

Technical University of Denmark



## En teknisk-økonomisk prognosemodel for industriens energiforbrug samt energirelaterede CO<sub>2</sub>- SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissioner. INDUS - version 2. EMIS

Møller Andersen, Frits; Kilde, N.A.; Nielsen, L.H.; Præstegaard, S.

*Publication date:*  
1991

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*

Møller Andersen, F., Kilde, N. A., Nielsen, L. H., & Præstegaard, S. (1991). En teknisk-økonomisk prognosemodel for industriens energiforbrug samt energirelaterede CO<sub>2</sub>- SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissioner. INDUS - version 2. EMIS. (Risø-M; Nr. 2920).

## DTU Library

Technical Information Center of Denmark

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# **En teknisk-økonomisk prognose- model for industriens energiforbrug samt energirelaterede CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissioner**

Risø-M-2920

**Frits Møller Andersen, Niels A. Kilde, Lars Henrik Nielsen,  
Søren Præstegaard**

## **INDUS – version 2**

## **EMIS**

**Forskningscenter Risø, Roskilde  
Januar 1991**

## Abstract.

I nærværende rapport præsenteres en opdatering og videreudvikling af INDUS-modellen, der er beskrevet i rapporten "En teknisk-økonomisk prognosemodel for industriens energiforbrug - INDUS". Forskningscenter Risø, juli 1986 (Risø-M-2606).

Kort kan modellen karakteriseres som en økonometrisk sub-model, der konverterer en ADAM-fremskrivning til en fremskrivning af industriens energiforbrug.

På grundlag af data for perioden 1966 til 1985 er modellen blevet reestimeret, og ved sammenligning med de senest offentliggjorte energibalancer er modellens post-sample egenskaber for 1986 og 1987 analyseret.

Ved hjælp af samme modelleringsmetode som for industriens energiforbrug er modellen udvidet til at inkludere energiforbruget i de primære erhverv samt bygge- og anlægsvirksomhed. De primære erhverv er disaggregeret til 3 underbrancher, landbrug m.v., gartnerier og fiskeri.

Endelig er der udviklet en sub-model til beregning af de energirelaterede CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissioner. Emissionsmodellen er baseret på Danmarks Statistiks energibalancer og teknisk bestemte emissionskoefficienter for de enkelte brændsler i energibalancerne.

ISBN 87-550-1713-4

ISSN 0418-6435

Grafisk Service Risø, 1991

INDHOLD

Side

|   |                |
|---|----------------|
| FORORD .....  | 5              |
| 1. INDLEDNING .....   | 6              |
| 2. OPDATERING AF MODELLEN .....   | 10             |
| 2.0. Indledning .....   | 10             |
| 2.1. Teknisk opdatering .....   | 13             |
| 2.2. Reestimation af modellen .....   | 46             |
| 3. NYE BRANCHER .....   | 57             |
| 3.0. Indledning .....   | 57             |
| 3.1. Landbruget .....   | 57             |
| 3.2. Gartnerierne .....   | 61             |
| 3.3. Fiskeriet .....  | 64             |
| 3.4. Bygge- og anlægsvirksomhed .....   | 68             |
| 3.5. Sammenfatning .....  | 70             |
| 3.6. Udviklingen i forbruget af fast brændsel og<br>naturgas .....  | 72             |
| 4. EMISSIONS-SUBMODELLEN .....  | 75             |
| 4.0. Indledning .....   | 75             |
| 4.1. Datagrundlaget og den anvendte metode .....  | 75             |
| 4.2. CO <sub>2</sub> -, SO <sub>2</sub> - og NO <sub>x</sub> -emissionskoefficienter for<br>energityperne i DS's energibalancer ..... | 78             |
| 4.3. Emissionskoefficienter for de 4 energityper i<br>INDUS .....   | 93             |
| 4.4. Korrektioner til brændslernes indhold af<br>forurenende stoffer .....  | 100            |
| 4.5. Eksempler på emissionsberegninger .....  | 103            |
| <del>5. TEST AF MODELLEN SAMT NOGLE MODELBEREGNINGER OG<br/>MULTIPLIKATORANALYSER .....</del>   | <del>109</del> |
| 5.0. Indledning .....   | 109            |
| 5.1. Test af modellens historiske forklaringsevne ....  | 109            |
| 5.2. En modelfremskrivning .....  | 117            |
| 5.3. Enkelte følsomhedsanalyser .....   | 131            |

|   | Side |
|---|------|
| <u>Bilag 1:</u> Modellens stokastiske relationer .....  | 138  |
| <u>Bilag 2:</u> Brugervejledning til INDUS og INDUS-EMIS<br>modellerne .....  | 148  |
| <u>Bilag 3:</u> Branche- og energitypeaggregeringen samt sammen-<br>hængen imellem industristatistikken og model-<br>brancherne ..... | 156  |

## FORORD

Formålet med nærværende projekt har været at opdatere og videreudvikle INDUS-modellen, der er en teknisk-økonomisk prognosemodel for industriens energiforbrug, og som primært anvendes i forbindelse med Energiministeriets energiplanlægning og elprognose-arbejde.

Siden 1980, der ved udviklingen af den første version af INDUS var det sidste år, for hvilket et komplet datagrundlag var til rådighed, er der sket ganske betydelige ændringer i industriens energiforbrug. Dels er der som følge af væsentlige strukturforskydninger, ændret produktions- og energiforbrugsteknologi og ændrede energipriser, sket betydelige ændringer i industriens totale energiforbrug, og dels er der sket betydelige ændringer i brændselssammensætningen. Efter en betydelig introduktion af fast brændsel i begyndelsen af 1980'erne synes fast brændselsforbruget at have nået et forholdsvist stabilt niveau, mens anvendelsen af naturgas efter en introduktion i 1985 stadig er under udbygning.

Som en naturlig videreudvikling af modellen er denne blevet udvidet til at inkludere energiforbruget i de primære erhverv samt bygge- og anlægsvirksomhed, og som følge af den stigende interesse for de miljømæssige effekter af energiforbruget er modellen blevet suppleret med en del-model til beregning af de energirelaterede emissioner af  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_x$ .

Projektet er iværksat med støtte fra Energiministeriet og er gennemført i perioden juli 1989 til december 1990. Arbejdet er udført af følgende medarbejdere i Energisystemgruppen ved Forskningscenter Risø:

cand.oecon. Frits Møller Andersen (projektleder)  
civilingeniør Niels A. Kilde  
Cand.scient. Lars Henrik Nielsen  
Programør Søren Præstegaard

## 1. INDLEDNING

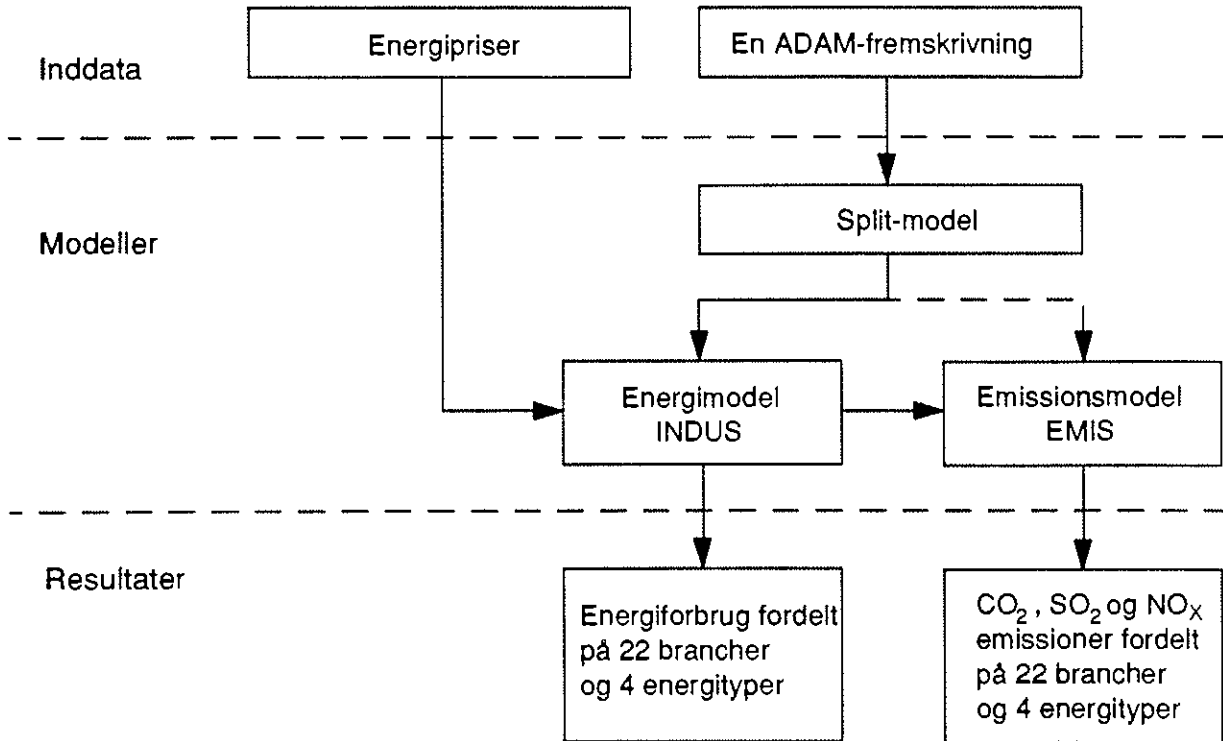
Udgangspunktet for det arbejde, der beskrives i denne rapport, er dels den første version af INDUS-modellen, der er beskrevet i rapporten: En teknisk-økonomisk prognosemodel for industriens energiforbrug - INDUS, Forskningscenter Risø, juli 1986, og dels de erfaringer, der er opnået ved anvendelse af modellen primært i forbindelse med Energiministeriets energiplanlægning og elprognose-arbejde.

Den første version af INDUS-modellen fokuserede på udviklingen i industriens energiforbrug og var baseret på data for perioden 1966 til 1980. I nærværende rapport præsenteres en opdatering af INDUS samt en udvidelse af denne til at inkludere de primære erhverv samt bygge- og anlægsvirksomhed. Desuden præsenteres en model til beregning af de energirelaterede emissioner af  $CO_2$ ,  $SO_2$  og  $NO_x$ . Mens nærværende rapport således fokuserer på industriens udvikling siden 1980 samt de udvidelser af modelkomplekset, der er foretaget, henvises til ovennævnte INDUS-rapport for en nærmere gennemgang af det teoretiske grundlag for energimodellen, de overvejelser, der er gjort i forbindelse med den valgte brancheaggregering, samt en gennemgang af industriens udvikling i perioden 1966 til 1980.

Den overordnede struktur af det reviderede modelkompleks kan kort beskrives ved figur 1.1.

Udgangspunktet for en modelberegning er en energiprisprognose samt en fremskrivning af den økonomiske udvikling ved hjælp af ADAM. I split-modellen konverteres ADAM-fremskrivningen til en fremskrivning af udviklingen i de energimæssigt mere homogene brancher, der anvendes i energimodellen INDUS. INDUS beregner energiforbruget fordelt på 22 brancher og de 4 energityper: fast, flydende, naturgas og el, og udfra disse beregner emissionsmodellen EMIS de energirelaterede emissioner af  $CO_2$ ,  $SO_2$  og  $NO_x$ . Den stiplede linie fra split-modellen til EMIS markerer, at der for enkelte brancher er taget højde for, at de

energirelaterede emissioner ikke er en direkte konvertering af kulstof- og svovlindholdet i de anvendte brændsler.



Figur 1.1. Den overordnede modelstruktur

Betragtes den anvendte modelstruktur, kan energimodellen karakteriseres som en sub-model til ADAM, og emissionsmodellen kan karakteriseres som en sub-model til INDUS.

Metodemæssigt bygger energimodellen, som nævnt i indledningen til ovennævnte INDUS-rapport, på, at man ved at analysere den hidtidige udvikling kan kvantificere nogle årsagssammenhænge, der er forholdsvis stabile over tiden, og som derfor kan anvendes til prognoseformål. Dette gælder stadig for den reviderede energimodel inklusiv de nye brancher. Modellen til beregning af de energirelaterede emissioner EMIS er derimod baseret på en statusopgørelse samt en rent teknisk/definitions-mæssig bestemmelse af et antal emissionskoefficienter, der enten forudsættes at være konstante, eller hvis udvikling fastlægges exogent. Denne metode til modellering af emissionsdelen af-



spejler ganske nøje den måde, man i dag opgør de energirelaterede emissioner. Der eksisterer ikke totale målinger af de faktiske energirelaterede emissioner, men disse beregnes ud fra energiforbruget fordelt på brændsler samt emissionskoefficienter for de enkelte brændsler bestemt ud fra den kemiske sammensætning og tekniske anvendelse af de enkelte brændsler. Fremgangsmåden i emissionsmodellen er således den samme som i emissionsopgørelserne, men til grundlag for modellen er der dog foretaget en aggregering af brændslerne.

Mens energimodellen således er en historisk baseret prognosemodel, der ud fra den tekniske og samfundsmæssige udvikling forsøger at bestemme udviklingen i energiforbruget, er emissionsmodellen en konsekvensberegningsmodel, der ud fra et energiforbrug og teknisk bestemte emissionskoefficienter beregner de energirelaterede emissioner.

Typiske anvendelsesområder for emissionsmodellen vil være at beregne de emissionsmæssige konsekvenser af et ændret energiforbrug, en ændret energiforbrugssammensætning, et ændret svovlindhold i brændsler eller en ændret forbrændingsteknologi. For de sidste 2 eksemplers vedkommen beregnes først, hvad ændringerne betyder for emissionskoefficienterne, hvorefter de ændrede emissionskoefficienter anvendes til at beregne de emissionsmæssige konsekvenser. Selv om emissionsdelen er en teknisk baseret model, er der intet til hinder for at anvende modelkomplekset til at analysere økonomiske emissionsbegrænsende tiltag som f.eks. en CO<sub>2</sub>-skat. Så længe en skat eller afgift er knyttet til energiforbruget og kan konverteres til ændrede energipriser, og den eneste mulighed for at slippe for at betale afgifter er at ændre energiforbruget, kan de energimæssige effekter analyseres ved hjælp af energimodellen, og de heraf følgende ændrede emissioner kan beregnes ved hjælp af emissionsmodellen. Er der mulighed for at slippe for at betale afgiften ved f.eks. at indføre ændret teknologi, svovlrensning eller lav-NO<sub>x</sub>-brændere, er modellen ikke i stand til at beregne, i hvilket omfang afgiften vil medføre sådanne ændringer, men vurderes dette exogent, kan effekten via ændrede emissionskoefficienter indkorporeres i modellen.

Efter en kort gennemgang af den overordnede udvikling i industriens energiforbrug siden 1980 præsenteres i kapitel 2 dels en nærmere gennemgang af udviklingen i de enkelte brancher og dels en re-estimation af industriens energirelationer på perioden 1966 til 1985. Ved gennemgangen af de enkelte brancher er der, foruden væsentlige tekniske ændringer, lagt vægt på at undersøge, hvor kraftig en substitution til naturgas der allerede er foretaget eller planlægges foretaget i den nærmeste fremtid. Med hensyn til re-estimation af industriens energirelationer var 1985 det seneste år, for hvilket der eksisterede detaljerede input/output tabeller og energibalancer, da re-estimationen blev foretaget. Der findes p.t. detaljerede input/output tabeller for 1986 og energibalancer for 1987. I stedet for at gennemføre en ny re-estimation frem til 1986 er det valgt at anvende 1986- og 1987-opgørelserne til at teste modellens post-sample egenskaber.

I kapitel 3 gennemgås udvidelsen af energimodellen med de primære erhverv samt bygge- og anlægsvirksomhed. Udviklingen i disse brancher analyseres for perioden 1966 til 1987, og der estimeres energirelationer på perioden 1966 til 1985.

Den udviklede emissionsmodel gennemgås i kapitel 4, hvor der efter en indledende præsentation af datagrundlaget og den anvendte metode gives en detaljeret gennemgang af, hvordan emissionskoefficienterne for de enkelte energityper i Danmarks Statistiks energibalancer er bestemt. Herefter gennemgås aggregeringen til de 4 energityper i energimodellen samt de korrektioner, der for enkelte brancher er foretaget med hensyn til emissioner, der ikke er en direkte konvertering af de enkelte brændsels indhold af kulstof og svovl. Endelig præsenteres nogle typiske eksempler på anvendelser af emissionsmodellen.

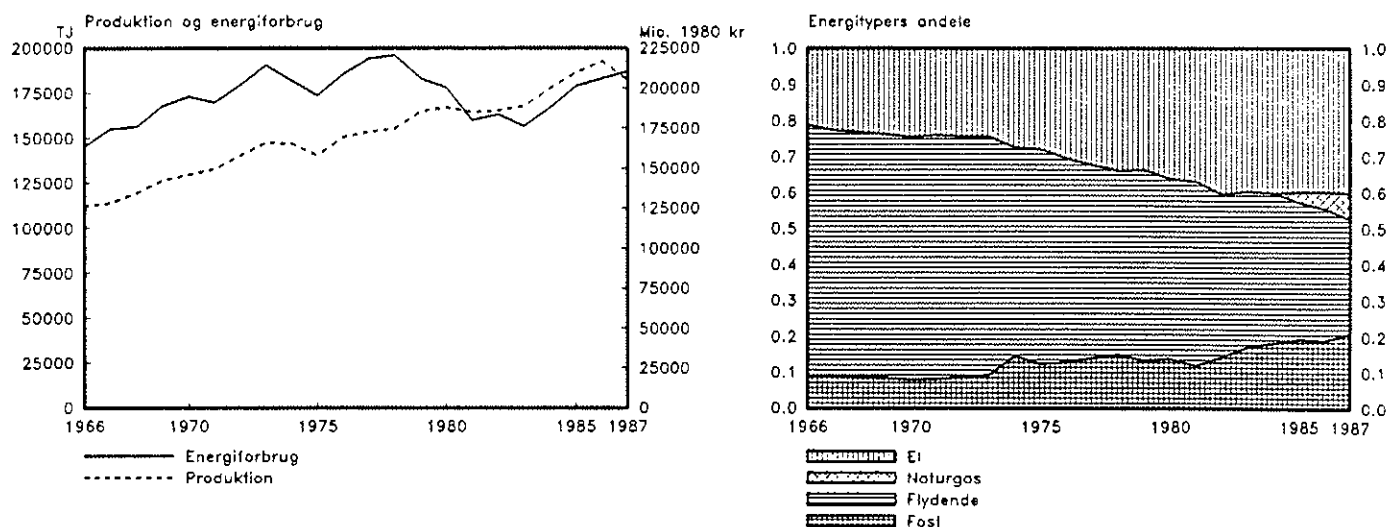
Rapporten afsluttes med en test på modellens forklaringssevne, umiddelbare post-sample egenskaber samt eksempler på anvendelse af modelkomplekset.

## 2. OPDATERING AF MODELLEN

### 2.0. Indledning

I dette kapitel gennemgås opdateringen af de brancher, der var inkluderet i den tidligere version af INDUS-modellen, d.v.s. industribrancherne. Kapitlet er opdelt i 2 hovedafsnit, der igen er opdelt i en række underafsnit. I hovedafsnit 2.1 gives en teknisk gennemgang af industriens energimæssige udvikling siden 1980, og i afsnit 2.2 gennemgås en re-estimation af industriens energirelationer.

Ses indledningsvis på udviklingen i industrien i alt, bemærkes af figur 2.0.1, at der siden begyndelsen af 1980'erne er sket ganske betydelige ændringer i industriens energiforbrug både med hensyn til det totale energiforbrug og fordelingen af dette på de 4 energityper fast, flydende, naturgas og el.



Figur 2.0.1. Industriens produktion og energiforbrug fordelt på energityper

Fra 1980 til 1983 faldt industriens totale energiforbrug med godt 13%, mens produktionen var stort set uændret, d.v.s. energikoefficienten faldt med godt 13%. Dette fald er kun delvist udtryk for en øget energieffektivitet, da en væsentlig del af energibesparelserne må tilskrives betydelige strukturforandringer, f.eks. skyldes ca. 40% af nedgangen i energiforbruget fra 1980 til 1983 en faldende produktion inden for leverandører til byggeriet. Fra 1983 til 1986 steg industriens produktion og energiforbrug nogenlunde parallelt, d.v.s. energikoefficienten var stort set konstant, men i 1987 faldt industriens produktion knap 4%, mens energiforbruget fortsatte med at stige. Da der er sket strukturforandringer, kan dette heller ikke siges udelukkende at være udtryk for en dårligere udnyttelse af energien. Det skal dog bemærkes, at der på grund af de faldende oliepriser i den sidste del af perioden ikke har været de store incitamentet til at gennemføre energibesparende foranstaltninger. Sammenlignes den totale produktion og energiforbruget i 1980 og 1987, faldt energikoefficienten overraskende nok kun godt 3%, hvorimod den fra 1980 til 1986 faldt godt 12%, d.v.s. i 1987 steg den totale energikoefficient godt 8%.

Med hensyn til udviklingen i de 4 energityper bemærkes, at el-andelen har været svagt stigende fra 1980 til 1982, hvorefter den har ligget stort set konstant på ca. 40% af industriens totale bruttoenergiforbrug. Andelen af flydende brændsel er blevet reduceret ganske betydeligt fra ca. 50% i 1980 til godt 30% i 1987. Nedgangen i forbruget af flydende brændsel er blevet erstattet med stort set lige dele fast brændsel og naturgas. Substitutionen til fast brændsel skete altovervejende i perioden 1980 til 1985, mens substitutionen til naturgas er sket efter 1985, hvor naturgassen blev introduceret.

Opdeles industrien i de enkelte ADAM-brancher, bemærkes af tabel 2.0.1, at udviklingen siden 1980, både med hensyn til produktion og energiforbrug, har været højst forskellig i de enkelte brancher. Brancherne nærings- og nydelsesmiddelindustrien har haft kraftigt stigende energikoefficienter, branchen

anden fremstillingsvirksomhed har haft en svagt faldende energikoefficient, og resten af brancherne har haft kraftigt faldende energikoefficienter.

Tabel 2.0.1. Udviklingen i ADAM-branchernes produktion og energiforbrug

|                         | Energiforbrugs-<br>ændring<br>1980 til 1987 | Produktions-<br>ændring<br>1980 til 1987* | Energikoefficient-<br>ændring<br>1980 til 1987 |
|-------------------------|---|---|--|
| Industrien i alt        | 5.1%  | 9.1%                                      | -3.8%  |
| Næringsmiddelindustri   | 23.6%                                       | -2.4%                                     | 26.5%  |
| Nydelsesmiddelindustri  | 26.2%                                       | 5.6%                                      | 19.5%  |
| Lev. til byggeriet      | -10.0%                                      | 10.5%                                     | -21.6%   |
| Metalindustri           | -2.0%                                       | 15.6%                                     | -18.0%   |
| Transportmiddelindustri | -19.2%                                      | -3.1%                                     | -15.5%   |
| Kemisk industri         | 9.3%  | 28.7%                                     | -17.8%   |
| Anden fremst.virksomhed | 7.7%  | 14.4%                                     | -6.3%  |

\* 1987 produktionen er forløbige data

Selv om ADAM-brancherne fanger en ikke ubetydelig del af de strukturforandringer, der er sket i perioden, er ændringer i energikoefficienterne stadig en kombination af reelle energibesparelser eller øget energiforbrug pr. produceret enhed og forskydninger imellem underliggende brancher med højst forskellige energikoefficienter. Eksempelvis er den betydelige stigning i næringsmiddelindustriens energikoefficient en kombination af kraftigt stigende energikoefficienter for underbrancherne slagterier og fiskemel og foderstoffer, en moderat stigning i energikoefficienten for næringsmiddelindustrien i øvrigt samt en produktionsmæssig forskydning fra slagterierne, der har en meget lav energikoefficient, til fiskemel og foderstoffer, der har en meget høj energikoefficient og til næringsmiddelindustrien i øvrigt, der har en moderat energikoefficient, der dog er ca. 3 gange så høj som slagteriernes.

Skønt det af tabel 2.0.1 synes, som om nærings- og nydelsesmiddelindustrien skiller sig ud som de eneste brancher med stigende energikoefficienter, skal det dog bemærkes, at der blandt underbrancherne til nogle af de andre ADAM-brancher er brancher med stigende energikoefficienter. De kraftigt stigende energikoefficienter findes dog inden for nærings- og nydelsesmiddelindustrien. En nærmere gennemgang af udviklingen i de enkelte branchers energikoefficienter samt de tekniske årsager til ændringerne er givet i det følgende hovedafsnit 2.1.

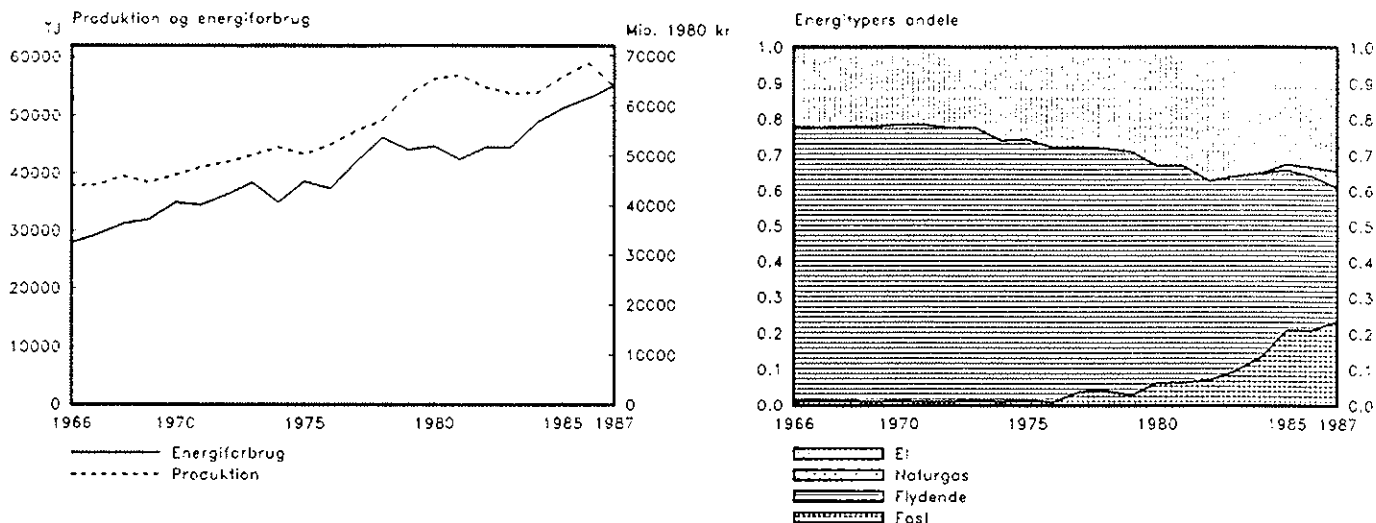
## 2.1. Teknisk opdatering

### 2.1.1. ADAM-branche 1: Næringsmiddelindustrien

Næringsmiddelindustrien består af modelbrancherne

- Slagterier
- Fiskemel og foderstoffer
- Næringsmiddelindustri iøvrigt.

Modelbranchernes andel af ADAM-branchens produktion er henholdsvis 42%, 5% og 53%. Slagterierne har en forholdsvis lav energikoefficient på 0.27 TJ/mio. 1980-kr. og anvendte i 1986 ca. 15% af ADAM-branchens bruttoenergiforbrug. Fiskemel og foderstoffer er langt den mest energiintensive af de 3 underbrancher. I 1986 havde fiskemel og foderstoffer en energikoefficient på 4.47 TJ/mio. 1980-kr. og anvendte ca. 28% af ADAM-branchens energiforbrug. Næringsmiddelindustrien iøvrigt havde i 1986 en energikoefficient på 0.84 TJ/mio. 1980-kr. og anvendte ca. 57% af ADAM-branchens energiforbrug. Udviklingen i den samlede ADAM-branches produktion og energiforbrug er vist i figur 2.1.1.



Figur 2.1.1. Næringsmiddelindustri

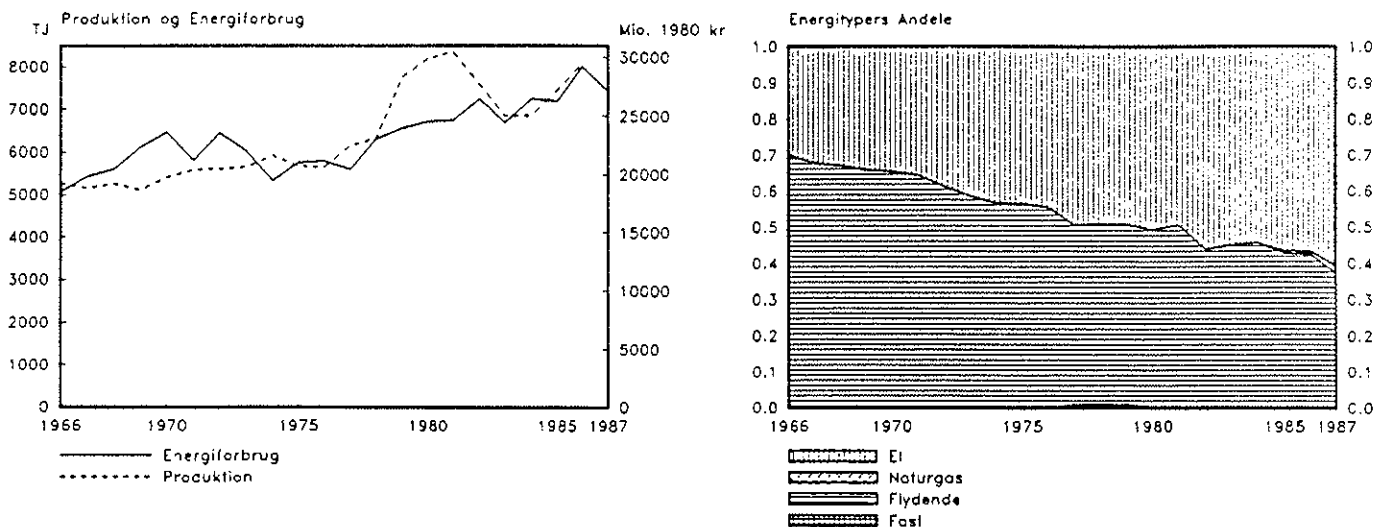
#### 2.1.1.1. Slagterier

Denne branche består af NR-brancherne "Svine- og kreaturslagterier" og Fjerkræslagterier".

Energikoefficienten for modelbranchen er i 1986 0.27 TJ/mio. 1980-kr. mod et gennemsnit for dansk industri på 0.84 TJ/mio. 1980-kr. i 1986.

Produktion, bruttoenergiforbrug samt energitypernes andele fremgår af figur 2.1.1.1. Det ses af figuren, at produktionen omkring 1980 var meget høj i forhold til energiforbruget (energikoefficient ca. 0.22 TJ/mio. 1980-kr.), men at de senere år svarer ret nøje til årene før 1978.

Den konstaterede stigning i energikoefficienten specielt siden 1982 skyldes ikke en stigning i olie/gasforbruget, der har været lavt siden 1979, men derimod en kraftig stigning i elforbruget pr. produceret enhed på 40% fra 1981-86. De seneste års introduktion af naturgas er endnu ikke slået igennem i slagterierne.



Figur 2.1.1.1. Slagterierne

Årsagen til disse ændringer er mange og til dels modsat rettede. Der er færdiggjort investeringer i oliebesparende anlæg, men øgede hygiejniske krav har stillet krav om et forbrug af damp. Det traditionelle skoldekar med 60° vand vil formentlig fremover blive afløst af hængende skoldning med dampstråler, hvad der kan føre til et øget olie/gasforbrug.

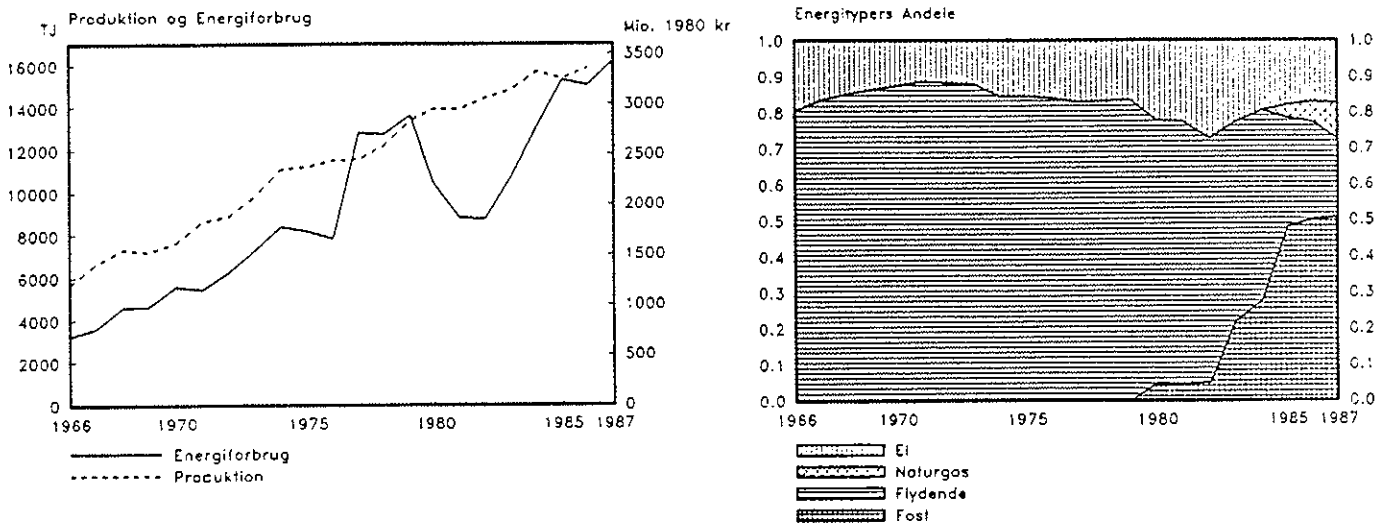
Stigningen i det specifikke elforbrug skyldes overvejende øget automatisering. Sammenlægninger, lukning af gamle slagterier og bygning af nye har medført en stor besparelse i arbejdskraft, men har også givet et øget elforbrug til maskinelle processer. Hygiejniske krav om hurtigere køling og renere processer samt miljømæssige krav om rensning af spildevand har også øget elforbruget.

#### 2.1.1.2. Fiskemel og foderstoffer

Denne modelbranche består af NR-brancherne "Fiskemelsfabrikker" og "Fremstilling af foderstoffer". Energikoefficienten for modelbranchen er 4.47 TJ/mio. 1980-kr. mod et gennemsnit for dansk industri på 0.84 TJ/mio. 1980-kr. i 1986.



Produktion, bruttoenergiforbrug samt energitypernes andele fremgår af figur 2.1.1.2. Det ses af figuren, at selv om produktionsværdien for branchen som helhed har været jævnt stigende, har energiforbruget vist voldsomme svingninger fra 1977-85, og sammensætningen af energityperne er ændret drastisk i samme periode. Disse store ændringer har foranlediget en separat detailundersøgelse af modelbranchens to NR-brancher, de underliggende industribrancher, produktgrupper og enkeltfirmaer, der blev rapporteret af Ib N. Hovmand, Danmarks Ingeniørakademi, november 1988.



Figur 2.1.1.2. Fiskemel og foderstoffer

Modelbranchen kan opdeles således:

NR-branche "Fiskemelsfabrikker"

DSE-branche 31.153:

- Fiskemelsfabrikker: fiskemel, fiskeolie og fiskepasta
- Ensilagefabrikker: fiskeensilage.

NR-branche "Fremstilling af foderstoffer"

DSE-branche 31.154:

- Kødfoderfabrikker: kødmel, benmel og animalsk fedt

DSE-branche 31.220:

- Fodercentraler: pelsdyrfoder (vådfoderblandinger)
- Grønttørrerier: grønfoder (lucerne- og grønmel samt grønpiller)
- Foderblandingsfabrikker: færdige foderblandinger (til kvæg, svin og fjerkræ)
- Øvrige producenter: (pet food, mineralfoderblandinger, halmpiller, fjerkræaffald m.v.).

NR-branche "Fiskemelsfabrikker" er også DSE-branche 31.153 og omfatter fiskemelsfabrikker og fiskeensilagefabrikker. Produktionen i 1987 var 79.000 t fiskeolie og 270.000 t fiske- mel fra fiskemelsfabrikkerne samt ca. 50.000 t fiskeensilage fra ensilagefabrikkerne, der udelukkende videreleveres til fodercentralerne i den anden NR-branche. 98% af NR-branchens energiforbrug sker på fiskemelsfabrikkerne. Elforbruget har været næsten konstant siden 1980, men da produktionen har været svagt faldende, er elkoefficienten stigende. Dette skyldes dels et øget elforbrug til de oliebesparende foranstaltninger som udnyttelse af spildvarme til inddampning og dels større miljøkrav. Olieforbruget, der er det dominerende brændsel, er derimod faldet med ca. 30%, hvoraf ca. halvdelen skyldes faldende produktion, og halvdelen skyldes energibesparelser. Siden 1986 konverteres i stigende grad fra olie til gas, og fordelingen vil fremover være ca. 5% fast brændsel, ca. 45% naturgas og ca. 50% fuelolie.

DSE-branche 31.154 er en del af NR-branchen "Fremstilling af foderstoffer" og omfatter kødfoderfabrikker. I årene 1977-87 er produktionen mere end fordoblet, mens bruttoenergiforbruget kun er steget ca. 60%. Det betyder, at brændselsforbruget er faldet fra 4 GJ/t råvare til 2.9 GJ/t råvare ved indførelse af

vådpresning og limvandsinddampning i stedet for tørsmeltning. Dette er opnået med stabil eller let faldende elkoefficient, fordi det er sket på nye fabriksanlæg med bedre styring, og selv om ca. 15% af elforbruget skyldes nye miljøforanstaltninger.

DSE-branche 31.220 er den anden del af NR-branchen "Fremstilling af foderstoffer" og omfatter først og fremmest fodercentraler til fremstilling af pelsdyrfoder og grøntttørrerier, idet den store varegruppe "Færdige foderblandinger" helt overvejende henføres til servicebranchen 61.161 "Handel med korn-, foder- og gødningsstoffer", selv om der i dag faktisk sker en betydelig industriel behandling af korn- og foderstoffer.

Ved fremstillingen af pelsdyrfoder anvendes fisk og fiskeaffald med ca. 60% og fiskeensilage med ca. 10%. Resten er en bred blanding af animalske og vegetabiliske produkter tilsat vitaminer og mineraler. Foderet leveres som våd blanding med nøje afpasset konsistens. De forskellige råvarer kan være opbevaret på frost.

Energiforbruget følger nøje produktionen og består helt overvejende af el. Da produktionen er næsten firedoblet fra 1979-88, er elforbruget steget tilsvarende og udgør i 1987 ca. halvdelen af NR-branchens. Den store stigning i minkavlens har i det seneste år fået prisen på minkskind til at falde voldsomt med produktionsindskrænkning til følge. Fremtiden er usikker.

Grøntttørreriernes produktion består typisk af en kogning af lucerne og græs med damp, presning, inddampning af saften, tørring, formaling og pillepresning.

Elforbruget udgør ca. 20% af bruttoenergiforbruget. Brændselsforbruget var traditionelt olie, men som det fremgår af figur 2.1.1.2, er der siden 1980 sket en konvertering til kulfyring, og siden 1985 er gasforbruget steget.

Den årlige produktion af grøntpiller kan variere 30-40%, men har iøvrigt været generelt faldende fra 1975-86, hvilket har medført et faldende energiforbrug til denne produktion.

Grøntttørreriernes tørrekapacitet er desuden blevet udnyttet

til korntørring på lønarbejdsbasis i våde høstår som 1978-79, 1985 og 1987. I sådanne år vil energiforbruget i branchen være højere, mens produktionsværdien kun er øget med lidt mere end energiomkostningerne til korntørringen.

### Sammenfatning

|              |   |  |
|--------------|---|--|
| Fiskemel     | : | svagt faldende produktion, faldende energikoefficient  |
| Kødfoder     | : | stigende produktion, faldende energikoefficient        |
| Pelsdyrfoder | : | stærkt stigende produktion, konstant energikoefficient |
| Grønfoder    | : | svagt faldende produktion, konstant energikoefficient  |

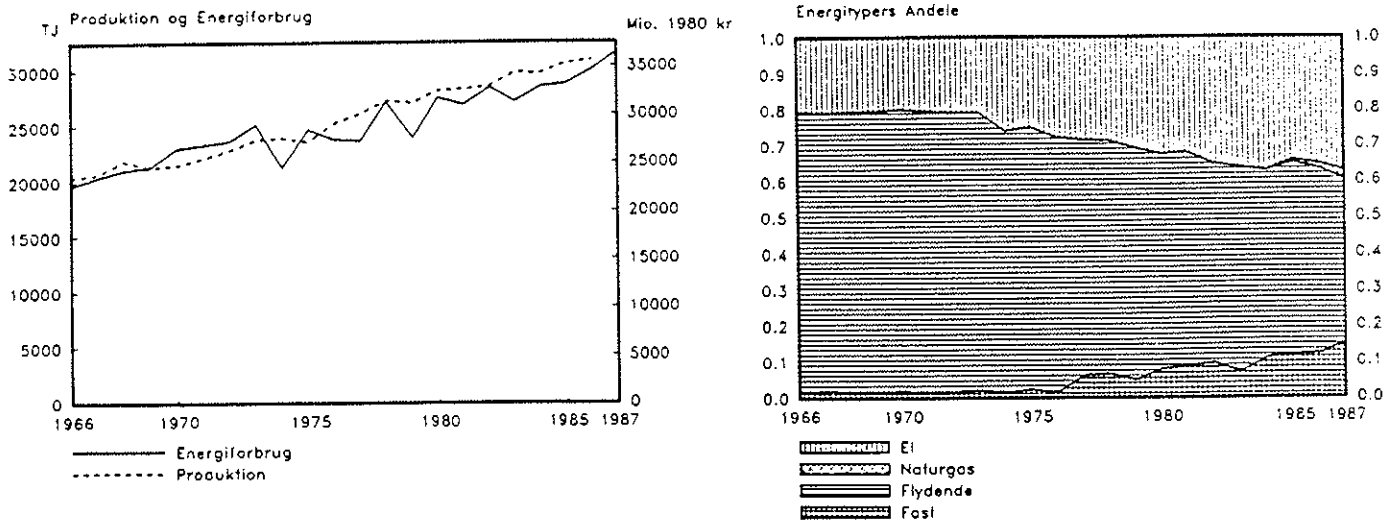
Da ændringerne ikke har samme størrelse og undertiden forstærker hinanden, vil totalbevægelsen for INDUS-modelbranchen være noget svingende men gennemgående med stigende energikoefficient på grund af nye mere behandlede produkter.

### 2.1.1.3. Næringsmiddelindustrien iøvrigt

Denne modelbranche består af en stor gruppe ikke særligt energiintensive virksomheder. I energimæssig henseende er de væsentligste NR-brancher mejerier, ost og is (tilsammen 30% af modelbranchens energiforbrug), sukkerfabrikker (22%) samt brødfabrikker og bagerier (14%).

Modelbranchens energikoefficient på 0.84 TJ/mio. 1980-kr. er i 1986 den samme som for den samlede industri.

Som det fremgår af figur 2.1.1.3, har modelbranchen haft en jævn produktionudvikling og et tilsvarende energiforbrug, hvor bruttoenergikoefficienten for de enkelte år kun varierer mellem 0.77-0.92 TJ/mio. 1980-kr. uden nogen trend.



Figur 2.1.1.3. Næringsmiddelindustri iøvrigt

De væsentligste ændringer er forskydninger mellem energiarterne. Det specifikke olieforbrug er faldet med 40%, men til gengæld er sukkerfabrikkerne nu helt gået over til kul, og det specifikke elforbrug, hvori sukkerfabrikernes egenproduktion ikke er medregnet, er steget 75%.

