og fast brensel i tillegg til olje og fastkraft. I dette notatet har vi utvidet og modifisert den tradisjonelle modellen for energibruk i industrisektorene i MSG-4E modellen. Utgangspunktet er et energiaggregat som består av olje, fastkraft, tilfeldig kraft og fast brensel. Vi tester forenklinger av dette energiaggregatet. For det første kan energiaggregatet forenkles ved å betrakte forbruket av enkelte energibærere som eksogene. For det andre kan energiaggregatet forenkles ved å utelate energibærere.

Energiaggregatet som kommer best ut av testene består av olje, tilfeldig kraft og fast brensel, der fast brensel inngår med en eksogent gitt mengde. Funksjonen er analog til en kortsiktig Generalisert Leontief funksjon der kapitalmengden er gitt på kort sikt. Fastkraft er utelatt fra energiaggregatet. Det illustrerer at fastkraft leveres til treforedlingsbedriftene på langsiktige kontrakter med avtalt kvantum og pris. I modellen kan en i dette tilfellet binde fastkraftforbruket til produksjonen i treforedlingssektoren. Utover fastkraften trenger en en viss mengde ekstra energi. Dette behovet kan dekkes opp med olje og tilfeldig kraft.

Substitusjonselastisiteten mellom olje og tilfeldig kraft estimeres til 1.6. Dette er ikke spesielt høyt når en tar i betraktning at treforedlingsbedriftene ofte har kombinerte fyrkjeler, der både olje og tilfeldig kraft kan brukes som brensel. Den valgte modellen føyer det observerte oljeforbruket rimelig bra over estimeringsperioden. Modellen har større vanskeligheter med å føye forbruket av tilfeldig kraft.

Alle estimeringer er foretatt uten at det er åpnet for lag-effekter. Energi er forutsatt å være separabel fra de andre innsatsfaktorene i produksjonen. Det tas i modellene som er benyttet ikke hensyn til de utslippsrestriksjoner treforedlingsbedriftene har stått overfor i estimeringsperioden. Ved ytterligere analyser av energitilpasningen i treforedlingssektoren bør en forsøke å ta hensyn til noen av disse forholdene.

Referanser

- Barker, Terry (1981):** *A Review of Models and Data in the Norwegian System of Economic Planning.*, Artikler 131, Statistisk sentralbyrå .
- Biørn, Erik og Jørgen Aasness (1988):** *Økonometriske problemer ved estimering av engelfunksjoner fra Forbruksundersøkelser.*, Upublisert notat datert desember 1988.
- Bye, Torstein (1984):** *Energisubstitusjon i næringssektorene i en makromodell.*, Rapport 84/2, Statistisk sentralbyrå .
- Frenger, Petter (1983a):** *The Generalized Leontief Cost Function in the Short and in the Long Run.*, Upublisert notat datert 28.4.1983.
- Frenger, Petter (1983b):** *Supplement to the Paper: The Generalized Leontief Cost Function in the Short and in the Long Run.*, Upublisert notat datert 25.8.1983.
- Frenger, Petter (1988):** *Long and Short Run Cost Functions, with an Application to the Generalized Leontief Cost Function.*, Upublisert notat datert 6.3.1988.
- Ljones, Arne (1982):** *Ressursregnskap for energi, dokumentasjonsnotat nr. 4, tilgang og bruk av energi 1976-1980.*, Interne notater 82/21, Statistisk sentralbyrå .
- Longva, Svein og Øystein Olsen (1982):** *Producer Behavior in the MSG Model.*, Artikkel i "Analysis of Supply and Demand of Electricity in the Norwegian Economy.", SØS 53, Statistisk sentralbyrå .
- Statistisk sentralbyrå (1989):** *Naturressurser og miljø 1988.*, Rapporter 89/1, Statistisk sentralbyrå .

Appendix A

Utledning av kostnadsfunksjonen med en gitt faktor

Den opprinnelige kostnadsfunksjonen er

$$CU = U_C(p_F, p_E, p_T, p_A) = U \sum_i \sum_j b_{ij} (p_i p_j)^{\frac{1}{2}}, \quad (6.1)$$

hvor $i = F, E, T, A$. Bruk av Shepards lemma gir etterspørselen etter faktorene ved

$$x_i = U \sum_j b_{ij} \left(\frac{p_j}{p_i}\right)^{\frac{1}{2}}. \quad (6.2)$$

Kostnadene eksklusive kostnadene til ved/treavfall/avlut er gitt ved

$$CU_1 = CU - p_A x_A = U \sum_{i \neq A} \sum_{j \neq A} b_{ij} (p_i p_j)^{\frac{1}{2}} + p_A \left(\frac{x_A}{U} - b_{AA}\right). \quad (6.3)$$

Et uttrykk for p_A finnes ved

$$p_A = \frac{CU - \sum_{i \neq A} p_i x_i}{x_A}. \quad (6.4)$$

Vi får

$$\frac{x_A p_A}{U} - b_{AA} p_A = \sum_{i \neq A} b_{iA} (p_i)^{\frac{1}{2}} p_A^{\frac{1}{2}} \quad (6.5)$$

eller

$$\left(\frac{x_A}{U} - b_{AA}\right) p_A - \sum_{i \neq A} b_{iA} (p_i)^{\frac{1}{2}} p_A^{\frac{1}{2}} = 0. \quad (6.6)$$

Videre gir dette

$$p_A^{\frac{1}{2}} = \frac{\sum_{i \neq A} b_{iA} (p_i)^{\frac{1}{2}}}{\frac{x_A}{U} - b_{AA}}. \quad (6.7)$$

Kvadrering på begge sider av likhetstegnet gir

$$p_A = \frac{\sum_{i \neq A} \sum_{j \neq A} b_{iA} b_{jA} (p_i p_j)^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{x_A}{U} - b_{AA}\right)^2}. \quad (6.8)$$

Relasjon (6.8) settes inn i (6.3). Det gir

$$CU_1 = U \sum_{i \neq A} \sum_{j \neq A} b_{ij} (p_i p_j)^{\frac{1}{2}} + \frac{\sum_{i \neq A} \sum_{j \neq A} b_{iA} b_{jA} (p_i p_j)^{\frac{1}{2}}}{\left(\frac{x_A}{U} - b_{AA}\right)}. \quad (6.9)$$

Dette uttrykket reduseres til

$$CU_1 = U \sum_{i \neq A} \sum_{j \neq A} \left(b_{ij} + \frac{b_{iA} b_{jA}}{\left(\frac{x_A}{U} - b_{AA} \right)} \right) (p_i p_j)^{\frac{1}{2}}. \quad (6.10)$$

Dette er den nye kostnadsfunksjonen som gjelder når x_A er eksogent gitt.

Metoden er den samme for å utlede de andre modellene i figur 3.2.1. I tilfellet med to eksogent gitte faktorer er det mest hensiktsmessig å gjøre omformingen ved hjelp av matriseoperasjoner, se Frenger (1988).

Appendix B

Modeller

Figur 3.2.1 inneholder 8 ulike modeller for energiaggregatet i treforedlingssektoren. Nedenfor gjengis det sett av etterspørselsfunksjoner (avhengig variabel er faktorandeler, dvs. $a_i = \frac{p_i}{p_j}$) som er estimert for hver enkelt modell. Utledningen av hver modell følger av Appendix A.

Modell 1.

$$a_F = \sum_{i \neq A} (b_{iF} + \frac{b_{iA} b_{FA}}{a_A - b_{AA}}) \frac{p_i}{p_F}^{\frac{1}{2}} \quad (6.11)$$

$$a_E = \sum_{i \neq A} (b_{iE} + \frac{b_{iA} b_{EA}}{a_A - b_{AA}}) \frac{p_i}{p_E}^{\frac{1}{2}} \quad (6.12)$$

$$a_T = \sum_{i \neq A} (b_{iT} + \frac{b_{iA} b_{TA}}{a_A - b_{AA}}) \frac{p_i}{p_T}^{\frac{1}{2}} \quad (6.13)$$

Modell 2.

$$a_F = \left[\sum_{j \neq T,A} (b_{Fj} + \frac{\sum_{h=T,A} b_{hF}^2 (a_h - b_{hh}) - 2b_{Tj} b_{Aj} b_{TA}}{\prod_{h=T,A} (a_h - b_{TA}^2)}) (\frac{p_j}{p_F})^{\frac{1}{2}} \right] \quad (6.14)$$

$$a_E = \left[\sum_{j \neq T,A} (b_{Ej} + \frac{\sum_{h=T,A} b_{hE}^2 (a_h - b_{hh}) - 2b_{Tj} b_{Aj} b_{TA}}{\prod_{h=T,A} (a_h - b_{TA}^2)}) (\frac{p_j}{p_E})^{\frac{1}{2}} \right] \quad (6.15)$$