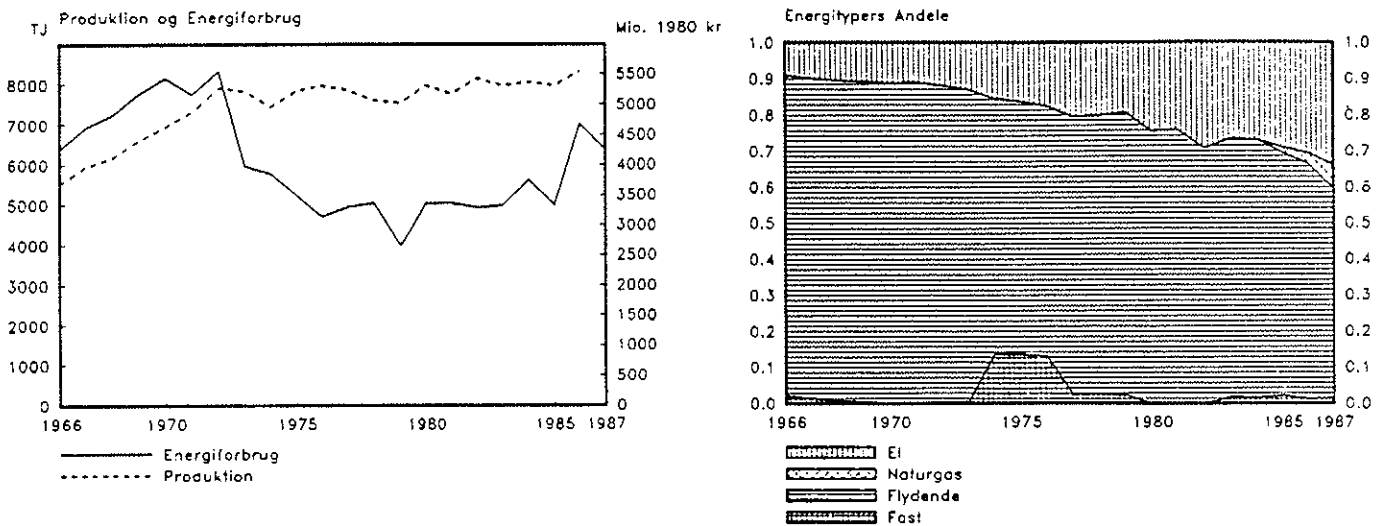
I de kommende år forventes elforbruget fortsat at stige jævnt, kulforbruget hos sukkerfabrikkerne forventes ret konstant, og naturgas vil efterhånden stå for ca. 10% af brændselsforbruget.

### 2.1.2. ADAM-branche 2: Nydelsesmiddelindustrien

Modelbranchen "Nydelsesmiddelindustri" er sammenfaldende med ADAM-branchen af samme navn og består af de tre NR-brancher "Bryggerier", "Sprit- og likørfabrikker" og "Tobaksfabrikker". Bruttoenergiefficienten for modelbranchen er i 1986 1.27 TJ/mio. 1980-kr., hvor industriens samlede energikoefficient er 0.84 TJ/mio. 1980-kr. Energiforbruget i de tre brancher fordeler sig i 1986 med 87% i bryggerierne, 7% i sprit- og likørfabrikker og 6% i tobaksfabrikkerne. Fast brændsel anvendes kun til spritfabrikation og udgør under 2% af

modelbranchens bruttoenergiforbrug. Naturgas anvendes i fynsk og østjysk bryggeri, men forventes ikke anvendt foreløbig hos De Forenede Bryggerier.

Bryggerierne har den største energikoefficient af de tre NR-brancher, og da bryggerierne vokser mere end de andre, vil modelbranchens energikoefficient være stigende, og specielt er elkoefficienten på grund af arbejdskraftbesparende elektrisk udstyr steget 2.5 gange fra 1976-86.



Figur 2.1.2. Nydelsesmiddelindustrien

### 2.1.3. ADAM-branche 3: Leverandører til byggeri

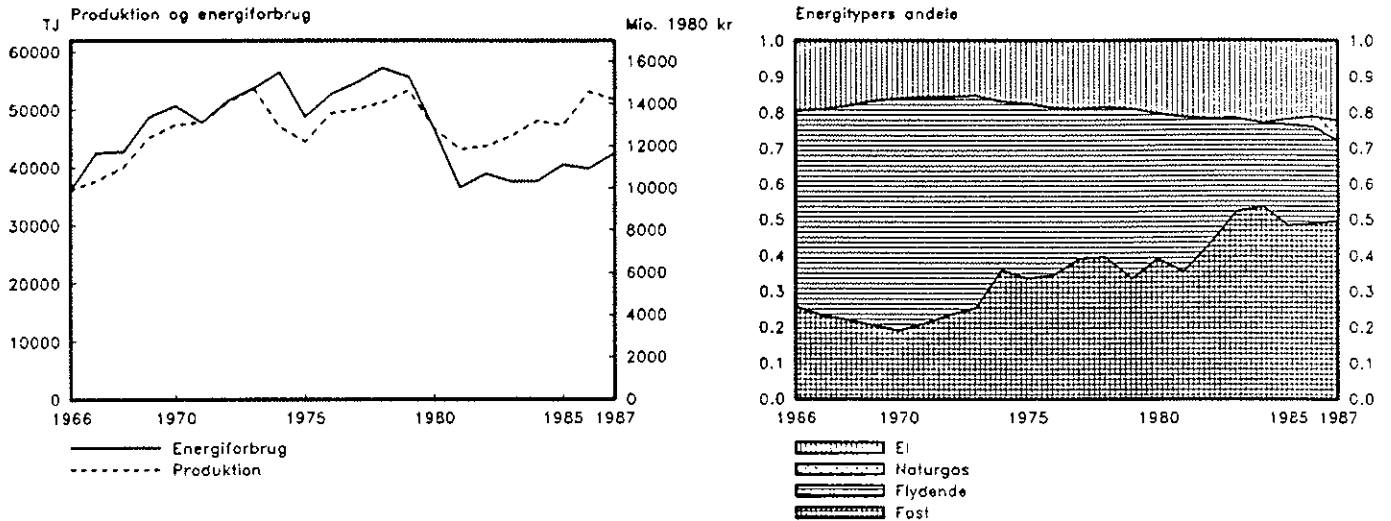
Leverandører til byggeri består af modelbrancherne

- Cementfabrikker
- Teglværker og isoleringsfremstilling
- Restgruppe af øvrige leverandører til byggeri.

Produktionsmæssigt udgør i 1986 "Cementfabrikker" 7% af ADAM-branchens samlede produktion, mod 14% til "Teglværker og isolering", samt 79% til "Øvrige". Energimæssigt har "Cement-

fabrikker" en andel på 32%, "Teglværker og isolering" 26% og 42% til "Øvrige".

Udviklingen i den samlede ADAM-branche er vist på figur 2.1.3.

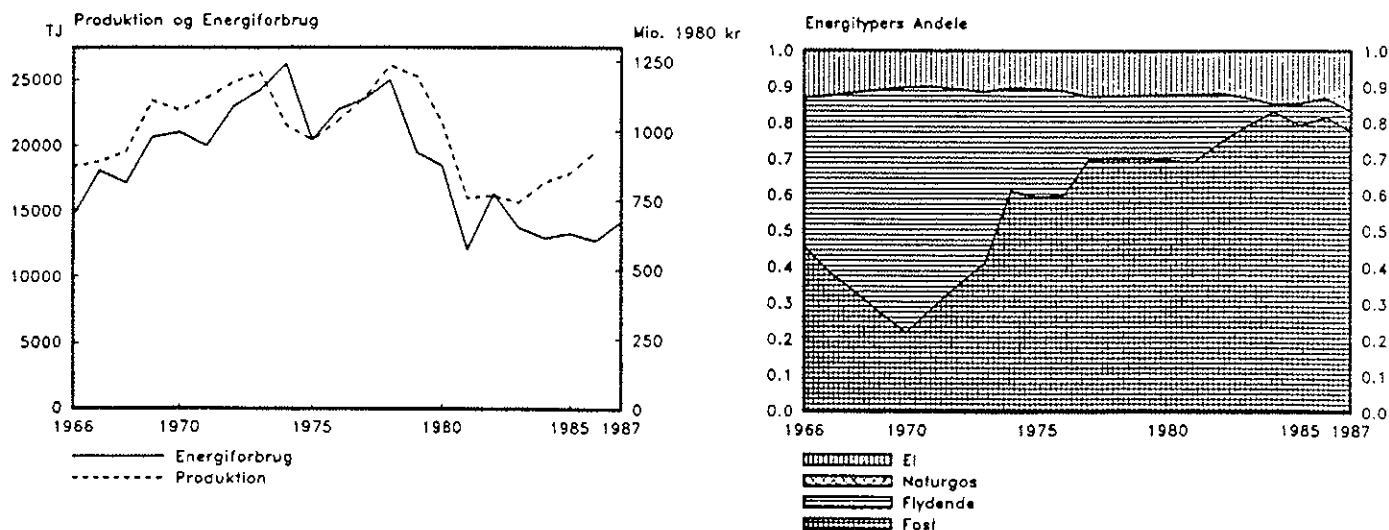


Figur 2.1.3. Leverandører til byggeri

### 2.1.3.1. Cementfabrikker

Branchens energikoefficient er i 1986 13.8 TJ/mio. 1980-kr. og er således langt den mest energiintensive af vore modelbrancher.

Udviklingen i modelbranchen "Cementfabrikker" er vist på figur 2.1.3.1.



Figur 2.1.3.1. Cementfabrikker

Byggekrisen betyder en kraftig produktionsnedgang i branchen i 1979-83, hvilket medfører et tilsvarende fald i branchens bruttoenergiforbrug. Bruttoenergiforbruget ligger herefter nogenlunde konstant på det lavere niveau analyseperioden ud, hvorimod produktionen efter 1983 stiger betydeligt. Denne reduktion i det specifikke energiforbrug hænger sammen med, at man på Aalborg Portlands fabrik Rørdal i Aalborg ved tilsætning af overfladeaktive friktionsreducerende stoffer (ligno-sulfonat) til råmaterialer kan arbejde med et lavere vandindhold i råslammet (før 38%, nu 30% vand), hvilket reducerer energiforbruget til termisk tørring. Endvidere medfører tilsætning af flyveaske, der efter 1985 erstatter hele lerindholdet i råmaterialer til grå cement, en væsentlig energibesparelse.

Brændselssammensætningen ændres markant i perioden efter 1980. Andelen af fuelolie falder efter 1983 til omkring 5% af bruttoenergiforbruget, og fuelolie bruges herefter kun i forbindelse med opstart af ovne. Det reducerede forbrug af flydende brændsel skyldes, at petroleumskoks erstatter olieforbruget ved produktionen af hvid cement. Petroleumskoks er prismæssigt på niveau med kul, men har i modsætning til kul et så lavt askeindhold, at dette ikke misfarver den hvide cement.



Hvid cement udgør omkring 1/4 af produktionen og går primært til eksport. Naturgas anvendes ikke, men naturgas vil teknisk set kunne substituere forbruget af fast og flydende brændsel i cementfabrikationen.

I efteråret 1988 ændres produktionsproces for den grå cement. Vådprocessen erstattes med semitør proces, hvilket reducerer kulforbruget med ca. 20% og øger elforbrugsdelen med ca. 10%. Vådprocesovne, der efter 1988 alene producerer hvid cement, vil i efteråret 1991 være udstyret med varmegenvindingsanlæg, der skal levere fjernvarme til Aalborg Kommune svarende til ca. 15.000 boligers behov.

Egenproduktionen af elektricitet på et 35 MW (kulkondens) nødstrømforsyningsanlæg dækker ca. 20% af elforbruget.

#### Emissioner

SO<sub>2</sub>: Røggasserne fra vådprocesovne er sure, og emissionen af SO<sub>2</sub> svarer nogenlunde til brændslets indhold af svovl. Processen søges styret, så gipsproduktionen minimeres.

Den nye ovn til semitør proces for grå cement har ved foreløbige målinger vist en meget lav SO<sub>2</sub>-emission, hvilket har overrasket teknikere. Det anslås løst, at omkring 75% af svovlen bindes i klinkerne.

Vådprocesanlæggene vil i forbindelse med installation af varmegenvindingsanlæg til fjernvarmelevering blive udstyret med røggasrensningsanlæg, der binder svovl i gips, hvorfor SO<sub>2</sub>-emissionen efter 1991 vil være lille.

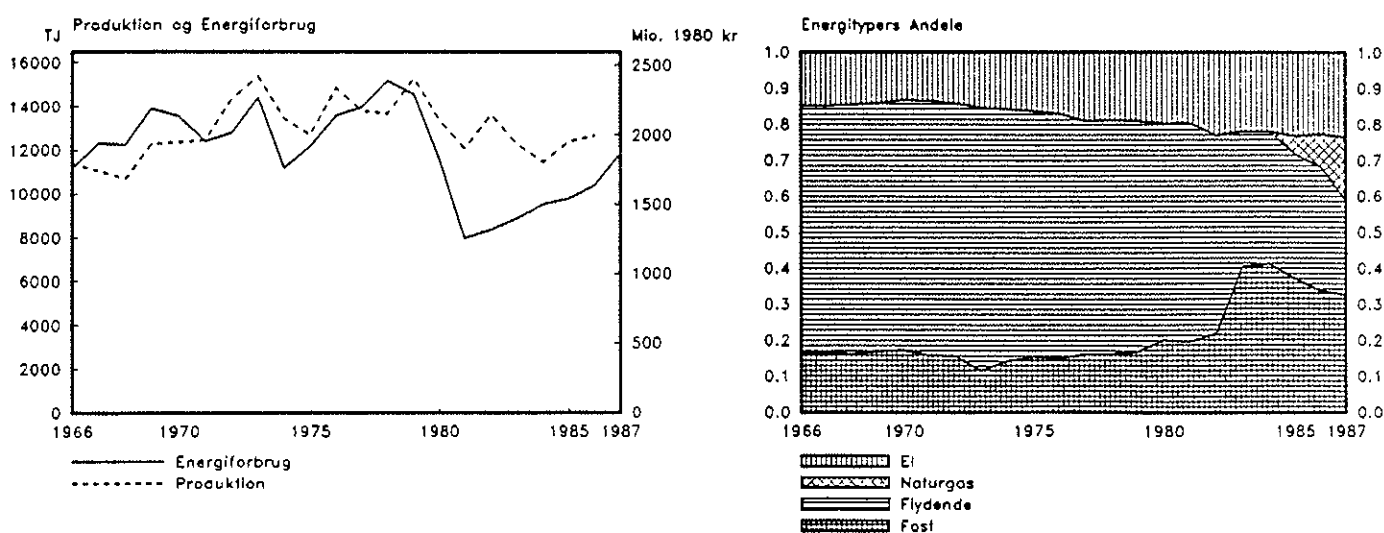
NO<sub>x</sub>: Der gøres forsøg med lav-NO<sub>x</sub>-brænder, der i teorien skulle halvere NO<sub>x</sub>-emissionen. Det forventes at lav-NO<sub>x</sub>-brændere kan være installeret omkring 1991-93.

CO<sub>2</sub>: Under calcinering frigøres CO<sub>2</sub> fra kalken. Kalkforbruget er ca. 140% i forhold til den producerede mængde cement i tørvægt. Med en årlig cementproduktion i området 1,2-1,5

mio. ton emitteres fra calcineringsprocessen ca. 900.000 ton CO<sub>2</sub>/år.

### 2.1.3.2. Teglværker og isoleringsfremstilling

Udviklingen i modelbranchen "Teglværker og isoleringsfremstilling" er vist på figur 2.1.3.2. Branchens energikoefficient var i 1986 5.2 TJ/mio. 1980-kr.



Figur 2.1.3.2. Teglværker og isoleringsfremstilling

Bruttoenergiforbruget i modelbranchen falder kraftigt i perioden 1979-81, hvorefter forbruget stiger jævnt i resten af analyseperioden. Modelbranchens produktion falder også i perioden 1979-81, men dette fald er procentielt ikke så markant som faldet i bruttoenergiforbruget. Det kraftige fald i bruttoenergiforbruget sker over en periode, hvor investeringerne i nybyggeriet i Danmark halveres, og faldet er ligelig fordelt på NR-brancherne "teglværker" og "isoleringsfremstilling m.v.".

Brændselssammensætningen i modelbranchen viser markante ændringer i perioden efter 1980. Især i 1983 ses en betydelig

stigning i andelen af fast brændsel, hvor primært olie substitueres i NR-branchen "Teglværker". Elforbrugsandelen stiger i 1982 til et højere niveau, hvilket bl.a. skyldes, at Superfos Glasuld A/S starter en ny fabrik, der anvender elektrosmelting af råmateriale.

Naturgas vinder indpas fra 1985. I NR-branchen isoleringsfremstilling substituerer naturgas i analyseperioden hele forbruget af flydende brændsel, herunder også forbruget af butangas. Ved denne produktion forventes andelen af fast brændsel, der er koks, og andelen af naturgas at være stort set konstante fremover. På teglværker vinder naturgas kraftigt frem, hvor forbrug af både kul og olie substitueres. Alle teglværker beliggende med adgang til naturgasnettet er i dag gået over til naturgas, og det anslås, at henved 90% af varmebehovet på teglværkerne dækkes med naturgas.

Der er ingen egenproduktion af elektricitet i branchen. Overskudsvarme leveres fra Superfos Glasuld A/S til fjernvarmenettet i Vamdrup.

### Emissioner

SO<sub>2</sub>: På Rockwool A/S udsendes SO<sub>2</sub> svarende til svovlindholdet i koks. Stenmateriale til processen indeholder svovl, men det antages, at svovlbindingen i processen, hvori svovl fra koks indgår, svarer til indholdet i det oprindelige stenmateriale, og SO<sub>2</sub>-udslippet svarer derfor til svovlindholdet i brændslet.

Superfos Glasuld A/S udsender ingen SO<sub>2</sub>.

På teglværkerne emitteres SO<sub>2</sub> svarende til indholdet i brændslet samt en SO<sub>2</sub>-emission, der afgives under brændingen af gule sten. I tørvægt indeholder råmateriale til gule sten 0,023% S, som antages at blive emitteret som SO<sub>2</sub> med røggasserne under brændingen.

Der produceres årligt omkring 500 mio. sten, med en vægt på ca. 2 kg/stk efter brænding, d.v.s.

svovlindholdet (S):

$$S = 500 * 10^6 * 2 * 0,023/100 = 230 \text{ ton S/år}$$
$$\text{Svovldioxid (SO}_2\text{): } 2 * S = 460 \text{ ton SO}_2\text{/år}$$

der emitteres, dersom al svovl frigøres.

Der foretages ingen svovlrensning i branchen.

$\text{NO}_x$ : I forbindelse med fremstilling af isoleringsmaterialer anvendes naturgas under fibreringsprocessen, hvor naturgas afbrændes ved ca.  $300^\circ\text{C}$ . Dette kan betyde en relativt lav  $\text{NO}_x$ -produktion.

På Rockwool A/S emitteres  $\text{NO}_x$  fra koksafbrænding i kupoloven, der fyres med iltunderskud, som formentlig kan sammenlignes med en lav- $\text{NO}_x$ -forbrænding.

På teglværker kan  $\text{NO}_x$ -emission forventes at ligge på et højt niveau, da forbrændingen foregår ved høj temperatur og med luftoverskud. Ovntemperaturen ligger på omkring  $1000^\circ\text{C}$  i brandzonen. Der foreligger ingen tal for denne  $\text{NO}_x$ -produktion.

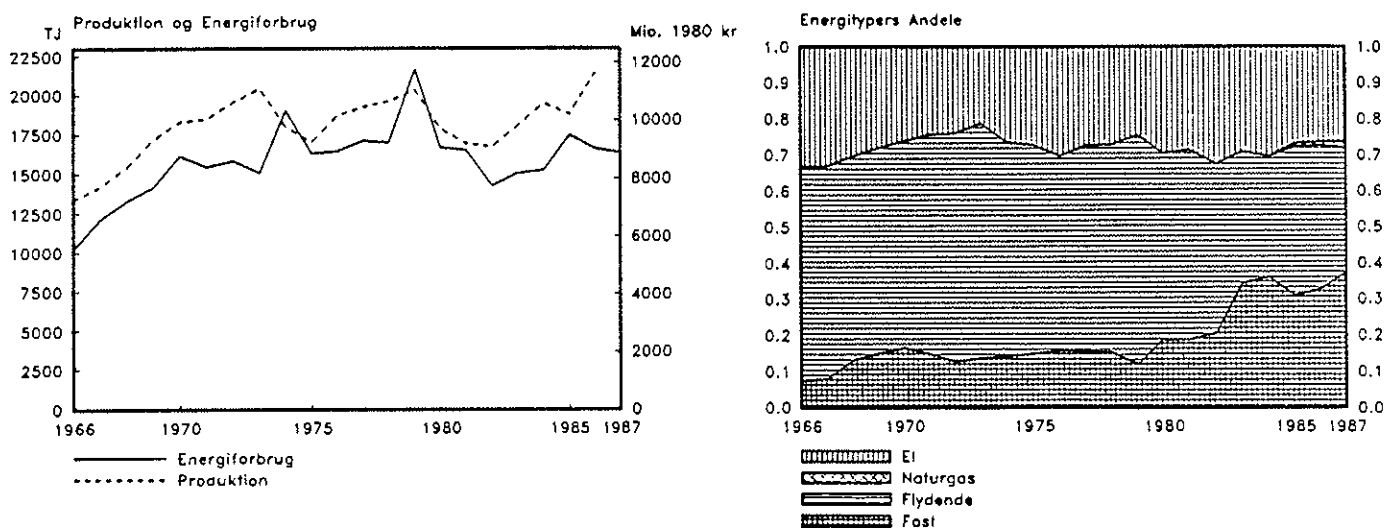
$\text{CO}_2$ : Emissionen i forbindelse med isoleringsfremstilling forventes at følge indholdet i brændslet. Kupolovnen på Rockwool, hvor forbrændingen forløber med underskud af ilt, emitterer endvidere betydelige CO-mængder.

På teglværkerne bidrager kalkindholdet i råmaterialet til gule sten til  $\text{CO}_2$ -emissionen.  $\text{CaCO}_3$ -indholdet i blåler til gule sten opgives af Kalk- og teglværkslaboratoriet til at ligge omkring 20% af tørvægten. D.v.s. at med en produktion på ca. 500 mio. gule sten pr. år vil dette bidrag til  $\text{CO}_2$ -emissionen være ca. 88.000 ton  $\text{CO}_2$ /år.

### 2.1.3.3. Leverandører til byggeri iøvrigt

Modelbranchens bruttoenergiforbrug er i 1987 opgjort til 16342 TJ, og som det ses af figur 2.1.3.3, har branchens energiforbrug varieret omkring dette niveau siden 1970.

Denne modelbranche består af NR-brancherne "Skovbrug" (bruttoenergiforbrug 1987: 117 TJ), "Udvinding af sten, grus og salt m.m." (2661 TJ), "Træforarbejdning ekskl. møbler" (7649 TJ), "Asfalt og tagpapfabrikker m.m." (2783 TJ) samt "Betonvarefabrikker og stenhuggerier" (3133 TJ).



Figur 2.1.3.3. Leverandører til byggeri iøvrigt

Frem til 1982 er brændselssammensætningen relativt konstant med en svagt faldende andel af flydende brændsel. I 1982-83 substitueres godt 1 PJ fuelolie med kul i forbindelse med saltfremstilling, og samtidig sker der en markant stigning i forbruget af fast brændsel inden for træforarbejdningsindustrien. Dette betyder en henvend fordobling af andelen af fast brændsel i branchen og en reduktion i forbruget af flydende brændsel.

Bruttoenergiforbruget i NR-branchen skovbrug udgør under 1% af modelbranchens forbrug, og forbruget er primært flydende brændsel, der anvendes til skovning og transport af tømmer. Energikoefficienten for skovbrug er i 1986 0.17 TJ/mio. 1980-kr.

NR-branchen udvinding af grus, sten og salt m.m. har i 1986 en energikoefficient på 2.15 TJ/mio.1980-kr. og forbruger i 1987 16% af modelbranchens samlede energiforbrug. Godt 60% af NR-branchens energiforbrug er fast brændsel, der anvendes til inddampning af salt. Resten af NR-branchens bruttoenergiforbrug anvendes primært til udgravning og sortering af grus, sten m.v., og dette forbrug er ligeligt fordelt på flydende brændsel og el.

Der produceres i Danmark årligt ca. 600.000 ton salt i form af køkkensalt, kemisk salt og vejsalt. Hele produktionen foregår på virksomheden Dansk Salt I/S, der er beliggende i Assens ved Mariager Fjord. Her udnyttes et 6-trins vakuum-inddampningsprincip, der i sidste trin inddamper salt ved 40°C og 95% vakuum. Afgangsdampen herfra varmeveksles med den indgående saltbrine, hvorefter overskudsvarmen ved en temperatur på ca. 27°C via en varmepumpe udnyttes som fjernvarme til Assens by. Energiforbruget er virksomhedens primære omkostningsfaktor. Virksomheden er næsten selvforsynende med elektricitet fra et ca. 3 MW el kulfyret modtryksværk.

NR-branchen træforarbejdning ekskl. møbler forbruger ca. 47% af modelbranchens samlede energiforbrug i 1987, og energikoefficienten i 1986 er 1.7 TJ/mio. 1980-kr. Energianvendelserne i denne NR-branche er opskæring af råtræ, tørring, udskæring af lægder, spær m.v. samt produktion af spånplader, finer m.v.

Fast brændsel dækker i 1987 55% af NR-branchens bruttoenergiforbrug, og brændslet er udelukkende overskudstræ. Træ udgør således 26% af det samlede bruttoenergiforbrug i modelbranchen "Leverandører til byggeri iøvrigt", og fast brændsel i alt dækker 37%.

Egenproduktion af el foregår hos Junckers Industri og Novopan, hvor to træfyrede udtagsværker tilsammen har en installeret effekt på ca. 12 MW el. Novopan leverer fjernvarme til 235 forbrugere. Kul anvendes som nævnt ikke i denne NR-branche, og naturgasforbruget er lavt - ca. 0.2% i 1987.

NR-branchen asfalt og tagpapfabrikker m.m. anvender i 1987 17% af modelbranchens bruttoenergiforbrug og er med en energikoefficient på ca. 3 TJ/mio. 1980-kr. i 1986 den mest energiintensive i modelbranchen. Flydende brændsel udgør i 1987 75% af forbruget, 22% er el, og naturgas dækker ca. 3% af bruttoenergiforbruget.

Asfaltindustrien består af relativt mange produktionsanlæg spredt over landet oftest beliggende nær grusforekomster, der foruden bitumen udgør råmaterialet til asfaltfremstilling. Energianvendelsen er primært tørring af stenmaterialet og opvarmning af bitumen til maksimum ca. 180°C samt gravning, blanding m.v. Asfalt skal ved udlægning have en temperatur over ca. 130°C.

Erstatning af bitumen i asfalt med en vandbaseret bitumenemulsion kan spare energiforbrug til tørring, men bl.a. uafklarede arbejdsmiljøforhold er afgørende for, om dette produkt vil blive anvendt.

NR-branchen betonvarefabrikker og stenhuggerier anvender i 1987 19% af modelbranchens energiforbrug, og energikoefficienten i 1986 er ca. 0.6 TJ/mio. 1980-kr. Ca. 90% af bruttoenergiforbruget i 1987 er ligeligt fordelt på el og flydende brændsel, og det resterende energiforbrug er ligeligt fordelt på fast brændsel og naturgas.

Som helhed i modelbranchen "Leverandører til byggeri iøvrigt" forventes ingen markante ændringer i energiforbrugsmønstret fremover. Andelen af fast brændsel forventes at ligge nogenlunde på det niveau, der er set siden 1983. Mulighederne for anvendelse af naturgas begrænses af, at mange af modelbranchens virksomheder ikke er beliggende ved naturgasnettet.

Desuden er en væsentlig del af branchens energianvendelse mekanisk arbejde, og de store varmebehov i træindustrien udnytter som nævnt overskudstræ. Der forventes derfor ingen betydelig stigning i forbrugsandelen for naturgas i branchen.

#### 2.1.4. ADAM-branche 4: Jern- og metalindustrien

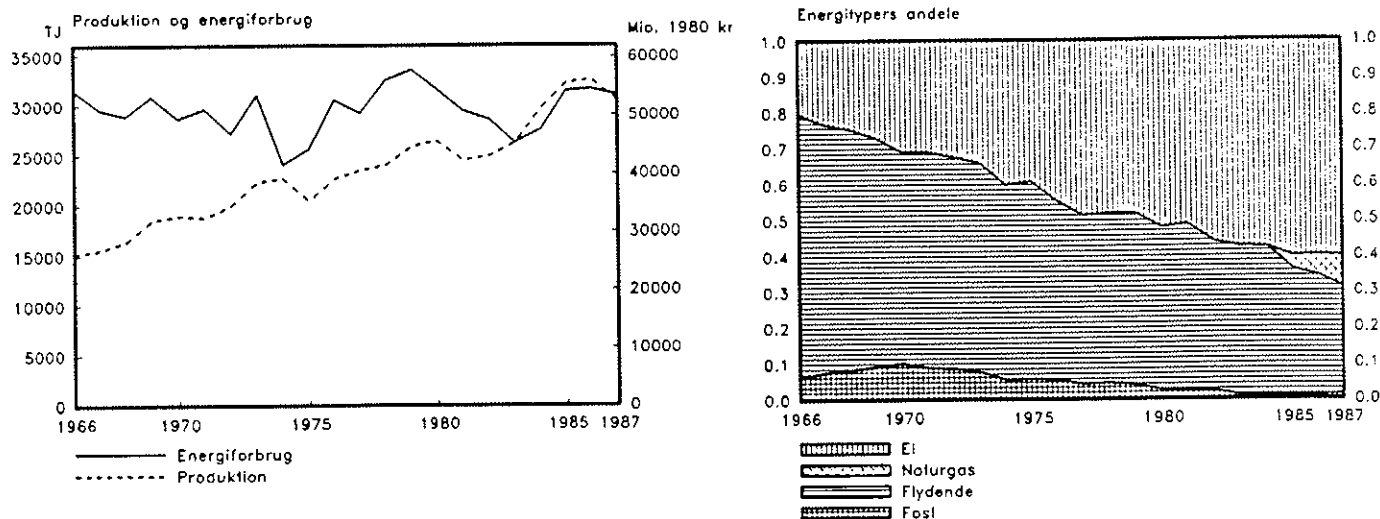
Jern- og metalindustrien består af modelbrancherne

- Jern- og stålværker
- Jernstøberier, metalværker og -støberier
- Jern- og metalvareindustrien iøvrigt.

Modelbranchernes andel af ADAM-branchens produktion er henholdsvis 2%, 3% og 95%. Jern- og stålværker dækker 20% af bruttoenergiforbruget og har en energikoefficient på 4.69 TJ/mio. 1980-kr. "Jernstøberier og metalværker og -støberier" dækker 8% af bruttoenergiforbruget og har en energikoefficient på 1.53 TJ/mio. 1980-kr. i 1986. De resterende 72% af ADAM-branchens energiforbrug, der er samlet i modelbranchen "Jern- og metalvareindustrien iøvrigt", har i 1986 energikoefficienten 0.43 TJ/mio. 1980-kr.

Udviklingen i den samlede ADAM-branche er vist på figur 2.1.4.





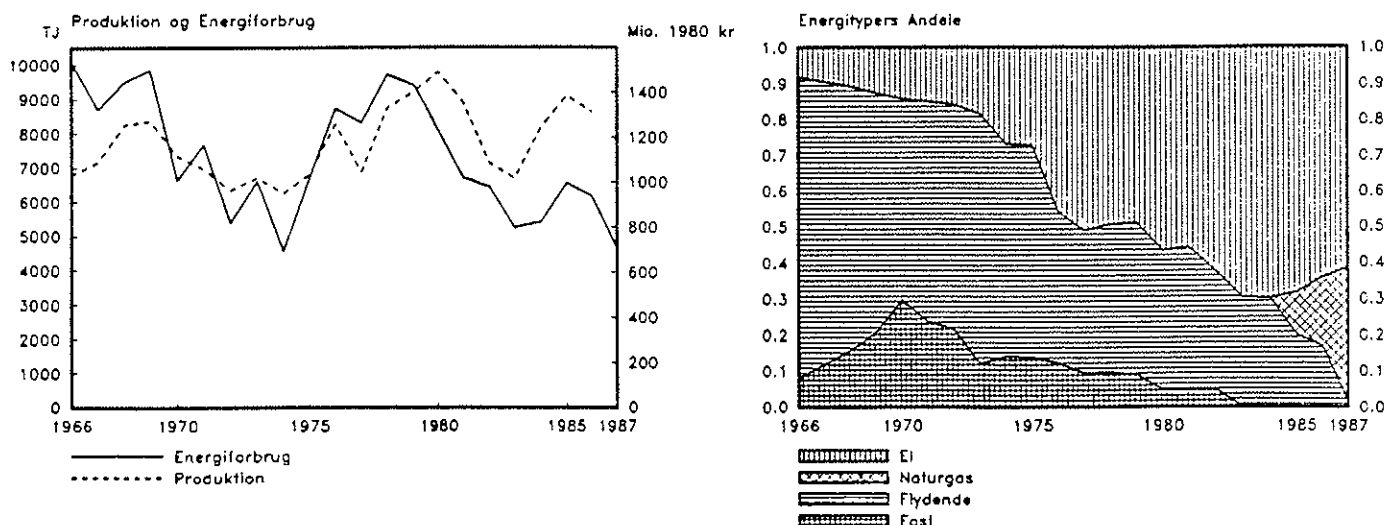
Figur 2.1.4. Jern- og metalindustrien

### 2.1.4.1. Jern- og stålværker

Denne modelbranche svarer til NR-branchen "Jern- og stålværker" og omfatter først og fremmest Det danske Stålvalseværk. Branchens bruttoenergiefficient er i 1986 4.7 TJ/mio. 1980-kr., hvor den samlede industris energikoefficient er 0.84 TJ/mio. 1980-kr.

Efter 1980, hvor det gamle stålværk med tilhørende anlæg blev endeligt lukket, er der sket stadige forbedringer af produktiviteten på stålværket, der nu kun smelter med el-lysbueovne. Det har medført store reduktioner i arbejdsstyrken, men også et lille fald i bruttoenergiefficienten på grund af bedre udnyttelse af produktionsanlæggene.

Som det fremgår af figur 2.1.4.1., er de største ændringer dog sket i fordelingen mellem energityperne. Fast brændsel faldt helt væk fra 1981. Olieandelen har været konstant faldende og blev fra 1985 i stigende grad erstattet af gas. Efter 1989 vil energiforbruget i alt væsentligt kun bestå af el og gas.



Figur 2.1.4.1. Jern- og stålværker

2.1.4.2. Jernstøberier, metalværker og metalstøberier

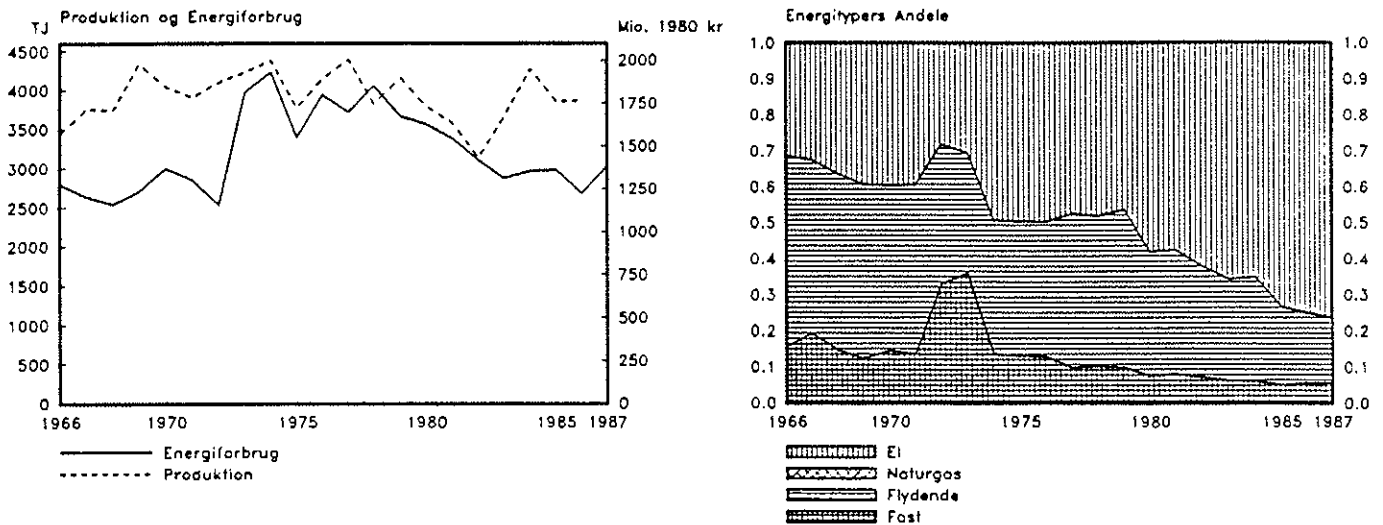
Denne modelbranche består af de tre NR-brancher "Jernstøberier", "Metalværker" og "Metalstøberier".

NR-branchernes andele af produktionsværdien og bruttoenergiforbrug i 1980 og 1986 var:

|                | 1980         |                | 1986         |                |
|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|
|                | Produktion % | Bruttoenergi % | Produktion % | Bruttoenergi % |
| Jernstøberier  | 33           | 58             | 38           | 70             |
| Metalværker    | 46           | 29             | 42           | 15             |
| Metalstøberier | 21           | 13             | 20           | 15             |
|                | 100          | 100            | 100          | 100            |

Af tabellen ses, at specielt metalværkernes energiforbrug er faldet meget mere end produktionen. Det skyldes lukning af energiintensive virksomheder som Bergsøe og Det kgl. Mønts støberi.

Af figur 2.1.4.2. ses, at modelbranchens produktionsværdi har været temmelig konstant, men at bruttoenergiforbruget er faldet stærkt fra 1978, hvor energikoefficienten var 2.32 TJ/mio. 1980-kr. til 1986, hvor energikoefficienten kun var 1.52 TJ/mio. 1980-kr.



Figur 2.1.4.2. Jernstøberier m.v.

Ændringerne skyldes udelukkende, at energikoefficienten for fast og flydende brændsel er faldet til 1/3 fra 1978, mens el-energikoefficienten har været næsten konstant over perioden, skønt stærkt el-intensive virksomheder som Varde stålværk, der smeltede med el-lysbue, og Den kgl. Mønts støberi, der smeltede med el-induktion, er lukket. De øvrige virksomheder har øget deres el-intensitet, således at den samlede ændring for modelbranchen er en stigning på 2%.

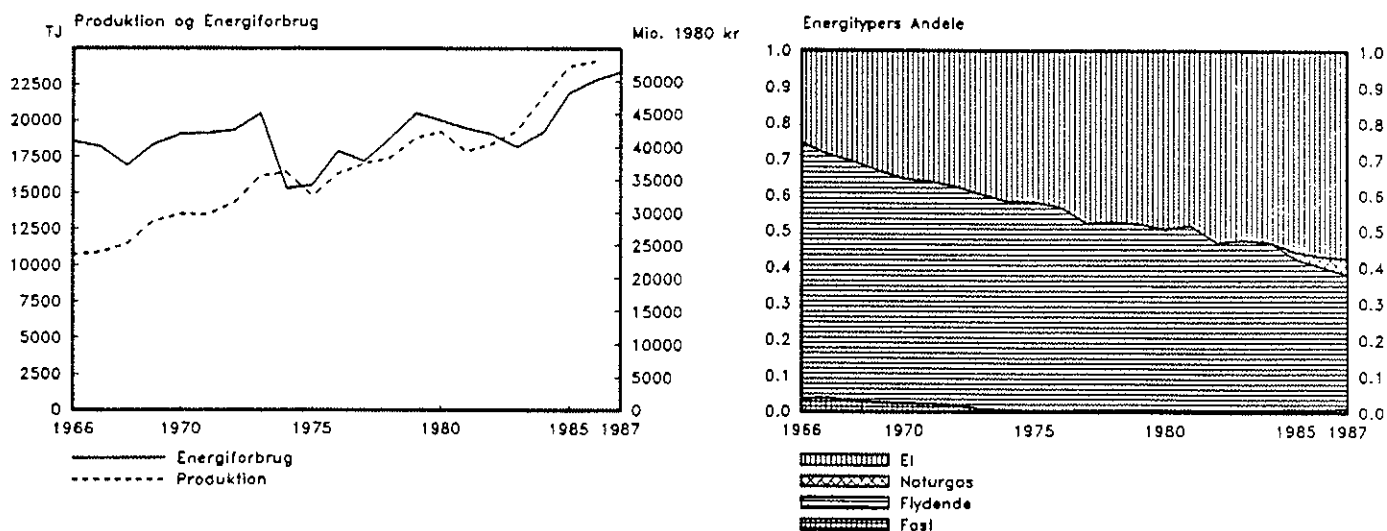
Jernstøberierne overgang til el-smeltning er fortsat i de senere år, således at 80% af denne branches energiforbrug nu er el, men der bibeholdes dog stadig enkelte koksfyrede kupolovne.

Metalværkerne og metalstøberierne har også haft en stigende el-andel, men ca. 1/3 af energiforbruget i de to brancher er dog stadig olie.

Naturgas anvendes næsten ikke i nogen af de tre NR-brancher.

### 2.1.4.3. Jern- og metalvareindustrien iøvrigt

Modelbranchen består af 14 NR-brancher. Energikoefficienten for modelbranchen er i 1986 kun 0.43 TJ/mio. 1980-kr. mod 0.84 TJ/mio. 1980-kr. for industrien som helhed. Som det fremgår af figur 2.1.4.3., har branchen haft en ret jævn produktionsudvikling, men kraftige fald i energikoefficienten i 1974 og 1983 som følge af prisforhøjelserne. Det har specielt været energikoefficienterne for fast og flydende brændsel, der er faldet, mens el-energikoefficienten har været ret stabil. Som følge heraf udgør el en stigende andel af energiforbruget.



Figur 2.1.4.3. Jern- og metalindustri iøvrigt

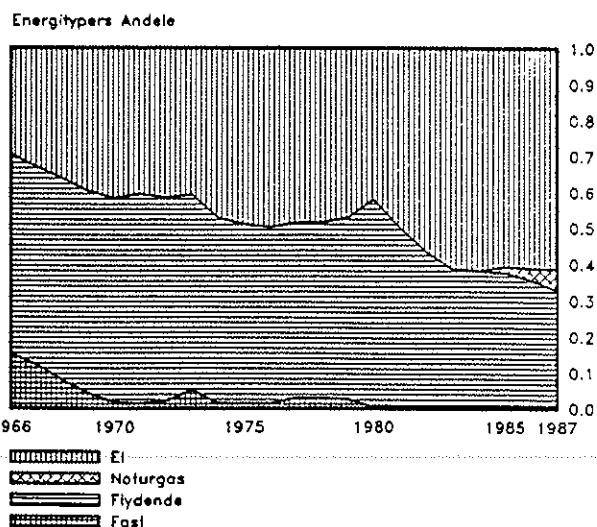
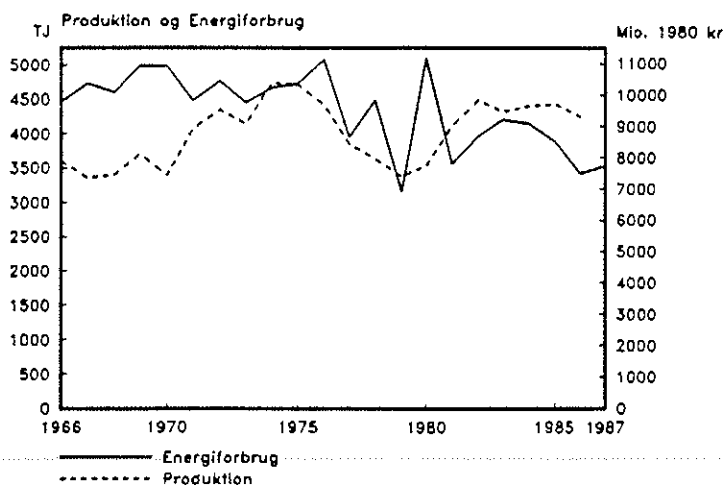
### 2.1.5. ADAM-branchen 5: Transportmiddelindustri

Modelbranchen omfatter de tre NR-brancher "Skibsværfter og skibsmotorfabrikker", "Banemateriel og karosserifabrikker m.v." og "Cykler og knallerter m.v.". Bruttoenergikoefficienten for modelbranchen er kun 0.37 TJ/mio. 1980-kr. mod 0.84 TJ/mio. 1980-kr. for industrien som helhed i 1986.

De tre NR-brancher har næsten samme lave energikoefficient, og deres andel af produktionsværdien svarer derfor til deres andel af energiforbruget.

Modelbranchens produktionssammensætning er:

|                                      |     |       |
|--------------------------------------|-----|-------|
| Jernskibsværfter                     | 50% |       |
| Skibsmotorfabrikker                  | 12% |       |
| Træskibsværfter og bådbyggeri        | 6%  |       |
| Andet skibsmateriel                  | 3%  |       |
| <hr/>                                |     |       |
| Skibsværfter og skibsmotorfabrikker  |     | 71%   |
| <br>                                 |     |       |
| Bilkarosserier, lad- og påhængsvogne | 15% |       |
| Bilindustri iøvrigt                  | 5%  |       |
| Banemateriel m.v.                    | 5%  |       |
| <hr/>                                |     |       |
| Banemateriel og Karosserifabrikker   |     | 25%   |
| <br>                                 |     |       |
| Cykler, barnevogne                   | 4%  |       |
| Knallerter                           | 0%  |       |
| <hr/>                                |     |       |
| Cykler og knallerter                 |     | 4%    |
|                                      |     | <hr/> |
|                                      |     | 100%  |



Figur 2.1.5. Transportmiddelindustri

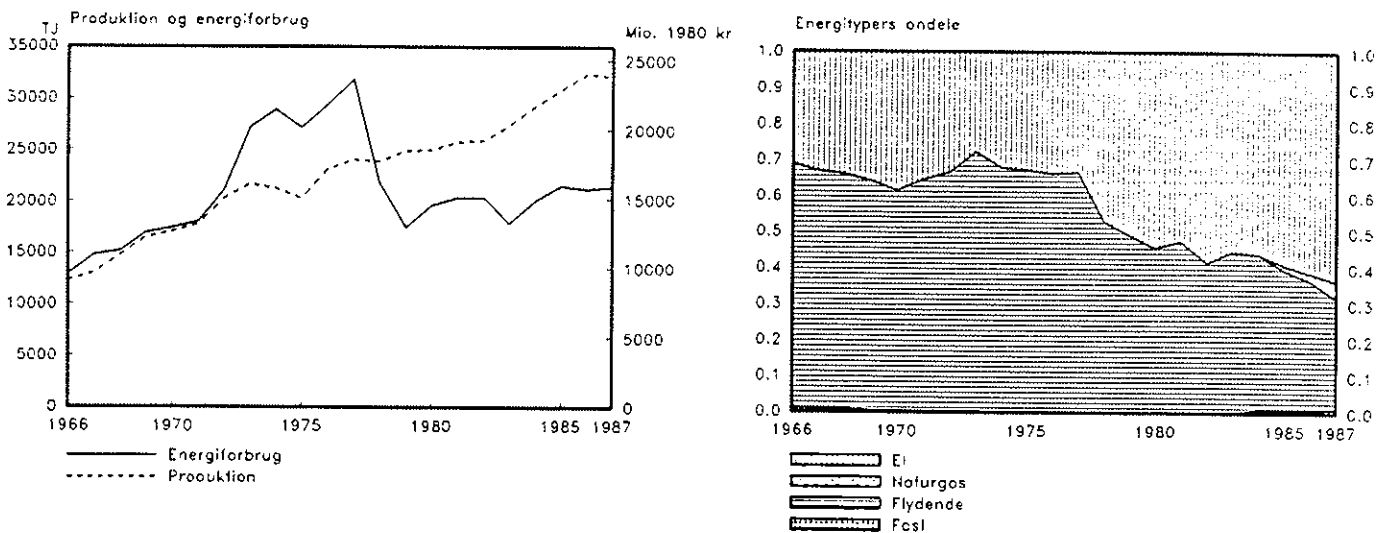
### 2.1.6. ADAM-branche 6: Kemisk industri

Kemisk industri er opdelt i modelbrancherne

- Kemiske råstoffer og gødning
- Kemisk industri iøvrigt.

Modelbranchernes andel af ADAM-branchens produktion er henholdsvis 18% og 82%. Modelbranchen "Kemiske råstoffer og gødning" dækker 38% af bruttoenergiforbruget og har en energikoefficient på 1.88 TJ/mio. 1980-kr. i 1986. De resterende 62% af ADAM-branchens energiforbrug er samlet i modelbranchen "Kemisk industri iøvrigt", der i 1986 har energikoefficienten 0.66 TJ/mio. 1980-kr.

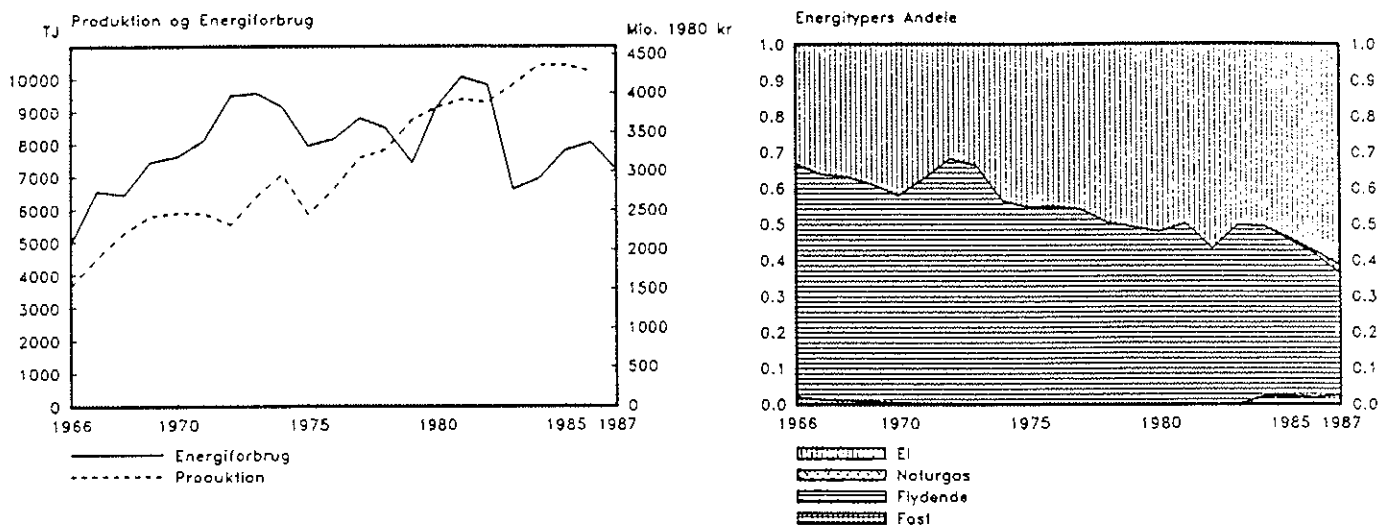
Udviklingen i den samlede ADAM-branche er vist på figur 2.1.6.



Figur 2.1.6. Kemisk industri

### 2.1.6.1. Kemiske råstoffer og gødning

Modelbranchen består af de to NR-brancher "Kemiske råstoffer" og "Kunstgødning m.v.". Som det fremgår af figur 2.1.6.1., er modelbranchens produktionsværdi steget gennem årene, hvorimod energiforbruget og dermed energikoefficienten har varieret.



Figur 2.1.6.1. Kemiske råstoffer og gødning

De to NR-brancher har udviklet sig noget forskelligt, og for dem begge sker der ret pludseligt et fald i energikoefficient, men på forskelligt tidspunkt.

|                   |         |  |
|-------------------|---------|--|
| Kemiske råstoffer | 1966-82 | energikoefficient $2.8 \pm 0.5$ TJ/mio. 1980-kr. |
|                   | 1983-86 | energikoefficient $1.8 \pm 0.2$ TJ/mio. 1980-kr. |
| Kunstgødning      | 1966-76 | energikoefficient $4.2 \pm 0.9$ TJ/mio. 1980-kr. |
|                   | 1977-86 | energikoefficient $2.0 \pm 0.9$ TJ/mio. 1980-kr. |

Begge NR-brancher indeholder såvel energiintensive som andre produkter, idet "Kemiske råstoffer" foruden industrielle gasser og egentlige råstoffer omfatter vitaminer og enzymer, mens "Kunstgødning" omfatter såvel kunstgødning som sprøjtemidler. De ovenfor nævnte fald i energikoefficienter må

opfattes som forskydninger indenfor brancherne mod de mindre energikrævende produkter.

For modelbranchen som helhed er det olie-energikoefficienten, der er faldet, mens el-energikoefficienten er ret stabil.

Udover de emissioner, der kommer fra branchens energiforbrug, er der en emission af  $\text{SO}_2$  fra svovlsyrefabrikationen. Her brændes fast svovl til  $\text{SO}_2$ , der derefter iltes videre til  $\text{SO}_3$ . Svovl optræder altså som et energiråstof med en brændværdi på ca. 37% af kulstofs ( $\text{S} \rightarrow \text{SO}_3$ ). Selv om forbrændingsvarmen udnyttes til fremstilling af procesdamp og fjernvarme, optræder svovl ikke i energibalancerne. Under processen optræder et lille tab af  $\text{SO}_2$ , der i 1987 er beregnet til 504 t/år.

Ved fremstilling af salpetersyre, hvor ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) forbrændes med ilt til  $\text{NO}_2$ , udnyttes forbrændingsvarmen på tilsvarende vis. Tabet af  $\text{NO}_x$  ved processen er i 1987 beregnet til 735 t. Selv om fabrikationen i Grenå, der stod for 10% af den danske produktion, blev lukket i marts 1990, forudsættes den danske produktion uændret.

#### 2.1.6.2. Kemisk industri iøvrigt

Bruttoenergiforbruget i denne modelbranche er 14151 TJ i 1987, og energikoefficienten i 1986 er 0.66 TJ/mio. 1980-kr.

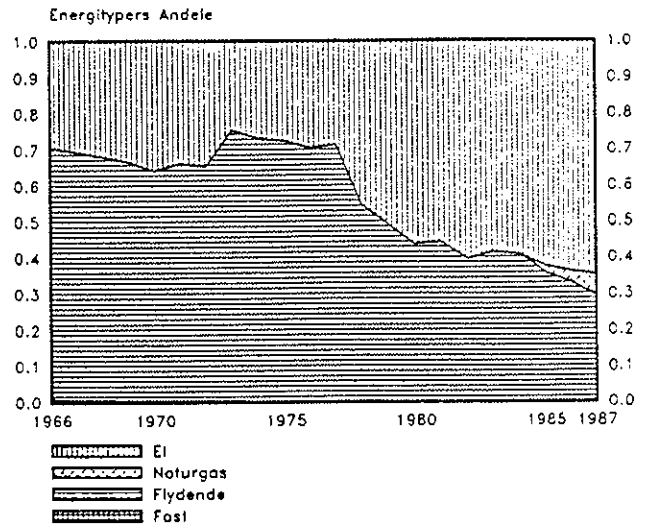
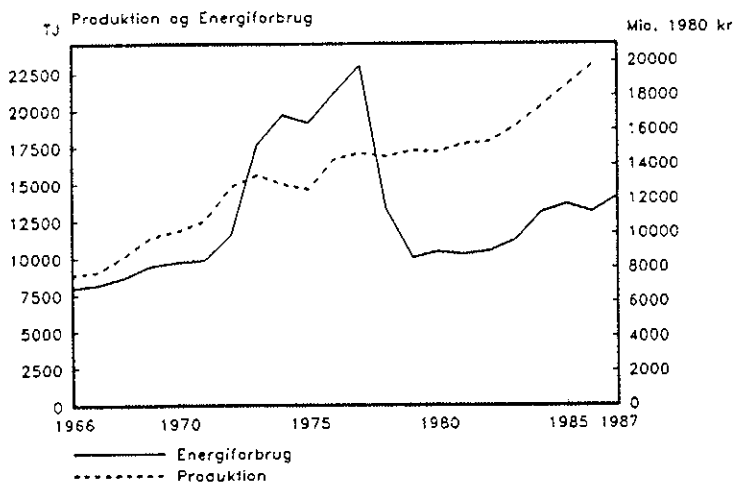
Modelbranchen indeholder 10 NR-brancher. Nedenstående tabel viser energikoefficienter for 1986 og bruttoenergiforbrug i 1987 for de underliggende NR-brancher.

Udviklingen i branchen er vist på figur 2.1.6.2.



Tabel 2.1.6.2. Energikoefficienter og energiforbrug i NR-brancherne under modelbranchen "Kemisk industri iøvrigt"

| NR-branche                        | energikoefficient<br>i 1986<br>TJ/mio. 1980-kr. | energiforbrug<br>i 1987<br>TJ | %          |
|-----------------------------------|---|-------------------------------|------------|
| Fremstilling af basisplast m.v.   | 0.69  | 2851                          | 20         |
| Farve- og lakfabrikker            | 0.35  | 481                           | 3          |
| Medicinalvarefabrikker            | 0.84  | 3257                          | 23         |
| Sæbe- og kosmetikfabrikker        | 0.37  | 593                           | 4          |
| Fremstilling af rensedmidler m.v. | 0.29  | 233                           | 2          |
| Vulkaniseringsanstalter           | 0.93  | 272                           | 2          |
| Gummifabrikker                    | 1.71  | 1015                          | 7          |
| Fremstilling af plastvarer        | 0.80  | 4043                          | 29         |
| Guld- og sølvvarefremstilling     | 0.46  | 171                           | 1          |
| Fremstilling af legetøj m.v.      | 0.39  | 1234                          | 9          |
| <b>Kemisk industri iøvrigt</b>    | <b>0.66</b>                                     | <b>14151</b>                  | <b>100</b> |



Figur 2.1.6.2. Kemisk industri iøvrigt

Den store stigning i energiforbruget i perioden 1973-75 skyldes, at Pyrolyseværket statistisk blev flyttet fra "Olieraffinaderier" til "Fremstilling af basisplast" i 1973. Værket opførte med at producere i 1977-78.

Bortset fra denne store og enkeltstående forbrugsstigning af især flydende brændsel har andelen af flydende brændsel i branchen været trendmæssigt faldende over analyseperioden, og elforbrugsandelen har tilsvarende været voksende. Forbruget af fast brændsel ligger meget lavt og er ca. 0.2% i 1987.

De karakteristiske varmekonsum i branchen ligger på processer som opvarmning, destillation, smeltning, inddampning og tørning. Elanvendelserne angår primært motorkraft generelt samt køling, pumpning, procesvarme og belysning.

Naturgas udgør i 1987 ca. 6% af branchens bruttoenergiforbrug og har primært fortrængt flydende brændsel. Der er intet, der tyder på, at naturgassens indtrængen i branchen er tilendebragt.

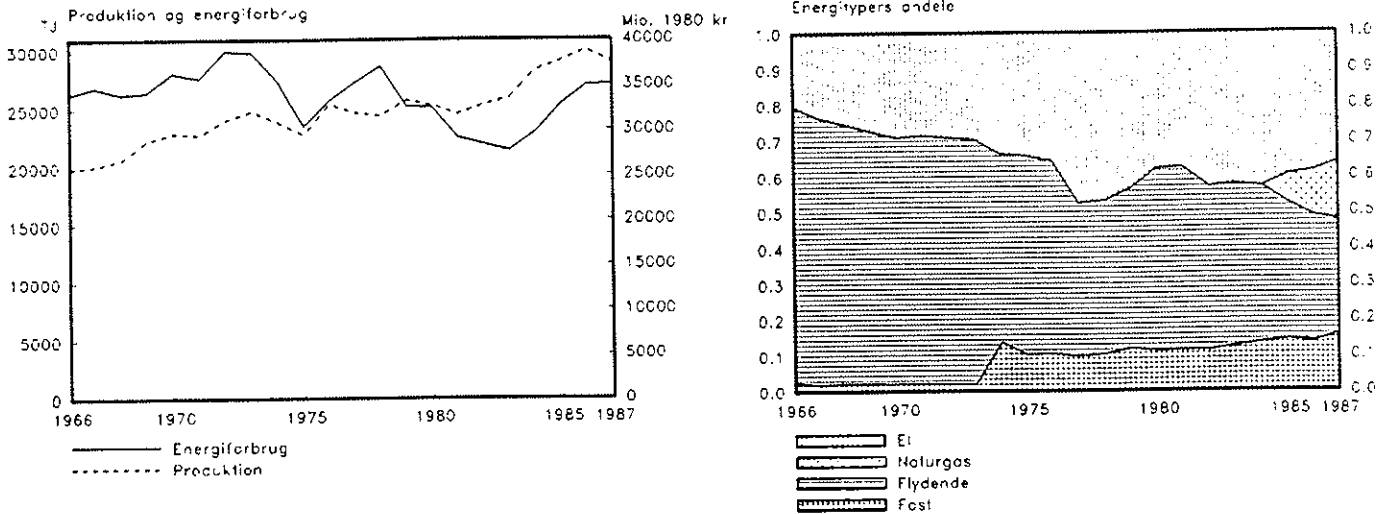
#### 2.1.7. ADAM-branche 7: Anden fremstillingsvirksomhed

Anden fremstillingsvirksomhed består af modelbrancherne

- Papir - og papfabrikker
- Keramik og glasfremstilling
- Anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt.

Af ADAM-branchens samlede produktion i 1986 udgør "Papir- og papfabrikker" ca. 3%, "Keramik og glasfremstilling" ca. 3%, og "Anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt" ca. 94%. Energimæssigt har "Papir- og papfabrikker" en andel på ca. 26%, "Keramik og glasfremstilling" ca. 11% og "Anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt" ca. 63%.

Udviklingen i den samlede ADAM-branche er vist på figur 2.1.7.



Figur 2.1.7. Anden fremstillingsvirksomhed

### 2.1.7.1. Papir- og papfabrikker

Modelbranchen er den samme som NR-branchen.

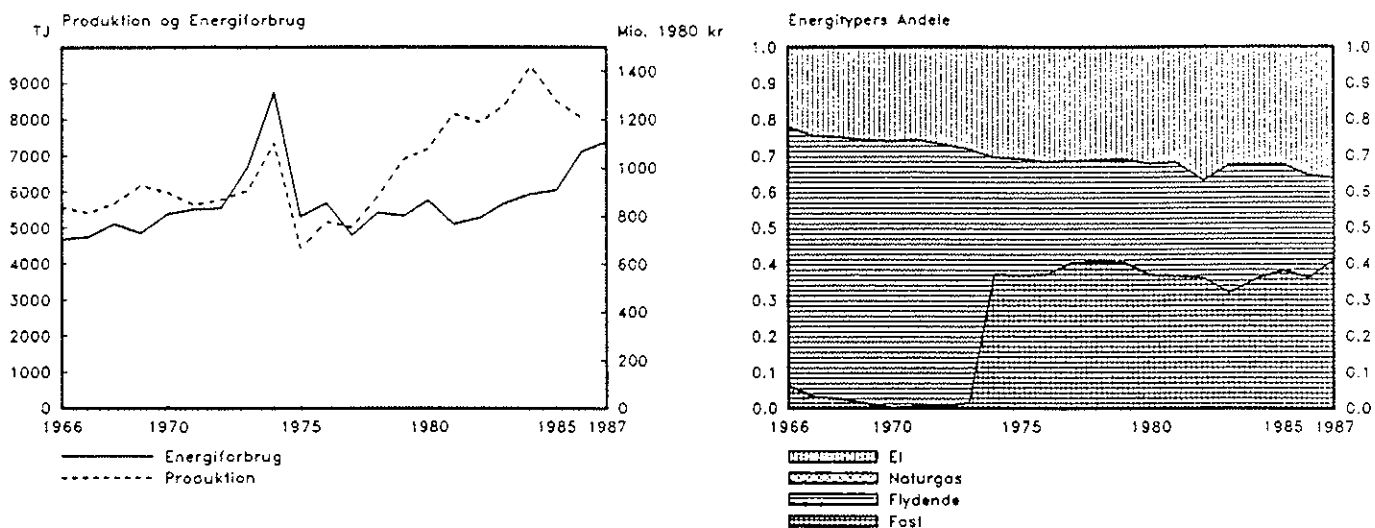
Branchen har haft en ret konstant energikoefficient i de seneste ti år, hvor energikoefficienten har været  $5.3 \pm 1.1$  TJ/mio. 1980-kr. (1977-86).

Som det fremgår af figur 2.1.7.1., har også fordelingen mellem kul, olie og el været næsten den samme siden 1974. Naturgas anvendes ikke i denne branche.

### 2.1.7.2. Keramik og glasfremstilling

Modelbranchen består af to NR-brancher "Fremstilling af porcelæn og keramik" og "Glasværker og glasbearbejdning".

Bruttoenergiefficienten i 1986 er for "Porcelæn og keramik" 1.55 TJ/mio. 1980-kr. og for "Glasværker og glasbearbejdning" 2.89 TJ/mio. 1980-kr.



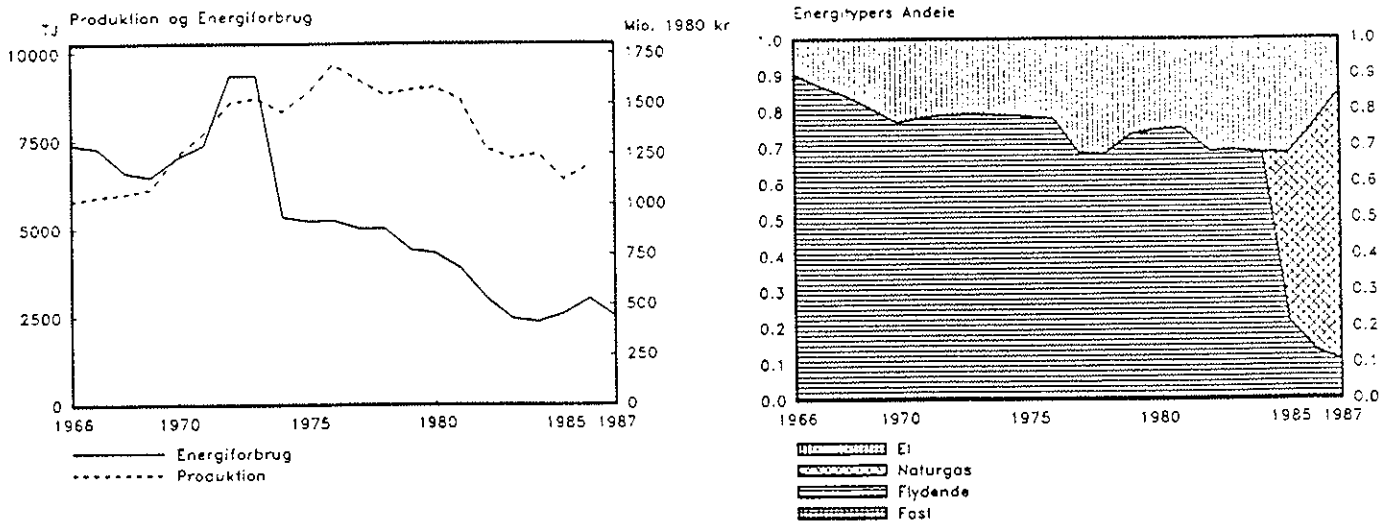
Figur 2.1.7.1. Papir- og papfabrikker

Sidstnævnte branche består foruden de energikrævende glasværker også af glasbearbejdning og fremstilling af termoruder af importerede glastruder, hvilket ikke er særlig energiforbrugende.

Faldet i produktionsværdi, der fremgår af figur 2.1.7.2., skyldes overvejende et fald i produktionen af porcelæn og keramik. Da energikoefficienten for denne branche har været ret konstant, har der været et tilsvarende fald i energiforbruget. Denne NR-branche anvender således:

|          |     |
|----------|-----|
| Olie     | 22% |
| Bygas    | 17% |
| Naturgas | 31% |
| El       | 30% |

Bygas, der nu fremstilles af naturgas eller letbenzin, anvendes overvejende på Den kgl. Porcelænsfabrik, der også anvendte bygas, da den var kulbaseret.



Figur 2.1.7.2. Keramik og glasfremstilling

"Glasværker og glasbearbejdning" har haft en stabil produktion og faldende energikoefficient. Fordelingen mellem energiarterne er:

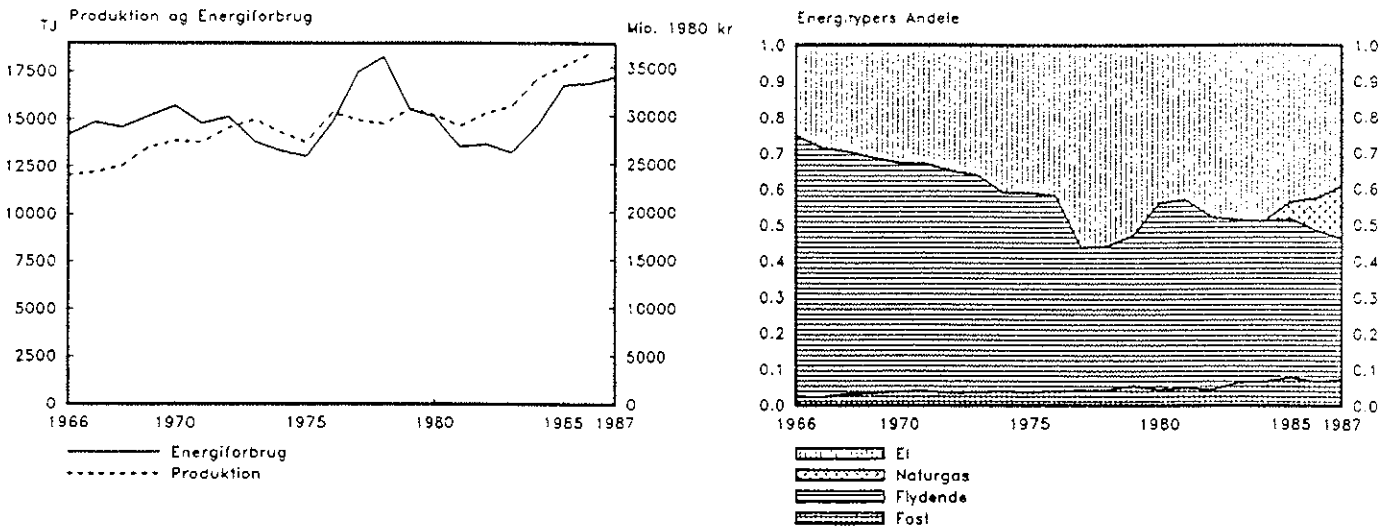
|          |     |
|----------|-----|
| Olie     | 4%  |
| Naturgas | 85% |
| El       | 11% |

Specielt Holmegårds Glasværks fuldstændige overgang til naturgas fra 1985 har påvirket denne NR-branche.

### 2.1.7.3. Anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt

Denne modelbranche består af 18 NR-brancher, der bl.a. omfatter tekstil-, lædervare-, møbel- og trykkerivirksomheder. Branchen er produktions- og energiforbrugsmæssigt stor, men har en relativt lav energikoefficient på ca. 0.46 TJ/mio. 1980-kr. i 1986, og energiforbrugene ligger på meget forskelligartede processer.

Udviklingen i denne modelbranche er vist på figur 2.1.7.3.



Figur 2.1.7.3. Anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt

De største energiforbrug ligger i NR-brancherne "Spinderier, væverier og tæppefabrikker", "Fremstilling af træmøbler m.v.", og "Papiremballage- og tapetfremstilling m.v.", der henholdsvis anvender ca. 23%, 17% og 16% af modelbranchens bruttoenergiforbrug i 1987. Disse brancher er tillige de mest energitunge, og de tilsvarende energikoefficienter for 1986 er henholdsvis 1.3, 0.52 og 0.75 TJ/mio. 1980-kr.

De gennemgående varmeforbrugende processer i branchen er tørning, opløsnings- og opslemningsprocesser og kogning. Elforbruget ligger primært på motorkraft generelt samt ventilatorer, belysning og trykluft.

Produktionen har været stigende i modelbranchen siden 1981, og bruttoenergiforbruget viser en betydelig stigning efter 1983, som det ses af figur 2.1.7.3. Forbruget af fast brændsel udgør godt 7% af modelbranchens bruttoenergiforbrug. Dette forbrug er lokaliseret i NR-branchen "Fremstilling af træmøbler m.v." og er udelukkende overskudstræ.

Naturgassen udgør i 1987 ca. 15% af modelbranchens bruttoenergiforbrug. De store forbrug ligger i NR-brancherne "Papiremballage- og tapetfremstilling" og "Spinderier, væverier og

tæppefabrikker", der henholdsvis anvender ca. 60% og 33% af modelbranchens samlede naturgasforbrug i 1987. Naturgassen substituerer primært flydende brændsel.

## 2.2. Reestimation af modellen

### 2.2.1. Indledning

På grundlag af gennemgangen i afsnit 2.1 samt en datamæssig opdatering til 1985 er modellen blevet reestimeret på perioden 1966-1985. Som udgangspunkt er modellens relationer blevet reestimeret uden ændringer i specifikationen, men i enkelte tilfælde, hvor variable blev insignifikante, er disse ekskluderet i de nye relationer, ligesom der i enkelte tilfælde er inkluderet yderligere variable, primært dummy-variable, der udfra gennemgangen i afsnit 2.1 synes relevante.

Af generelle modelændringer skal nævnes, at transport-energi ikke længere behandles som en separat energitype, d.v.s. estimationsmæssigt opereres med 2 energityper: el og andet (fossile brændsler og fjernvarme). Ved hjælp af supplerende analyser og antagelser splittes typen andet modelmæssigt op i typerne: fast brændsel, naturgas og flydende brændsel iøvrigt, men der estimeres ikke særskilte relationer for hver af disse energityper.

I det følgende afsnit vil de overordnede estimationsresultater for typerne el og andet blive gennemgået og sammenlignet med tidligere estimationer. De modelmæssige antagelser angående udviklingen i forbruget af fast brændsel og naturgas er behandlet i afsnit 3.6, og en total listning af de estimerede relationer findes i bilag 1 "Modellens stokastiske relationer".

### 2.2.2. Overordnede resulater af reestimation af modellen

Overordnet kan modellen delvist beskrives ved de produktions- og energipriselasticiteter, der er estimeret for modellens enkelte brancher, og de ændringer, der er foretaget som følge af reestimationen kan delvist beskrives ved at sammenligne elasticiteterne i den oprindelige og den reestimerede model. Da modellen indeholder andre forklarende variable end produktionen og energipriserne, og da der er foretaget ændringer i specifikationen af enkelte relationer, er det klart, at en gennemgang og sammenligning af elasticiteterne kun giver et overordnet indtryk af modellen og de foretagne ændringer. Gennemgangen af elasticiteterne skal derfor suppleres med kommentarer til de specifikationsændringer, der er foretaget. Endvidere kommenteres, hvorvidt betydningen af andre forklarende variable er ændret væsentligt.

De estimerede produktions- og priselasticiteter, der udtrykker de relative ændringer i energiforbruget ved relative ændringer i produktionen og energipriserne, er vist i tabellerne 2.2.1 og 2.2.2. Til sammenligning er de tilsvarende elasticiteter i den gamle model opgivet i parenteser.

Vægtet med branchernes andele af 1985-energiforbruget i TJ er den gennemsnitlige produktionselasticitet for industrien som helhed 0.72, og den totale energipriselasticitet er -0.21. De tilsvarende elasticiteter i den gamle model er henholdsvis 0.80 og -0.22. D.v.s. der er et fald i produktionselasticiteten på ca. 10%, hvorimod energipriselasticiteten er stort set uændret. Som det fremgår af tabellerne 2.2.1 og 2.2.2, dækker dette over større elasticiteter i nogle brancher og lavere elasticiteter i andre og må tilskrives en kombination af ændret adfærd og ændrede specifikationer af enkelte relationer. Udvidelse af estimationsperioden fra at omfatte perioden 1966-80 til at omfatte perioden 1966-85 har således medført dels en vis revision af de estimerede koefficienter og dels en revision af de valgte specifikationer.



Tabel 2.2.1. Elasticiteter for de valgte top-down specifikationer\*

| Branche                            | Prod.-<br>elast. | Pris-<br>elast.  | Partielle priselast.<br>fast-flydende | el               |
|------------------------------------|------------------|------------------|---------------------------------------|------------------|
| Næringsmiddel ind.iøv.             | 1.03<br>(0.81)   | 0.11<br>(-0.27)  | -0.04<br>(-0.26)                      | -0.10<br>(-0.33) |
| Jern- og metal iøvrigt             | 0.83<br>(0.97)   | -0.17<br>(-0.31) | -0.19<br>(-0.15)                      | -0.24<br>(-0.21) |
| Kemiske råstoffer                  | 0.50<br>(0.83)   | -<br>(-0.008)    | -0.14<br>(-0.16)                      | -0.17<br>(-0.16) |
| Papir- og papfremst.               | 0.42<br>(0.92)   | -0.15<br>(-0.22) | -0.10<br>(-0.11)                      | -0.17<br>(-0.19) |
| Jern- og metalværk.<br>ekskl. stål | 0.37<br>(0.45)   | -0.18<br>(-0.10) | -                                     | -                |

\* Tallene i parenteser er de tilsvarende elasticiteter i den gamle model.

Table 2.2.2. Elasticiteter for de valgte bottom-up specifica-  
tioner\*

| Branche                 | Produktionselasticiteter |                |                | Priselasticiteter |                  |                  |
|-------------------------|--------------------------|----------------|----------------|-------------------|------------------|------------------|
|                         | Total**                  | Fast/flyd.     | E1             | Total**           | Fast/flyd.       | E1               |
| Slagterier              | 0.89<br>(0.77)           | 0.25<br>(0.22) | 1.37<br>(1.21) | -0.37<br>(-0.38)  | -0.19<br>(-0.23) | -0.51<br>(-0.53) |
| Fiskemel og foderst.    | 0.62<br>(0.91)           | 0.46<br>(0.80) | 1.28<br>(1.15) | -0.44<br>(-0.14)  | -0.53<br>(-0.14) | -0.06<br>(-0.18) |
| Nydelsesmiddel          | 0.60<br>(0.72)           | 0.62<br>(0.74) | 0.49<br>(0.69) | -0.15<br>(-0.16)  | -0.20<br>(-0.18) | -<br>(-0.13)     |
| Cementfabrik            | 1.03<br>(1.01)           | 1.07<br>(1.04) | 0.81<br>(0.79) | -0.11<br>(-0.11)  | -0.13<br>(-0.12) | -<br>(-0.04)     |
| Teglværker og isolering | 0.53<br>(0.47)           | 0.48<br>(0.49) | 0.77<br>(0.73) | -0.32<br>(-0.43)  | -0.17<br>(-0.53) | -0.82<br>(-0.17) |
| Lev.t. byggeri iøv.     | 0.88<br>(0.95)           | 1.05<br>(1.09) | 0.46<br>(0.59) | -0.10<br>(-0.17)  | -0.04<br>(-0.25) | -<br>-           |
| Kemisk indst. iøv.      | 0.84<br>(0.83)           | 0.20<br>(0.29) | 1.24<br>(1.25) | -0.40<br>(-0.46)  | -0.47<br>(-0.11) | -0.37<br>(-0.75) |
| Keramik og glasværker   | 1.01<br>(0.74)           | 1.23<br>(0.77) | 0.53<br>(0.60) | -0.67<br>(-0.56)  | -0.63<br>(-0.49) | -0.74<br>(-0.78) |
| Anden fremst. iøv.      | 0.69<br>(0.53)           | 0.42<br>(0.50) | 1.03<br>(0.56) | -0.24<br>(-0.34)  | -0.16<br>(-0.15) | -0.39<br>(-0.59) |
| Transportmiddelindustri | 0.45<br>(-)              | -<br>(-)       | 0.74<br>(-)    | -0.32<br>(-)      | -0.14<br>(-)     | -0.43<br>(-)     |
| Raffinaderier           | -<br>(-)                 | -<br>(-)       | -<br>(-)       | -0.25<br>(-)      | -<br>(-)         | -0.25<br>(-)     |
| Råolie og naturgas      | -<br>(-)                 | -<br>(-)       | -<br>(-)       | -<br>(-)          | -<br>(-)         | -<br>(-)         |

\* tallene i parenteser er de tilsvarende elasticiteter i den gamle model.

\*\* total-elasticiteterne fremkommer som en vægtet sum af type-elasticiteterne. Som vægte anvendes 1985-brutto TJ andele.

Ser vi på resultaterne for de enkelte brancher, vil gennemgangen ligesom i afsnit 2.1 blive grupperet efter ADAM-brancherne, d.v.s. tabellerne 2.2.1 og 2.2.2 gennemgås samlet og ikke hver for sig.

ADAM-branchen næringsmiddelindustrien omfatter modelbrancherne "Slagterier" og "Fiskemel og foderstoffer" fra tabel 2.2.2 samt "Næringsmiddelindustrien iøvrigt" fra tabel 2.2.1.

For slagterierne er specifikationen af relationen for fast og flydende brændsel uændret, og som det ses af tabel 2.2.2, har opdateringen kun ændret de estimerede elasticiteter marginalt. Med hensyn til elrelationen er den nye relation statistisk med produktionen, den reale elpris og en dummy-variabel  $D^{8230}$  som forklarende variable, d.v.s. beskæftigelsen er ekskluderet som forklarende variabel, da koefficienten til denne er insignifikant. Ser vi på produktions- og priselasticiteterne, bemærkes af tabel 2.2.2, at elasticiteterne stort set er uændrede.

For branchen fiskemel og foderstoffer er specifikationen af relationen for fast og flydende brændsel ændret, således at trend-variablen nu specificeres som en eksponentiel trend, og beskæftigelsen er ekskluderet som forklarende variabel. Estimationsresultaterne viser en noget lavere produktionselasticitet og en betydeligt højere priselasticitet, men samtidig er lag-koefficienten betydeligt højere, d.v.s. den nye relation afspejler en betydeligt længere tilpasningsperiode end den gamle relation, hvor tilpasningen stort set skete indenfor det første år. Med hensyn til den eksponentielle trend er der på observationsperioden estimeret en ca. 3.5%'s årlig stigning i forbruget af fast og flydende brændsel. Til mere langsigtede forecasts synes en så betydelig trend ikke realistisk, hvorfor trenden på lang sigt er reduceret til ca. 1% p.a. Denne reduktion er baseret på et ad-hoc mæssigt skøn ud fra de betydelige strukturændringer, der i observationsperioden er sket indenfor fiskemel- og foderstofbranchen. Bortset fra det modelmæssigt ubehagelige i en kraftig eksponentiel trend er der fagligt set kun et begrænset grundlag for at ændre trenden. Det skal dog bemærkes, at den gamle model

indeholdt en tilsvarende reduktion af trendudviklingen i branchens forbrug af fast og flydende brændsel.

Ser vi på elrelationen, er specifikationen uændret, dog bemærkes af tabel 2.2.2 en lidt højere produktionselasticitet og en meget lavere priselasticitet, der iøvrigt ligesom i den gamle relation er statistisk insignifikant.

For næringsmiddelindustrien iøvrigt bestemmes branchens totale energiforbrug ved en statisk relation med produktionen og den reale energipris som forklarende variable, d.v.s. i forhold til den gamle model ekskluderes beskæftigelsen, der er statistisk insignifikant. Som det ses af tabel 2.2.1, har den nye relation en noget højere produktionselasticitet samt en noget lavere priselasticitet. Ser vi på budgetandelsrelationerne, giver de reestimerede relationer betydeligt lavere partielle priselasticiteter, men samtidig er den produktionsafhængige substitution fra fast og flydende brændsel til el noget højere i den reestimerede relation.

ADAM-branchen nydelsesmiddelindustrien er sammenfaldende med modelbranchen nydelsesmiddelindustrien. For denne branche har reestimationen givet en marginalt lavere produktionselasticitet og en marginal højere priselasticitet for forbruget af fast og flydende brændsel, men samtidig er den energibesparende investeringseffekt ekskluderet, da koefficienten til investeringerne er insignifikant i den reestimerede relation. Med hensyn til elrelationen er den væsentligste effekt, ligesom i den gamle model, stadig en betydelig substitution imellem arbejdskraft og elforbrug. Produktionselasticiteten er noget lavere i den nye relation, og priseffekten er ekskluderet, da koefficienten til elprisen i estimationerne blev positiv og statistisk insignifikant.

ADAM-branchen leverandører til byggeriet består af modelbrancherne "Cementfabrikker", "Teglværker og fremstilling af isoleringsmaterialer" samt "Leverandører til byggeriet iøvrigt".

For cementfabrikker giver de reestimerede relationer, som det ses af tabel 2.2.2, stort set uændrede elasticiteter. Med hensyn til elrelationen er priseffekten dog ekskluderet, da koefficienten til elprisen i forskellige estimationsforsøg blev statistisk insignifikant og meget lille.

Med hensyn til teglværker og fremstilling af isoleringsmaterialer giver de reestimerede relationer stort set uændrede produktionselasticiteter, hvorimod priselasticiteterne ændres væsentligt. For fast og flydende brændsel reduceres priselasticiteten betydeligt, samtidig med at beskæftigelsen fjernes som forklarende variabel, og der introduceres en dummy-variabel  $D^{8130}$ , der skal fange et permanent skift ved opstarten af en ny isoleringsmaterialefabrik i Vamdrup. Med hensyn til elforbruget synes dette ikke specielt påvirket af den ny Vamdrup-fabrik, men priselasticiteten i den reestimerede relation er betydeligt større end i den gamle model.

For leverandører til byggeriet iøvrigt er de reestimerede relationer stort set identiske med relationer i den gamle model. Den væsentligste forskel er, at priselasticiteten i den reestimerede relation for fast og flydende brændsel er noget mindre end i den gamle model, og iøvrigt er elasticiteten insignifikant i både den reestimerede og den gamle relation.

ADAM-branchen jern- og metalindustri er opdelt i model-brancherne: "Jern- og stålværker", "Jernstøberier og metalværker og -støberier" og "Jern- og metalindustri iøvrigt".

Jern- og stålværkernes energiforbrug er som i den gamle model bestemt som et fast forbrug pr. tons smeltet stål .

For jernstøberier og metalværker og -støberier er estimeret en relation for det totale energiforbrug, og dette er fordelt på typer ved hjælp af ad-hoc bestemte faste andele. Reestimationen af total-relationen viser en svagt mindre produktionselasticitet og en svagt større priselasticitet end i den gamle model. Den væsentligste ændring er, at relationen er respecificeret fra en dynamisk til en statisk relation.

For jern- og metalindustrien iøvrigt giver den reestimerede relation for det totale energiforbrug en noget lavere produktionselasticitet og en ganske betydeligt lavere priselasticitet. Relationen er iøvrigt ændret derved, at den estimerede substitution imellem energi og investeringer er betydeligt større i den nye relation, ligesom der i den nye relation er estimeret en ikke ubetydelig komplementaritet imellem energi og arbejdskraft. Med hensyn til de estimerede budgetandelsrelationer er der ikke sket de store ændringer.

ADAM-branchen kemisk industri består af modelbrancherne: "Kemiske råstoffer og gødningsfremstilling" og "Kemisk industri iøvrigt".

For kemiske råstoffer og gødningsfremstilling er relationen for det totale energiforbrug ændret ganske betydeligt. Produktionselasticiteten i den nye relation er betydeligt mindre end i den gamle relation, og energiprisen er ekskluderet, da koefficienten blev lille og insignifikant. Desuden indeholder den nye relation en betydelig substitution imellem energi og arbejdskraft, hvorimod den ikke indeholder en investerings-effekt, der var inkluderet i den gamle model. Endelig indeholder den nye relation en dummy-variabel  $D^{8330}$ , der skal fange et permanent fald i energiforbruget fra 1983. Med hensyn til budgetandelsrelationerne er de reestimerede relationer stort set identiske med relationerne i den gamle model.

Med hensyn til kemisk industri iøvrigt er produktionselasticiteterne stort set uændrede, hvorimod størrelsen af priselasticiteterne er ændret ganske væsentligt. I relationen for fast og flydende brændsel er priselasticiteten blevet betydeligt større og statistisk signifikant, samtidig med at koefficienten til investeringerne numerisk er blevet mindre og statistisk insignifikant. Elrelationen er stort set uændret, når der ses bort fra den betydeligt lavere priselasticitet.

ADAM-branchen anden fremstillingsvirksomhed består af modelbrancherne: "Papir- og papfremstilling", "Keramik og glasvær-

ker" samt "Anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt".

Med hensyn til papir- og papfremstilling er specifikationen af relationerne uændret i forhold til den gamle model, men som det ses af tabel 2.2.1, er produktions- og priselasticiteterne i den reestimerede relation for branchens totale energiforbrug betydeligt mindre end i den gamle model. Ser man på udviklingen i branchens produktion og energiforbrug efter 1980, må forskellen i estimerterne tilskrives, at branchen i perioden 1980 til 1984 har haft en kraftigt stigende produktion, hvorimod energiforbruget kun er steget moderat. Efter 1984 er produktionen dog faldet samtidig med et stigende energiforbrug. Med hensyn til udviklingen i de enkelte energityper er de partielle priselasticiteter uændrede i forhold til den gamle model, men den produktionsafhængige substitution fra fast og flydende brændsel til el er forøget en smule i den reestimerede model.

For branchen keramik og glasværker har reestimationen givet en væsentlig revision af relationen for fast og flydende brændsel, hvorimod elrelationen stort set er uændret med minimale ændringer i produktions- og priselasticiteterne. For fast og flydende brændsel er i den nye model valgt en statistisk specifikation. Den nye relation giver noget højere produktions- og priselasticiteter og afspejler en nogenlunde parallel produktions- og energiforbrugsudvikling efter 1975. Ved introduktionen af naturgassen i 1985 er inkluderet en dummy variabel, da naturgassen har betydet en ekstra besparelse på branchens totale energiforbrug. Med hensyn til udviklingen efter 1985 skal bemærkes, at naturgassen i 1986 og 87 har substitueret et elforbrug. Da modellen ved at inkludere naturgassen i fast og flydende brændsel implicit forudsætter, at naturgassen udelukkende substituerer fast og flydende brændsel, giver dette efter 1986 anledning til en korrektion af både elrelationen og relationen for fast og flydende brændsel.

For anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt har reestimationen givet ganske betydelige ændringer primært for elrelationen. Med hensyn til relationen for fast og flydende brændsel er

produktionselasticiteten estimeret til 0.42, hvor den i den gamle model var a priori fastsat til 0.5. Priselasticiteten er uændret estimeret til ca. -0.15. For elrelationen er produktionselasticiteten i den nye model estimeret til ca. 1.0, og priselasticiteten er estimeret til ca. -0.4. Også for denne branche synes naturgassen at substituere både el og fast og flydende brændsel, d.v.s. begge relationer, og ikke kun relationen for fast og flydende brændsel, korrigeres i fremskrivningerne for naturgassens indtrængning.