Modell 3.

$$a_F = \left[\sum_{j \neq E,A} (b_{Fj} + \frac{\sum_{h=E,A} b_{hF}^2 (a_h - b_{hh}) - 2b_{Ej} b_{Aj} b_{EA}}{\prod_{h=E,A} (a_h - b_{EA}^2)}) (\frac{p_j}{p_F})^{\frac{1}{2}} \right] \quad (6.16)$$

$$a_T = \left[\sum_{j \neq E,A} (b_{Tj} + \frac{\sum_{h=E,A} b_{hT}^2 (a_h - b_{hh}) - 2b_{Ej} b_{Aj} b_{EA}}{\prod_{h=E,A} (a_h - b_{EA}^2)}) (\frac{p_j}{p_T})^{\frac{1}{2}} \right] \quad (6.17)$$

Modell 4.

$$a_F = \sum_{i \neq A} b_{iF} \frac{p_i^{\frac{1}{2}}}{p_F} \quad (6.18)$$

$$a_E = \sum_{i \neq A} b_{iE} \frac{p_i^{\frac{1}{2}}}{p_E} \quad (6.19)$$

$$a_T = \sum_{i \neq A} b_{iT} \frac{p_i^{\frac{1}{2}}}{p_T} \quad (6.20)$$

Modell 5.

$$a_F = \sum_{i \neq T, A} \left(b_{iF} + \frac{b_{iT} b_{FT}}{a_T - b_{TT}} \right) \frac{p_i^{\frac{1}{2}}}{p_F} \quad (6.21)$$

$$a_E = \sum_{i \neq T, A} \left(b_{iT} + \frac{b_{iT} b_{ET}}{a_T - b_{TT}} \right) \frac{p_i^{\frac{1}{2}}}{p_E} \quad (6.22)$$

Modell 6.

$$a_F = \sum_{i \neq E, A} \left(b_{iF} + \frac{b_{iE} b_{FE}}{a_E - b_{EE}} \right) \frac{p_i^{\frac{1}{2}}}{p_F} \quad (6.23)$$

$$a_T = \sum_{i \neq E, A} \left(b_{iT} + \frac{b_{iE} b_{EE}}{a_E - b_{EE}} \right) \frac{p_i^{\frac{1}{2}}}{p_T} \quad (6.24)$$

Modell 7.

$$a_F = \sum_{i \neq T, A} b_{iF} \frac{p_i^{\frac{1}{2}}}{p_F} \quad (6.25)$$

$$a_E = \sum_{i \neq T, A} b_{iE} \frac{p_i^{\frac{1}{2}}}{p_E} \quad (6.26)$$

Modell 8.

$$a_F = \sum_{i \neq E, A} b_{iF} \frac{p_i}{p_F}^{\frac{1}{2}} \quad (6.27)$$

$$a_T = \sum_{i \neq E, A} b_{iT} \frac{p_i}{p_T}^{\frac{1}{2}} \quad (6.28)$$

Energiinstrumentet vi har benyttet er en lineær kombinasjon av forbruket av de enkelte energibærerne, jfr. kapittel 4. På grunn av det har vi utelatt en likning ved estimeringene i flere av modellene. Det fremgår av tabell 5.1.1 hvilke likninger som er utelatt i hvert enkelt tilfelle.

Appendix C

Utleddning av lineære modeller

Ved gjennomføring av testene i kapittel 5 benyttet vi lineære modeller for å gjøre modellene nestede. De lineære modellene fremkommer ved kvadratisk Taylor-utvikling av etterspørselsfunksjonene i appendix B. For eksempel er modell 1 ($j = F, E, T$)

$$a_j = \frac{x_j}{U} = \sum_{i \neq A} \left(b_{ij} + \frac{b_{iA} b_{jA}}{a_A - b_{AA}} \left(\frac{p_i}{p_j} \right)^{\frac{1}{2}} \right). \quad (6.29)$$