Transportindustrien blev i den gamle model behandlet summarisk som en underbranche til jern- og metalindustrien iøvrigt. I den nye model er der estimeret relationer for branchens energiforbrug. Med hensyn til forbruget af fast og flydende brændsel synes forbruget ikke specielt afhængigt af branchens produktionsværdi, derimod er der en pæn sammenhæng imellem energiforbruget og beskæftigelsen i branchen. Beskæftigelseselasticiteten er estimeret til 0.55, og priselasticiteten er estimeret til -0.14. Med hensyn til elforbruget er der estimeret en produktionselasticitet på 0.74 og en priselasticitet på -0.43. Desuden indeholder relationen en betydelig substitution imellem arbejdskraft og energiforbrug samt en positiv trend.

Også raffinaderierne var summarisk behandlet i den gamle model. Da vi arbejder med bruttoenergi, er branchens forbrug af flydende brændsel til konvertering fra ét brændsel til et andet tillagt det nye brændsel og dermed fordelt på forbrugerne af det nye brændsel. Tilbage bliver branchens elforbrug, for hvilket der er estimeret en rimelig relation, der dog ikke forklarer den hidtidige udvikling specielt godt. Relationen indeholder en beskæftigelseselasticitet på 0.98 samt en priselasticitet på -0.25. Forsøg på at estimere en produktionsafhængighed har ikke givet fornuftige resultater.

Under råolie og naturgas er primært registreret energiforbruget i forbindelse med Nordsø-aktiviteterne, hvorfor forbruget før 1980 var negligibelt. Efter 1980 er forbruget vokset meget kraftigt for i 1987 at udgøre 1729 TJ flydende brændsel. På



grund af den korte observationsperiode har det ikke været muligt at estimere en fornuftig relation for dette energiforbrug. I modellen er det derfor valgt at holde energikoefficienten konstant på 1985-niveauet:  $ek_{85} = 728/5925 = 0.12$  TJ/mio. 1980-kr.

### 3. NYE BRANCHER

#### 3.0. Indledning

I dette kapitel gennemgås udvidelsen af energimodellen til at omfatte hele procesområdet, der foruden industrien omfatter de primære erhverv samt bygge- og anlægsvirksomhed. I energimæssig henseende er denne udvidelse ganske betydelig, idet de primære erhverv og bygge- og anlægsvirksomhed i 1986 anvendte 65035 TJ, hvilket svarer til godt 1/3 af industriens totale energiforbrug. De primære erhverv, der i 1986 anvendte 48453 TJ, er udfra forskelle i anvendelsen af energi samt ganske betydelige forskelle i energikoefficienter opdelt i følgende 3 modelbrancher: "Landbrug m.v.", "Gartnerier" og "Fiskeri". Mens "Landbruget m.v." er en forholdsvis stor branche med en relativt lav energikoefficient, er "Gartnerier" og "Fiskeri" to forholdsvis små men energiintensive brancher.

De 4 nye brancher gennemgås i afsnittene 3.1-3.4. Foruden en beskrivelse af den hidtidige udvikling i energiforbruget, samt hvortil brancherne anvender energi, gives en præsentation af de relationer, det er valgt at inkludere i modellen. I afsnit 3.5 gives en ganske kort sammenfatning af og kommentarer til de valgte relationer.

Afsnit 3.6 skal opfattes som et opsamlingsafsnit, der udfra branchebeskrivelserne i afsnit 2.1 og afsnittene 3.1-3.4 resumerer den forudsatte udvikling i andelene af fast brændsel og naturgas.

#### 3.1. Landbruget

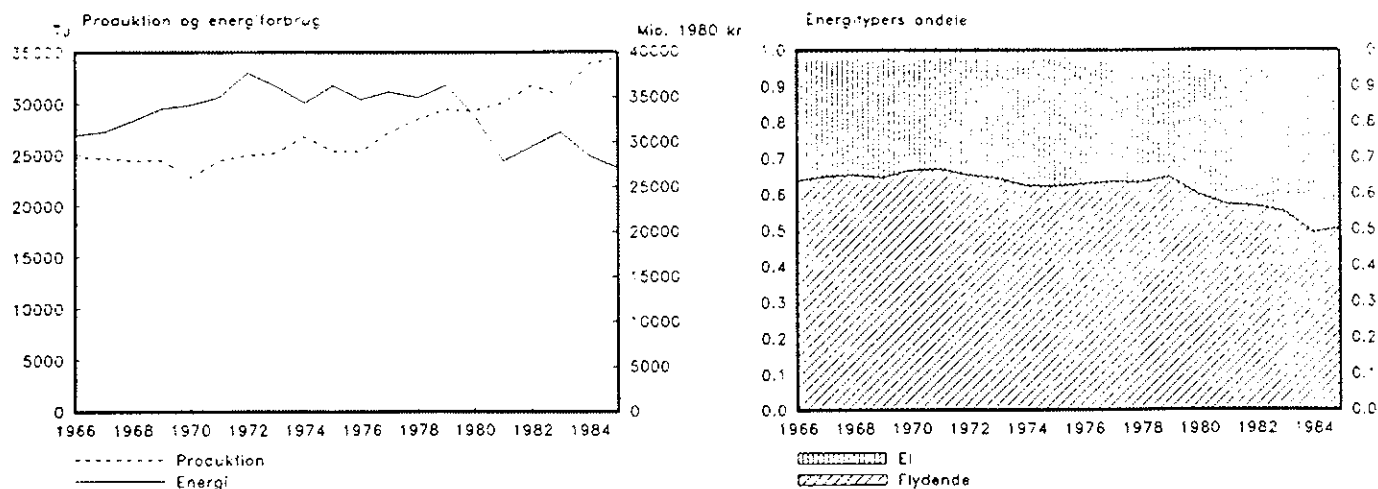
Denne modelbranche omfatter nationalregnskabsbrancherne (NR) 1, 3 og 4, d.v.s. det primære landbrug samt pelsdyravl og landbrugsservice. Af disse NR-brancher er det primære landbrug langt den største og udgør både produktions- og energifor-

brugsmæssigt omkring 95% af den samlede modelbranche.

I 1985 havde branchen et energiforbrug på i alt 23782 TJ svarende til godt 10% af det totale procesenergiforbrug. Branchens energikoefficient var ca. 0.6 TJ/mio. 1980-kr., hvor procesbrancherne i gennemsnit havde en energikoefficient på ca. 0.9 TJ/mio. 1980-kr., d.v.s. landbruget er en ikke særlig energiintensiv branche, der på grund af sin størrelse anvender en ganske betydelig del af det totale procesenergiforbrug.

Ser vi på forbruget af de enkelte energityper, anvendte branchen i 1985 stort set lige meget flydende brændsel og el, men som det ses af figur 3.1.1, har udviklingen vist et svagt stigende elforbrug og speciel efter 1979 et ganske betydeligt fald i forbruget af flydende brændsel. Udviklingen henimod en større elforbrugsandel skyldes kun i meget ringe grad substitution imellem de 2 energityper, tværtimod anvendes de 2 energityper i højst forskellige arbejdsprocesser. Udviklingen i forbruget af de 2 energityper må tilskrives en svagt elforbrugende mekanisering samt efter 1979 betydelige energibesparelser i de arbejdsprocesser, der anvender flydende brændsel. En væsentlig del af nedgangen i forbruget af flydende brændsel må tilskrives efterisolering samt øget anvendelse af halmfyring. Desuden er det i perioden efter 1980 blevet mere udbredt med en reduceret efterårsbearbejdning af jorden.

Af forbruget af flydende brændsel er hovedparten motorbrændsel, der anvendes i forbindelse med markarbejde, d.v.s. pløjning, harvning, såning, gødskning, sprøjtning og høst. Herudover anvendes ca. 15% til opvarmning af stalde og en højst varierende andel (0-5%) til korntørring.



Figur 3.1.1. Landbrug

Elforbruget anvendes til drift af en lang række maskiner og hjælpemidler primært inden for husdyrproduktionen. De væsentligste elforbrugende områder er staldventilation (ca. 33%), fodring, malkning, mælkekøling etc. (ca. 30%), belysning (ca. 10%) samt markvanding og korntørring, hvortil der afhængigt af vejret medgår et meget varierende elforbrug. Til markvanding, der primært foretages i Jylland, anvendes op til 10% af elforbruget, og til korntørring anvendes op til ca. 5%. Over observationsperioden er elforbruget til disse 2 områder steget fra stort set nul i 1966, d.v.s. de årlige vejrafhængige variationer er steget over observationsperioden, og vejrafhængigheden er størst i Jylland, hvor hovedparten af markvandingen foretages.

Ser vi på, hvordan udviklingen i landbrugets energiforbrug kan forklares, bemærkes af figur 3.1.1, at der ikke er nogen snæver sammenhæng imellem landbrugets energiforbrug og produktion.

For forbruget af flydende brændsel er vi efter en række alternative estimationer nået frem til følgende relation

$$\begin{aligned} \text{eq. 3.1.1. } \ln (EM_t^O) &= 7.795 + 0.380 * \ln(QFO_t/EMP_t) \\ &\quad (17.26) \quad (4.52) \\ &\quad - 0.196 * \ln(P_t^O/P_t) - 0.261 * D_t^{8183} \\ &\quad \quad (-4.46) \quad \quad \quad (-7.05) \\ &\quad - 0.499 * D_t^{8430} \\ &\quad \quad (-11.50) \\ R^2 &= 0.96 \quad R_{adj}^2 = 0.94 \quad DW = 2.34 \end{aligned}$$

d.v.s. forbruget af flydende brændsel bestemmes som en funktion af landbrugets produktivitet (produktion/beskæftigelse), prisen på flydende brændsel samt 2 dummy-variable. De alternative estimationer viser, at beskæftigelsen er en meget væsentlig forklarende variabel, hvor energiforbruget stiger med fallende beskæftigelse, d.v.s. der sker en substitution fra arbejdskraft til energiforbrug. Inkluderes produktionen og beskæftigelsen som 2 separate variable, bliver produktionen klart insignifikant, d.v.s. produktivitetseffekten i eq. 3.1.1 afspejler primært en beskæftigelsesvariation. Ser vi på dummy-variablene i eq. 3.1.1, viser alternative estimationer, at dummy-variablen for skiftet i 1984 er ganske væsentlig, da en eksklusion af denne variabel vil ændre koefficienterne til de andre variable væsentligt og reducere  $R^2$ -værdien til 0.56. Dummy-variablen 1981-83 inkluderes, da denne er signifikant og dermed forøger  $R^2$ -værdien. Eksklusion af variabelen ændrer ikke koefficienterne til de andre variable væsentligt, men  $R^2$ -værdien reduceres til 0.81.

Ser vi på landbrugets elforbrug, er vi nået til følgende relation

$$\begin{aligned} \text{eq. 3.1.2. } \ln (EM_t^e) &= 8.007 + 0.251 * \ln(QFO_t/EMP_t) \\ &\quad (49.20) \quad (7.97) \\ &\quad - 0.208 * \ln(P_t^e/P_t) \\ &\quad \quad (-3.59) \\ R^2 &= 0.79 \quad R_{adj}^2 = 0.77 \quad DW = 2.05 \end{aligned}$$

d.v.s. elforbruget afhænger af produktiviteten og den reale elpris. Det har været forsøgt at fange de vejrafhængige forbrug til markvanding og korntørring ved at inkludere forskellige meteorologiske data, men dette har desværre ikke givet fornuftige resultater.

### 3.2. Gartnerierne

Denne modelbranche er sammenfaldende med NR-branche 2 "gartneri", der i 1985 havde et energiforbrug på 9870 TJ svarende til godt 4% af procesenergiforbruget. Modelbranchens energikoefficient var i 1985 godt 3 TJ/mio. 1980-kr., hvor procesbrancherne i gennemsnit havde en energikoefficient på ca. 0.9 TJ/mio. 1980-kr., d.v.s. branchen er forholdsvis energitung, og bruger i sammenligning med landbruget ca. 5 gange så meget energi pr. produceret enhed.

Statistisk opdeles gartnerierne herhjemme normalt i 2 kategorier, der også energimæssigt er væsentligt forskellige:

væksthus  
og frilandsgartnerier samt planteskoler.

Væksthusgartnerierne har et betydeligt opvarmningsbehov, hvorimod frilandsgartnerier og planteskoler energimæssigt har en del til fælles med det primære landbrug. Af branchens samlede energiforbrug anvendes omkring 95% til opvarmning af væksthuse. Resten af gartneriernes energiforbrug er dels drivmidler til traktorer og andre maskiner og dels el til belysning og drift af forskellige anlæg som f.eks. sorterings-, vaske-, tørrings- og køleanlæg.

Energiforbrugets sammensætning på typer var i 1985 ca. 46% fast brændsel, ca. 47% flydende brændsel og ca. 7% el. Ser vi på den hidtidige udvikling, bemærkes af figur 3.2.1, at forbruget af fast brændsel var 0 i 1980, og at fast brændsel derefter udelukkende har substitueret flydende brændsel (substitutionen har fundet sted inden for opvarmningen af

væksthusgartnerierne). Det fremgår af figur 3.2.1, at forbruget af fast og flydende brændsel er faldet væsentligt i 2 perioder; 1973-75 og 1979-82, begge gange i forbindelse med betydelige energiprisstigninger. Ser vi nærmere på udviklingen omkring de 2 energiprisstigninger, har gartneriernes reaktion i de 2 perioder været væsentligt forskellige. I 1973-75 søgte en del gartnerier i første omgang at imødegå de høje oliepriser ved at reducere produktionsperioden i væksthusene. Konsekvenserne af dette var imidlertid et betydeligt fald i den enkelte gartners indtjening, hvorfor løsningen ikke var holdbar. Mere permanente besparelser blev opnået ved forholdsvis billige og simple foranstaltninger som udskiftning af defekte ruder, opsætning af skyggegardiner o.l. samt gennemførelse af en mere effektiv temperaturjustering i væksthusene. Besparelserne efter energiprisstigningerne i 1980 er sket ved en betydelig isoleringsindsats og udskiftning af kedelanlæg; som det ses af figur 3.2.1 bl.a. omlægning til fast brændsel.

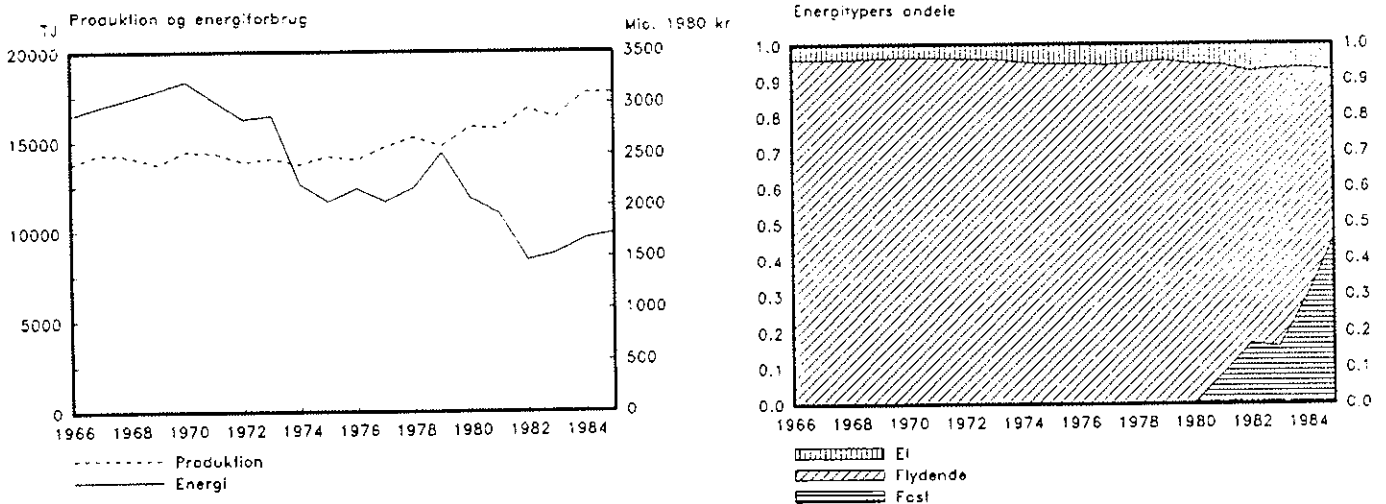


Fig. 3.2.1. Gartneri

Ser vi på gartneriernes samlede besparelser, skal det bemærkes, at fra 1970 til 1985 er gartneriernes energikoefficient blevet mere end halveret.

Ved forsøg på at forklare den hidtidige udvikling er det i de økonometriske analyser valgt at behandle fast og flydende brændsel samlet, substitutionen til fast brændsel er sket med en sådan hast, at en økonometrisk bestemmelse af denne ikke har været mulig.

For fast og flydende brændsel er valgt følgende specifikation:

$$\begin{aligned} \text{eq. 3.2.1. } \ln(EM_t^O) &= 1.820 + 0.990 * \ln(QFO_t) - 0.145 * \ln(P_t^O/P_t) \\ &\quad (0.38) \quad (1.39) \quad (-2.00) \\ &+ 0.314 * \ln(\text{GRADDAGE}_t) - 0.036 * T \\ &\quad (0.88) \quad (-4.04) \\ &+ 0.212 * D_t^{79} - 0.179 * D_t^{8230} \\ &\quad (2.15) \quad (-1.63) \end{aligned}$$

$R^2 = 0.93 \quad R_{\text{adj}}^2 = 0.90 \quad DW = 1.38$

Det bemærkes, at der i relationen indgår 2 økonomiske adfærdsvariable: produktionen med en elasticitet på ca. 1.0 og energiprisen med en elasticitet på ca. -0.15. Desuden indgår en graddagskorrektur, en betydelig og stærkt signifikant negativ trend samt 2 dummy-variable. Fra alternative estimationer skal det bemærkes, at eksklusion af den ene eller begge dummy-variable medfører en betydelig variation i produktionskoefficientens størrelse, hvorimod priskoefficienten synes mere stabil overfor ændringer i specifikationen. Dummy-variablene  $D^{79}$  fanger en uforklarlig engangsstigning i energikoefficienten i 1979, og  $D^{8230}$  fanger et permanent skift i energikoefficienten fra og med 1982, hvilket er sammenfaldende med den første substitution til fast brændsel. Prisvariabelen er i stand til at fange besparelserne i 1973/74 og 1979/80, men de yderligere besparelser i 1981/82 kan ikke forklares af prisvariationer.

Den lave Durbin-Watson statistik (DW) dækker over, at relationen undervurderer forbruget i 1969-1974, overvurderer forbruget i 1975-1978, og bortset fra 1982 undervurderer forbruget 1980-85. Ses dette i sammenhæng med prisvariationerne, er der noget der tyder på, at priselasticiteten har været faldende over tiden. Priskoefficienten på -0.145 er et gennemsnit, som fanger en del af besparelserne i 1973-75, men overvurderer



besparelserne i 1979-81.

For elforbruget er valgt følgende specifikation:

$$\begin{aligned} \text{eq. 3.2.2. } \ln(EM_t^e) &= 0.469 + 0.446 * \ln(QFO_t) - 0.028 * \ln(P_t^e/P_t) \\ &\quad (0.30) \quad (2.42) \quad (-0.46) \\ &\quad + 0.394 * \ln(\text{GRADDAGE}) - 0.008 * T \\ &\quad (3.55) \quad (2.94) \\ R^2 &= 0.64 \quad R_{\text{adj}}^2 = 0.54 \quad DW = 1.28 \end{aligned}$$

Det bemærkes, at produktionselasticiteten ikke er særlig stor men signifikant, at priselasticiteten er stort set nul og insignifikant, at der er en signifikant graddagskorrektio n samt en minimal men signifikant negativ trend. Relationens forklaringsgrad ( $R^2$ -værdi) er ikke særlig høj, men som nævnt i indledningen er gartnerierne s elforbrug ikke særligt stort og kun ca. 7% af gartnerierne s samlede energiforbrug.

### 3.3. Fiskeriet

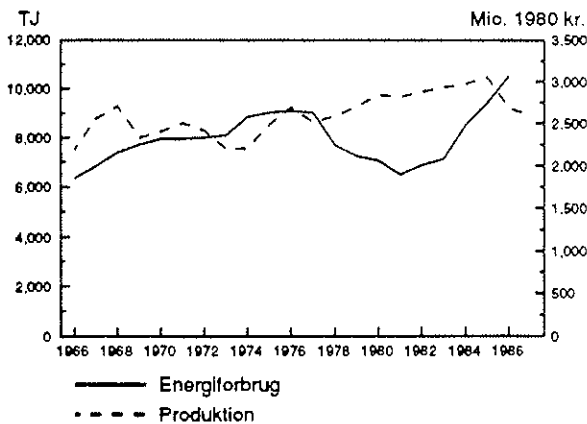
Denne modelbranche er sammenfaldende med nationalregnskabsbranchen "Fiskeri og dambrug", der i 1986 havde et energiforbrug på 10499 TJ svarende til ca. 4% af det totale procesenergiforbrug. Branchen er forholdsvis energitung med en energikoef ficient på omkring 3 TJ/mio. 1980-kr.

Fiskeriet anvender udelukkende flydende brændsel, der bruges som motorbrændsel på fiskefartøjerne. Brændslet anvendes primært til fremdrift af fartøjet, men en del af brændslet anvendes dog til drift af arbejdsredskaber og diverse maskiner, der anvendes på fartøjet.

De væsentligste faktorer, der påvirker energiforbruget, er foruden antallet og størrelsen af fiskefartøjer, antal fiskedage og fangstmængder også hvilket fiskeri, der drives, og hvilke fangstmetoder, der anvendes. Opdeles fiskeriet og fartøjerne efter fangstmetoder, opereres i statistikken med 3 hovedgrupper; trawlere, notfartøjer og andre fartøjer, der

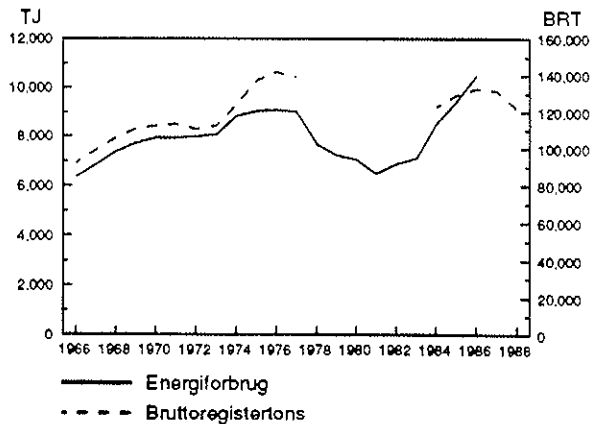
primært driver garn- og krogfiskeri. Ser man på fiskeriflådens fordeling på disse hovedgrupper, udgør trawlere og andre fartøjer hver ca. halvdelen af fartøjerne (i størrelsesordenen 1500 fartøjer i hver gruppe), hvorimod der pr. 31/12 1988 kun var registreret 11 notfartøjer. Når notfartøjer trods deres ringe antal opgøres særskilt i statistikken, skyldes det, at disse er meget store fartøjer (typisk over 250 BRT), der driver et meget specialiseret fiskeri.

Ser man på energiforbruget ved de enkelte fangstmetoder, er trawlfiskeriet langt det mest energikrævende. Af en trawlers energiforbrug anvendes langt den største del til selve fangsten af fiskene, d.v.s. til direkte trawling hvor kutteren slæber trawlet igennem vandet. Skønsmæssigt anvendes ca. 75% af en trawlers energiforbrug til direkte trawling, hvorimod kun en mindre del anvendes til sejlads til og fra fiskepladserne. De andre fangstmetoder: not-, garn- og krogfiskeri, anvender hovedparten af brændselsforbruget til sejlads til og fra fiskepladserne. Selve fangsten af fiskene er ved not-, garn- og krogfiskeri ikke specielt energikrævende.



Figur 3.3.1.

Fiskeriets energiforbrug og produktion



Figur 3.3.2.

Fiskeriets energiforbrug og fiskeflådens størrelse i bruttoregister-ton

Den hidtidige udvikling i branchens produktion og energiforbrug er vist i figur 3.3.1. Umiddelbart bemærkes, at der ikke er nogen snæver sammenhæng imellem udviklingen i de 2 variable. Ser vi derimod på udviklingen i energiforbruget og fiskeflådens størrelse målt i bruttoregister tons (BRT), er der som vist i figur 3.3.2 en ganske pæn sammenhæng. Af figuren bemærkes, at begge variable stiger i 2 spring frem til 1976, at energiforbruget derefter falder kraftigt frem til 1981, hvorefter energiforbruget stiger meget kraftigt og toppe på det hidtil højeste niveau i 1986. Ser vi på opgørelsen af fiskeflådens størrelse i BRT, bemærkes, at der på grund af en omlægning af statistikken ikke eksisterer data for årene 1978 til 83, samt at niveauerne i 1977 og 1984 på grund af dette ikke er umiddelbart sammenlignelige. Dette gør, at skønt der synes at være en rimelig sammenhæng imellem energiforbruget og fiskeflådens størrelse, er fiskeflådens størrelse ikke nogen god variabel til en økonometrisk bestemmelse af udviklingen i fiskeriets energiforbrug. Alternativt er fiskeriets energiforbrug søgt bestemt ved standard makroøkonomiske sammenhænge som afhængigt af produktion, beskæftigelse, investeringer og energiprisen. Der er testet en række alternative statiske og dynamiske specifikationer af relationen, og den foretrukne er givet ved

$$\begin{aligned} \text{eq. 3.3.1. } \ln(EM_t^O) &= 6.872 + 0.296 * \ln(QFO_t) - 0.160 * \ln(P_t^O/P_t) \\ &\quad (4.59) \quad (1.57) \quad (-3.91) \\ &\quad - 0.201 * \ln(EMP_t) + 0.334 * \ln(I_t/\bar{I}) \\ &\quad (-4.49) \quad (10.65) \\ R^2 &= 0.90 \quad R_{adj}^2 = 0.88 \quad DW = 2.27 \end{aligned}$$

Af denne relation bemærkes, at der er en svag sammenhæng imellem energiforbruget og produktionen, en signifikant negativ priselasticitet, en signifikant substitution imellem energi og arbejdskraft samt en særdeles signifikant komplementaritet imellem energi og kapital, d.v.s. investeringer er energiforbrugende. Med hensyn til beskæftigelsen skal bemærkes, at denne i estimationsperioden har været jævnt faldende, og at effekten kan være svær at skelne fra en trend udvikling. Erstat-

tes beskæftigelsen i eq. 3.3.1 med en trend, opnås ved estimation en signifikant positiv trend effekt, stort set uændrede koefficienter for de andre variable og kun en svag reduktion i  $R^2$ -værdien. Inkluderes både beskæftigelsen og en trend, fås igen stort set uændrede koefficienter for de andre variable og en minimal ændring i  $R^2$ -værdien, men både koefficienten til beskæftigelsen og trenden bliver insignifikante. Ser vi på investeringerne, er disse meget væsentlige til forklaringen af energiforbruget, og ekskluderes investeringerne fra relationen, ændres størrelsen af de andre koefficienter væsentligt, og  $R^2$ -værdien reduceres til under det halve. Fortolkningen af den positive investerings-koefficient er, at investeringerne er energiforbrugende. Som relationen er specificeret, er den grundlæggende fortolkning substitution og komplementaritet imellem energi og faktor inputtene arbejdskraft og kapital givet produktionsniveauet. Ønskes en fortolkning, hvor ændringer i kapitalapparatet (her fiskeflådens størrelse) medfører ændringer i energiforbruget, skal specifikationen være ændringer i energiforbruget overfor investeringerne i absolut størrelse. Denne fortolkningsmulighed er blevet testet og sandsynliggjort ved følgende estimationsresultat:

$$\begin{aligned} \text{eq. 3.3.2. } \ln(EM_t^O) &= 6.542 * (1-0.457) + 0.225 * \ln(I_t/\bar{I}) \\ &\quad (17.06) \qquad\qquad\qquad (6.76) \\ &\quad + 0.457 * \ln(EM_{t-1}^O) \\ &\quad\qquad\qquad (5.01) \\ R^2 &= 0.90 \qquad R_{adj}^2 = 0.89 \qquad DW = 2.14 \end{aligned}$$

Det bemærkes, at denne simple dynamiske relation giver en signifikant positiv investeringseffekt og en  $R^2$ -værdi af samme størrelse som eq. 3.3.1. Adderes yderligere forklaringsvariable til eq. 3.3.2, bliver koefficienterne insignifikante og med tilfældigt fortegn.

Konkluderende må man sige, at til bestemmelse af fiskeriets energiforbrug er investeringerne langt den væsentligste forklaringsvariabel. Effekten af investeringerne er en positiv elasticitet på 1/4 til 1/3, men om effekten skal fortolkes som

komplementaritet imellem energi og kapital eller som en kapacitets effekt er svært at afgøre, i hver sin relation er begge effekter signifikante og begge fortolkninger således mulige.

#### 3.4. Bygge- og anlægsvirksomhed

Denne modelbranche er sammenfaldende med NR-branchen bygge- og anlægsvirksomhed, der i 1985 havde et bruttoenergiforbrug på 16338 TJ eller ca. 6% af det totale procesenergiforbrug. Branchens energikoefficient var i 1985 ca. 0.3 TJ/mio. 1980-kr., hvor procesbrancherne i gennemsnit havde en koefficient på ca. 0.9 TJ/mio. 1980-kr., d.v.s. branchen er relativ stor men lidet energiintensiv.

Branchen anvender overvejende flydende brændsel (ca. 85% af branchens totale forbrug) samt en smule el (ca. 15%). Forbruget af flydende brændsel er primært motorbrændstof, der anvendes til transport samt jordarbejdsmaskiner som gravkøer, gummede o.s.v. En ikke ubetydelig del af forbruget af flydende brændsel anvendes dog til opvarmningsformål i forbindelse med vinterbyggeri samt udtørring af råhuse. Elforbruget anvendes til en lang række meget forskellige formål spændende fra drift af kraner og forskellige maskiner og håndværktøjer til elopvarmning af skurvogne.

Ser man på den hidtidige udvikling i branchens forbrug af flydende brændsel, bemærkes af figur 3.4.1, at der ikke er nogen snæver sammenhæng imellem branchens produktion og forbrug af flydende brændsel. Som det vil fremgå af gennemgangen af estimationsforsøgene, er det ikke lykkedes at finde en troværdig forklaring på udviklingen i branchens forbrug af flydende brændsel. Med hensyn til udviklingen i elforbruget, bemærkes primært en ca. halvering af forbruget efter den første energiprisstigning i 1975. Hvorvidt dette skyldes reelle elbesparelser, som fjernelse af overflødig forbrug, bedre maskiner og bedre styring, eller om der er tale om, at elforbruget blot er flyttet fra denne branche til dem, der bygges for, har det ikke været muligt at afklare. I modellen er der korrigeret for

niveauskiftet i 1975 ved at inkludere en dummy-variabel i elrelationen.

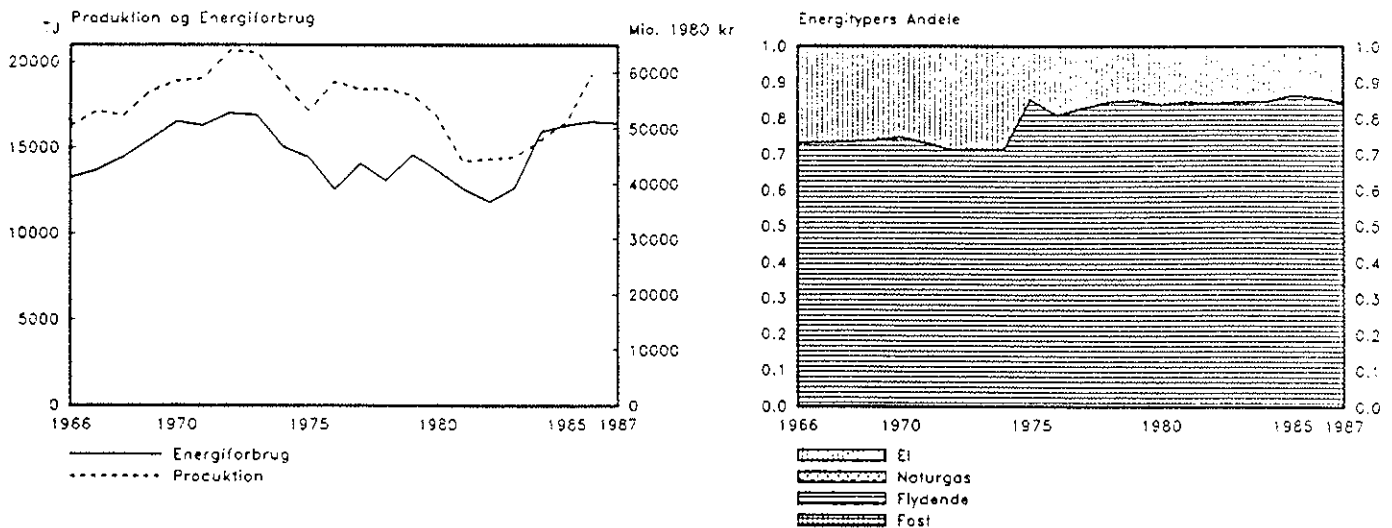


Fig. 3.4.1. Bygge og anlæg

For forbruget af flydende brændsel er der efter en række alternative estimationer valgt følgende relation:

$$\begin{aligned}
 \text{eq. 3.4.1. } \ln(EM_t^O) &= 2.652 + 0.254 * \ln(QFO_t) \\
 &\quad (1.09) \quad (1.11) \\
 &\quad - 0.141 * \ln(P_t^O/P_t) + 0.885 * \ln(T) \\
 &\quad \quad (-1.30) \quad \quad (1.71) \\
 &\quad + 0.105 * D_t^{75} + 0.206 * D_t^{8430} \\
 &\quad \quad (1.78) \quad \quad (4.04) \\
 R^2 &= 0.75 \quad R_{adj}^2 = 0.65 \quad DW = 1.83
 \end{aligned}$$

Som det ses, er der bortset fra den sidste dummy-variabel ingen af de inkluderede variable, der er statistisk signifikante, og koefficienten til produktionen er relativ lille. Fra de alternative estimationer skal nævnes, at priselasticiteten er forholdsvis afhængig af specifikationen, hvorimod produktionskoefficienten i samtlige testede alternativer er relativ lille. For de historiske fejlled i eq. 3.4.1 er det karak-

teristiske, at de faktiske årlige ændringer er større end beregnet ved hjælp af ligningen, men at ligningen gennemsnitligt set følger udviklingen rimeligt.

Ser vi på elforbruget er valgt følgende relation

$$\begin{aligned} \text{eq. 3.4.2. } \ln(EM_t^e) &= 0.775 + 0.943 * \ln(QFO_t) - 0.158 * \ln(P_t^e/P_t) \\ &\quad (0.33) \quad (3.19) \quad \quad \quad (-2.21) \\ &\quad - 0.542 * \ln(EMP_t) - 0.631 * D^{7530} \\ &\quad \quad \quad (-2.02) \quad \quad \quad (-15.18) \end{aligned}$$

$$R^2 = 0.98 \quad R_{adj}^2 = 0.97 \quad DW = 2.30$$

Det bemærkes, at samtlige inkluderede variable er signifikante, at produktionselasticiteten er knap 1, at priselasticiteten er godt -0.15 samt, at der er en ganske pæn substitution fra arbejdskraft til elforbrug.

### 3.5. Sammenfatning

Konkluderende på udvidelsen af energimodellen må det siges, at det ved anvendelse af samme metode som for industrien har vist sig muligt at give en rimelig beskrivelse af energiforbrugets udvikling i de primære erhverv og bygge- og anlægsvirksomhed samt at afdække nogle årsagssammenhænge, der synes anvendelige til prognoseformål.

For landbrugets vedkommende kan den væsentlige del af udviklingen i energiforbruget forklares af produktivitetsudviklingen samt udviklingen i energipriserne. Til prognoseformål skal man dog være opmærksom på, at specielt ændringer i omfanget af markarbejde samt hvordan jorden bearbejdes, kan medføre væsentlige ændringer i forbruget af flydende brændsel.

For gartnerierne, hvor hovedparten af energiforbruget anvendes til opvarmning, er det foruden produktionen og energipriserne væsentligt at inkludere antallet af graddage i forklaringen af energiforbruget.

Fiskeriet er specielt ved udelukkende at anvende flydende brændsel til drift af fiskefartøjer. Den historiske udvikling viser en umiddelbar sammenhæng imellem udviklingen i energiforbruget og fiskeriflådens størrelse målt i brutto register tons. På grund af for få data og brud i dataserien har det desværre ikke været muligt at kvantificere denne sammenhæng, hvorfor fiskeriets investeringer i stedet er anvendt som den væsentligste forklarende variabel. Til prognoseformål skal det bemærkes, at fiskeriets investeringer ikke prognostiseres særskilt i ADAM, hvorfor det kan være problematisk, at investeringerne er blevet den væsentligste forklarende variabel.

For bygge- og anlægsvirksomhed skal det bemærkes, at relationen for fast og flydende brændsel har svært ved at fange de årlige ændringer, men synes at beskrive den mere langsigtede udvikling rimeligt. Med hensyn til elforbruget er der i 1975 sket en ca. halvering, som det ikke har været muligt at finde en teknisk forklaring på. I modellen er skiftet repræsenteret ved en dummy-variabel.

I lighed med tabellerne 2.2.1 og 2.2.2 for industrien er de estimerede produktions- og energipriselasticiteter for de primære erhverv samt bygge- og anlægsvirksomhed resumeret i tabel 3.5.1. Sammenlignes elasticiteterne i tabel 3.5.1 med de tilsvarende elasticiteter for industrien i alt, bemærkes, at både produktions- og energipriselasticiteterne for de nye brancher er noget lavere end for industrien som helhed.

Tabel 3.5.1. Elasticiteter for de nye brancher

| Branche               | Produktionselasticiteter |            |      | Priselasticiteter |            |       |
|-----------------------|--------------------------|------------|------|-------------------|------------|-------|
|                       | Total                    | Fast/flyd. | El   | Total             | Fast/flyd. | El    |
| Landbrug              | 0.31                     | 0.38       | 0.25 | -0.21             | -0.20      | -0.21 |
| Gartnerier            | 0.95                     | 0.99       | 0.45 | -0.14             | -0.15      | -0.03 |
| Fiskeri               | 0.30                     | 0.30       | -    | -0.16             | -0.16      | -     |
| Bygge- og anlægsvirk. | 0.35                     | 0.25       | 0.94 | -0.14             | -0.14      | -0.16 |



Med hensyn til forbruget af fast brændsel og naturgas skal nævnes, at fast brændsel kun anvendes i gartnerierne og her forventes at ligge konstant på et niveau omkring 40% af forbruget af fast og flydende brændsel og naturgas. Der anvendes ganske små mængder naturgas i landbruget m.v., gartnerier og bygge- og anlægsvirksomhed. Fra 1990 og fremefter forventes naturgasandelen af fast og flydende brændsel og naturgas at være 8% for landbruget m.v. og 9% for gartnerierne, d.v.s. andelen er vokset ganske svagt fra 1987 til 1990. For bygge- og anlægsvirksomhed er der derimod regnet med 1987-andelen på 0.7%.

### 3.6. Udviklingen i forbruget af fast brændsel og naturgas

Som det fremgår af afsnit 2.2 samt afsnittene 3.1-3.4, er der for de enkelte brancher estimeret relationer for el- og energiforbrug iøvrigt, d.v.s. estimationsmæssigt bestemmes forbruget af fast og flydende brændsel og naturgas samlet. Fordelingen af dette energiforbrug på typerne fast og flydende brændsel og naturgas fastlægges udfra den tekniske gennemgang af brancherne givet i afsnit 2.1 og kapitel 3.

Med hensyn til fast brændsel er det, ved at inkludere et antal dummy variable, muligt at estimere relationer, der giver en rimelig beskrivelse af den historiske udvikling. Til forecast-formål er disse relationer desværre ikke særligt anvendelige. Problemet er, at forbruget af fast brændsel er koncentreret på forholdsvis få store energiintensive virksomheder, hvor beslutninger om brændselsomlægninger sker stepvist. Historisk set kan sådanne omlægninger fanges ved hjælp af dummy variable, men dette siger ikke noget om, hvilke omlægninger der kan tænkes i fremtiden. Til forecast-formål anvendes derfor ad hoc-definerede andele fastlagt udfra kendskab til de virksomheder, der bruger fast brændsel samt forespørgsler til disse virksomheder med hensyn til eventuelle planlagte brændselsomlægninger. Hvis der ikke de seneste år er sket væsentlige brændselsomlægninger, eller der foreligger oplysninger om planlagte omlægninger, er der i modellen regnet med, at ande-

len af fast brændsel ud af fast og flydende brændsel og naturgas vil være konstant og lig andelen i 1987. For de enkelte brancher er den forudsatte udvikling i forbruget af fast brændsel beskrevet i afsnittene 2.1 og 3.1-3.4. Som oversigt er den forudsatte udvikling i forbruget af fast brændsel resumeret i tabel 3.6.1, hvor der til sammenligning er opgivet 1987-andele.

Tabel 3.6.1. Den forudsatte udvikling i forbruget af fast brændsel. Fast brændsel i % af fast og flydende brændsel og naturgas.

| Branche                    | 1987 | 1990 | 1995 | 2000 |
|----------------------------|------|------|------|------|
| Landbrug                   | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Gartnerier                 | 39.2 | 40.0 | 40.0 | 40.0 |
| Fiskeri                    | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Raffinaderier              | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Råolie og naturgas         | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Slagterier                 | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Fiskemel og foderstoffer   | 61.4 | 32.0 | 32.0 | 32.0 |
| Næringsmiddel iøvrigt      | 23.9 | 24.0 | 24.0 | 24.0 |
| Nydelsesmiddel             | 2.4  | 3.0  | 3.0  | 3.0  |
| Cement                     | 93.3 | 93.0 | 93.0 | 93.0 |
| Tegl og isolering          | 42.7 | 20.0 | 20.0 | 20.0 |
| Lev. til byggeri iøvrigt   | 50.7 | 51.0 | 51.0 | 51.0 |
| Stålværker                 | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Jernstøberier m.v.         | 23.8 | 24.0 | 24.0 | 24.0 |
| Jern og metal iøvrigt      | 2.5  | 2.5  | 2.5  | 2.5  |
| Kemiske råstoffer          | 6.8  | 6.8  | 6.8  | 6.8  |
| Kemisk industri iøvrigt    | 0.5  | 0.5  | 0.5  | 0.5  |
| Glas og keramik            | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Papir- og papfremstilling  | 64.6 | 65.0 | 65.0 | 65.0 |
| Anden fremstilling iøvrigt | 12.0 | 12.0 | 12.0 | 12.0 |
| Transportmiddelindustri    | 1.7  | 1.7  | 1.7  | 1.7  |
| Bygge- anlægsvirksomhed    | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |

Ser man på udviklingen i naturgasforbruget, blev naturgassen introduceret i 1985 og har siden været inde i en udbygningsfase, d.v.s. p.t. har vi 3 års-observationer på naturgasforbruget i en periode, hvor naturgasnettet har været under udbygning. På dette grundlag er det klart ikke muligt at estimere økonometriske relationer, hvorfor naturgasforbruget i lighed med forbruget af fast brændsel fastlægges udfra den

tekniske gennemgang af brancherne. Hvis der ikke foreligger oplysninger om en yderligere anvendelse af naturgas, er det som udgangspunkt valgt at fastholde 1987-naturgasandelen af fast og flydende brændsel og naturgas. Dette giver selvfølgelig et noget konservativt skøn over udviklingen i naturgasforbruget. På den anden side vil et forsøg på at fremskrive udviklingen udfra overvejelser om en generel indtrængning af naturgas give en højst spekulativ prognose. Den forudsatte udvikling samt 1987-andelen er resumeret i tabel 3.6.2.