Taylorutviklingen foretas i punktet $(a_A, (\frac{\bar{p}_i}{p_i})^{\frac{1}{2}})$. Etter endel regning, jfr. Frenger (1983b), kommer en frem til relasjonene som utgjør den omfattende modellen

$$a_F = r_{FF} + r_{FE} \left(\frac{p_E}{p_F} \right)^{\frac{1}{2}} + r_{FT} \left(\frac{p_T}{p_F} \right)^{\frac{1}{2}} + t_{F1} a_T + t_{F2} a_T^2 + t_{F3} a_A + t_{F4} a_A^2, \quad (6.30)$$

$$a_E = r_{EE} + r_{FE} \left(\frac{p_F}{p_E} \right)^{\frac{1}{2}} + r_{ET} \left(\frac{p_T}{p_E} \right)^{\frac{1}{2}} + t_{T1} a_T + t_{T2} a_T^2 + t_{T3} a_A + t_{T4} a_A^2. \quad (6.31)$$

Disse to ligningene er utgangspunktet for test av modell 2 mot modell 1. Restriksjonen $r_{FT} = r_{ET} = 0$ innebærer at prisen på tilfeldig kraft ikke påvirker forbruket av de andre energibærerne. Dette er en lineær tilnærming til modell 2. Hvis derimot $t_{T1} = t_{F1} = t_{T2} = t_{F2} = 0$ er modellen en tilnærming til modell 1. Gjelder begge restriksjonene trekker det i retning av en modell der tilfeldig kraft ikke inngår i energiaggregatet.

På tilsvarende måte kan en utlede omfattende modeller for de andre hypotesene i figur 3.2.1. Disse modellene står i kapittel 5.

Appendix D

Datagrunnlaget

Nedenfor gjengis datagrunnlaget for treforedlingssektoren. Forbruk av energibærerne er gitt i fysiske størrelser. Prisene er oppgitt som øre per fysisk enhet.

Ved estimeringen er prisene normert til 1 i 1985, og forbrukstallene er normert slik at verditallene stemmer. Energiinstrumentene (U_i) som er gjengitt her er alle normert til 1 i 1985. Koeffisienter for energiinnhold og virkningsgrader som er benyttet ved beregningen av energiinstrumentene er oppgitt i kapittel 4.

F_t	Oljeforbruk, 100.000 tonn.							
1962	4.28	4.61	5.02	4.66	5.53	4.71	4.67	6.12
1970	6.41	5.13	4.65	5.52	4.59	4.14	4.48	4.62
1978	4.12	3.75	4.05	2.86	2.42	1.17	0.90	1.39

E_t	Fastkraftforbruk, 100 GWh.							
1962	22.28	28.47	27.00	28.90	26.23	31.73	35.66	32.86
1970	34.99	33.41	34.12	33.36	33.11	29.96	29.28	28.46
1978	28.93	33.27	33.29	33.66	32.93	31.85	38.27	41.40

T_t	Forbruk av tilfeldig kraft, 100 GWh.							
1962	8.57	4.58	5.39	7.52	2.50	7.02	9.82	2.39
1970	2.08	7.55	9.56	12.50	17.91	17.99	11.80	1.30
1978	3.07	5.43	2.20	10.89	9.77	18.94	22.55	17.20

A_t	Forbruk av ved, treavfall og avlut, 1.000 toe.							
1962	80.8	80.8	80.8	80.8	80.8	80.8	80.8	80.8
1970	80.8	80.8	81.1	84.5	85.5	84.8	86.8	87.2
1978	88.0	103.5	108.7	175.0	147.0	161.0	188.0	262.0

P_{Ft}	Pris olje, øre/kg.							
1962	10.01	9.99	9.68	9.10	9.09	9.60	10.80	10.30
1970	10.50	15.60	13.30	14.80	41.50	39.30	41.50	46.20
1978	45.40	57.70	94.10	123.40	121.10	140.10	160.90	152.90

P_{Et}	Pris fastkraft, øre/KWh.							
1962	2.55	2.31	2.37	2.46	2.69	2.54	2.42	2.96
1970	3.07	3.07	3.11	3.06	3.75	4.82	5.14	6.40
1978	6.28	6.20	8.09	8.43	8.95	12.81	8.73	10.58

P_{Tt}	Pris tilfeldig kraft, øre/KWh.							
1962	1.4	1.5	1.5	1.2	1.7	1.2	1.4	2.1
1970	1.9	1.6	1.7	2.1	3.9	3.7	4.3	6.5
1978	6.5	7.6	11.5	12.4	13.1	10.1	10.8	16.1

U_{1t}	Total energi, olje, elektrisitet og ved, treavf. og avlut. Indeks 1985=1.							
1962	0.89	0.94	0.98	0.98	1.00	1.01	1.08	1.13
1970	1.18	1.08	1.06	1.18	1.13	1.05	1.02	0.91
1978	0.88	0.92	0.93	0.94	0.85	0.81	0.91	1.00

U_{2t}	Total energi, olje og elektrisitet. Indeks 1985=1.							
1962	1.03	1.11	1.16	1.17	1.18	1.20	1.29	1.36
1970	1.42	1.29	1.26	1.42	1.35	1.25	1.20	1.07
1978	1.03	1.07	1.07	1.02	0.93	0.86	0.96	1.00

$U_{3,bt}$	Total energi, olje, tilf.kraft og ved, treavf. og avlut. Indeks 1985=1.							
1962	1.15	1.14	1.24	1.21	1.29	1.21	1.25	1.40
1970	1.45	1.30	1.24	1.48	1.40	1.31	1.26	1.09
1978	1.02	1.02	1.02	1.05	0.89	0.84	0.89	1.00

U_{7t}	Total energi, olje og fastkraft. Indeks 1985=1							
1962	1.20	1.37	1.42	1.39	1.50	1.45	1.51	1.73
1970	1.83	1.56	1.48	1.63	1.45	1.31	1.36	1.37
1978	1.29	1.30	1.35	1.14	1.04	0.79	0.85	1.00

U_{8t}	Total energi, olje og tilf. kraft. Indeks 1985=1							
1962	1.68	1.66	1.83	1.77	1.90	1.77	1.85	2.09
1970	2.18	1.93	1.83	2.21	2.07	1.93	1.85	1.56
1978	1.46	1.41	1.41	1.29	1.11	0.98	1.01	1.00

UTKOMMET I SERIEN RAPPORTER FRA STATISTISK SENTRALBYRÅ ETTER 1. JANUAR 1989 (RAPP)
 Issued in the series Reports from the Central Bureau of Statistics since 1 January 1989 (REP)
 ISSN 0332-8422

- 88/9 Radiolytting og fjernsynsseing vinteren 1988 Landsoversikt for programdagene 30. januar - 5. februar/Gustav Haraldsen. 1988-91s. (RAPP; 88/9) 40 kr ISBN 82-537-2653-8
- 88/10 Radiolytting og fjernsynsseing vinteren 1988 Fykesoversikt for programdagene 30. januar - 5. februar/Gustav Haraldsen. 1988-168s. (RAPP; 88/10) 50 kr ISBN 82-537-2654-6
- 88/11 Ressursregnskap for skog 1970-1985/Erik Nasset. 1988-68s. (RAPP; 88/11) 40 kr ISBN 82-537-2661-9
- 88/15 Inntektsulikhhet i Norge 1973-1985/Rolf Aaberge og Tom Wennemo. 1988-94s. (RAPP; 88/15) 45 kr ISBN 82-537-2671-6
- 88/16 Individuelle faktorer ved rekruttering til uførepensjonsordningen. En empirisk studie 1977-1983/Ellen J. Amundsen. 1988-96s. (RAPP; 88/16) 45 kr ISBN 82-537-2728-3
- 88/26 Radiolytting og fjernsynsseing Høsten 1988 Fylkesoversikt for programdagene 1.-7. oktober Gustav Haraldsen og Odd Frank Vaage. 1988-130s. (RAPP; 88/26) 50 kr ISBN 82-537-2699-6
- 88/27 Radiolytting og fjernsynsseing Høsten 1988 Landsoversikt for programdagene 1.-7. oktober/ Gustav Haraldsen og Odd Frank Vaage. 1988-85s. (RAPP; 88/27) 40 kr ISBN 82-537-2700-3
- 88/28 Radiolytting og fjernsynsseing blant barn og ungdom høsten 1988 Programdagene 1.-7. oktober/Gustav Haraldsen og Odd Frank Vaage. 1988-55s. (RAPP; 88/28) 40 kr ISBN 82-537-2703-8
- 88/29 Kommunehelsetjenesten Årsstatistikk for 1987. 1988-67s. (RAPP; 88/29) 40 kr ISBN 82-537-2698-8
- 88/31 Luftforurensning og materialskader: Samfunnsøkonomiske kostnader/Solveig Glomsrød og Audun Rosland. 1989-70 s. (RAPP; 88/31) 40 kr ISBN 82-537-2727-5
- 88/32 Den norske informasjonssektoren - Hvor stor del av totaløkonomien har med informasjon å gjøre?/Jan Brunsgaard og Erling Joar Fløttum. 1989-73s. (RAPP; 88/32) 40 kr ISBN 82-537-2707-0
- 89/1 Naturressurser og miljø 1988 Energi, petroleumsøkonomi, mineraler, fisk, skog, jordbruk, avfall, avløp og vannforsyning, luft Ressursregnskap og analyser. 1989-116s. (RAPP; 89/1) 75 kr ISBN 82-537-2765-8
- 89/2 KVARTS-86 A Quarterly Macroeconomic Model Formal Structure and Empirical Characteristics/ Einar Bowitz and Torbjørn Eika. 1989-104s. (RAPP; 89/2) 45 kr ISBN 82-537-2714-3
- 89/3 Lønnsrelasjoner i en kvartalsmodell for norsk økonomi En KVARTS-rapport/Einar Bowitz. 1989-87s. (RAPP; 89/3) 70 kr ISBN 82-537-2738-0
- 89/4 Innvandringens betydning for befolkningsutvikling i Norge/Inger Texmon og Lars Østby. 1989-55s. (RAPP; 89/4) 70 kr ISBN 82-537-2723-2
- 89/5 Statistisk sentralbyrå Hovedtrekk i arbeidsprogrammet for 1989. 1989-53s. (RAPP; 89/5) 60 kr ISBN 82-537-2720-8
- 89/6 Utbyggingsregnskap Dokumentasjon av metode og resultater fra prøveregnskap 1986 og 1987/ Øystein Engebretsen. 1989-58s. (RAPP; 89/6) 70 kr ISBN 82-537-2724-0
- 89/7 Sociodemographic Differentials in the Number of Children A Study of Women Born 1935, 1945 and 1955/Øystein Kravdal. 1989-138s. (RAPP; 89/7) 75 kr ISBN 82-537-2766-6