Tabel 3.6.2. Den forudsatte udvikling i forbruget af naturgas. Naturgas i % af fast og flydende brændsel og naturgas.

| Branche                    | 1987 | 1990 | 1995 | 2000 |
|----------------------------|------|------|------|------|
| Landbrug                   | 6.7  | 8.0  | 8.0  | 8.0  |
| Gartnerier                 | 4.0  | 9.0  | 9.0  | 9.0  |
| Fiskeri                    | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Raffinaderier              | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Råolie og naturgas         | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Slagterier                 | 5.5  | 15.0 | 15.0 | 15.0 |
| Fiskemel og foderstoffer   | 12.4 | 42.0 | 46.0 | 46.0 |
| Næringsmiddel iøvrigt      | 3.8  | 3.8  | 8.4  | 10.0 |
| Nydelsesmiddel             | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 10.1 |
| Cement                     | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1  |
| Tegl og isolering          | 23.2 | 69.0 | 69.0 | 69.0 |
| Lev. til byggeri iøvrigt   | 2.4  | 2.4  | 2.4  | 2.4  |
| Stålværker                 | 70.0 | 90.0 | 90.0 | 90.0 |
| Jernstøberier m.v.         | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.7  |
| Jern og metal iøvrigt      | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 |
| Kemiske råstoffer          | 6.6  | 21.0 | 21.0 | 21.0 |
| Kemisk industri iøvrigt    | 16.7 | 16.7 | 16.7 | 16.7 |
| Glas og keramik            | 87.5 | 91.0 | 91.0 | 91.0 |
| Papir- og papfremstilling  | 0.0  | 0.0  | 0.0  | 0.0  |
| Anden fremstilling iøvrigt | 24.2 | 24.2 | 24.2 | 24.2 |
| Transportmiddelindustri    | 15.6 | 15.6 | 15.6 | 15.6 |
| Bygge- anlægsvirksomhed    | 0.7  | 0.7  | 0.7  | 0.7  |

## 4. EMISSIONS-SUBMODELLEN

### 4.0. Indledning

Udfra industriens energiforbrug samt en vurdering af de energirelaterede emissionskoefficienter er der opstillet en submodel til beregning af industriens energirelaterede emissioner af  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_x$ . Datagrundlaget samt den anvendte beregningsmetode er beskrevet i afsnit 4.1. Afsnit 4.2 gennemgår de beregnede/forudsatte emissionskoefficienter for de enkelte energityper i DS's energibalancer og i afsnit 4.3 præsenteres de beregnede emissionskoefficienter for de 4 energityper, der opereres med i INDUS. Desuden indeholder afsnit 4.3 en analyse af, hvorvidt det i emissionsmæssig sammenhæng er rimeligt at aggregere energiforbruget til de 4 energityper i INDUS. Afsnit 4.4 opsummerer de ikke direkte energirelaterede emissioner, der er indregnet i modellen, og endelig gives i afsnit 4.5 nogle eksempler på emissionsberegninger.

### 4.1. Datagrundlaget og den anvendte metode

Datagrundlaget for emissions-modellen er DS's detaljerede energibalancer samt beregnede emissionskoefficienter for hver enkelt af de 25 energityper, der opgøres i energibalancerne. For at kunne anvendes i sammenhæng med INDUS skal dette datagrundlag aggregeres til de 22 brancher og 4 energityper, der arbejdes med i INDUS.

Med hensyn til brancheaggregeringen er det som udgangspunkt valgt at forudsætte, at emissionskoefficienterne for den enkelte af de 25 energityper er ens for samtlige brancher. Denne forudsætning, der specielt er kritisk med hensyn til  $\text{NO}_x$ , hvor forskellige forbrændingsbetingelser kan medføre væsentligt forskellige emissioner for samme energitype, er valgt på grund af manglende data. Skulle der fremkomme et datagrundlag, der for den enkelte energitype beskriver forskelle i de enkelte

branchers emissionskoefficienter kan beregningsprogrammet tage højde herfor på INDUS-brancheniveau.

Med hensyn til aggregering af energityperne er typerne el og naturgas sammenfaldende med de tilsvarende typer i energibalancerne, hvorimod de resterende 23 typer er aggregeret til typerne fast og flydende brændsler, d.v.s. mens emissionskoefficienterne for el og naturgas er ens for samtlige brancher afhænger emissionskoefficienterne for fast og flydende brændsel af den enkelte branches sammensætning af energiforbruget på underliggende brændsler. For den enkelte branche er emissionskoefficienterne for fast og flydende brændsel beregnet som:

$$CPOLU_{iF} = \frac{\sum_{j \in F} EM_{ij}}{\sum_{j \in F} EM_{ij}} * CPOLU_j \quad \text{eq. 4.1.1}$$

og

$$CPOLU_{iO} = \frac{\sum_{j \in O} EM_{ij}}{\sum_{j \in O} EM_{ij}} * CPOLU_j \quad \text{eq. 4.1.2}$$

hvor  $i$  refererer til INDUS branche  $i$

$j$  refererer til energibalancernes 25 energityper

$F$  og  $O$  refererer til aggregeringen af energityper til henholdsvis fast og flydende brændsel

$CPOLU_{iF}$  er emissionskoefficienten for fast brændsel for branche  $i$ , målt i tons  $CO_2$ ,  $SO_2$  eller  $NO_x$  pr. TJ

$CPOLU_{iO}$  er emissionskoefficienten for flydende brændsel for branche  $i$ , målt i tons  $CO_2$ ,  $SO_2$  eller  $NO_x$  pr. TJ

$EM_{ij}$  er branche  $i$ 's energiforbrug af type  $j$ , målt i TJ og

$CPOLU_j$  er emissionskoefficienten for energitype  $j$ , målt i tons  $CO_2$ ,  $SO_2$  eller  $NO_x$  pr. TJ.

Beregningen af  $CPOLU_{iF}^i$  og  $CPOLU_{iO}^i$  er foretaget udfra 1987 energibalancen, d.v.s.  $EM_{ij}$  er 1987 energiforbrugene.

Forskelle imellem de enkelte brancher, som f.eks. at der i cementproduktionen frigøres  $CO_2$  fra kalken, er i den endelige model på INDUS-brancheniveau behandlet som korrektioner til det direkte emissionsindholdet i energiforbrug, d.v.s. emissionsberegningerne indeholder en skelnen imellem kilderne energi og andre procesafhængige emissioner.

I emissions-modellen beregnes den enkelte branches emissioner således som

$$\text{POLU}_i^t = \sum_k \text{EM}_{ik}^t * \text{CPOLU}_{ik} + \text{POLUCOR}_i^t \quad \text{eq. 4.1.3}$$

hvor  $k$  refererer til de 4 energityper i INDUS (fast, flydende, el og naturgas)

$t$  er tiden

$\text{POLU}_i^t$  er emissionerne af  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  eller  $\text{NO}_x$  fra branche  $i$  til tidspunkt  $t$  og

$\text{POLUCOR}_i^t$  er yderligere emissioner eller tilbageholdelser af  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  eller  $\text{NO}_x$ , der ikke er direkte knyttet til  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  eller  $\text{NO}_x$  indholdet i energiforbruget (f.eks.  $\text{CO}_2$  frigivelse fra kalk i cementproduktionen).

Som det bemærkes af ligning 4.1.3, er det i første omgang generelt set valgt at forudsætte konstante emissionskoefficienter ( $\text{CPOLU}_{ik}$  er uafhængige af tiden). En undtagelse herfra er  $\text{SO}_2$ - og  $\text{NO}_x$ -emissionskoefficienterne for el. Udviklingen i disse er bestemt udfra planer om at reducere elværkernes emissioner til 85.000 ton  $\text{SO}_2$  og 60.000 ton  $\text{NO}_x$  i år 2005. En beskrivelse af, hvordan el-emissionskoefficienterne forventes at udvikle sig, er givet i afsnit 4.3. At resten af emissionskoefficienterne forudsættes konstante over tiden, skyldes mangel på informationer. Emissionskoefficienterne vil kunne ændres over tiden som følge af ændret produktions- og forbrændingsteknologi, ændret brændselskvalitet (ændrede  $\text{CPOLU}_j$  koefficienter) eller som følge af ændret energiforbrugssammensætning på underliggende energityper (ændringer i  $\text{EM}_{ij} / \sum_{j \in F} \text{EM}_{ij}$  eller

$\text{EM}_{ij} / \sum_{j \in O} \text{EM}_{ij}$ , d.v.s. vægtningen af de underliggende energi-

typer i de aggrererede typer). Modelteknisk er emissionskoefficienterne defineret som variable, der med undtagelse af de el-relaterede emissioner dog antager samme værdi (1987-

værdien) i samtlige år. Dette betyder, at fremkommer der oplysninger om ændrede emissionskoefficienter, ændret vægtning af underliggende energityper eller indførelse af emissionsbegrænsende foranstaltninger, er modellen i stand til at beregne de emissionsmæssige konsekvenser af ændringerne, men modellen forsøger ikke at forudsige ændringer i emissionskoefficienterne.

#### 4.2. CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissionskoefficienter for energityperne i DS's energibalancer.

##### 4.2.1. Indledning

I dette afsnit gennemgås hvordan CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>-, og NO<sub>x</sub>-emissionskoefficienterne for de detaljerede energityper i DS's energibalancer bestemmes.

For CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> beregnes emissionskoefficienterne udfra brændslets indhold af henholdsvis kulstof og svovl, hvorimod NO<sub>x</sub>-emissionskoefficienterne fastsættes udfra vurderinger og faktiske målinger af NO<sub>x</sub>-emissionerne ved forbrænding af de enkelte energityper under forskellige forbrændingsbetingelser.

For CO<sub>2</sub> forudsættes fuldstændig forbrænding af brændslets kulstof til CO<sub>2</sub>. Teoretisk set er dette strengt taget ikke helt korrekt, da der altid vil være små mængder kulstof i asken og små mængder uforbrændt kulilte eller kulbrinte i røgen. For praktiske formål er det rimeligt at forudsætte en fuldstændig forbrænding.

For SO<sub>2</sub> forudsættes, med en enkelt undtagelse, ligeledes en fuldstændig omdannelse af svovlindholdet til SO<sub>2</sub>. Undtagelsen er ved forbrænding af fast brændsel, hvor der tages højde for det svovl, der bindes i asken.

Med hensyn til NO<sub>x</sub>-emissionerne kan disse ikke beregnes direkte udfra kvælstofindholdet i brændslet. NO<sub>x</sub> dannes under forbrændingen i selve flammen og dannes udfra både brændslets og

luftens indhold af kvælstof. Den dannede mængde af  $\text{NO}_x$  er stærkt afhængig af forbrændingsbetingelserne d.v.s. forbrændingstemperatur, tryk og ilttingsforhold. De opgivne  $\text{NO}_x$ -emissionskoefficienter er fastsat dels udfra målinger af  $\text{NO}_x$ -emissionerne ved forbrænding af forskellige brændsler under forskellige forbrændingsbetingelser og dels udfra en vurdering af hvilke forbrændingsbetingelser, der er typiske for dansk industri. I modsætning til  $\text{CO}_2$ - og  $\text{SO}_2$ -emissionskoefficienterne, hvor usikkerheden er i størrelsesorden op til 5%, er der således en ganske betydelig usikkerhed på  $\text{NO}_x$ -emissionskoefficienterne, typisk en faktor 2. I et samarbejde med Miljøstyrelsen er der dog opnået en generel koncensus om, at de opgivne  $\text{NO}_x$ -emissionskoefficienter er dem, der for industriens vedkommende anvendes i den danske planlægning.

#### 4.2.2. Beregning af emissionskoefficienter

##### $\text{CO}_2$

Den generelle emissionskoefficient for  $\text{CO}_2$  udtrykt i t  $\text{CO}_2/\text{TJ}$  brændsel beregnes således:

$$t\text{CO}_2/\text{TJ} = \frac{C * M_{\text{CO}_2} * 10}{B_t * M_C} = \frac{C}{B_t} * 36,6413 \quad \text{eq. 4.2.1}$$

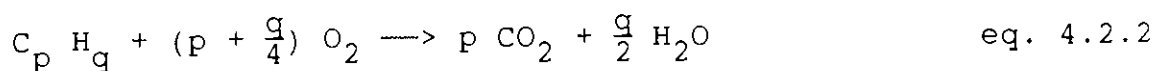
hvor C er kulstof % i brændslet

$M_{\text{CO}_2}$  er molekylvægten for  $\text{CO}_2 = 44,0098 \text{ g/mol}$

$M_C$  er molekylvægten for C = 12,0110 g/mol

$B_t$  er nedre brændværdi for brændslet i GJ/t

Formel 4.2.1 gælder for alle brændsler. Dersom brændslet er kendte kemiske forbindelser som flydende eller gasformige kulbrinter, der forbrændes støkiometrisk efter bruttoformlen





hvor  $p$  = antallet af kulstofatomer i kulbrinten  
 $q$  = antallet af brintatomer i kulbrinten,

kan kulstof % i brændslet beregnes som

$$C = \frac{M_C \cdot p \cdot 100}{M_{C_p H_q}} \quad \text{eq. 4.2.3}$$

hvor  $M_{C_p H_q}$  er molekylvægten for kulbrinten

Ved kombination af (4.2.3) og (4.2.1) fås

$$tCO_2/TJ = \frac{p \cdot M_{CO_2} \cdot 1000}{M_{C_p H_q} \cdot B_t} \quad \text{eq. 4.2.4}$$

og da

$$B_t = \frac{B_{mol}}{M_{C_p H_q}} \quad \text{eq. 4.2.5}$$

hvor  $B_{mol}$  er nedre brændværdi for kulbrinten i MJ/kmol, er

$$tCO_2/TJ = \frac{p \cdot M_{CO_2} \cdot 1000}{B_{mol}} = \frac{p \cdot 44009,8}{B_{mol}} \quad \text{eq. 4.2.6}$$

$B_{mol}$  er tabelleret i Naturgas Handbok, Sydgas A.B.

Som det fremgår af formel 4.2.1, er det forholdet mellem kulstof % og brændværdi, der bestemmer  $CO_2$ -emissionsfaktoren.

Dersom et brændstof indeholder andre brændbare bestanddele end kulstof (typisk brint eller svovl) bidrager disse til brændværdien og nedsætter kulstofprocenten hvorved  $CO_2$ -faktoren falder. Som eksempel vises her en sammenligning mellem de kemisk rene stoffer kulstof og metan.

---

|  | <u>Kulstof</u> | <u>Metan</u> |             |
|--|----------------|--------------|-------------|
| Molvægt  | 12.0110        | 16.0426      | (ref. o.f.) |
| Kulstof % vægt   | 100.00         | 74.869       | (eq. 4.2.3) |
| Brændværdi MJ/kmol                                     | 393.5127       | 802.32       | (ref. o.f.) |
| Brændværdi GJ/t  | 32.7627        | 50.012       | (eq. 4.2.5) |
| CO <sub>2</sub> -emissionsfaktor t CO <sub>2</sub> /TJ | 111.8          | 54.8         | (eq. 4.2.1) |

---

I alle beregninger benyttes nedre brændværdi, hvilket indikerer at vanddamp, der er dannet ved forbrænding af brintindholdet i brændslet forlader systemet som vanddamp, der her er standardiseret til et absolut tryk på 101,325 kPa (1.01325 bar) og en temperatur på 298,15 K (25°C). Dersom brændslet desuden indeholder frit eller bundet vand vil dette også frigøres som damp og brændslets brændværdi vil derfor være lavere. Fordampningsvarmen (25°C) er 2442,5 kJ/kg vand, hvilket betyder, at indeholder brændslet 10 vægt % vand = 100 kg vand/t brændsel forbruges 244,25 MJ/t brændsel til fordampningen.

For gode og tørre brændsler betyder dette ikke så meget, men det bliver af betydning for brændsler, der ofte er meget våde som træ og tørv eller visse brunkul med 65% vand.

For blandinger af rent kulstof og vand fås:

$$\begin{aligned} t\text{CO}_2/\text{TJ} &\longrightarrow \infty \\ \text{for C} &\longrightarrow 6,9396 \text{ \% vægt.} \end{aligned}$$

De flydende og gasformige brændsler er altid blandinger af en række forskellige kulbrinter, hvor sammensætningen kan være udtrykt i volumenprocent, molprocent eller vægtprocent.

Molprocent og vægtprocent er begge massebaserede og omregningen mellem dem er:

$$g_i = \frac{n_i \cdot M_i}{\sum_{i=1}^n n_i \cdot M_i} \cdot 100 \text{ vægt \%}$$

$$n_i = \frac{g_i/M_i}{\sum_{i=1}^n g_i/M_i} \cdot 100 \text{ mol \%}$$

hvor

$g_i$  = vægt % af komponent  $i$

$M_i$  = molvægt af komponent  $i$

$n_i$  = mol % af komponent  $i$

$n$  = antal komponenter i gasblandingen.

Kommercielle gassers sammensætning udtrykkes traditionelt i volumenprocent. Omregninger herfra til molprocent kompliceres af, at de enkelte gasarters molvolumen er forskellig, og at de altså ikke er ideale gasser. Blandinger kan heller ikke siges at være eksakt ideale, og man kan derfor ikke på forhånd gå ud fra at 1 l af en gas + 1 l af en anden tilsammen fylder 2 l. Førstnævnte forhold er der taget højde for i følgende omregningsformel. Det andet forhold er meget kompliceret, når der er tale om blandinger af mange gasarter, og anses iøvrigt for at være mindre betydningsfuldt. Da det så desuden er således, at de faktiske analyser udføres på gaskromatograf og måles i molprocent, men omregnes til volumenprocent med nedenstående formler før de publiceres, må det naturligvis være tilladeligt at tilbageregne til molprocent med de samme formler.

$$n_i = \frac{x_i/V_i}{\sum_{i=1}^n x_i/V_i} \cdot 100 \text{ mol \%}$$

$$x_i = \frac{n_i \cdot V_i}{\sum_{i=1}^n n_i \cdot V_i} \cdot 100 \text{ vol \%}$$

hvor

$x_i$  = vol % af komponent i

$V_i$  = faktisk molvolumen af komponent i (tabelleret i ref. xx)

$n_i$  = mol % af komponent i

$n$  = antal komponenter i gasblandingen.

SO<sub>2</sub>

Emissionskoefficienten kg SO<sub>2</sub>/TJ beregnes således:

$$\frac{S * M_{SO_2} * 10^4 * f}{M_S * B_t}$$

hvor

S = vægt % svovl i brændslet

$M_{SO_2}$  og  $M_S$  er molvægten af henholdsvis SO<sub>2</sub> og S

$B_t$  er brændværdien af brændslet i GJ/t og

f er den del af svovlet der emitteres med røgen. ( $0 < f < 1$ ). Resten tilbageholdes og emitteres med slaggen. For flydende og gasformige brændsler er  $f = 1$ .

Da  $M_{SO_2} = 64,0588$  og  $M_S = 32,0600$

kan omregningen skrives:

$$\text{kgSO}_2/\text{TJ} = \frac{S * 19981 * f}{B_t}$$

#### 4.2.3. De enkelte energityper

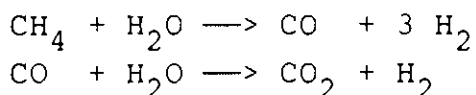
En oversigt over de beregnede/fastlagte CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissionskoefficienter er givet i tabel 4.2.1. Hvordan de enkelte emissionskoefficienter er beregnet/fastlagt, er herefter gennemgået brændsel for brændsel.

Tabel 4.2.1. Emissionskoefficienter for energityperne i Danmarks Statistiks energibalancer

| Lb. nr. | Varenr. i NR | Energiart                                   | kg/TJ SO <sub>2</sub> | kg/TJ NO <sub>x</sub> | t/TJ CO <sub>2</sub> |
|---------|--------------|---|-----------------------|-----------------------|----------------------|
| 1       | 000808       | Gasværksgas                                 | 0                     | 50                    | 59                   |
| 2       | 005130       | Fjernvarme                                  | 458                   | 256                   | 89                   |
| 3       | 270101       | Kul   | 584                   | 200                   | 95                   |
| 4       | 270201       | Brunkul                                     | ?                     | ?                     | 97                   |
| 5       | 270213       | Brunkulsbriketter                           | ?                     | ?                     | 97                   |
| 6       | 270401-3     | Støbericinders = koks                       | 584                   | 200                   | 108                  |
| 7       | 270901       | Råolie                                      | -                     | -                     | -                    |
| 8       | 271003       | Jetpetroleum                                | 5                     | ?                     | 72                   |
| 9       | 271004       | Jetbenzin                                   | ?                     | ?                     | 73                   |
| 10      | 271006       | Motorbenzin (afgiftspligtig)                | 22                    | 730                   | 73                   |
| 11      | 271008       | Motorbenzin (farvet)                        | 22                    | 730                   | 73                   |
| 12      | 271009       | Anden benzin, nafta                         | 22                    | 730                   | 73                   |
| 13      | 271014       | Petroleum (ekskl. jetpetroleum)             | 5                     | 100                   | 72                   |
| 14      | 271016       | Autogasolie                                 | 94                    | 1520                  | 74                   |
| 15      | 271018       | Fyringsgasolie                              | 94                    | 100                   | 74                   |
| 16      | 271019       | Marinedieselolie                            | 94                    | 1520                  | 74                   |
| 17      | 271020-22    | Fuelolie                                    | 495                   | 150                   | 78                   |
| 18      |              | Olieprodukter til videreforarb.             |                       |                       |                      |
| 19      | 271101       | LPG   | 0                     | 100                   | 65                   |
| 20      | 271103       | Anden gas (raffinaderigas)                  | 0                     | ?                     | 65                   |
| 21      |              | Mængde naturgas, der hentes op fra Nordsøen | -                     | -                     | -                    |
| 22      | 271701       | Elektricitet                                | 524                   | 468                   | 94                   |
| 23      | 440101       | Brænde                                      | 130                   | 130                   | 102                  |
| 24      |              | Jordoliekoks                                | 680                   | 200                   | 102                  |
| 25      |              | Naturgas distr. til forbrugere              | 0,3                   | 100                   | 56,9                 |

### 1. Gasværksgas

Gasværksgas eller bygas fremstilles i dag kun af Københavns Belysningsvæsen på gasværkerne ved Tuborg Havn og i Sundby. Gassen fremstilles ved steam-reforming og konvertering af naturgas, LPG eller evt. letbenzin efter følgende principformler:



Derefter tilsættes yderligere ureformeret naturgas, således at bygassens sammensætning er:

|                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| O <sub>2</sub>  | 2,4 volumen %   |
| N <sub>2</sub>  | 18 volumen %    |
| CO              | < 5 volumen %   |
| CO <sub>2</sub> | 9-10 volumen %  |
| CH <sub>4</sub> | 25-26 volumen % |
| H <sub>2</sub>  | 40 volumen %    |

Øvre brændværdi 4.200 kcal/Nm<sup>3</sup>

Ved omregning af volumenprocenter til molprocenter som beskrevet i indledningen og derefter til kg CO<sub>2</sub>/GJ fås en emissionskoefficient for netto bygas på  $55.5 \pm 0.8$  kg CO<sub>2</sub>/GJ netto.

Emissionskoefficienterne for brutto gasværksgasforbrug bestemmes på grundlag af energiforbruget til gasfremstillingen. Dette består af 80% naturgas og ca. 20% LPG, hvorfor emissionskoefficienten for CO<sub>2</sub> er

$$0.8 * 56.9 + 0.2 * 65 = 59 \text{ kg CO}_2/\text{GJ brutto.}$$

Den termiske virkningsgrad for bygasfremstilling er 80-84%, hvad der stemmer godt med forholdet mellem brutto og netto energiforbrug i energimatricerne.

Svovlindholdet i bygas er forsvindende, og NO<sub>x</sub>-emissionen er ret lille på grund af den ret lave forbrændingstemperatur. Den er her sat til 50 kg NO<sub>x</sub>/TJ.

## 2. Fjernvarme

Beregningerne er beskrevet under 22.: Elektricitet.

## 3. Kul

CO<sub>2</sub>-faktoren på 95 t/TJ er beregnet for kul med 68% C og brændværdi 26.2 GJ/t.

De kul, der anvendes i industrien, vil have varierende

egenskaber, hvilket medfører, at emissionsfaktoren vil ligge på 90-100 t/TJ.

SO<sub>2</sub>-faktoren på 584 kg/TJ er beregnet på grundlag af kul med 0.9% S og  $f = 0.85$ , hvilket betyder, at 15% af svovlet emitteres med asken som fast affald.

0.9% S er det maksimalt tilladelige fra 1989. I årene 1975-88 var maksimalt 1.0% tilladt.

#### 4. Brunkul og 5. Brunkulsbriketter

Brunkul og brunkulsbriketter anvendes ikke i industrien.

De kan have meget varierende sammensætning.

Den anførte CO<sub>2</sub>-faktor på 97 t CO<sub>2</sub>/TJ er beregnet ud fra brunkulsbriketter af god standard med 48% C og brændværdi 18.2 GJ/t.

Litteraturen opgiver brunkulskvaliteter med kulstofindhold på 13.5-58%, brændværdi på 4-21 GJ/t og deraf følgende emissionskoefficienter på 97-134 t CO<sub>2</sub>/TJ.

#### 6. Koks

CO<sub>2</sub>-faktoren på 108 t CO<sub>2</sub>/TJ er beregnet ud fra koks med 85% C og brændværdi 28.8 GJ/t.

Afhængigt af kulstofindholdet og fugtigheden vil CO<sub>2</sub>-faktoren være 105-115 t CO<sub>2</sub>/TJ.

SO<sub>2</sub>-faktoren er beregnet på grundlag af koks med 0.9% S og  $f = 0.935$  svarende til det lave askeindhold i koks. Begge værdier er dog behæftet med en del usikkerhed, da der ikke er nogen god statistik for svovlindholdet i de importerede koks. Den opgivne SO<sub>2</sub>-faktor kan betragtes som en øvre grænse.

#### 7. Råolie

Behandles ikke her.

## 8. Jetpetroleum

Petroleum består af ca. 80% alifatiske kulbrinter med 9-16 kulstofatomer og 20% aromater. Den faktiske kemiske sammensætning er ukendt, fordi antallet af indgående kulbrinter er meget stort. Det kan nævnes, at alene de alifatiske mættede forbindelser med 9 kulstofatomer omfatter 25 forskellige isomere. Det totale antal forskellige kulbrinter med 9-16 kulstofatomer er flere tusinde.

Her vil vi derfor opfatte petroleum som en blanding af 80 vægt % n-dodecane (C12) med nedre brændværdi 44.4706 MJ/kg og 20 vægt % toluen med nedre brændværdi 40.9363 MJ/kg. Brændværdierne er beregnet ud fra de tabellerede molære brændværdier som vist i indledningen.

CO<sub>2</sub>-emissionsfaktoren bliver herefter 72 t/TJ ved en beregnet nedre brændværdi på 43.8 MJ/kg.

Svovlindholdet i jetpetroleum er kun 0.01%, hvilket svarer til 5 kg SO<sub>2</sub>/TJ.

NO<sub>x</sub>-emission fra fly omfattes ikke af denne undersøgelse, men vil være meget forskellig for forskellige motortyper.

## 9. Jetbenzin

Benzin består af ca. 65% alifatiske kulbrinter med 4-12 kulstofatomer og ca. 35% aromater.

Af de samme grunde som nævnt under 8. Jetpetroleum regnes der med en simplificeret benzin.

Vi betragter benzin som en blanding af 65 vægt % n-heptane (C7) med nedre brændværdi 44.9230 MJ/kg og 35 vægt % toluen. Emissionskoefficienten bliver herefter 73 t CO<sub>2</sub>/TJ ved en beregnet nedre brændværdi på 43.5 MJ/kg.



Svovl- og  $\text{NO}_x$ -emissionen fra fly omfattes ikke af denne undersøgelse.

10. Motorbenzin og 11. Motorbenzin, farvet og 12. Anden benzin

$\text{CO}_2$ -emissionsfaktoren på 73 t  $\text{CO}_2/\text{TJ}$  er beregnet som for 9. Jetbenzin.

Svovlindholdet i benzin er 0.05 vægt %, hvilket jvf. indledningen giver en emissionsfaktor på 22 kg  $\text{SO}_2/\text{TJ}$ .

Al benzin forudsættes forbrugt i forbrændingsmotorer.  $\text{NO}_x$ -emissionen er derfor bestemt med COPERT-modellen for CORINAIR-databasen for EF.

Som gennemsnit for benzinformbruget til vejtrafik fås derfra en  $\text{NO}_x$ -emission på 32 g/kg benzin, hvilket svarer til 730 kg  $\text{NO}_x/\text{TJ}$ .

13. Petroleum

Den fyringspetroleum, der anvendes, er egentlig jetpetroleum, hvorfor  $\text{CO}_2$ - og  $\text{SO}_2$ -emissionsfaktorerne er de samme som nævnt for 8. Jetpetroleum.

14. Autogasolie, dieselolie

Dieselolie består af alifatiske og aromatiske kulbrinter med 10-26 kulstofatomer. Da de danske raffinaderier benytter forskellige råolier, bliver dieselolien også forskellig, og det er ikke muligt at udtale sig om den konkrete sammensætning.

Som udgangspunkt for beregning af  $\text{CO}_2$ -emissionsfaktoren er benyttet den gennemsnitlige kulstofprocent for dieselolie. Med et kulstofindhold på 85.7 vægt % og en brændværdi på 42.7 GJ/t emitteres 74 t  $\text{CO}_2/\text{TJ}$ .

Svovlindholdet er maksimalt 0.2 vægt % S fra 1989. I årene 1986-88 var maksimumindholdet 0.3% S, og i 1975-86 var maksimumindholdet 0.5% S.

Til 0.2 vægt % S svarer en  $\text{SO}_2$ -emissionskoefficient på 94 kg  $\text{SO}_2$ /TJ.

Autogasolie forudsættes brugt i dieselmotorer af mindst lastbilstørrelse, og  $\text{NO}_x$ -emissioner er derfor beregnet med COPERT-modellen for lastbiler til 65 g/kg diesel svarende til 1520 kg  $\text{NO}_x$ /TJ.

#### 15. Fyringsgasolie

$\text{CO}_2$ - og  $\text{SO}_2$ -emissionsfaktorerne er de samme som for 14. Autogasolie, da olien i alt væsentligt er den samme.  $\text{NO}_x$ -faktoren er væsentlig lavere, da fyringsgasolie forudsættes anvendt til fyring i kedler.

#### 16. Marinedieselolie

Der anvendes de samme emissionsfaktorer som for 14. Autogasolie.

#### 17. Fuelolie

Fuelolie med lavt svovlindhold opgives at have et kulstofindhold på 86 vægt % C. Med en nedre brændværdi på 40.4 GJ/t fås en emissionsfaktor på 78 t  $\text{CO}_2$ /TJ.

Svovlindholdet er maksimalt 1.0 vægt % S fra 1989. For 1986-88 var gennemsnitsindholdet 1.45% S, og for 1975-86 var gennemsnitsindholdet 2.35 % S.

Til 1.0 vægt % S svarer en emissionskoefficient på 495 kg  $\text{SO}_2$ /TJ.

#### 18. Olieprodukter til videreforarbejdning

Behandles ikke her.

#### 19. LPG

LPG leveres fra raffinaderierne som to forskellige produkter. Det ene "propan" består af ca. 97 mol % propan, ca. 3

mol % etan og lidt butan. Det andet produkt "butan" består af ca. 68 mol % n-butan, ca. 28 mol % i-butan, ca. 2 mol % propan og ca. 2 mol % pentan og højere kulbrinter. Leverancerne af "propan" og "butan" følges af analysecertifikater med det faktiske indhold opgivet i mol %, der gør det nemt at beregne CO<sub>2</sub>-emissionsfaktorerne.

For "propan" beregnes en gennemsnitsemmission på 64.53 t CO<sub>2</sub>/TJ og en nedre brændværdi på 46.376 GJ/t.

For "butan" beregnes en gennemsnitsemmission på 66.31 t CO<sub>2</sub>/TJ og en nedre brændværdi på 45.672 GJ/t.

Den LPG, der leveres, er da enten "propan" eller "butan" eller blandinger af disse produkter.

Som Autogas leveres for eksempel om vinteren 60% "propan" + 40% "butan" men om sommeren 40% "propan" og 60% "butan". Andre forbrugere får 100% "propan" eller blandinger med overvægt af "propan".

For LPG-forbruget som helhed vil forholdet være 80% "propan" og 20% "butan".

Denne sammensætning vil give den her benyttede emissionsfaktor på 65 t CO<sub>2</sub>/TJ og en brændværdi på 46.2 GJ/t.

Svovlindholdet i LPG er under 1 mg/kg eller under 0.0001%, hvilket giver en emissionsfaktor under 0.04 kg SO<sub>2</sub>/TJ.

## 20. Anden gas

For SO<sub>2</sub> og CO<sub>2</sub> benyttes samme emissionskoefficienter som for LPG.

## 21. Naturgas fra Nordsøen

Behandles ikke her, se 25. Naturgas til forbrugere.

## 22. Elektricitet og 2. fjernvarme

Emissioner fra el- og fjernvarmeproduktion stammer fra forbruget af brændsel. Da der desuden er begrænsninger på den totale emission af SO<sub>2</sub>, vil svovlindholdet i de brænd-

sler, elværkerne bruger, ligge lavere end de iøvrigt til-  
ladte.

De totale emissioner af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> for kraftværker og fjernvarmeværker er beregnet i "Emissioner af SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> og CO<sub>2</sub> fra det samlede danske energisystem" (Risø, oktober 1990), hvor også det totale energiforbrug i TJ er beregnet.

For el- og kraftvarmeproduktionen haves et totalt energiforbrug fra kraftværkerne i 1987 på 286380 TJ og en emission på

26894000 t CO<sub>2</sub> ~ 94 t CO<sub>2</sub>/TJ  
150000 t SO<sub>2</sub> ~ 524 kg SO<sub>2</sub>/TJ  
134085 t NO<sub>x</sub> ~ 468 kg NO<sub>x</sub>/TJ

Disse emissionskoefficienter gælder for elproduktionen og for kraftvarmeleverancerne, men skal for sidst nævntes vedkommende vejes sammen med fjernvarmeproduktionen.

Der leveredes fra kraftværkerne 52022 TJ kraftvarme, der med en virkningsgrad på 2.0 har et energiforbrug på 26011 TJ.

Fjernvarmeværkerne havde et energiforbrug i 1987 på 54850 TJ, der medførte emissionerne

4698000 t CO<sub>2</sub>  
23434 t SO<sub>2</sub>  
8548 t NO<sub>x</sub>

Det samlede energiforbrug til kraftvarme- og fjernvarmeproduktion på 26011 + 54850 = 80861 TJ havde derfor en emission på:

26011 \* 94 + 4698000 t CO<sub>2</sub> ~ 89 t CO<sub>2</sub>/TJ  
26011 \* 524 + 23434000 kg SO<sub>2</sub> ~ 458 kg SO<sub>2</sub>/TJ  
26011 \* 468 + 8548000 kg NO<sub>x</sub> ~ 256 kg NO<sub>x</sub>/TJ

### 23. Brænde

I industriel sammenhæng er denne energiform affaldstræ, der har en brændværdi på 14.5 GJ/t. For træ med 40,4% kulstof fås da en emissionsfaktor på 102 t CO<sub>2</sub>/TJ.

Med et svovlindhold på 0.1 vægt % og en f-faktor på 0.94 fås emissionsfaktoren 130 kg SO<sub>2</sub>/TJ.

### 24. Jordoliekok

Jordoliekok eller petrokoks er et fast restprodukt ved raffineringen af råolie, der har en brændværdi på 31.4 GJ/t.

CO<sub>2</sub>-faktoren på 102 t CO<sub>2</sub>/TJ er beregnet ud fra petroleumskoks med 87 vægt % kulstof.

SO<sub>2</sub>-faktoren på 680 kg SO<sub>2</sub>/TJ er beregnet ud fra et svovlindhold på 1.2 vægt % og f-faktor på 0.89.

Petrokoks anvendes kun i industrier (f.eks. cementfabrikker), hvor f-faktoren er meget lavere, men så kan svovlindholdet også være meget højere. Disse forhold beskrives under de relevante brancher.

### 25. Naturgas distribueret til forbrugere

Dansk Gasteknisk Center publicerer en "reference gassammensætning", der er vist i tabel 4.2.2. Vi behandler andelen af kulbrinter med seks og flere kulstofatomer som n-heptan.

Emissionen i g CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> naturgas er beregnet efter formlen:

$$\text{g CO}_2/\text{m}^3 = \frac{\text{vol \%} * \text{antal C} * 440.098}{\text{molvolumen i l/mol}}$$

Som det fremgår af tabellen, findes CO<sub>2</sub>-emissionskoefficienten til 56.9 t CO<sub>2</sub>/TJ.

Tabel 4.2.2. Reference gassammensætning

| DGC naturgas                 | vol. %  | l/mol gasart | g/mol gasart | mol %   | vægt %  | Antal C-atomer | g CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> N.gas |
|------------------------------|---------|--------------|--------------|---------|---------|----------------|---|
| metan                        | 91.03   | 22.3600      | 16.0426      | 90.911  | 80.758  | 1              | 1791.69                                 |
| etan                         | 5.06    | 22.1874      | 30.0694      | 5.093   | 8.479   | 2              | 200.74                                  |
| propan                       | 1.89    | 21.9297      | 44.0962      | 1.925   | 4.699   | 3              | 113.79                                  |
| i-butan                      | 0.34    | 21.6104      | 58.1230      | 0.351   | 1.131   | 4              | 27.70                                   |
| n-butan                      | 0.49    | 21.5205      | 58.1230      | 0.508   | 1.636   | 4              | 40.08                                   |
| i-pentan                     | 0.129   | 21.0838      | 72.1498      | 0.137   | 0.546   | 5              | 13.46                                   |
| n-pentan                     | 0.087   | 20.8907      | 72.1498      | 0.093   | 0.372   | 5              | 9.16                                    |
| CO <sub>2</sub>              | 0.60    | 22.2461      | 44.0098      | 0.602   | 1.468   | 1              | 11.87                                   |
| N <sub>2</sub>               | 0.30    | 22.4037      | 28.0134      | 0.299   | 0.464   |                | 0                                       |
| C6+ (C7)                     | 0.074   | 20.5000      | 100.2034     | 0.081   | 0.447   | 7              | 11.12                                   |
| sum                          | 100.000 |              |              | 100.000 | 100.000 |                | 2219.61                                 |
| brændværdi kJ/m <sup>3</sup> |         |              |              |         |         |                | 39040                                   |
| kg CO <sub>2</sub> /GJ       |         |              |              |         |         |                | 56.85                                   |

Naturgas indeholder ca. 1 mg H<sub>2</sub>S/Nm<sup>3</sup> og tilsættes som lugtstof 18 mg tetrahydrothiophen pr. Nm<sup>3</sup>. Disse svovlforbindelser giver tilsammen et svovlindhold på 5.44 mg S/m<sup>3</sup>, hvilket giver en SO<sub>2</sub>-emissionsfaktor på 0.3 kg SO<sub>2</sub>/TJ.

#### 4.3. Emissionskoefficienter for de 4 energityper i INDUS

Som nævnt i afsnit 4.1 er energityperne el og naturgas sammenfaldende med de tilsvarende energityper i DS's energibalancer, hvorimod typerne fast og flydende brændsel er summer af underliggende energityper i DS's energibalancer. Da emissionskoefficienterne for energityperne i DS's energibalancer (med undtagelse af el-emissionskoefficienterne) forudsættes at være konstante og ens for samtlige brancher vil dette også være tilfældet for INDUS-typen naturgas. Derimod vil koefficienterne for fast og flydende brændsel variere over tiden og fra branche til branche afhængigt af, hvordan forbruget er sammensat af underliggende energityper.

Med hensyn til el er emissionskoefficienterne ens for samtlige brancher, men som følge af emissionsbegrænsningerne på elværkerne forudsættes  $\text{SO}_2$ - og  $\text{NO}_x$ -emissionskoefficienterne at være faldende over tiden. Emissionsfaktorerne for  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_x$  er frem til 1988 bestemt på grundlag af opgørelser over de faktiske brændselsforbrug samt elsektorens opgørelser af emitterede mængder. Efter 1988 er emissionsfaktorerne beregnet på basis af det forventede bruttoenergiforbrug og kvoter for de samlede maksimalt tilladte emissioner af  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_x$  fra kraftværkerne. Kvoter på  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_x$  fastlægges løbende for de næste 4 år af Miljøministeriet i samråd med elværkerne. De i tabel 4.3.1 viste kvoter for hele tidsperioden frem til år 2010 er baseret på p.t. fastlagte maksimalkvoter samt forventede maksimalkvoter med baggrund i målsætninger i dansk energi- og miljøpolitik bl.a. i relation til internationale rekommendationer. Det er antaget, at maksimalkvoterne efter 1988 netop emitteres i forbindelse med det forventede bruttoenergiforbrug på kraftværkerne.

Bruttoenergiforbruget i 1988 er som nævnt det faktiske energiforbrug uden klimakorrektion, hvorimod det prognostiserede bruttoenergiforbrug efter 1988 er klimakorrigeret og eksklusiv nettoimport af elektricitet. Af denne grund ses i tabel 4.3.1 et spring fra 1988 til 1989. Den i tabel 4.3.1. viste bruttoenergiforbrugsudvikling frem til år 2010 er "basisudviklingen" for kraftværkerne i Energi 2000.

De beregnede el-emissionskoefficienter samt emissionskoefficienterne for naturgas er givet i tabel 4.3.2, og de for 1987 beregnede emissionskoefficienter for fast og flydende brændsel er præsenteret i tabel 4.3.3.

Som det ses af tabel 4.3.3, er den branchemæssige variation i emissionskoefficienterne for  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_x$  ganske betydelig, hvorimod  $\text{CO}_2$  koefficienterne er relativt ens. For  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_x$  afspejler dette ganske betydelige forskelle i emissionskoefficienterne for de underliggende energityper samt at energiforbrugets fordeling på de underliggende energityper er ganske forskellig fra branche til branche.

Tabel 4.3.1. Den forudsatte udvikling i elproduktionen samt tilladte emissionskvoter

|      | El-behov<br>brutto <sup>1)</sup> | Emissionskvoter <sup>2)</sup> |                 |
|------|----------------------------------|-------------------------------|-----------------|
|      |                                  | SO <sub>2</sub>               | NO <sub>x</sub> |
|      | PJ                               | ton                           | ton             |
| 1987 | 286                              | 150000                        | 134085          |
| 1988 | 272                              | 157000                        | 126211          |
| 1989 | 317                              | 200000                        | 135000          |
| 1990 | 323                              | 195000                        | 130000          |
| 1995 | 350                              | 125000                        | 110000          |
| 2000 | 378                              | 110000                        | 77000           |
| 2005 | 378                              | 85000                         | 60000           |
| 2010 | 378                              | 85000                         | 60000           |

- 1) Bruttoenergiforbruget på kraftværkerne efter 1988 er baseret på Energi 2000, Basisforløb.
- 2) Emissionskvoter for SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> efter 1988 er baseret på gældende miljølovgivning samt forventede maksimalkvoter for den samlede emission fremover med baggrund i internationale målsætninger for emissionsbegrænsning.

Tabel 4.3.2. Emissionskoefficienter for el og naturgas

|          |      | SO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> |
|----------|------|-----------------|-----------------|-----------------|
|          |      | (kg/TJ)         | (t/TJ)          | (kg/TJ)         |
| El       | 1987 | 524             | 94              | 468             |
|          | 1988 | 577             | 94              | 464             |
|          | 1989 | 631             | 94              | 426             |
|          | 1990 | 605             | 94              | 403             |
|          | 1995 | 357             | 94              | 314             |
|          | 2000 | 291             | 94              | 204             |
|          | 2005 | 225             | 94              | 159             |
|          | 2010 | 225             | 94              | 159             |
| Naturgas |      | 0.5             | 56.9            | 100             |



Tabel 4.3.3. Emissionskoefficienter for fast og flydende brændsel (1987-data)

|  | Fast brændsel   |                 |                 | Flydende brændsel |                 |                 |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|
|  | SO <sub>2</sub> | CO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | SO <sub>2</sub>   | CO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> |
|  | (kg/TJ)         | (t/TJ)          | (kg/TJ)         | (kg/TJ)           | (t/TJ)          | (kg/TJ)         |
| Landbrug                                 | 584             | 95              | 200             | 92                | 74              | 1286            |
| Gartnerier                               | 578             | 95              | 199             | 391               | 80              | 240             |
| Fiskeri                                  | 584             | 95              | 200             | 98                | 74              | 1227            |
| Råolie og naturgas                       | 584             | 95              | 200             | 324               | 76              | 129             |
| Raffinaderier                            | 584             | 95              | 200             | 73                | 74              | 345             |
| Slagterier                               | 139             | 102             | 131             | 343               | 77              | 311             |
| Foderstoffer                             | 584             | 95              | 200             | 393               | 77              | 272             |
| Næringsmidler                            | 583             | 96              | 200             | 288               | 76              | 428             |
| Nydelsesmidler                           | 584             | 95              | 200             | 434               | 77              | 236             |
| Cement                                   | 642             | 99              | 200             | 314               | 76              | 156             |
| Isolering                                | 595             | 99              | 200             | 259               | 74              | 187             |
| Byggeri                                  | 268             | 100             | 151             | 186               | 73              | 201             |
| Stålværker                               | 584             | 108             | 200             | 134               | 73              | 214             |
| Jernstøberier, metalværker og -støberier | 425             | 104             | 173             | 201               | 72              | 136             |
| Jern- og metalindustri iøvrigt           | 331             | 104             | 161             | 182               | 75              | 238             |
| Kemiske råstoffer                        | 584             | 95              | 200             | 427               | 77              | 172             |
| Kemi iøvrigt                             | 227             | 101             | 145             | 277               | 76              | 247             |
| Papirfremstil.                           | 584             | 95              | 200             | 483               | 78              | 160             |
| Glas & keramik                           | 262             | 100             | 150             | 178               | 70              | 228             |
| Iøvrigt                                  | 131             | 102             | 130             | 205               | 74              | 238             |
| Transportmiddel                          | 407             | 98              | 173             | 253               | 76              | 176             |
| Bygge-anlæg                              | 584             | 95              | 200             | 100               | 73              | 1062            |

Som nævnt i afsnit 4.1 forudsættes i emissionsmodellen, at emissionskoefficienterne i tabel 4.3.3 er konstante over tiden, d.v.s. foruden konstante emissionskoefficienter for underliggende energityper forudsættes vægtningen af underliggende energityper at være konstant. Da INDUS-modellen ikke beskriver substitutionen imellem underliggende energityper, er det ikke muligt at forudsige en ændret vægtning af disse. For at analysere, hvorvidt en ændret vægtning historisk set har medført væsentlige ændringer i de beregnede/aggregerede emissionskoefficienter, er disse beregnet for en række år. For årene 1970, 1980, 1985 og 1987 er emissionskoefficienterne beregnet udfra faste emissionskoefficienter for underliggende energityper vægtet med årets faktiske fordeling på underliggende energityper. Beskrevet matematisk er ligningerne 4.1 og

4.2 beregnet for årene 1970, 1980, 1985 og 1987, hvor  $CPOLU_j$  er emissionskoefficienterne beskrevet i afsnit 4.2, og  $EM_{ij}$  er årets faktiske forbrug af den underliggende energitype  $j$ . Resultatet af beregningerne er vist i tabellerne 4.3.4-4.3.6. Ser man på den enkelte branche, betyder en væsentlig ændring i en af emissionskoefficienterne, at der er sket en betydelig substitution fra én underliggende energitype til en anden, og at de 2 energityper har væsentligt forskellige emissionskoefficienter. Har substitutionen været minimal, eller har de substituerende energityper nogenlunde ens emissionskoefficienter, vil de beregnede emissionskoefficienter være forholdsvis konstante.

Ser man på tabellerne 4.3.4-4.3.6, er det generelle indtryk, at emissionskoefficienterne er forholdsvis stabile over tiden. Variationen imellem de 4 energityper fast, flydende, el og naturgas, og for fast og flydende brændsel imellem de enkelte brancher er betydeligt større end den tidsmæssige variation indenfor den enkelte branche og aggregerede type. Gennemgås tabellerne mere detaljeret, vil man dog bemærke, at den tidsmæssige variation specielt for  $SO_2$  og  $NO_x$ -koefficienterne ikke er ubetydelig, og at der sagtens kan ske væsentlige spring fra det ene år til det næste. Specielt bemærkes, at der for en del brancher er sket ganske betydelige ændringer fra 1980 til 1985, hvorimod ændringerne fra 1985 til 1987 har været mere moderate.

Tabel 4.3.4. Beregnede SO<sub>2</sub>-emissionskoefficienter

| (kg/TJ)                                  | Fast |      |      |      | Flydende |      |      |      |
|--|------|------|------|------|----------|------|------|------|
|  | 1970 | 1980 | 1985 | 1987 | 1970     | 1980 | 1985 | 1987 |
| Landbrug                                 | 584  | 584  | 584  | 584  | 131      | 121  | 84   | 92   |
| Gartnerier                               | 584  | 584  | 575  | 578  | 339      | 382  | 367  | 391  |
| Fiskeri                                  | 584  | 584  | 584  | 584  | 111      | 99   | 98   | 98   |
| Råolie og naturgas                       | 584  | 584  | 584  | 584  | 0        | 94   | 318  | 324  |
| Raffinaderier                            | 584  | 584  | 584  | 584  | 375      | 61   | 75   | 73   |
| Slagterier                               | 135  | 557  | 145  | 139  | 375      | 351  | 355  | 343  |
| Foderstoffer                             | 584  | 584  | 584  | 584  | 471      | 462  | 422  | 393  |
| Næringsmidler                            | 577  | 582  | 583  | 583  | 327      | 344  | 315  | 288  |
| Nydelsesmidler                           | 543  | 584  | 584  | 584  | 409      | 440  | 435  | 434  |
| Cement                                   | 584  | 584  | 646  | 642  | 488      | 461  | 366  | 314  |
| Isolering                                | 553  | 580  | 597  | 595  | 443      | 346  | 277  | 259  |
| Byggeri                                  | 140  | 142  | 252  | 268  | 317      | 295  | 205  | 186  |
| Stålværker                               | 584  | 584  | 584  | 584  | 271      | 240  | 148  | 134  |
| Jernstøberier, metalværker og -støberier | 584  | 584  | 541  | 425  | 452      | 401  | 249  | 201  |
| Jern- og metalindustri iøvrigt           | 563  | 510  | 416  | 331  | 311      | 215  | 196  | 182  |
| Kemiske råstof.                          | 584  | 584  | 584  | 584  | 333      | 417  | 396  | 427  |
| Kemi iøvrigt                             | 380  | 325  | 272  | 227  | 263      | 277  | 301  | 277  |
| Papirfremstil.                           | 132  | 584  | 584  | 584  | 491      | 486  | 485  | 483  |
| Glas & keramik                           | 584  | 584  | 283  | 262  | 391      | 369  | 180  | 178  |
| Iøvrigt                                  | 212  | 131  | 131  | 131  | 369      | 309  | 237  | 205  |
| Transportmiddel                          | 481  | 119  | 449  | 407  | 349      | 286  | 283  | 253  |
| Bygge-anlæg                              | 584  | 584  | 584  | 584  | 134      | 104  | 101  | 100  |

Tabel 4.3.5. Beregnede CO<sub>2</sub>-emissionskoefficienter

| (ton/TJ)                                 | Fast |      |      |      | Flydende |      |      |      |
|--|------|------|------|------|----------|------|------|------|
|  | 1970 | 1980 | 1985 | 1987 | 1970     | 1980 | 1985 | 1987 |
| Landbrug                                 | 95   | 95   | 95   | 95   | 74       | 74   | 74   | 74   |
| Gartnerier                               | 95   | 95   | 95   | 95   | 76       | 77   | 79   | 80   |
| Fiskeri                                  | 95   | 95   | 95   | 95   | 74       | 74   | 74   | 74   |
| Råolie og naturgas                       | 95   | 95   | 95   | 95   | 59       | 74   | 76   | 76   |
| Raffinaderier                            | 95   | 95   | 95   | 95   | 85       | 72   | 74   | 74   |
| Slagterier                               | 102  | 108  | 102  | 102  | 78       | 77   | 77   | 77   |
| Foderstoffer                             | 95   | 95   | 95   | 95   | 78       | 78   | 77   | 77   |
| Næringsmidler                            | 100  | 96   | 96   | 96   | 77       | 77   | 76   | 76   |
| Nydelsesmidler                           | 102  | 95   | 95   | 95   | 77       | 77   | 77   | 77   |
| Cement                                   | 95   | 95   | 100  | 99   | 78       | 78   | 77   | 76   |
| Isolering                                | 101  | 100  | 99   | 99   | 77       | 75   | 74   | 74   |
| Byggeri                                  | 102  | 102  | 100  | 100  | 77       | 75   | 73   | 73   |
| Stålværker                               | 107  | 108  | 108  | 108  | 76       | 74   | 74   | 73   |
| Jernstøberier, metalværker og -støberier | 108  | 108  | 105  | 104  | 78       | 77   | 74   | 72   |
| Jern- og metalindustri iøvrigt           | 106  | 106  | 105  | 104  | 76       | 75   | 75   | 75   |
| Kemiske råstof.                          | 108  | 95   | 95   | 95   | 76       | 77   | 77   | 77   |
| Kemi iøvrigt                             | 103  | 99   | 100  | 101  | 75       | 76   | 76   | 76   |
| Papirfremstil.                           | 102  | 95   | 95   | 95   | 78       | 78   | 78   | 78   |
| Glas & keramik                           | 95   | 95   | 100  | 100  | 75       | 75   | 70   | 70   |
| Iøvrigt                                  | 101  | 102  | 102  | 102  | 78       | 78   | 75   | 74   |
| Transportmiddel                          | 106  | 101  | 97   | 98   | 76       | 76   | 77   | 76   |
| Bygge-anlæg                              | 95   | 95   | 95   | 95   | 73       | 73   | 73   | 73   |

Tabel 4.3.6. Beregnede NO<sub>x</sub>-emissionskoefficienter

| (kg/TJ)                                  | Fast |      |      |      | Flydende |      |      |      |
|--|------|------|------|------|----------|------|------|------|
|  | 1970 | 1980 | 1985 | 1987 | 1970     | 1980 | 1985 | 1987 |
| Landbrug                                 | 200  | 200  | 200  | 200  | 1046     | 1028 | 1252 | 1286 |
| Gartnerier                               | 200  | 200  | 199  | 199  | 148      | 165  | 238  | 240  |
| Fiskeri                                  | 200  | 200  | 200  | 200  | 1426     | 1460 | 1302 | 1227 |
| Råolie og naturgas                       | 200  | 200  | 200  | 200  | 50       | 102  | 129  | 129  |
| Raffinaderier                            | 200  | 200  | 200  | 200  | 320      | 288  | 295  | 345  |
| Slagterier                               | 131  | 196  | 132  | 131  | 168      | 225  | 280  | 311  |
| Foderstoffer                             | 200  | 200  | 200  | 200  | 159      | 185  | 235  | 272  |
| Næringsmidler                            | 199  | 200  | 200  | 200  | 216      | 301  | 389  | 428  |
| Nydelsesmidler                           | 194  | 200  | 200  | 200  | 184      | 200  | 236  | 236  |
| Cement                                   | 200  | 200  | 200  | 200  | 158      | 150  | 159  | 156  |
| Isolering                                | 195  | 199  | 200  | 200  | 167      | 152  | 180  | 187  |
| Byggeri                                  | 132  | 132  | 148  | 151  | 224      | 165  | 180  | 201  |
| Stålværker                               | 200  | 200  | 200  | 200  | 153      | 152  | 197  | 214  |
| Jernstøberier, metalværker og -støberier | 200  | 200  | 189  | 173  | 148      | 141  | 131  | 136  |
| Jern- og metalindustri iøvrigt           | 197  | 188  | 174  | 161  | 202      | 197  | 223  | 238  |
| Kemiske råstof.                          | 200  | 200  | 200  | 200  | 337      | 168  | 173  | 172  |
| Kemi iøvrigt                             | 169  | 160  | 152  | 145  | 210      | 204  | 228  | 247  |
| Papirfremstil.                           | 130  | 200  | 200  | 200  | 151      | 156  | 159  | 160  |
| Glas & keramik                           | 200  | 200  | 154  | 150  | 141      | 140  | 161  | 228  |
| Iøvrigt                                  | 143  | 130  | 130  | 130  | 224      | 217  | 225  | 238  |
| Transportmiddel                          | 184  | 116  | 179  | 173  | 164      | 145  | 165  | 176  |
| Bygge-anlæg                              | 200  | 200  | 200  | 200  | 912      | 955  | 1013 | 1062 |

Konkluderende må man sige, at forudsætningen om konstante aggregerede emissionskoefficienter d.v.s. en konstant vægtning af underliggende energityper næppe vil være opfyldt, og at dette specielt er et problem med hensyn til SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>-emissionerne, hvorimod problemet er minimalt med hensyn til CO<sub>2</sub>-emissionerne. Problemet synes specielt stort, når en energitype pludselig introduceres med en betydelig vægt, som f.eks. da slagterierne i 1980 midlertidigt brugte en væsentlig mængde kul. Sagt på en anden måde, sker der væsentlige ændringer i energiforbrugssammensætningen på de aggregerede energityper, vil dette normalt også ændre de aggregerede typers sammensætning på underliggende typer, og dette vil igen ændre de aggregerede emissionskoefficienter. Holder vi os til slagterierne, der i 1987 anvender en smule brænde med et lavt svovlindhold og en aggregeret SO<sub>2</sub>-koefficient på 139, vil en kraftig substitution til fast brændsel sandsynligvis være en introduktion af kul med en SO<sub>2</sub>-koefficient på 584, d.v.s. emissionskoefficienten vil stige ganske voldsomt. Udfra de aggregerede emissionskoefficienter i tabel 4.3.3 skal man således være

meget varsom med at anbefale betydelige emissionsbegrænsende substitutioner, ligesom man ved modelberegninger/fremskrivninger skal være opmærksom på, hvorvidt der vil ske betydelige ændringer i sammensætningen på underliggende energityper. Sker der væsentlige ændringer, må man søge at vurdere hvilke underliggende energityper, der er involveret, og udfra emissionskoefficienterne i afsnit 4.2 skønne, hvor meget de aggregerede emissionskoefficienter ændres.

På den anden side må man også konkludere, at opdelingen på de 4 energityper i INDUS samt brancheopdelingen fanger en væsentlig del af forskellene i emissionskoefficienterne, og at forudsætningen om konstante emissionskoefficienter er svær at komme uden om, sålænge man ikke samtidig forudsiger sammensætningen på underliggende energityper.

#### 4.4. Korrektioner til brændslernes indhold af forurenende stoffer

Som nævnt i afsnit 4.1 og beskrevet i ligning 4.1.3 skelnes i emissionsmodellen imellem 2 typer af energirelaterede emissioner:

- a) emissioner, der er knyttet direkte til de enkelte brændslers indhold af forurenende stoffer, bestemt ved første led i ligning 4.1.3:  $(\sum_k EM_{ik}^t * CPOLU_{ik})$  og beskrevet i afsnittene 4.2 og 4.3.

og b) andre emissioner eller emissionsreduktioner, hvor der under forbrændingen enten frigives yderligere emissioner fra råstoffer, der indgår i produktionen, eller ved at en del af brændslernes emissioner bindes i produktet.

Udfra gennemgangen af de enkelte brancher i afsnit 2.1 skal i dette afsnit resumeres de forholdsvis få emissioner af type b), det er fundet relevant at introducere i emissionsmodellen,

d.v.s. i dette afsnit skal gennemgås, hvilke korrektioner der er introduceret, samt hvordan korrektionsleddet  $POLUCOR_t^t$  i ligning 4.1.3 er bestemt.

For langt hovedparten af modellens brancher er emissionerne altovervejende af type a), hvorfor det er valgt at sætte  $POLUCOR_i^t = 0$ , men for brancherne cement, teglværker og isoleringsfremstilling samt kemiske råstoffer medfører produktionsprocessen, at branchens totale emissioner afviger betydeligt fra brændslernes indhold af forurenende stoffer, og  $POLUCOR_i^t \neq 0$ .

Som nævnt i afsnit 2.1 under gennemgangen af cementfabrikkerne frigøres der under calcinering  $CO_2$  fra kalken. Mængden af  $CO_2$ , der frigøres, varierer med produktionen, og ved en produktion på 1.2-1.5 mio. tons cement emitteres ca. 900.000 tons  $CO_2$ . Omregnet til cementfabrikkernes produktion i mio. 1980-kr. giver dette en  $CO_2$ -emission på ca. 970 tons  $CO_2$  pr. mio. 1980-kr. produktion, hvorfor korrektionen inkluderes i emissionsmodellen som:

$$\text{eq. 4.4.1. } CO_2 \text{ } POLUCOR_{CEM}^t = 970 * QFO_{CEM}$$

hvor  $QFO_{CEM}$  er cementfabrikkernes produktion i mio. 1980-kr.

I forbindelse med den semitørre cementproduktionsproces regnes med, at ca. 75% af brændslernes svovlindhold bindes i klinkerne. Regnes med, at den semitørre proces anvendes til 3/4 af produktionen, kan  $SO_2$ -korrektionen beregnes som

$$\text{eq. 4.4.2. } SO_2 \text{ } POLUCOR_{CEM}^t = -0.75 * 3/4 * (642 * EM_{CEM,F}^t + 314 * EM_{CEM,O}^t)$$

hvor  $EM_{CEM,F}^t$ ,  $EM_{CEM,O}^t$  er cementfabrikkernes forbrug af fast- og flydende brændsel og de 642 og 314 er  $SO_2$ -emissionskoefficienterne for cementfabrikkernes forbrug af fast og flydende brændsel (se tabel 4.3.3).

I 1991 forventes vådprocesanlæggene udstyret med et svovlrensningensanlæg, hvorfor de  $3/4$  i ligning 4.4.2 fra 1992 kan erstattes med 1, d.v.s.  $SO_2$ -emissionerne fra forbruget af fast og flydende brændsel reduceres til 25% af brændslernes svovlindhold.

I perioden 1991-93 forventes samtlige brændere på cementfabrikkerne udskiftet med lav- $NO_x$ -brændere, hvorfor  $NO_x$ -emissionerne korrigeres med

$$\text{eq. 4.4.3. } NO_x \text{ POLUCOR}_{CEM}^t = -0.25 * (200 * EM_{CEM,F}^t + 156 * EM_{CEM,O}^t)$$

hvor  $EM_{CEM,F}^t$  og  $EM_{CEM,O}^t$  er branchens forbrug af fast- og flydende brændsel, og de 200 og 156 er branchens  $NO_x$ -emissionskoefficienter for fast og flydende brændsel (se tabel 4.3.3).

På teglværkerne giver produktionen af gule mursten anledning til korrektioner af  $CO_2$ - og  $SO_2$ -emissionerne. Blåler, der anvendes i produktion af gule mursten, indeholder både kalk og svovl, og ved brænding af murstene frigives  $CO_2$  og  $SO_2$ . Emissionerne er proportionale med produktionen af gule sten. Ved en produktion på 500 mio. gule sten emitteres ca. 88.000 ton  $CO_2$  og ca. 460 ton  $SO_2$ . Regnes med, at produktionen af gule mursten følger udviklingen i branchens totale produktion, kan emissionerne ved produktionen af gule mursten inkluderes i modellen ved følgende korrektioner:

$$\text{eq. 4.4.4. } CO_2 \text{ POLUCOR}_{ISO}^t = 44.07 * QFO_{ISO}$$

og

$$\text{eq. 4.4.5. } SO_2 \text{ POLUCOR}_{ISO}^t = 0.23 * QFO_{ISO}$$

hvor  $QFO_{ISO}$  er branchens produktion i 1980-priser.

I forbindelse med fremstillingen af isoleringsmaterialer afbrændes en del af naturgasforbruget ved en relativt lav temperatur, og hele forbruget af fast brændsel afbrændes i en kupolovn, der fyres med iltunderskud (se gennemgang af teglværker og fremstilling af isoleringsmaterialer i afsnit 2.1). Dette giver anledning til følgende korrektion af branchens  $\text{NO}_x$ -emissioner:

$$\text{eq. 4.4.6. } \text{NO}_x \text{ POLUCOR}_{\text{ISO}}^t = -0.5 \cdot (100 \cdot \text{EM}_{\text{ISO,G}}^t \cdot 3/8 + 200 \cdot \text{EM}_{\text{ISO,F}}^t)$$

hvor  $\text{EM}_{\text{ISO,G}}^t$  og  $\text{EM}_{\text{ISO,F}}^t$  er branchens forbrug af naturgas og fast brændsel, de 100 og 200 er branchens  $\text{NO}_x$ -emissionskoefficienter for naturgas og fast brændsel (se tabel 4.3.2 og 4.3.3), og de 3/8 står for, at ca. 3/8 af branchens naturgasforbrug afbrændes ved den relativt lave temperatur.

I branche kemiske råstoffer afbrændes i produktionen af svovl- og salpetersyre henholdsvis svovl og ammoniak. Faktisk anvendes afbrændingen af svovl og ammoniak som en energikilde, hvor forbrændingsproduktet anvendes i svovl- og salpetersyreproduktionen. Da svovl og ammoniak ikke indgår i energibalancen som energikilder, medfører anvendelsen af disse, idet der forudsættes et konstant forbrug, følgende korrektioner af branchens emissioner:

$$\text{eq. 4.4.7. } \text{SO}_2 \text{ POLUCOR}_{\text{KRAA}}^t = 504$$

og

$$\text{eq. 4.4.8. } \text{NO}_x \text{ POLUCOR}_{\text{KRAA}}^t = 735$$

#### 4.5. Eksempler på emissionsberegninger

På grundlag af emissionsmodellen og de grundlæggende beregningsprogrammer kan der laves 2 principielt forskellige typer af beregninger:



- a) statusopgørelser og ændrede forudsætninger
- og b) fremskrivninger og multiplikatoranalyser.

Den første type beregninger baseres på DS's energibalancer og de detaljerede emissionskoefficienter for de 25 energityper beskrevet i afsnit 4.2. Fremskrivninger og multiplikatoranalyser baseres på ADAM-INDUS fremskrivninger og de aggregerede emissionskoefficienter beskrevet i afsnit 4.3 samt de i afsnit 4.4 ikke direkte energirelaterede emissioner.

Som eksempel på en statusopgørelse er i tabel 4.5.1 vist en opgørelse af de enkelte branchers energirelaterede SO<sub>2</sub>-, CO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissioner for 1987. Beregningerne er foretaget som

$$\text{eq. 4.4. } \text{POLU}_i = \sum_j \text{EM}_{ij} * \text{CPOLU}_j$$

hvor  $\text{POLU}_i$  er branche i's emissioner af SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>  
 $\text{EM}_{ij}$  er branche i's 1987-energiforbrug af type j  
(DS's energityper)

og  $\text{CPOLU}_j$  er SO<sub>2</sub>-, CO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissionskoefficienterne  
for energitype j (beskrevet i afsnit 4.2).

Detaljeringsniveauet i beregningerne er INDUS-brancherne og DS's energityper, d.v.s. emissionerne beregnes for hver energitype og for energiforbruget aggregeret på INDUS-brancher. Principielt er der intet til hinder for at foretage beregningerne på energibalancernes brancheniveau, dog vil en beregning for samtlige brancher kræve en del data-arbejde.

Tabel 4.5.1. Emissionsopgørelse på basis af 1987-energiforbrug og emissionskoefficienter beskrevet i afsnit 4.2. (D.v.s. uden korrektionerne beskrevet i afsnit 4.4)

|                                 | SO <sub>2</sub>                 | CO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> |
|---------------------------------|---------------------------------|-----------------|-----------------|
|                                 | ----- 10 <sup>3</sup> ton ----- |                 |                 |
| Landbrug                        | 7.5                             | 2113.7          | 21.8            |
| Gartnerier                      | 4.9                             | 922.1           | 2.6             |
| Fiskeri                         | 1.4                             | 904.0           | 14.5            |
| Primære erhverv i alt           | 13.8                            | 3939.8          | 38.9            |
| Slagterier                      | 3.3                             | 644.3           | 3.0             |
| Fiskemel og foderstoffer        | 7.7                             | 1409.7          | 4.1             |
| Næringsmiddel iøvrigt           | 13.0                            | 2686.8          | 12.7            |
| Nydelsesmiddelindustri          | 2.8                             | 521.1           | 1.9             |
| Cement                          | 8.6                             | 1386.7          | 3.5             |
| Teglværker og isoleringsfremst. | 4.6                             | 994.0           | 2.9             |
| Lev. til byggeri iøvrigt        | 5.0                             | 1442.9          | 4.1             |
| Stålværker                      | 1.4                             | 276.0           | 1.2             |
| Jernstøberier m.v.              | 1.6                             | 417.1           | 1.6             |
| Jern- og metalindustri iøvrigt  | 8.7                             | 1996.4          | 8.5             |
| Transportmiddelindustri         | 1.4                             | 304.4           | 1.2             |
| Kemiske råstoffer               | 3.5                             | 630.3           | 2.5             |
| Kemisk industri iøvrigt         | 5.9                             | 1225.5          | 5.4             |
| Papir- og papfremstilling       | 4.0                             | 671.8           | 2.1             |
| Glas- og keramikfresmtilling    | 0.2                             | 159.5           | 0.4             |
| Anden fremst.virksomhed iøvrigt | 5.1                             | 1400.4          | 5.2             |
| Industri i alt                  | 76.8                            | 16168.8         | 60.3            |
| Bygge- og anlægsvirksomhed      | 2.7                             | 1256.5          | 15.9            |

En anden type beregninger, der kan foretages på et detaljeret branche og energitypeniveau, er effekter af ændrede forudsætninger som f.eks. ændret svovlindhold i enkelte energityper, ændret forbrændingsteknologi og dermed ændrede NO<sub>x</sub>-emissioner eller en ændret sammensætning af energiforbruget på de enkelte typer. I de første to af disse eksempler ændres CPOLU<sub>j</sub>-koefficienterne i eq. 4.4, og i det sidste eksempel ændres EM<sub>ij</sub> i eq. 4.4. Som eksempel på effekten af at ændre en af CPOLU<sub>j</sub>-koefficienterne er i tabel 4.5.2 vist effekten af, at man i 1989 nedsatte svovlindholdet i fuelolien fra 1.3% til 0.9%, hvorved SO<sub>2</sub>-emissionskoefficienten for fuelolie blev reduceret fra 718 kg/TJ til 495 kg/TJ.

Tabel 4.5.2. Effekten af at nedsætte svovlindholdet i fuelolie fra 1.3% til 0.9%

|                                 | Reduktion i<br>SO <sub>2</sub> -emissioner<br>ton SO <sub>2</sub> | SO <sub>2</sub> -emissionskoefficienter<br>for flydende brændsel ved |            |
|---------------------------------|---|--|------------|
|                                 |   | 1.3% svovl   | 0.9% svovl |
|                                 |   | kg SO <sub>2</sub> /TJ   |            |
| Landbrug                        | 63.8  | 97   | 92         |
| Gartnerier                      | 608.8   | 500  | 391        |
| Fiskeri                         | 20.5  | 100  | 98         |
| Primære erhverv i alt           | 693.1   | -  | -          |
| Slagterier                      | 367.5   | 476  | 343        |
| Fiskemel og foderstoffer        | 583.4   | 559  | 393        |
| Næringsmiddel iøvrigt           | 1477.4  | 391  | 288        |
| Nydelsesmiddelindustri          | 694.4   | 623  | 434        |
| Cement                          | 106.6   | 441  | 314        |
| Teglværker og isoleringsfremst. | 326.9   | 364  | 259        |
| Lev. til byggeri iøvrigt        | 364.8   | 251  | 186        |
| Stålværker                      | 63.8  | 151  | 134        |
| Jernstøberier m.v.              | 56.9  | 278  | 201        |
| Jern- og metalindustri iøvrigt  | 342.8   | 222  | 182        |
| Transportmiddelindustri         | 77.6  | 322  | 253        |
| Kemiske råstoffer               | 451.4   | 614  | 427        |
| Kemisk industri iøvrigt         | 379.3   | 369  | 277        |
| Papir- og papfremstilling       | 359.5   | 699  | 483        |
| Glas- og keramikfresmtilling    | 18.1  | 247  | 178        |
| Anden fremst.virksomhed iøvrigt | 366.2   | 260  | 205        |
| Industri i alt                  | 5972.6  | -  | -          |
| Bygge- og anlægsvirksomhed      | 127.3   | 109  | 100        |

Som det ses af tabel 4.5.2, ændres både de totale SO<sub>2</sub>-emissioner og emissionskoefficienterne for den aggregerede energitype flydende brændsel, der indgår i emissionsmodellen. Det bemærkes, at emissionskoefficienterne ændres forskelligt for de enkelte brancher, afhængigt af med hvor stor en vægt fuelolie indgår i branchens forbrug af flydende brændsel.

Som eksempel på effekten af en ændret sammensætning af energiforbruget på de enkelte energityper er i tabel 4.5.3 vist en beregning, hvor det totale fuelolie-forbrug er substitueret til naturgas, d.v.s. i eq. 4.4 er  $EM_{ij}$  j=fuelolie sat til 0, og  $EM_{ik}$  k=naturgas er sat lig summen af det tidligere fuelolie- og naturgasforbrug.

Tabel 4.5.3. Effekten af at erstatte fuelolie-forbruget med naturgas

|                                 | Reduktion i emissionerne af |  |                        | Fuelolie-<br>forbrug<br>1987<br>TJ |
|---------------------------------|-----------------------------|--|------------------------|------------------------------------|
|                                 | SO <sub>2</sub><br>ton      | CO <sub>2</sub><br>10 <sup>3</sup> ton | NO <sub>x</sub><br>ton |                                    |
| Landbrug                        | 141.4                       | 6.0                                    | 14.3                   | 286                                |
| Gartnerier                      | 1350.0                      | 57.6                                   | 136.5                  | 2730                               |
| Fiskeri                         | 45.5                        | 1.9                                    | 4.6                    | 92                                 |
| Primære erhverv i alt           | 1536.9                      | 65.6                                   | 155.4                  | 3108                               |
| Slagterier                      | 814.9                       | 34.8                                   | 82.4                   | 1648                               |
| Fiskemel og foderstoffer        | 1293.6                      | 55.2                                   | 130.1                  | 2616                               |
| Næringsmiddel iøvrigt           | 3276.1                      | 139.8                                  | 331.3                  | 6625                               |
| Nydelsesmiddelindustri          | 1539.9                      | 65.7                                   | 155.7                  | 3114                               |
| Cement                          | 236.4                       | 10.1                                   | 23.9                   | 478                                |
| Teglværker og isoleringsfremst. | 724.9                       | 30.9                                   | 73.3                   | 1466                               |
| Lev. til byggeri iøvrigt        | 809.0                       | 34.5                                   | 81.8                   | 1636                               |
| Stålværker                      | 20.3                        | 0.9                                    | 2.1                    | 41                                 |
| Jernstøberier m.v.              | 126.1                       | 5.4                                    | 12.8                   | 255                                |
| Jern- og metalindustri iøvrigt  | 760.0                       | 32.4                                   | 76.9                   | 1537                               |
| Transportmiddelindustri         | 172.1                       | 7.3                                    | 17.4                   | 2024                               |
| Kemiske råstoffer               | 1000.9                      | 42.7                                   | 101.2                  | 1701                               |
| Kemisk industri iøvrigt         | 841.1                       | 35.9                                   | 85.1                   | 1612                               |
| Papir- og papfremstilling       | 797.1                       | 34.0                                   | 80.6                   | 81                                 |
| Glas- og keramikfremstilling    | 40.1                        | 1.7                                    | 4.1                    | 1642                               |
| Anden fremst.virksomhed iøvrigt | 812.0                       | 34.6                                   | 82.1                   | 348                                |
| Industri i alt                  | 13264.5                     | 566.0                                  | 1341.2                 | 26824                              |
| Bygge- og anlægsvirksomhed      | 282.4                       | 12.0                                   | 28.6                   | 571                                |

Som det ses af tabel 4.5.3, reduceres de totale emissioner af både SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. De tilsvarende emissionskoefficienter for flydende brændsel vil også blive ændret, hvorimod emissionskoefficienterne for naturgas er uændrede.

Den anden type beregninger "fremskrivninger og multiplikatoranalyser" kan kun foretages på INDUS-branche og energitype-niveauet. Beregningsgangen i disse er at forudsætte en ADAM-fremskrivning samt en energiprisprognose, beregne energiforbruget ved hjælp af INDUS og efterfølgende at beregne emissionerne ved hjælp af emissionsmodellen. Multiplikatoranalyserne foretages ved at ændre i den forudsatte ADAM-fremskrivning eller energiprisprognose, beregne det ændrede energiforbrug og

de ændrede emissioner ved hjælp af INDUS- og emissionsmodellen og at sammenligne resultaterne med den oprindelige beregning. Eksempler på sådanne beregninger gennemgås i kapitel 5.

## 5. TEST AF MODELLEN SAMT NOGLE MODELBEREGNINGER OG MULTIPLIKATORANALYSER

### 5.0. Indledning

For at give et indtryk af modellens egenskaber gennemgås i dette kapitel en række anvendelser af modellen. I afsnit 5.1 gennemgås en historisk simulering med modellen. Denne anvendes til at beskrive modellens evne til at forklare den historiske udvikling dels i estimationsperioden 1968 til 1985 og dels i post-sample perioden 1986-87, for hvilken der p.t. er offentliggjort detaljerede energibalancer. For at give et indtryk af niveauet og de generelle udviklingstendenser i fremstillingserhvervenes energiforbrug og de hertil knyttede emissioner præsenteres i afsnit 5.2 en fremskrivning af modellen baseret på Finansministeriets centrale ADAM-fremskrivning til Finansredegørelse 1990. Endelig præsenteres i afsnit 5.3 en række følsomhedsanalyser på modellen, d.v.s. forskellige exogene forudsætninger/variable er blevet ændret, og modellen er anvendt til at analysere, hvilke ændringer dette medfører i energiforbrug og emissioner.

### 5.1. Test af modellens historiske forklaringssevne

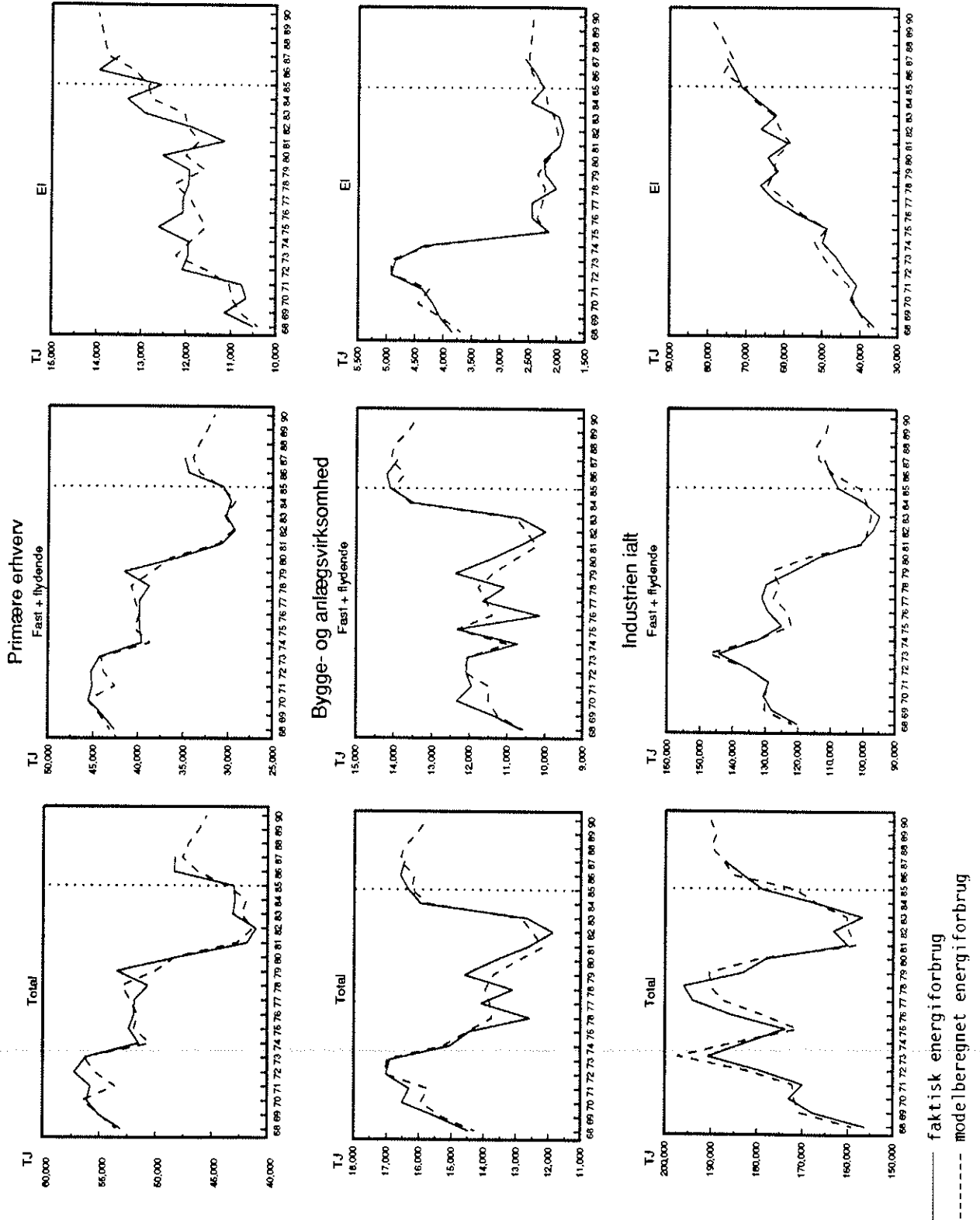
For at analysere modellens evne til at forklare den hidtidige udvikling i energiforbruget er modellen startet i 1968, og udviklingen frem til 1990 er beregnet ved hjælp af en dynamisk simulering. Bortset fra laggede værdier af energiforbruget er de forklarende variable exogene, og for perioden 1968 til 1986 er disse givet observerede værdier. For perioden 1987 til 1990 er anvendt foreløbige nationalregnskabsdata og data fra ADAM-databasen. Ved en fortolkning af modellens forklaringssevne betyder dette, at for perioden 1968 til 1986 koncentrerer analysen om de fejl, energimodellen giver anledning til, hvorimod fejl i f.eks. konverteringen fra ADAM- til INDUS-variable og i beregningen af udviklingen i andre forklarende variable ikke

inkluderes. For 1987 til 1990 vil fejl være en kombination af energimodelfejl og fejl i den forudsatte udvikling i de forklarende variable. I en historisk periode må fejl i den forudsatte udvikling i de forklarende variable dog forventes at være forholdsvis beskedne. I analysen af den historiske forklaringsevne er der derfor i stedet for skelnen imellem energimodelfejl og fejl i de forklarende variable lagt vægt på at skelne imellem modellens forklaringsevne i estimationsperioden 1968 til 1985 og modellens post-sample forklaringssevne for 1986 og 1987.

I øvrigt er analysen koncentreret om de estimerede stokastiske relationer, hvor det har mening at undersøge, hvor godt modellen er i stand til at reproducere den hidtidige udvikling, d.v.s. analysen koncentrerer sig om det totale energiforbrug samt fordelingen af dette på el og andet energiforbrug. Derimod har det ingen mening at se på fordelingen af andet energiforbrug på fast og flydende brændsel og naturgas, da forbruget af fast brændsel og naturgas i observationsperioden er sat lig det faktiske forbrug.

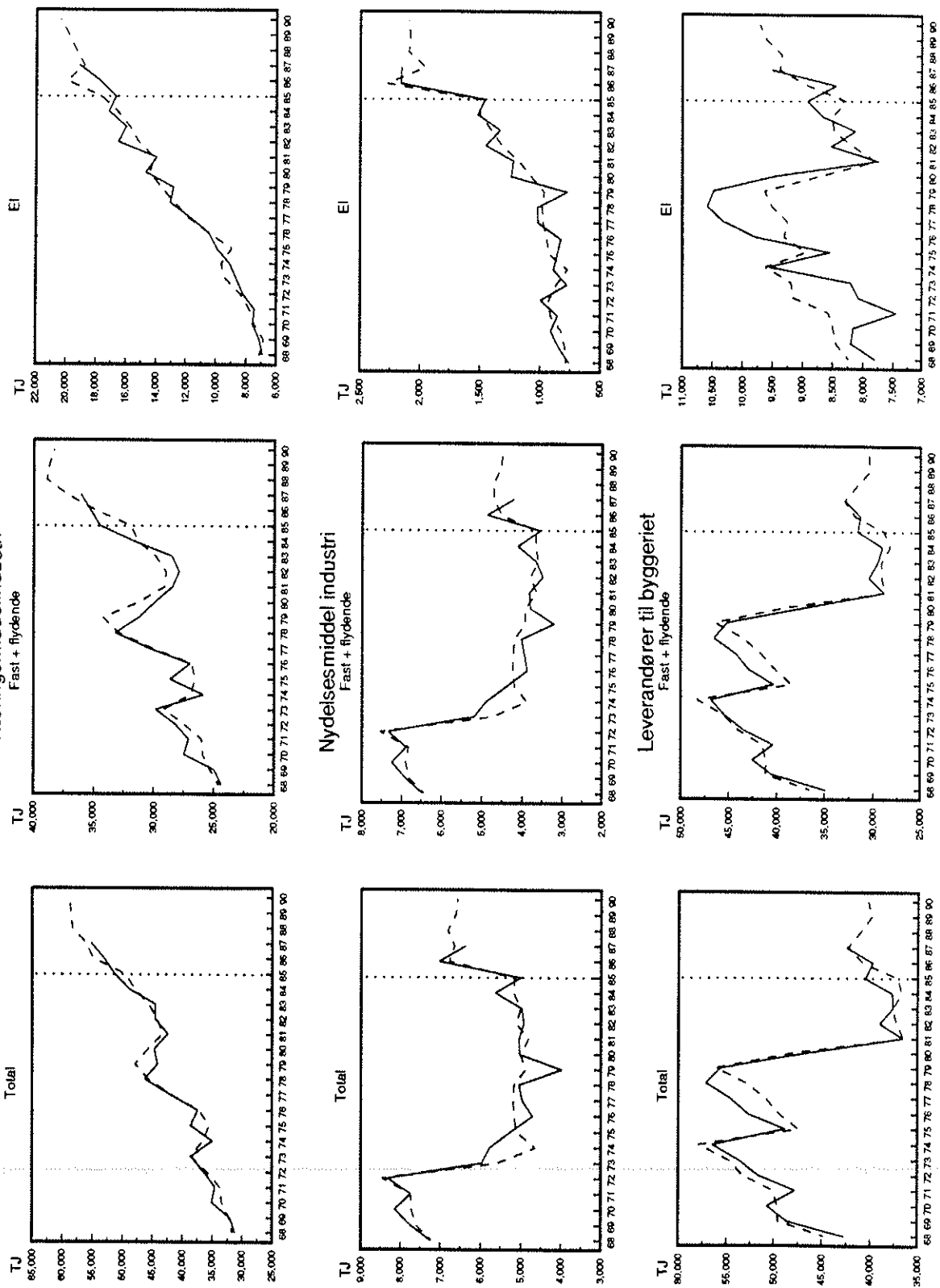
På ADAM-brancheniveau er den faktiske og den modelberegnete udvikling i det totale energiforbrug samt forbruget af el og andet energiforbrug vist i figur 5.1.1 og figur 5.1.2. For estimationsperioden er den gennemsnitlige og den maksimale %-afvigelse imellem det faktiske og det modelberegnete energiforbrug vist i tabel 5.1.1, og i tabel 5.1.2 er vist den gennemsnitlige %-afvigelse for post-sample observationerne i 1986 og 1987.