- 89/8 Radiolytting og fjernsynsseing Vinteren 1989 Landsoversikt for programdagene 4. - 10. februar/Gustav Haraldsen og Odd Frank Vaage. 1989-69s. (RAPP; 89/8) 70 kr ISBN 82-537-2769-0
- 89/9 Radiolytting og fjernsynsseing Vinteren 1989 Fylkesoversikt for programdagene 4. - 10. februar/Gustav Haraldsen og Odd Frank Vaage. 1989-130s. (RAPP; 89/9) 85 kr ISBN 82-537-2770-4
- 89/10 Rehabilitering av bygninger 1986/Ariid Thomassen. 1989-41s. (RAPP; 89/10) 70 kr ISBN 82-537-2791-7
- 89/12 De eldres inntekter Nivå og ulikhet Income of Aged People Level and Inequality. 1989-156s. (RAPP; 89/12) 95 kr ISBN 82-537-2785-2
- 89/13 Totalregnskap for fiske- og fangstnæringen 1983-1986. 1989-38s. (RAPP; 89/13) 60 kr ISBN 82-537-2783-6
- 89/14 Ensliges inntekt og forbruk. 1989-107s. (RAPP; 89/14) 75 kr ISBN 82-537-2796-8
- 89/15 Husholdningsstørrelse og -sammensetning 1960, 1970 og 1980 Noen utvalgte alderstrinn/Björg Moen. 1989-50s. (RAPP; 89/15) 60 kr ISBN 82-537-2847-6
- 89/16 Skatter og overføringer til private Historisk oversikt over satser mv. Årene 1975-1989. 1989-63s. (RAPP; 89/16) 45 kr ISBN 82-537-2813-1
- 89/17 Fruktbarhet og dødelighet i Norge 1771-1987. 1989-44s. (RAPP; 89/17) 60 kr ISBN 82-537-2840-9
- 89/18 Undersøkelse om bruk av folkebibliotek 1988. 1989-83s. (RAPP; 89/18) 60 kr ISBN 82-537-2832-8
- 89/19 Aktuelle skattetal 1989 Current Tax Data. 1989-44s. (RAPP; 89/19) 60 kr ISBN 82-537-2844-6



Pris kr 60,00

Publikasjonen utgis i kommisjon hos H. Aschehoug & Co. og
Universitetsforlaget, Oslo, og er til salgs hos alle bokhandlere.

ISBN 82-537-2873-5
ISSN 0332-8422