Figur 5.1.1. Den faktiske og den modelberegneede udvikling i de overordnede sektors energiforbrug

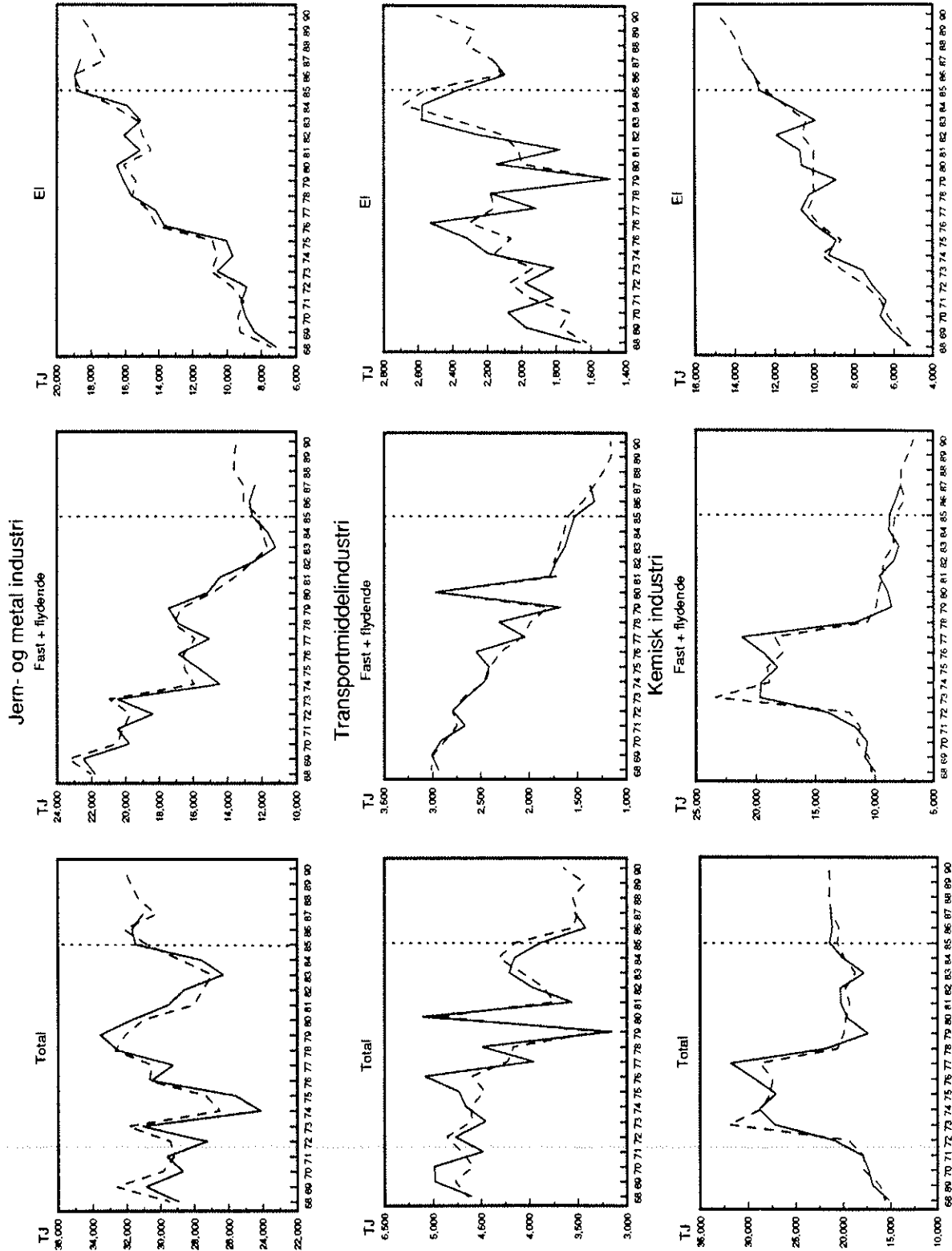




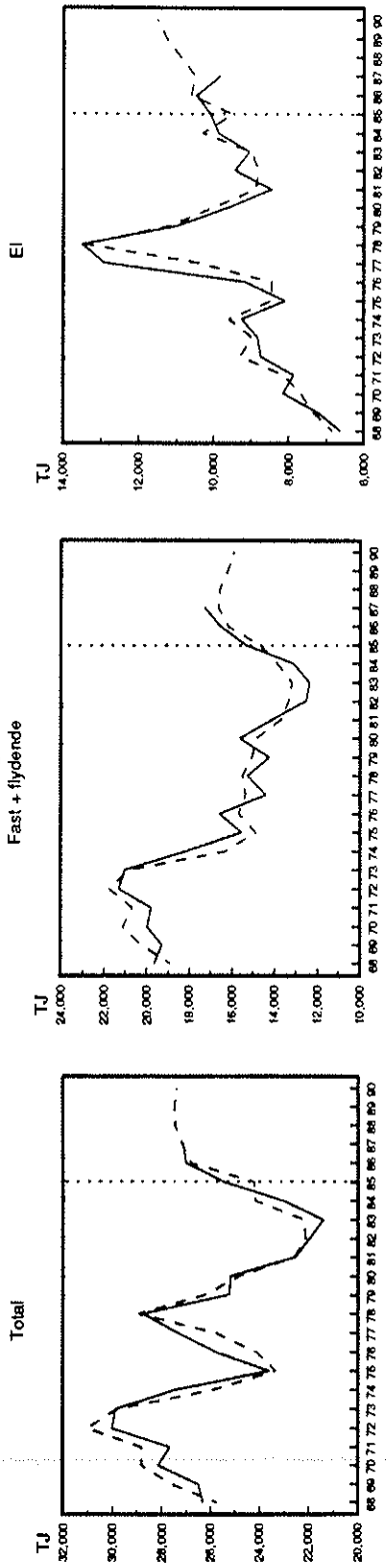
Figur 5.1.2. Den faktiske og den modelberegne udvikling i de enkelte ADAM-branchers energiforbrug



Figur 5.1.2. (fortsat)



Figur 5.1.2. (fortsat)



Tabel 5.1.1. Sammenligning af det faktiske og det beregnede energiforbrug i estimationsperioden 1968-1985

|                            | <u>Gennemsnitlig afvigelse</u> |      |       | <u>Maksimal afvigelse</u> |       |       |
|----------------------------|--------------------------------|------|-------|---------------------------|-------|-------|
|                            | Total                          | El   | Andet | Total                     | El    | Andet |
| Primære erhverv            | 1.8%                           | 3.2% | 2.0%  | 6.4%                      | 8.3%  | 7.4%  |
| Bygge- og anlægsvirksomhed | 2.9%                           | 4.0% | 3.6%  | 9.4%                      | 11.6% | 12.4% |
| Industri i alt             | 2.1%                           | 3.1% | 2.2%  | 4.1%                      | 7.6%  | 6.2%  |
| Næringsmiddelindustri      | 2.5%                           | 4.0% | 3.5%  | 8.5%                      | 10.0% | 9.4%  |
| Nydelsesmiddelindustri     | 5.5%                           | 8.2% | 6.6%  | 23.3%                     | 25.4% | 22.9% |
| Lev. til byggeri           | 3.6%                           | 6.6% | 3.7%  | 8.4%                      | 15.1% | 8.7%  |
| Jern- og metalindustri     | 3.9%                           | 4.7% | 3.7%  | 10.0%                     | 10.1% | 10.4% |
| Transportmiddelindustri    | 4.6%                           | 7.2% | 3.3%  | 9.5%                      | 17.2% | 14.2% |
| Kemisk industri            | 5.2%                           | 5.4% | 7.9%  | 17.5%                     | 13.5% | 19.1% |
| Anden fremst.virksomhed    | 3.1%                           | 4.6% | 4.8%  | 6.4%                      | 19.2% | 10.4% |

Tabel 5.1.2. Sammenligning af det faktiske og det beregnede energiforbrug i post-sample perioden 1986-87

|                            | <u>Gennemsnitlig afvigelse</u> |      |       |
|----------------------------|--------------------------------|------|-------|
|                            | Total                          | El   | Andet |
| Primære erhverv            | 2.8%                           | 3.8% | 3.1%  |
| Bygge- og anlægsvirksomhed | 1.7%                           | 2.7% | 2.4%  |
| Industri i alt             | 0.7%                           | 3.1% | 1.1%  |
| Næringsmiddelindustri      | 2.5%                           | 7.1% | 2.1%  |
| Nydelsesmiddelindustri     | 4.0%                           | 7.3% | 9.5%  |
| Lev. til byggeri           | 1.4%                           | 3.5% | 1.0%  |
| Jern- og metalindustri     | 2.0%                           | 4.1% | 4.2%  |
| Transportmiddelindustri    | 2.4%                           | 0.6% | 5.6%  |
| Kemisk industri            | 1.7%                           | 0.5% | 4.6%  |
| Anden fremst.virksomhed    | 0.5%                           | 4.2% | 3.0%  |

Ser man på udviklingen i de overordnede sektorer: Primære erhverv, Bygge- og anlægsvirksomhed og Industrien i alt vist i figur 5.1.1, synes modellen at give en ganske rimelig beskrivelse af den hidtidige udvikling. Dog synes modellen at have nogle problemer med at fange de årlige variationer i de primære erhvervs elforbrug. Af tabel 5.1.1 fremgår, at for disse overordnede sektorer ligger den gennemsnitlige afvigelse

i størrelsesordenen 2-4%. For det totale energiforbrug er afvigelsen 2-3%, mens afvigelsen for de enkelte energityper er en anelse større. Med hensyn til de maksimale afvigelser er disse forbavsende små for de primære erhverv og industrien i alt (4-8%), hvorimod afvigelsen runder de 10% for bygge- og anlægsvirksomhed. I det totale energiforbrug vægter bygge- og anlægsvirksomhed dog ikke så tungt (omkring 7%).

Splittes industrien i alt op på de 7 ADAM-brancher, må man af figur 5.1.2 konkludere, at modellen med en enkelt undtagelse også på dette niveau giver en rimelig beskrivelse af den hidtidige udvikling. Undtagelsen er elforbruget i leverandører til byggeriet, hvor modellen giver en meget dårlig beskrivelse af udviklingen frem til 1980. Ser man på de enkelte INDUS-brancher under leverandører til byggeriet, d.v.s. cementfabrikker, teglværker og isoleringsfremstilling og leverandører til byggeriet iøvrigt, synes problemet at være generelt for de 3 INDUS-brancher. Som det fremgår af bilag 1, har el-relatio-nerne for de 3 INDUS-brancher en ganske ringe forklaringssevne ( $R^2$ -værdier på henholdsvis 0.65, 0.65 og 0.25).

Af tabel 5.1.1 fremgår, at i estimationsperioden er den gennemsnitlige %-afvigelse for det totale energiforbrug i de 7 ADAM-brancher i størrelsesordenen 2.5-5.5%, hvilket må siges at være ganske acceptabelt. For de enkelte energityper er afvigelserne igen en anelse højere men stadig på et ganske acceptabelt niveau. Med hensyn til de maksimale afvigelser er disse ganske store specielt for nydelsesmiddelindustrien, der energimæssigt er en forholdsvis lille branche. Af figur 5.1.2 fremgår dog, at skønt de maksimale %-afvigelser for nydelsesmiddelindustrien er meget store, forklarer relationerne den hidtidige udvikling ganske pænt. De store %-afvigelser for nydelsesmiddelindustrien er alle observerede for 1979, hvor energiforbruget i denne i forvejen energimæssigt lille branche var ekstraordinært lille.

Konkluderende på tabel 5.1.1 kan man sige, at den gennemsnitlige modelfejl på ADAM-brancheniveauet er i størrelsesordenen op til 8%, og at den maksimale fejl er omkring 20%. På det

overordnede sektorniveau er både den gennemsnitlige og den maksimale %-afvigelse ca. det halve af %-afvigelserne på ADAM-brancheniveauet, d.v.s. der er en tendens til, at fejl i de enkelte brancher delvist opvejer hinanden.

Med hensyn til modellens post-sample egenskaber bemærkes af figurerne 5.1.1 og 5.1.2 samt tabel 5.1.2, at modellen forklarer udviklingen i 1986 og 1987 ganske rimeligt. Sammenlignet med estimationsperioden afslører udviklingen i 1986 og 1987 ikke nogen kvalitativ ændring i modellens forklaringssevne, d.v.s. baseret på udviklingen i 1986 og 1987 er der ikke nogen grund til at antage, at modellen ikke skulle være i stand til at forudsige den fremtidige udvikling i energiforbruget inden for de usikkerheder, der i tabel 5.1.1 har vist sig gældende i estimationsperioden. I denne forbindelse skal det dog pointeres, at et test på modellens post-sample forklaringssevne for kun 2 år ikke er noget særligt stærk test, samt at testen kun gælder energimodellen. Den nok væsentligste forudsætning for en rimelig prognose for energiforbrugets udvikling er, at prognosen for udviklingen i modellens forklarende variable holder.

## 5.2. En modelfremskrivning

For at give et indtryk af niveauet og de generelle udviklingstendenser i fremstillingserhvervenes energiforbrug og de her til knyttede emissioner gennemgås i dette afsnit en fremskrivning af modellen. Fremskrivningen er baseret på Finansministeriets centrale ADAM-fremskrivning i forbindelse med Finansredegørelse 1990, og simulationsperioden er 1988 til 2000, d.v.s. udgangspunkt for beregningerne er 1987. En status for de enkelte ADAM-branchers produktion, energiforbrug og tilhørende CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissioner er givet i tabel 5.2.1. Desuden vises for de enkelte brancher ton emissioner dels pr. produktion i mio. 1980-kr. og dels pr. energiforbrug i TJ brutto. Det skal bemærkes, at emissionerne i tabel 5.2.1 samt de i dette afsnit efterfølgende tabeller omfatter de totale energirelaterede emissioner, d.v.s. inkluderer de i afsnit

4.4 gennemgåede korrektioner til brændsleres indhold af forurenende stoffer.

Af tabellen fremgår, at de primære erhverv og industrien i alt har en energikoefficient på omkring 1, hvorimod energikoefficienten for bygge- og anlægsvirksomhed kun er 0.273. Fra underopdelingen af industrien i alt bemærkes, at leverandører til byggeri er langt den mest energiintensive af ADAM-brancherne, samt at variationen i industriens energikoefficienter set på ADAM-brancheniveau ikke er specielt stor. Underopdeles ADAM-brancherne i INDUS-brancher, er der betydeligt større forskelle imellem energikoefficienterne for de enkelte brancher.

De store energiforbrugende brancher som de primære erhverv, næringsmiddelindustrien og leverandører til byggeri er også de brancher, der giver anledning til de største emissioner, men ser man på de største emissioner pr. mio. 1980-kr. produktion, er det de energiintensive brancher, der giver anledning til de største emissioner, i hvert fald når man ser på CO<sub>2</sub>- og SO<sub>2</sub>-emissionerne. Med hensyn til NO<sub>x</sub>-emissionerne giver de primære erhverv samt bygge- og anlægsvirksomhed forholdsvis store emissioner, da de anvender forholdsvis meget motorbrændstof. Mens ton emissioner pr. mio. 1980-kr. produktion primært afspejler branchemæssige forskelle i energiintensitet, afspejler ton emissioner pr. TJ bruttoenergiforbrug forskelle i energiforbrugets sammensætning på brændsler. Med hensyn til CO<sub>2</sub>-emissioner har brancher med et forholdsvis stort forbrug af fast brændsel og el forholdsvis store emissionskoefficienter, mens brancher med et stort forbrug af flydende brændsel og naturgas har relativt mindre emissionskoefficienter. Med hensyn til SO<sub>2</sub>-emissionerne vil primært brancher med et stort naturgasforbrug have forholdsvis små SO<sub>2</sub>-emissionskoefficienter, men som det ses af tabel 5.2.1, har de primære erhverv samt bygge- og anlægsvirksomhed relativt små SO<sub>2</sub>-emissionskoefficienter, hvilket skyldes disse branchers relativt store anvendelse af motorbrændsel. Til gengæld har disse brancher af samme årsag relativt høje NO<sub>x</sub>-emissionskoefficienter.

Tabel 5.2.1.1. Udgangspunkt for fremskrivninger, status 1987

|                    | Produktion       |       | Energiforbrug |                     | Emissioner          |                 |                 |                   |                 |                 |                 |                 |                 |
|--------------------|------------------|-------|---------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|                    | mio.<br>1980-kr. | andel | TJ            | TJ/mio.<br>1980-kr. | 10 <sup>3</sup> ton |                 |                 | ton/mio. 1980-kr. |                 |                 | ton/TJ          |                 |                 |
|                    |                  |       |               |                     | CO <sub>2</sub>     | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | CO <sub>2</sub>   | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | CO <sub>2</sub> | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> |
| Primære erhverv    | 44301            | 1.00  | 48296         | 1.090               | 3940                | 13.76           | 38.86           | 88.94             | 0.311           | 0.877           | 81.58           | 0.285           | 0.805           |
| Industri i alt     | 204958           | 1.00  | 187700        | 0.916               | 17154               | 77.76           | 60.64           | 83.70             | 0.379           | 0.296           | 91.39           | 0.414           | 0.323           |
| heraf              |                  |       |               |                     |                     |                 |                 |                   |                 |                 |                 |                 |                 |
| Næringsmiddel      | 63786            | 0.311 | 55174         | 0.865               | 4743                | 24.01           | 19.73           | 74.36             | 0.376           | 0.309           | 85.96           | 0.435           | 0.356           |
| Nydelsesmiddel     | 5614             | 0.027 | 6361          | 1.133               | 521                 | 2.79            | 1.94            | 92.80             | 0.497           | 0.346           | 81.91           | 0.439           | 0.305           |
| Lev. t. byggeri    | 14198            | 0.069 | 42469         | 2.991               | 4809                | 18.63           | 10.01           | 338.71            | 1.312           | 0.705           | 113.24          | 0.439           | 0.236           |
| Jern- og metal     | 52603            | 0.257 | 31679         | 0.602               | 2688                | 11.69           | 11.34           | 51.10             | 0.222           | 0.216           | 84.85           | 0.369           | 0.358           |
| Transportmiddel    | 7506             | 0.037 | 3533          | 0.471               | 304                 | 1.43            | 1.24            | 40.50             | 0.191           | 0.165           | 86.04           | 0.405           | 0.351           |
| Kemisk industri    | 23.853           | 0.116 | 21362         | 0.896               | 1856                | 9.91            | 8.67            | 77.81             | 0.416           | 0.364           | 86.88           | 0.464           | 0.406           |
| Anden fremstilling | 37398            | 0.183 | 27122         | 0.725               | 2232                | 9.31            | 7.73            | 59.68             | 0.249           | 0.207           | 82.30           | 0.343           | 0.285           |
| Bygge- og anlæg    | 60261            | 1.00  | 16.463        | 0.273               | 1257                | 2.72            | 15.87           | 20.86             | 0.045           | 0.263           | 76.35           | 0.165           | 0.964           |



Sammenfattende vil en brancheforskydning mod de energiintensive brancher forøge de energirelaterede relationer, og en brændselssubstitution til fast brændsel og el vil forøge CO<sub>2</sub>-emissionerne. På grund af fremtidige begrænsninger på elværkerne SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissioner samt de lave emissionskoefficienter for naturgas vil en substitution til el og naturgas formindske SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissionerne. Set man på industrien i alt, vil en substitution imellem energityper selvfølgelig kunne ske dels ved en energisubstitution inden for den enkelte branche og dels ved forskydninger imellem brancherne.

Den forudsatte udvikling i de enkelte ADAM-branchers produktion, den prognostiserede udvikling i energiforbruget samt fordelingen af energiforbruget på fast og flydende brændsel, naturgas og el er vist i tabel 5.2.2. De emissionsmæssige konsekvenser af energiforbruget er vist i tabel 5.2.3. Plots over den prognostiserede udvikling er vist i figur 5.2.1.

Den forudsatte produktionsudvikling kan karakteriseres ved en ganske pæn vækst på omkring 3% p.a. i perioden 1990-95 samt en mere moderat vækst på ca. 1.5% p.a. i perioden 1995-2000. Som det fremgår af tabel 5.2.2, forventes i perioden 1990-95 en relativt højt vækst i leverandører til byggeri, jern- og metalindustri samt kemisk industri, hvorimod der forventes en mere moderat vækst i nærings- og nydelsesindustrien.

For perioden 1995-2000 forventes en relativ høj vækst i nydelsesmiddelindustrien, leverandører til byggeri, jern- og metal- og kemisk industri. Over prognoseperioden som helhed forventes således en moderat strukturforskydning mod de mere energiintensive brancher. Med hensyn til energipriserne regnes efter 1990 med en realprisstigning på 2.9% p.a.

Tabel 5.2.2. Prognose for energiforbrugets udvikling. FR90 centralprognose

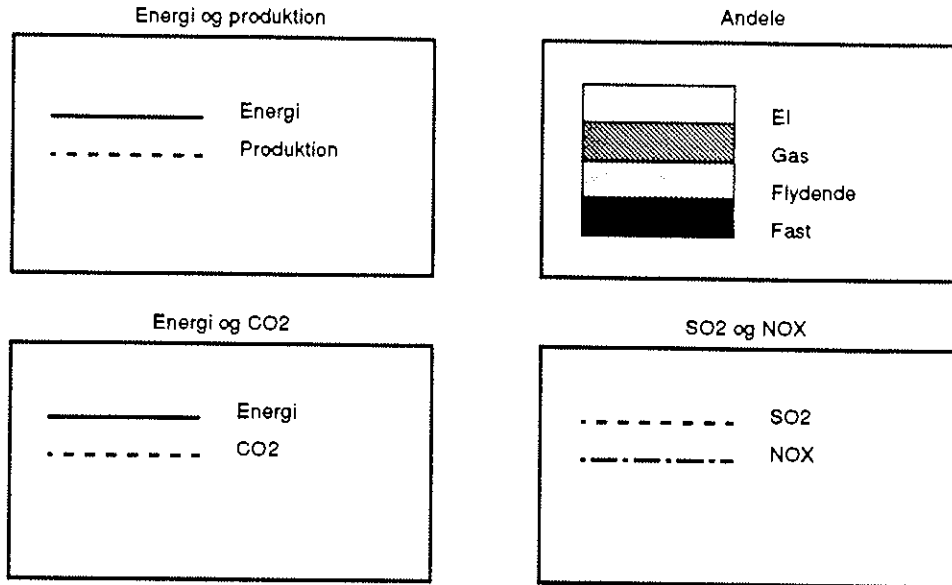
|                      | Produktion |       | Energiforbrug |       |       |       | Energitypeandele |      |      |          |      |      |          |      |      |      |      |      |
|----------------------|------------|-------|---------------|-------|-------|-------|------------------|------|------|----------|------|------|----------|------|------|------|------|------|
|                      | Δ % p.a.   |       | Δ % p.a.      |       |       |       | Fast             |      |      | Flydende |      |      | Naturgas |      |      | El   |      |      |
|                      | 87-90      | 90-95 | 95-00         | 87-90 | 90-95 | 95-00 | 87               | 90   | 00   | 87       | 90   | 00   | 87       | 90   | 00   | 87   | 90   | 00   |
| Primære erhverv      | 2.2        | 2.3   | 1.3           | 0.4   | 0.4   | -0.1  | 0.08             | 0.07 | 0.06 | 0.61     | 0.60 | 0.61 | 0.03     | 0.04 | 0.04 | 0.28 | 0.29 | 0.30 |
| Industri i alt       | 2.7        | 3.3   | 1.6           | 2.1   | 2.5   | 1.1   | 0.21             | 0.17 | 0.17 | 0.32     | 0.29 | 0.25 | 0.07     | 0.13 | 0.14 | 0.40 | 0.41 | 0.43 |
| Heraf: Næringsmiddel | 3.2        | 2.1   | 1.2           | 4.5   | 2.5   | 1.4   | 0.23             | 0.19 | 0.19 | 0.37     | 0.31 | 0.24 | 0.05     | 0.15 | 0.19 | 0.35 | 0.35 | 0.37 |
| Nydelsesmiddel       | -2.0       | 2.3   | 2.8           | 4.9   | 2.3   | 2.5   | 0.02             | 0.02 | 0.02 | 0.58     | 0.53 | 0.46 | 0.07     | 0.06 | 0.05 | 0.34 | 0.40 | 0.47 |
| Lev. til byggeri     | -0.8       | 3.7   | 2.0           | -2.1  | 2.5   | 1.3   | 0.50             | 0.42 | 0.43 | 0.22     | 0.19 | 0.20 | 0.06     | 0.15 | 0.14 | 0.22 | 0.24 | 0.23 |
| Jern- og metal       | 3.7        | 4.1   | 1.9           | 2.3   | 3.2   | 0.7   | 0.01             | 0.01 | 0.01 | 0.31     | 0.32 | 0.32 | 0.09     | 0.10 | 0.10 | 0.59 | 0.57 | 0.57 |
| Transportmiddel      | -0.9       | 4.1   | 2.5           | -0.4  | 1.1   | 0.6   | 0.01             | 0.00 | 0.00 | 0.32     | 0.31 | 0.24 | 0.06     | 0.06 | 0.04 | 0.61 | 0.63 | 0.72 |
| Kemisk industri      | 5.8        | 4.2   | 2.0           | 3.4   | 2.6   | 1.4   | 0.01             | 0.01 | 0.01 | 0.31     | 0.26 | 0.19 | 0.05     | 0.05 | 0.04 | 0.64 | 0.68 | 0.76 |
| Anden fremst.        | 1.2        | 3.3   | 0.8           | 1.8   | 2.0   | 0.1   | 0.16             | 0.14 | 0.13 | 0.32     | 0.29 | 0.27 | 0.16     | 0.19 | 0.23 | 0.36 | 0.39 | 0.38 |
| Bygge- og anlæg      | -2.7       | 3.0   | 1.7           | 0.7   | 1.4   | 0.9   | 0.00             | 0.00 | 0.00 | 0.84     | 0.85 | 0.85 | 0.01     | 0.01 | 0.01 | 0.16 | 0.14 | 0.14 |

Tabel 5.2.3. De emissionsmæssige konsekvenser af den prognostisere udvikling

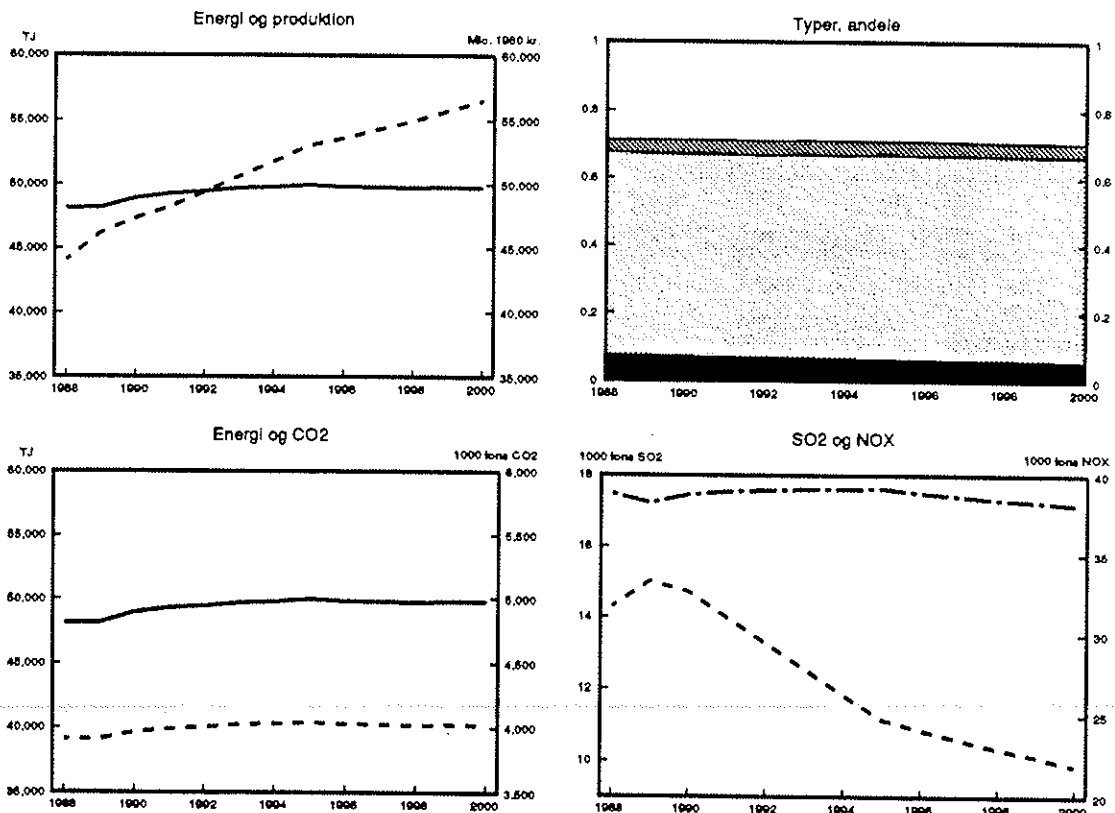
|                      | %ændringer p.a. for 1987-90 |                 |                 | %ændringer p.a. for 1990-95 |                 |                 | %ændringer p.a. for 1995-2000 |                 |                 |      |
|----------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|------|
|                      | EM*                         | CO <sub>2</sub> | SO <sub>2</sub> | EM*                         | CO <sub>2</sub> | SO <sub>2</sub> | EM*                           | CO <sub>2</sub> | SO <sub>2</sub> |      |
|                      | NO <sub>x</sub>             | NO <sub>x</sub> | NO <sub>x</sub> | NO <sub>x</sub>             | NO <sub>x</sub> | NO <sub>x</sub> | NO <sub>x</sub>               | NO <sub>x</sub> | NO <sub>x</sub> |      |
| Primære erhverv      | 0.4                         | 0.3             | 2.3             | -0.0                        | 0.4             | 0.4             | -0.1                          | -0.1            | -2.4            | -0.6 |
| Industri i alt       | 2.1                         | 1.3             | 1.4             | -1.1                        | 2.5             | 2.6             | 1.1                           | 1.2             | -1.0            | -3.2 |
| Heraf: Næringsmiddel | 4.5                         | 3.4             | 3.4             | 0.0                         | 2.5             | 2.4             | 1.4                           | 1.4             | -0.3            | -2.2 |
| Nydelsesmiddel       | 4.9                         | 5.3             | 7.9             | 3.5                         | 2.3             | 2.5             | 2.5                           | 2.6             | 0.6             | -1.7 |
| Lev. til byggeri     | -2.1                        | -2.8            | -11.8           | -4.8                        | 2.5             | 2.8             | 1.3                           | 1.4             | 0.0             | -1.6 |
| Jern- og metal       | 2.3                         | 2.1             | 5.6             | -2.0                        | 3.2             | 3.2             | 0.7                           | 0.7             | -2.2            | -4.6 |
| Transportmiddel      | -0.4                        | -0.3            | 4.0             | -3.9                        | 1.1             | 1.3             | 0.6                           | 0.8             | -2.2            | -5.7 |
| Kemisk industri      | 3.4                         | 3.7             | 7.5             | 0.4                         | 2.6             | 2.8             | 1.4                           | 1.6             | -1.5            | -4.6 |
| Anden fremst.        | 1.8                         | 1.6             | 4.3             | -0.9                        | 2.0             | 1.8             | 0.1                           | 0.0             | -2.2            | -4.1 |
| Bygge- og anlæg      | 0.7                         | 0.6             | 1.9             | 0.6                         | 1.4             | 1.4             | 0.9                           | 0.9             | -0.5            | 0.6  |

\* EM: Energiforbrug i TJ

## Signaturforklaring.

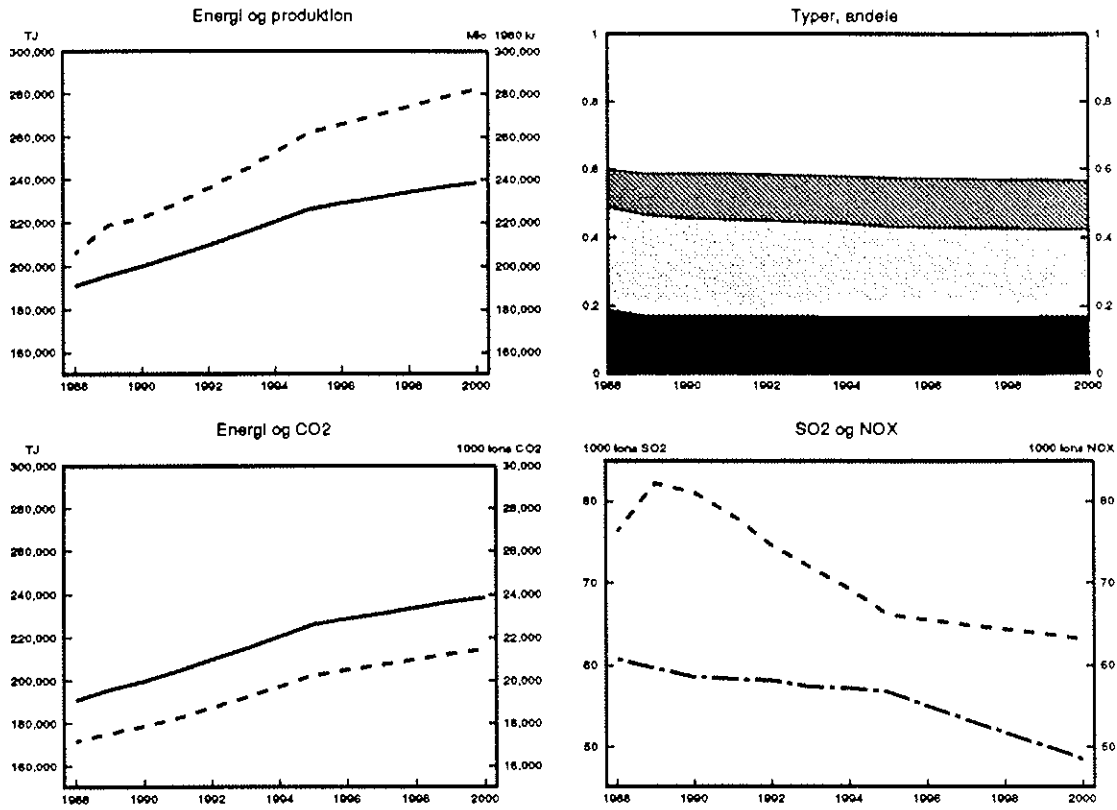


## Primære erhverv

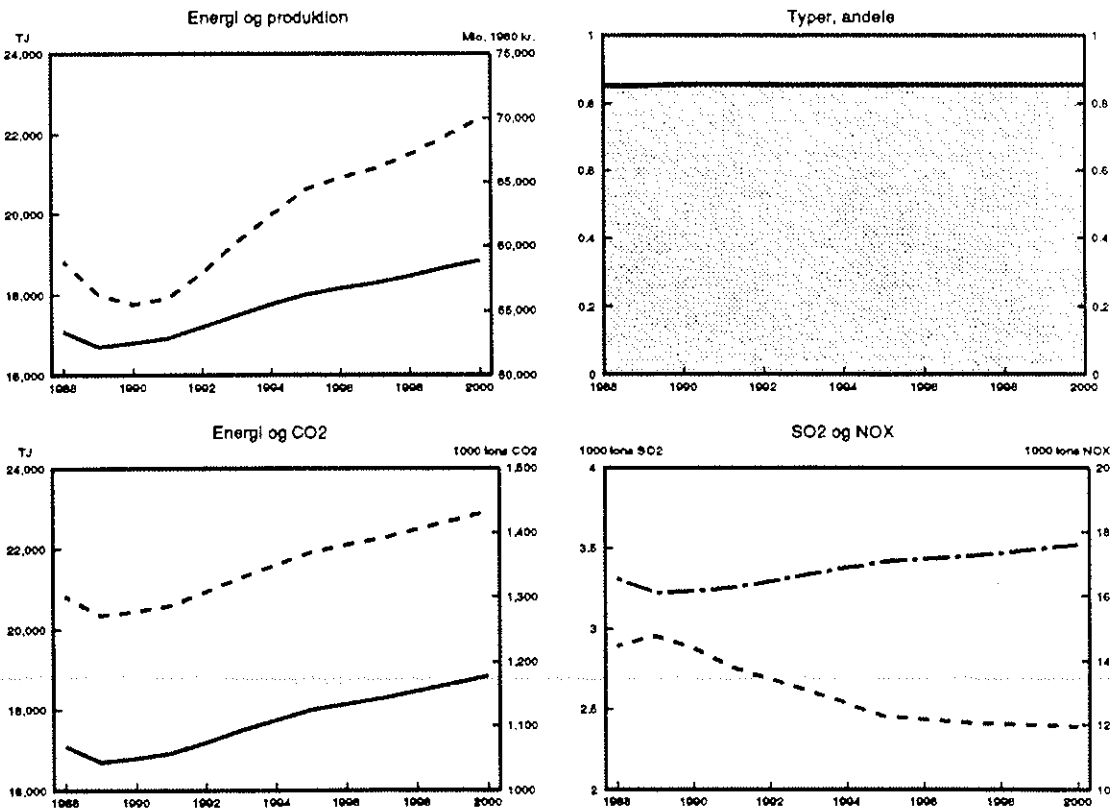


Figur 5.2.1. En fremskrivning af udviklingen i energiforbrug og emissioner

## Industrien ialt

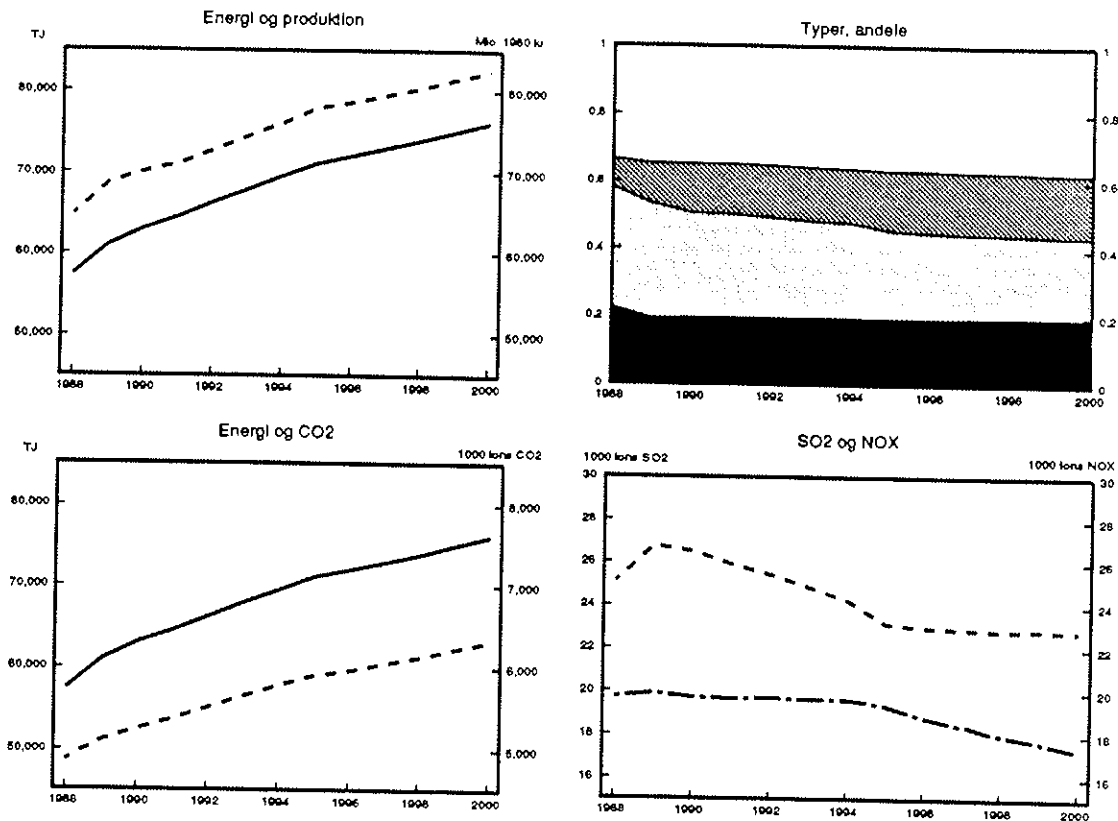


## Bygge- og anlægsvirksomhed

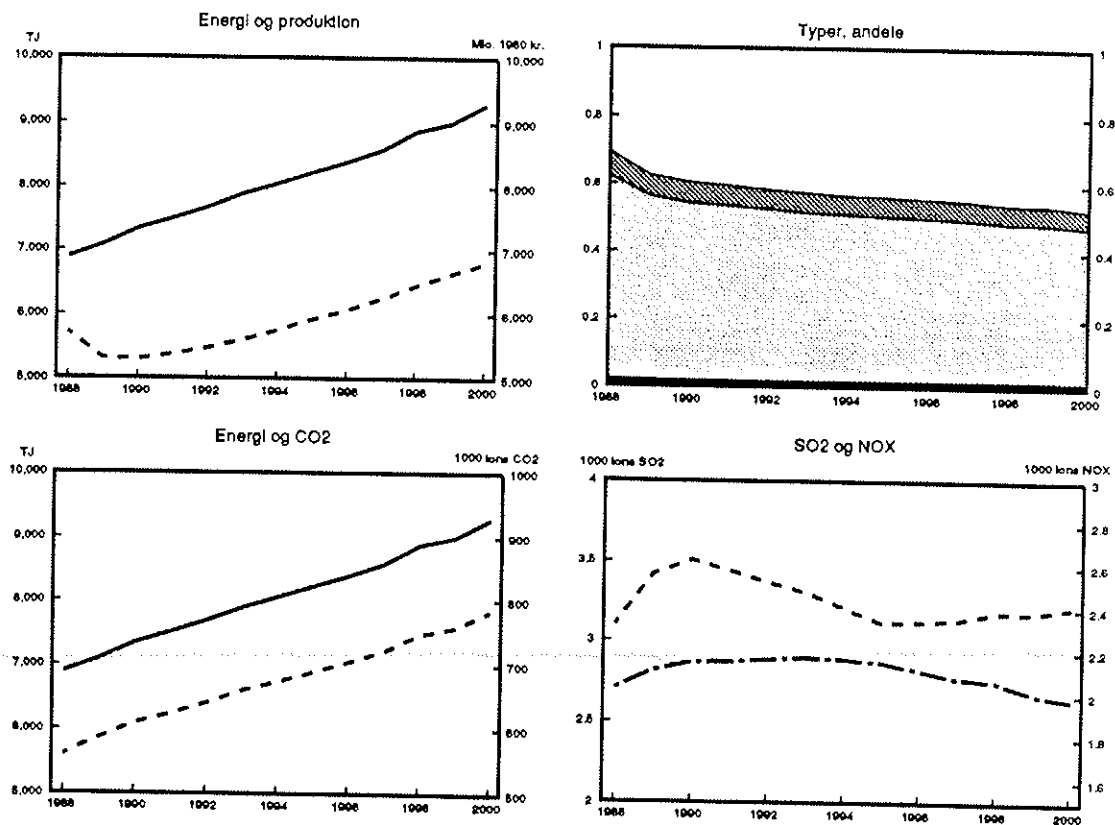


Figur 5.2.1. (fortsat)

## Næringsmiddel

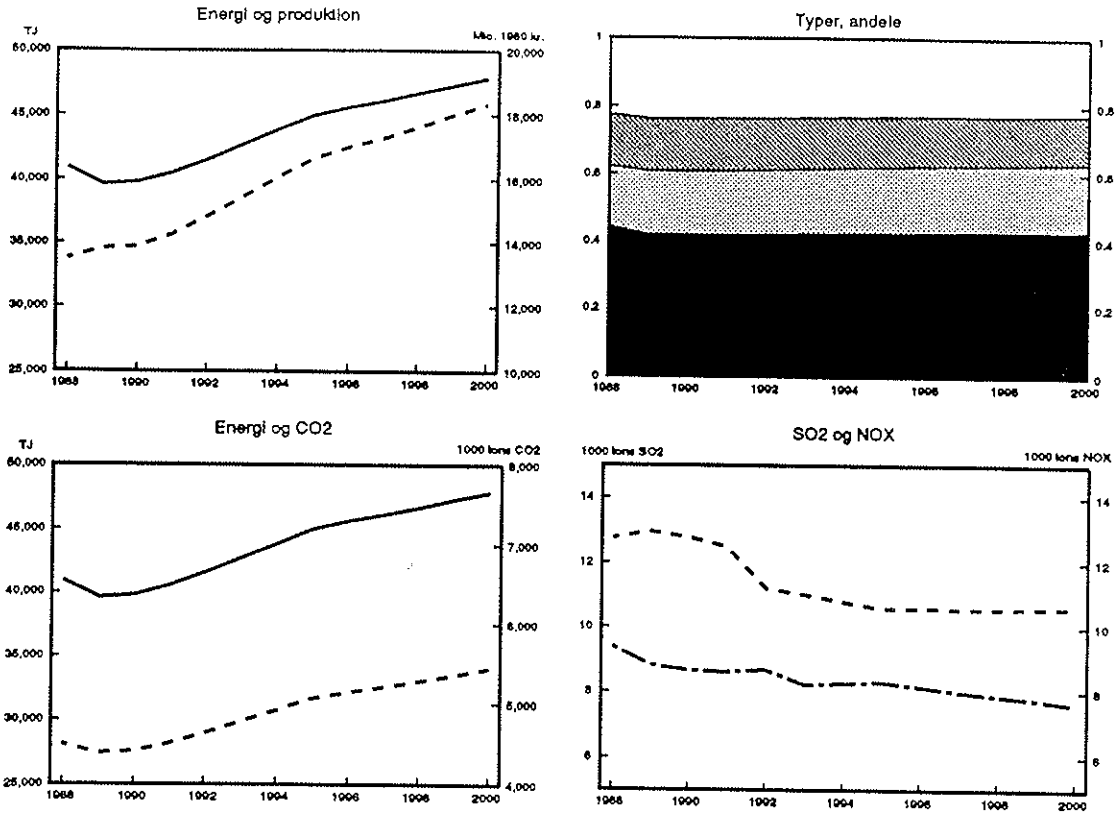


## Nydelsesmiddel

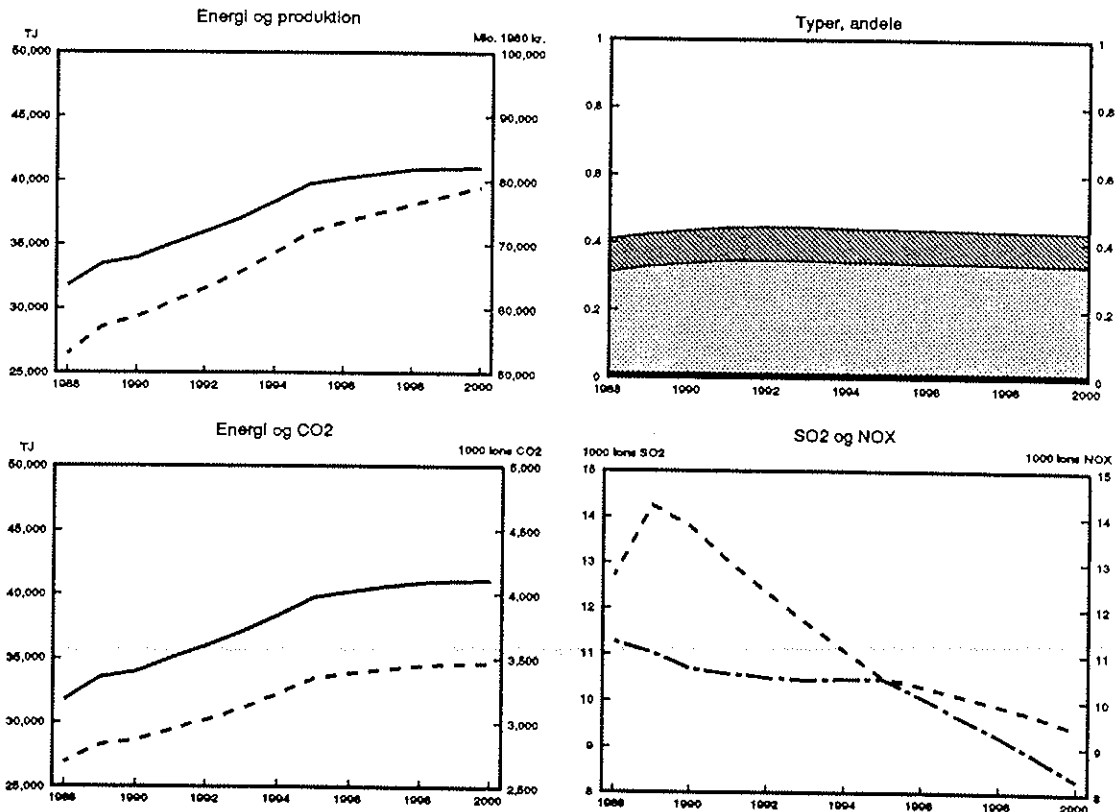


Figur 5.2.1. (fortsat)

## Lev. t. byggeri

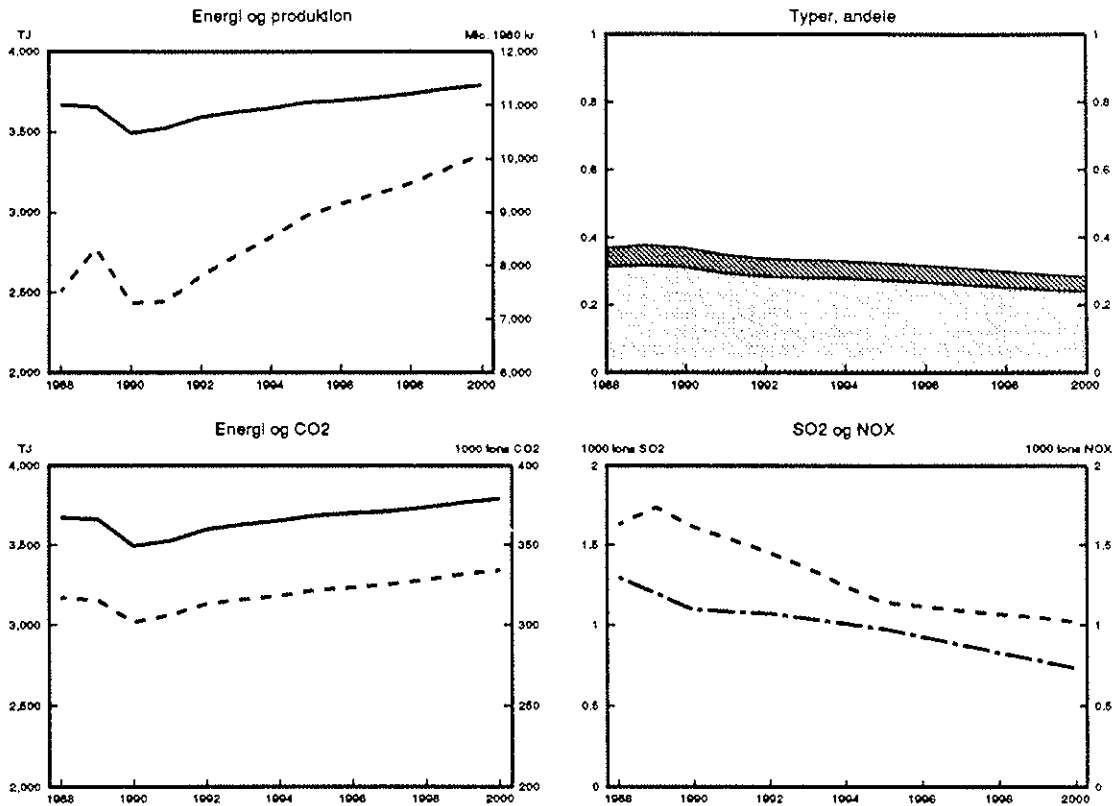


## Jern og metal

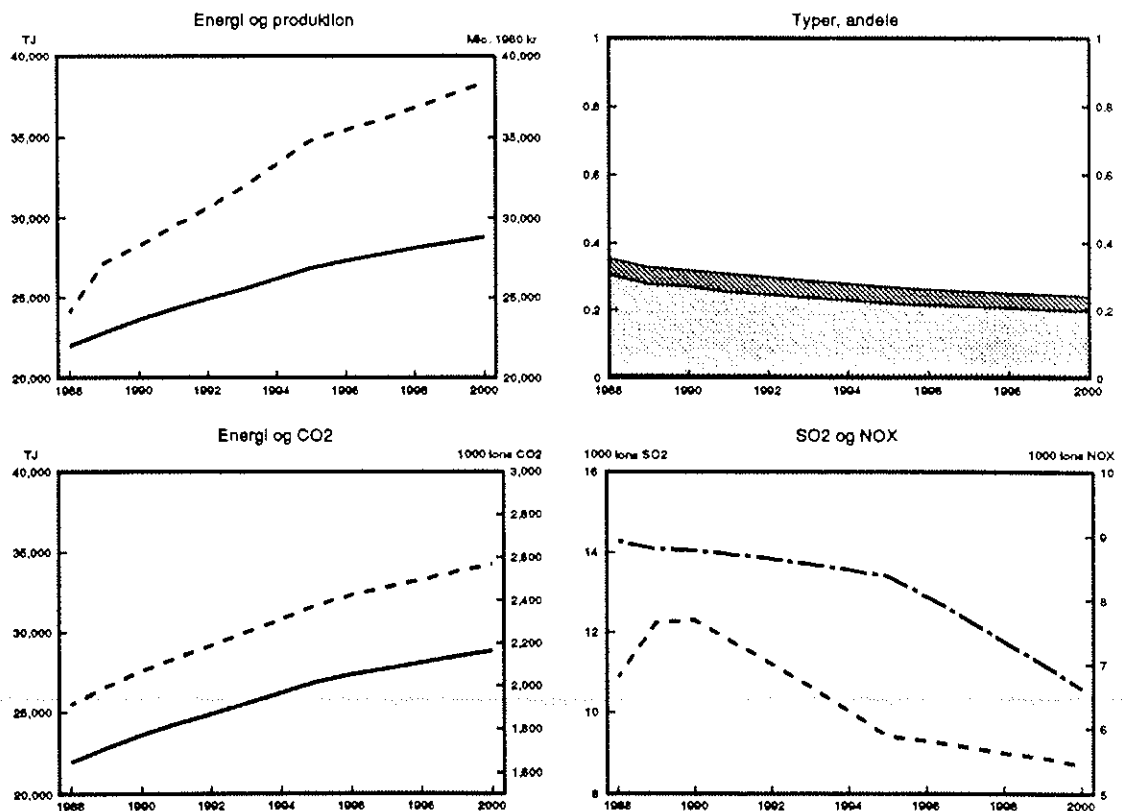


Figur 5.2.1. (fortsat)

# Transportmiddel

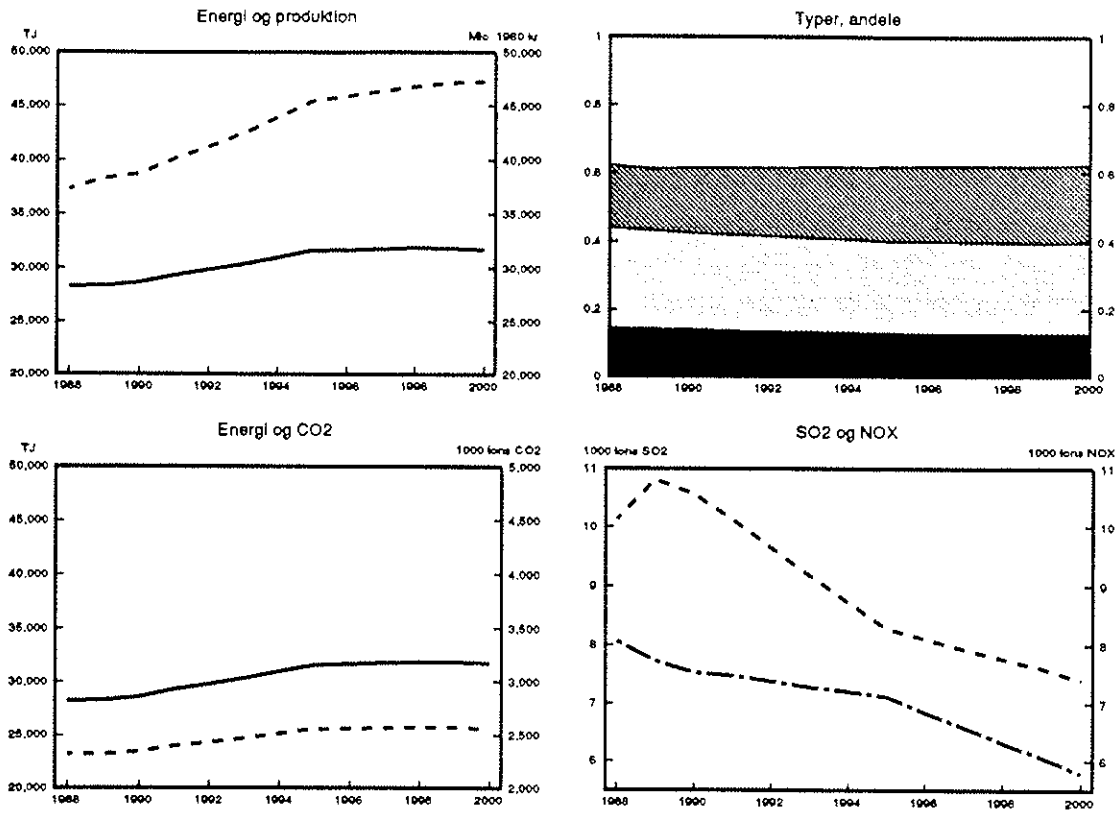


# Kemisk industri



Figur 5.2.1. (fortsat)

# Anden fremstilling



Figur 5.2.1. (fortsat)



Den prognostiserede udvikling i energiforbruget viser totalt set en noget svagere vækst end væksten i produktionen. For de primære erhverv forventes energiforbruget at være stort set konstant, for industrien i alt er den relative stigning i energiforbruget over for en relativ stigning i produktionen ca. 0.7, d.v.s. når produktionen stiger 10%, stiger energiforbruget ca. 7.0%, og for bygge- og anlægsvirksomhed er den relative energiforbrugsstigning over for en produktionsstigning ca. 0.5. Generelt set viser den prognostiserede udvikling således betydelige fald i energikoefficienterne. På det detaljerede brancheniveau skal det dog bemærkes, at udviklingen i energikoefficienterne varierer betydeligt fra branche til branche, f.eks. er energikoefficienten for næringsmiddelindustrien stigende og koefficienten for nydelsesmiddelindustrien stort set konstant.

Med hensyn til udviklingen i de enkelte energityper bemærkes, at andelen af naturgas er steget kraftigt fra 1987 til 1990, samt at andelen kun stiger ganske svagt efter 1990. Dette afspejler, at der i modellen kun er inkluderet en yderligere omlægning til naturgas i de tilfælde, hvor der p.t. er håndgribelige planer om en sådan omlægning. Med en kun svagt stigende naturgasandel skal det dog bemærkes, at industriens forbrug af naturgas forventes at stige fra knap 26 PJ i 1990 til godt 34 PJ i år 2000.

Ses på de andre energityper, bemærkes, at udbygningen med fast brændsel forventes at være stoppet, samt at der forventes en fortsat substitution fra flydende brændsel til el. Denne substitution bemærkes at være specielt kraftig inden for nydelsesmiddel-, transportmiddel- og kemisk industri.

Af de emissionsmæssige konsekvenser af energiforbruget, beskrevet i tabel 5.2.3, bemærkes, at udviklingen i CO<sub>2</sub>-emissionerne generelt følger udviklingen i energiforbruget. Dette resultat fremkommer som en kombination af 2 modsat rettede udviklingstendenser. Substitutionen til naturgas betyder alt andet lige en lavere vækst i CO<sub>2</sub>-emissionerne end i energiforbruget. Dette er f.eks. den primære grund til, at der for in-

dustrien i alt i perioden 1987-90 kan observeres en lavere vækst i CO<sub>2</sub>-emissionerne end i energiforbruget. Substitutionen fra flydende brændsel til el medfører modsat en større vækst i CO<sub>2</sub>-emissionerne end i energiforbruget. Dette afspejles bl.a. i, at der for industrien i alt i perioden 1990-2000 er en svagt større vækst i CO<sub>2</sub>-emissionerne end i energiforbruget.

Med hensyn til SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissionerne præges den fremtidige udvikling i altovervejende grad af de indarbejdede begrænsninger i elværkerne emissioner. For perioden 1987-90 præges udviklingen af stigende SO<sub>2</sub>-emissionskoefficienter og svagt faldende NO<sub>x</sub>-emissionskoefficienter for elværkerne. Stigningen i SO<sub>2</sub>-emissionerne modvirkes dog af substitutionen til naturgas, der er næsten svovlfrit. Substitutionseffekten til naturgas slår specielt kraftigt igennem i næringsmiddelindustrien, der for perioden 1987-90 er den eneste branche (bortset fra leverandører til byggeri), hvor SO<sub>2</sub>-emissionerne vokser mindre end energiforbruget. For leverandører til byggeri skyldes faldet i SO<sub>2</sub>-emissionerne altovervejende, at produktionen af grå cement i 1988 blev omlagt fra en våd til en semitør proces, hvorved omkring 75% af brændslernes svovlindhold nu bindes i cementen.

For perioden efter 1990 forventes på grund af emissionsbegrænsninger på elværkerne ganske betydelige fald i både SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissionerne. Kun for nydelsesmiddelindustrien opvejes faldet i SO<sub>2</sub>-emissionskoefficienten for elforbruget af et stigende energiforbrug. De største %-vise fald i SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissionerne observeres selvfølgelig for de brancher, hvor elandelen er størst, d.v.s. jern- og metal, transportmiddel- og kemisk industri.

Som opsummering er i tabel 5.2.4 vist udviklingen i de aggregerede sektors produktion, energiforbrug og CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissioner. Ses på sammenhængen imellem produktion, energiforbrug og CO<sub>2</sub>-emissioner, bemærkes for de primære erhverv et stort set konstant energiforbrug samt en CO<sub>2</sub>-energiforbrugselasticitet på ca. 0.8, d.v.s. stiger energiforbruget 10%, vil CO<sub>2</sub>-emissionerne stige ca. 8%. For industrien i alt

viser udviklingen 1990-2000 en produktionsstigning på 27%, en energiforbrugsstigning på ca. 19% og en stigning i CO<sub>2</sub>-emissionerne på ca. 20%. Prognosen viser således en energiforbrugselasticitet på 0.72, en CO<sub>2</sub>-produktionselasticitet på 0.75 samt en CO<sub>2</sub>-energiforbrugselasticitet på 1.05. Det skal bemærkes, at disse elasticiteter ikke er normale partielle elasticiteter, men afhænger af den specifikke prognostiserede udvikling i produktionen, beskæftigelsen, investeringer, brancheforskydninger samt energipriser. Normale partielle elasticiteter og følsomhedsanalyser gennemgås i afsnit 5.3. For bygge- og anlægsvirksomhed viser prognosen for 1990-2000 en produktionsstigning på 26% samt en stigning i energiforbruget og CO<sub>2</sub>-emissionerne på 12%, d.v.s. energiforbrugselasticiteten og CO<sub>2</sub>-produktionselasticiteten er 0.47, og CO<sub>2</sub>-energiforbrugselasticiteten er 1.0.

Tabel 5.2.4. Udviklingen i de overordnede sektors produktion, energiforbrug og emissioner

|                  |      | Produktion<br>mio.1980-kr. | Energiforbrug<br>TJ brutto | Emissioner 10 <sup>3</sup> ton |                 |                 |
|------------------|------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|
|                  |      |                            |                            | CO <sub>2</sub>                | SO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> |
| Primære erhverv  | 1987 | 44301                      | 48296                      | 3933                           | 13.76           | 38.81           |
|                  | 1990 | 47332                      | 48903                      | 3965                           | 14.71           | 38.74           |
|                  | 1995 | 53022                      | 49966                      | 4043                           | 11.15           | 39.17           |
|                  | 2000 | 56512                      | 49744                      | 4021                           | 9.87            | 38.10           |
| Industrien i alt | 1987 | 204958                     | 187700                     | 17154                          | 77.76           | 60.64           |
|                  | 1990 | 222167                     | 199797                     | 17841                          | 81.05           | 58.62           |
|                  | 1995 | 261384                     | 226129                     | 20250                          | 66.24           | 56.77           |
|                  | 2000 | 282248                     | 238634                     | 21461                          | 63.15           | 48.35           |
| Bygge- og anlæg  | 1987 | 60261                      | 16463                      | 1257                           | 2.72            | 15.87           |
|                  | 1990 | 55506                      | 16797                      | 1278                           | 2.88            | 16.16           |
|                  | 1995 | 64406                      | 17994                      | 1369                           | 2.48            | 17.07           |
|                  | 2000 | 69932                      | 18835                      | 1433                           | 2.39            | 17.58           |

Ses på SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissionerne, bemærkes, primært på grund af begrænsninger i elværkernes emissioner, et generelt fald i emissionerne. Forskelle i udviklingen i de enkelte sektorer afspejler betydelige forskelle i disses brændselssammensætning, f.eks. anvendes betydelige mængder transportbrændstof i

de primære erhverv og bygge- og anlægsvirksomhed, og  $\text{NO}_x$ -emissionerne fra transportbrændstof er betydeligt større end for de andre brændsler. Ellers afspejler udviklingen, at de største besparelser vil ske i sektorer med en stor el-andel samt ved substitution til naturgas. Når  $\text{SO}_2$ -emissionerne %vis reduceres mest for de primære erhverv, hænger dette sammen med, at sektorens energiforbrug er stort set konstant.

### 5.3. Enkelte følsomhedsanalyser

For at give et indtryk af, hvordan ændrede forudsætninger for de exogene variable påvirker energiforbruget og de energirelaterede emissioner, gennemgås i dette afsnit en række følsomhedsanalyser på modellen. Udgangspunkt for analyserne er fremskrivningen beskrevet i afsnit 5.2 (herefter benævnt basisfremskrivningen). Generelt introduceres i 1990 et permanent 10%'s skift i en af de exogene variable, og resultaterne af en modelberegning på de ændrede forudsætninger sammenlignes med basisfremskrivningen, d.v.s. generelt set er der tale om rene partielle analyser, hvor de ændrede energiforbrug og emissioner kan tilskrives ændringer i en enkelt eller enkelte exogene variable, men hvor de exogene variable ikke nødvendigvis er indbyrdes konsistente. Sluttelig gennemgås dog resultaterne af at anvende en alternativ ADAM-fremskrivning, hvor de exogene variable er indbyrdes konsistente, men hvor det er vanskeligt præcist at overskue, hvilke ændringer i de exogene variable de ændrede energiforbrug og emissioner skal tilskrives.

I tabel 5.3.1. ses resultaterne af isoleret i INDUS at introducere en permanent forøgelse af samtlige energipriser med 10% i 1990. For energiforbruget kan opgørelsen for 1990 fortolkes som 1. års effekten, og opgørelsen for år 2000 kan fortolkes som ligevægtseffekten af en 10%'s energiprisstigning. Med hensyn til emissionerne skal man være opmærksom på, at den ændrede brændselssammensætning samt de betydeligt lavere  $\text{SO}_2$ - og  $\text{NO}_x$ -emissionskoefficienter for elforbruget påvirker resultaterne for år 2000.

Tabel 5.3.1. Partielle energipriselasticiteter.

Fra og med 1990 en 10%'s stigning i samtlige energipriser

|                        | %ændringer i forhold til basisfremskrivningen |      |                             |      |                             |      |                             |      |
|------------------------|---|------|-----------------------------|------|-----------------------------|------|-----------------------------|------|
|                        | Energiforbrug                                 |      | CO <sub>2</sub> -emissioner |      | SO <sub>2</sub> -emissioner |      | NO <sub>x</sub> -emissioner |      |
|                        | 1990  | 2000 | 1990                        | 2000 | 1990                        | 2000 | 1990                        | 2000 |
| Primære erhverv        | -1.7  | -1.7 | -1.7                        | -1.7 | -1.7                        | -1.7 | -1.7                        | -1.7 |
| Industri i alt         | -1.7  | -2.3 | -1.6                        | -2.1 | -1.6                        | -2.3 | -1.6                        | -2.2 |
| heraf:                 |   |      |                             |      |                             |      |                             |      |
| Næringsmiddelindustri  | -1.9  | -2.7 | -1.9                        | -2.6 | -1.9                        | -2.6 | -1.7                        | -2.3 |
| Nydelsesmiddelindustri | -1.2  | -1.0 | -1.1                        | -0.9 | -1.0                        | -1.1 | -0.9                        | -1.1 |
| Lev. til byggeri       | -0.9  | -1.2 | -0.6                        | -0.9 | -0.9                        | -1.2 | -0.9                        | -1.2 |
| Jern- og metal         | -1.4  | -1.9 | -1.4                        | -1.9 | -1.4                        | -1.9 | -1.4                        | -1.9 |
| Transportmiddel        | -3.1  | -3.3 | -3.2                        | -3.4 | -3.6                        | -3.5 | -3.5                        | -3.4 |
| Kemisk industri        | -1.9  | -2.7 | -1.8                        | -2.6 | -1.4                        | -2.4 | -1.5                        | -2.4 |
| Anden fremst.          | -2.6  | -3.6 | -2.5                        | -3.6 | -2.5                        | -3.3 | -2.6                        | -3.5 |
| Bygge- og anlæg        | -1.4  | -1.4 | -1.4                        | -1.4 | -1.4                        | -1.4 | -1.4                        | -1.4 |

Af tabel 5.3.1. fremgår, at på det overordnede sektorniveau er energipriselasticiteten i størrelsesordenen -0.14 til -0.23, samt at mens tilpasningen for de primære erhverv og bygge- og anlægsvirksomhed er umiddelbar, er der for industrien i alt et vist timelag i priseffekten. Ses på de enkelte ADAM-brancher inden for industrien, varierer priselasticiteten imellem -0.1 og -0.36. Med hensyn til emissionerne reduceres disse stort set med samme procenter som reduktionen i energiforbruget, d.v.s. ved samme %-vise ændring i samtlige energipriser er både energiforbrugs- og emissionselasticiteterne i størrelsesordenen -0.1 til -0.35, og for industrien i alt ca. -0.23.

I tabel 5.3.2 er vist resultaterne af i 1990 at introducere en permanent 10%'s produktionsforøgelse i samtlige ADAM-brancher. Det skal bemærkes, at analysen kun indeholder en produktionsforøgelse, beskæftigelsen og investeringer er uændrede i forhold til basisfremskrivningen, d.v.s. med uændrede investeringer forudsættes en 10%'s produktions- og produktivitetsforøgelse.

Tabel 5.3.2. Partielle produktionselasticiteter.  
Fra og med 1990 en 10%'s produktionsstigning i samtlige ADAM-brancher

|                        | %ændringer i forhold til basisfremskrivningen |      |                             |      |                             |      |                             |      |
|------------------------|---|------|-----------------------------|------|-----------------------------|------|-----------------------------|------|
|                        | Energiforbrug                                 |      | CO <sub>2</sub> -emissioner |      | SO <sub>2</sub> -emissioner |      | NO <sub>x</sub> -emissioner |      |
|                        | 1990  | 2000 | 1990                        | 2000 | 1990                        | 2000 | 1990                        | 2000 |
| Primære erhverv        | 4.3   | 4.0  | 4.3                         | 4.0  | 4.6                         | 5.0  | 3.6                         | 3.5  |
| Industri i alt         | 7.1   | 7.8  | 7.4                         | 8.1  | 7.9                         | 7.6  | 7.6                         | 7.4  |
| heraf:                 |   |      |                             |      |                             |      |                             |      |
| Næringsmiddelindustri  | 8.5   | 8.5  | 9.1                         | 9.1  | 10.5                        | 8.3  | 9.7                         | 7.7  |
| Nydelsesmiddelindustri | 5.6   | 5.5  | 5.5                         | 5.4  | 5.5                         | 5.6  | 5.4                         | 5.5  |
| Lev. til byggeri       | 6.7   | 7.7  | 7.4                         | 8.3  | 6.7                         | 8.0  | 6.6                         | 7.9  |
| Jern- og metal         | 6.6   | 6.6  | 6.9                         | 6.9  | 8.0                         | 7.3  | 7.4                         | 6.8  |
| Transportmiddel        | 4.6   | 5.3  | 5.0                         | 5.6  | 6.1                         | 5.7  | 5.9                         | 5.6  |
| Kemisk industri        | 4.9   | 8.5  | 5.2                         | 8.9  | 5.5                         | 8.1  | 5.3                         | 7.6  |
| Anden fremst.          | 7.6   | 7.9  | 7.2                         | 7.5  | 6.4                         | 5.9  | 7.2                         | 7.2  |
| Bygge- og anlæg        | 3.4   | 3.5  | 3.7                         | 3.7  | 6.0                         | 4.7  | 2.9                         | 2.7  |

Som det fremgår af tabel 5.3.2, varierer den partielle produktionselasticitet betydeligt fra branche til branche. For de primære erhverv og bygge- og anlægsvirksomhed er produktionselasticiteten i størrelsesordenen 0.35 til 0.40, mens den for industrien i alt er knap 0.8, d.v.s. ca. dobbelt så stor som for de primære erhverv og bygge- og anlægsvirksomhed. For de enkelte industribrancher varierer produktionselasticiteten imellem 0.5 og 0.85, størst for næringsmiddel- og kemisk industri og lavest for transportmiddel- og nydelsesmiddelindustrien.

Ses på emissionerne, bemærkes at ændringerne i disse generelt set afviger fra ændringerne i energiforbruget, samt at ændringerne inden for den enkelte branche er forskellig for de forskellige emissioner. Inden for den enkelte branche afspejler dette forskelle imellem emissionskoefficienterne for de enkelte brændsler, samt at produktionselasticiteterne for el og andre energityper er forskellige. Ses på forskelle i %-ændringerne i år 1990 og år 2000, afspejler disse primært ændringer i brændselssammensætningen samt de faldende emissionskoeffi-

cienter for el. Tages bygge- og anlægsvirksomhed som eksempel, skyldes den store stigning i  $SO_2$ -emissionerne i år 1990 (6.0%) en høj produktionselasticitet for el, samt at  $SO_2$ -emissionskoefficienten for el er ca. 5 gange så stor som  $SO_2$ -emissionskoefficienten for resten af branchens energiforbrug.  $SO_2$ -emissionsmæssigt udgør el således ca. 50% af branchens  $SO_2$ -emissioner, hvorimod elforbruget kun udgør ca. 16% af branchens totale energiforbrug. Når stigningen i  $SO_2$ -emissionerne falder til 4.7% i år 2000, afspejler ændringen dels et mindre fald i branchens elandel, men primært at  $SO_2$ -emissionskoefficienten for el ca. halveres frem til år 2000.

Ses på forskelle i emissionsændringerne imellem de enkelte brancher, afspejler disse foruden forskelle i produktionselasticiteter for de enkelte energityper forskelle i emissionskoefficienter samt en forskellig brændselssammensætning i de enkelte brancher. Når %-ændringerne i  $NO_x$ -emissionerne relativt til %-ændringer i energiforbruget er lavere for bygge- og anlægsvirksomhed end for industrien i alt, skyldes dette den høje  $NO_x$ -emissionskoefficient for flydende brændsel, den store andel flydende brændsel samt en lav produktionselasticitet for flydende brændsel relativt til el inden for bygge- og anlægsvirksomhed.

Konkluderende på tabel 5.3.2 må man sige, at skønt emissionsmodellen er forholdsvis simpel, er de emissionsmæssige konsekvenser af en produktionsændring ikke simpel, og man ville risikere at begå en ikke ubetydelig fejl ved at sige, at emissionerne ændres med samme % som energiforbruget.

I tabel 5.3.3 er opgjort effekten af en partiel 10%'s stigning i beskæftigelsen i samtlige ADAM-brancher, d.v.s. samtlige andre variable er holdt uændrede, mens beskæftigelsen er øget med 10%.

Tabel 5.3.3. Partielle beskæftigelseselasticitet.

Fra og med 1990 en 10%'s stigning i beskæftigelsen i samtlige ADAM-brancher.

|                        | %ændringer i forhold til basisfremskrivningen |      |                             |      |                             |      |                             |      |
|------------------------|---|------|-----------------------------|------|-----------------------------|------|-----------------------------|------|
|                        | Energiforbrug                                 |      | CO <sub>2</sub> -emissioner |      | SO <sub>2</sub> -emissioner |      | NO <sub>x</sub> -emissioner |      |
|                        | 1990  | 2000 | 1990                        | 2000 | 1990                        | 2000 | 1990                        | 2000 |
| Primære erhverv        | -2.2  | -2.3 | -2.1                        | -2.2 | -1.8                        | -1.7 | -2.7                        | -2.7 |
| Industri i alt         | 0.3   | 0.2  | 0.2                         | 0.2  | 0.1                         | 0.1  | 0.2                         | 0.2  |
| heraf:                 |   |      |                             |      |                             |      |                             |      |
| Næringsmiddelindustri  | 0.0   | 0.0  | 0.0                         | 0.0  | 0.0                         | 0.0  | 0.0                         | 0.0  |
| Nydelsesmiddelindustri | -6.6  | -7.8 | -7.4                        | -8.7 | -8.3                        | -6.6 | -9.0                        | -7.5 |
| Lev. til byggeri       | 0.0   | 0.0  | 0.0                         | 0.0  | 0.0                         | 0.0  | 0.0                         | 0.0  |
| Jern- og metal         | 4.3   | 4.4  | 4.3                         | 4.4  | 4.3                         | 4.5  | 4.4                         | 4.6  |
| Transportmiddel        | -1.9  | -2.9 | -2.5                        | -3.5 | -4.2                        | -3.6 | -4.0                        | -3.4 |
| Kemisk industri        | -1.5  | -1.3 | -1.5                        | -1.3 | -1.5                        | -1.3 | -1.3                        | -1.1 |
| Anden fremst.          | 0.0   | 0.0  | 0.0                         | 0.0  | 0.0                         | 0.0  | 0.0                         | 0.0  |
| Bygge- og anlæg        | -0.7  | -0.7 | -0.9                        | -0.9 | -2.5                        | -1.7 | -0.3                        | -0.2 |

Som det ses af tabel 5.3.3, indgår beskæftigelsen kun som forklarende variabel i energirelationerne for en del af ADAM-brancherne. Med undtagelse af jern- og metalindustrien er der for de brancher, hvor beskæftigelsen er inkluderet, tale om substitution imellem energi og arbejdskraft. For jern- og metalindustrien er der komplementaritet imellem energi og arbejdskraft. Generelt bemærkes effekten af en beskæftigelsesændring at være forholdsvis beskeden, i hvert fald når man ser på det overordnede sektorniveau.

Den sidste følsomhedsanalyse, der skal gennemgås i dette afsnit, er beregninger på en alternativ ADAM-fremskrivning, hvor der er foretaget indbyrdes konsistente ændringer i de forklarende variable. I forhold til basisfremskrivningen kan den alternative ADAM-fremskrivning kort karakteriseres ved øgede investeringer, øgede tekniske fremskridt, en højere produktion og stort set uændret samlet beskæftigelse, d.v.s. den større produktion er primært fremkommet ved større investeringer og en øget produktivitet. Energiprisudviklingen er ens i de 2 fremskrivninger. De produktions-, energi- og emissions-



mæssige forskelle imellem de 2 fremskrivninger er for år 2000 vist i tabel 5.3.4. Udgangspunkt i 1990 er det samme for de 2 fremskrivninger.

Tabel 5.3.4. En alternativ ADAM-fremskrivning.  
FR90 større tekniske fremskridt.

|                  | %ændring i år 2000 i forhold til basisfremskrivning: |               |                           |                           |                           |
|------------------|--|---------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                  | Produktion   | Energiforbrug | CO <sub>2</sub> -emission | SO <sub>2</sub> -emission | NO <sub>x</sub> -emission |
| Primære erhverv  | 10.1   | 5.8           | 5.7                       | 6.0                       | 6.2                       |
| Industrien i alt | 10.3   | 7.2           | 7.7                       | 7.0                       | 6.7                       |
| Næringsmiddel    | 9.6  | 8.2           | 8.7                       | 8.0                       | 7.4                       |
| Nydelsesmiddel   | 8.5  | 5.8           | 5.9                       | 5.7                       | 5.8                       |
| Lev. til byggeri | 13.7   | 9.9           | 10.8                      | 10.1                      | 10.0                      |
| Jern- og metal   | 11.1   | 3.1           | 3.4                       | 3.8                       | 3.1                       |
| Transportmiddel  | 15.0   | 6.5           | 6.8                       | 6.9                       | 6.8                       |
| Kemisk industri  | 9.0  | 7.0           | 7.4                       | 6.7                       | 6.2                       |
| Anden fremst.    | 9.5  | 6.6           | 6.1                       | 4.5                       | 5.8                       |
| Bygge- og anlæg  | 15.7   | 5.0           | 5.2                       | 6.5                       | 4.0                       |

Som det ses af tabel 5.3.4, resulterer den alternative fremskrivning i år 2000 i en ca. 10% større produktion i de primære erhverv og industrien i alt og en godt 15% større produktion i bygge- og anlægsvirksomhed. Inden for industrien sker der på grund af den større vækst i bygge- og anlægsvirksomhed en strukturforskydning til leverandører til byggeri og på grund af de større investeringer en relativt stor produktionsforøgelse i jern- og metal- samt i transportmiddelindustrien.

På det overordnede sektorniveau forøges energiforbruget med 5-6% i de primære erhverv og bygge- og anlægsvirksomhed og med godt 7% i industrien i alt. For de enkelte industribrancher er der tale om ganske forskellige energiforbrugsændringer. Specielt bemærkes, at energiforbruget i jern- og metalindustrien på grund af de betydeligt større investeringer kun forøges med ca. 3%.

Med hensyn til emissionerne bemærkes generelt en svagt større stigning i CO<sub>2</sub>-emissionerne end i energiforbruget. Dette afspejler, at den alternative fremskrivning giver en svagt større el-andel end basisfremsskrivningen. Set i forhold til energiforbrugsændringerne afspejler ændringerne i SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>-emissionerne primært fordeling på energityper, samt at emissionskoefficienterne for de enkelte typer er forskellige.

Konkluderende på de følsomhedsanalyser, der er gennemgået i dette afsnit, må siges, at skønt de opstillede modeller er relativt simple, beskriver de ganske komplekse sammenhænge imellem den samfundsmæssige udvikling og udviklingen i energiforbruget og emissionerne. Følsomhedsanalyserne viser, at udviklingen i energiforbruget og emissionerne ikke blot er afhængig af den økonomiske vækst målt ved produktionsudviklingen, men også af hvordan den økonomiske udvikling er sammensat på de enkelte brancher og af beskæftigelses-, investerings- og energiprisudviklingen. Med hensyn til emissionerne er udviklingen afhængig af udviklingen i det totale energiforbrug, fordelingen af dette på de enkelte energityper samt udviklingen i emissionskoefficienterne, der bortset fra SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissionskoefficienterne for elforbruget dog p.t. er forudsat konstante.

BILAG 1: Modellens stokastiske relationer

ANVENDTE VARIABELNAVNE:

|             |   |
|-------------|---|
| $E_t^i$     | $i = T, s, e$ bruttoenergiforbrug i TJ<br>T = total<br>s = fast og flydende brændsel og naturgas<br>e = elforbrug |
| $S_t^s$     | budgetandel for fast og flydende brændsel og naturgas ud af de totale energiudgifter                              |
| $Q_t$       | produktion i 1980-kr.   |
| $NQ_t$      | produktion i 1980-kr., normeret til 1 i 1980  |
| $Emp_t$     | beskæftigelse   |
| $I_t$       | investeringer   |
| $P_t^i/P_t$ | den reale energipris, $i = T, s, e$   |
| graddage    | antal graddage  |
| T           | trend   |
| $D_t^i$     | dummy-variabel, der er 1 i de år, der er indikeret ved i  |

Landbruget

$$(3.1) \ln(E_t^s) = 7.795 + 0.380 * \ln(Q_t/Emp_t) - 0.196 * \ln(P_t^s/P_t) - 0.261 * D_t^{8183} - 0.499 * D_t^{8430}$$

(17.26)    (4.52)
(-4.46)    (-7.05)
(-11.50)

$R^2 = 0.96$        $R_{adj}^2 = 0.94$       DW = 2.34

$$(3.2) \ln(E_t^e) = 8.007 + 0.251 * \ln(Q_t/Emp_t) - 0.208 * \ln(P_t^e/P_t)$$

(49.20)    (7.97)
(-3.59)

$R^2 = 0.79$        $R_{adj}^2 = 0.77$       DW = 2.05

Gartnerierne

$$\begin{aligned}
 (3.3) \ln(E_t^S) &= 1.820 + 0.990 * \ln(Q_t) \\
 &\quad (0.38) \quad (1.39) \\
 &\quad - 0.145 * \ln(P_t^S/P_t) + 0.314 * \ln(\text{Graddage}_t) \\
 &\quad (-2.00) \quad (0.88) \\
 &\quad - 0.036 * T + 0.212 * D_t^{79} - 0.179 * D_t^{8230} \\
 &\quad (-4.04) \quad (2.15) \quad (-1.63) \\
 R^2 &= 0.93 \quad R_{adj}^2 = 0.90 \quad DW = 1.38
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (3.4) \ln(E_t^e) &= 0.469 + 0.446 * \ln(Q_t) \\
 &\quad (0.30) \quad (2.42) \\
 &\quad - 0.028 * \ln(P_t^e/P_t) + 0.394 * \ln(\text{Graddage}) \\
 &\quad (-0.46) \quad (3.55) \\
 &\quad - 0.008 * T \\
 &\quad (2.94) \\
 R^2 &= 0.64 \quad R_{adj}^2 = 0.54 \quad DW = 1.28
 \end{aligned}$$

Fiskeriet

$$\begin{aligned}
 (3.5) \ln(E_t^S) &= 6.872 + 0.296 * \ln(Q_t) \\
 &\quad (4.59) \quad (1.57) \\
 &\quad - 0.160 * \ln(P_t^S/P_t) - 0.201 * \ln(\text{Emp}_t) \\
 &\quad (-3.91) \quad (-4.49) \\
 &\quad + 0.334 * \ln(I_t/\bar{I}) \\
 &\quad (10.65) \\
 R^2 &= 0.90 \quad R_{adj}^2 = 0.88 \quad DW = 2.27
 \end{aligned}$$

Raffinaderierne

$$\begin{aligned}
 (4.1) \ln(E_t^e) &= 8.2024 - 0.2515 * \ln(P_t^e/P_t) + 0.9814 * \ln(\text{Emp}_t) \\
 &\quad (51.14) \quad (-2.26) \quad (3.38) \\
 R^2 &= 0.47 \quad R_{adj}^2 = 0.41 \quad DW = 2.20
 \end{aligned}$$

Slagterierne

$$\begin{aligned} (5.1) \ln(E_t^S) &= 5.5658 * (1-0.1319) \\ &\quad (2.92) \quad (0.59) \\ &+ 0.2475 * (\ln(Q_t) - 0.1319 * \ln(Q_{t-1})) \\ &\quad (1.32) \\ &- 0.1901 * (1-0.1319) * \ln(P_t^S/P_t) \\ &\quad (4.01) \\ &+ 0.1319 * \ln(E_{t-1}^S) \\ &\quad (0.59) \\ R^2 &= 0.70 \quad R_{adj}^2 = 0.64 \quad DW = 1.66 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (5.2) \ln(E_t^e) &= - 5.9493 + 1.3677 * \ln(Q_t) \\ &\quad (-4.02) \quad (9.34) \\ &- 0.512 * \ln(P_t^e/P_t) + 0.3143 * D_t^{8230} \\ &\quad (-3.11) \quad (6.25) \\ R^2 &= 0.93 \quad R_{adj}^2 = 0.92 \quad DW = 1.93 \end{aligned}$$

Fiskemel og foderstoffer

$$\begin{aligned} (6.1) \ln(E_t^S) &= - 0.4376 * (1-0.4646) \\ &\quad (-0.15) \\ &+ 0.4563 * (\ln(Q_t) - 0.4646 * \ln(Q_{t-1})) \\ &\quad (0.73) \\ &- 0.5260 * (1-0.4646) * \ln(P_t^S/P_t) \\ &\quad (-2.64) \\ &+ 0.2265 * ((D_t^{7779}) - 0.4646 * (D_t^{7678})) \\ &\quad (2.37) \\ &+ 0.0383 * T * D6685 + (2.1703) \\ &\quad (2.50) \\ &+ (0.0383/3) * (T - (T-85) * 0.50 ** (T-85)) * D_t^{8630} \\ &+ 0.4646 * \ln(E_{t-1}^S) \\ &\quad (2.80) \\ R^2 &= 0.96 \quad R_{adj}^2 = 0.94 \quad DW = 1.95 \end{aligned}$$

$$(6.2) \ln(E_t^e) = -2.9175 + 1.2814 * \ln(Q_t) \\ (-2.21) \quad (7.35) \\ - 0.0615 * \ln(P_t^e/P_t) + 0.4392 * (D_t^{7779} + D_t^{8130}) \\ (-0.38) \quad (4.49) \\ R^2 = 0.97 \quad R_{adj}^2 = 0.96 \quad DW = 1.21$$

Næringsmiddelindustri iøvrigt

$$(7.1) \ln(E_t^T) = -0.4627 + 1.0259 * \ln(Q_t) \\ (-0.22) \quad (5.04) \\ - 0.1138 * (\ln(P_t^T/P_t)) \\ (-1.44) \\ R^2 = 0.81 \quad R_{adj}^2 = 0.79 \quad DW = 2.37$$

$$(7.2) S_t^S = 0.6746 - 0.1766 * (\ln(P_t^e) - \ln(P_t^S)) \\ (124.25) \quad (-5.67) \\ - 0.3836 * \ln(NQ_t) \\ (-3.95) \\ R^2 = 0.73 \quad R_{adj}^2 = 0.75 \quad DW = 1.25$$

Nydelsesmiddelindustrien

$$(8.1) \ln(E_t^S) = 2.940 + 0.622 * \ln(Q_t) - 0.2008 * \ln(P_t^S/P_t) \\ (1.11) \quad (2.01) \quad (-3.00) \\ + 0.4616 * D_t^{6672} \\ (5.48) \\ R^2 = 0.90 \quad R_{adj}^2 = 0.88 \quad DW = 1.47$$

$$(8.2) \ln(E_t^e) = 21.0347 + 0.4906 * \ln(Q_t) \\ (4.15) \quad (1.27) \\ - 1.9076 * \ln(\text{Emp}_t * 1000) + 0.1981 * D_t^{6673} \\ (-6.21) \quad (2.30) \\ R^2 = 0.85 \quad R_{adj}^2 = 0.82 \quad DW = 2.87$$

Cementfabrikker

$$(9.1) \ln(E_t^s) = 2.284 + 1.069 * \ln(Q_t) - 0.132 * \ln(P_t^s/P_t) \\ (1.81) \quad (5.74) \quad (-1.43) \\ - 0.350 * D_t^{74} \\ (3.06)$$

$$R^2 = 0.83 \quad R_{adj}^2 = 0.80 \quad DW = 1.24$$

$$(9.2) \ln(E_t^e) = 2.1301 + 0.8100 * \ln(Q_t) - 0.0367 * D_t^{8130} \\ (0.99) \quad (2.62) \quad (-0.32)$$

$$R^2 = 0.65 \quad R_{adj}^2 = 0.60 \quad DW = 1.32$$

Teglværker & isoleringsmaterialer

$$(10.1) \ln(E_t^s) = 5.414 + 0.495 * \ln(Q_t) - 0.174 * \ln(P_t^s/P_t) \\ (3.73) \quad (2.63) \quad (-2.78) \\ - 0.293 * D_t^{8130} \\ (-4.51)$$

$$R^2 = 0.90 \quad R_{adj}^2 = 0.88 \quad DW = 1.06$$

$$(10.2) \ln(E_t^e) = 1.734 * (1-0.546) \\ (0.68) \\ + 0.7701 * (\ln(Q_t) - 0.546 * \ln(Q_{t-1})) \\ (2.29) \\ - 0.824 * (1-0.546) * \ln(P_t^e/P_t) \\ (-1.33) \\ + 0.546 * \ln(E_{t-1}^e) \\ (2.68)$$

$$R^2 = 0.60 \quad R_{adj}^2 = 0.52 \quad DW = 1.90$$

Leverandører til byggeri iøvrigt

$$(11.1) \ln(E_t^S) = 0.7341 * (-0.3242 + 1.0481 * \ln(Q_t) - 0.0428 * \ln(P_t^S/P_t) + 0.3214 * (D_t^{74} + D_t^{79})) + (1-0.7341) * \ln(E_{t-1}^S)$$

(6.69)
(-0.15)
(4.57)
  
(-0.67)
(3.89)

$$R^2 = 0.86 \quad R_{adj}^2 = 0.82 \quad DW = 2.73$$

$$(11.2) \ln(E_t^e) = 5.7363 + 0.4597 * \ln(Q_t) - 0.2428 * \ln(I_t) + 0.2108 * D_t^{74}$$

(1.98)
(1.30)
(-1.80)
  
(1.67)

$$R^2 = 0.25 \quad R_{adj}^2 = 0.10 \quad DW = 1.01$$

Jern- og metalværker og -støberier

$$(12.1) \ln(E_t^T) = 5.4426 + 0.3678 * \ln(Q_t) - 0.1768 * \ln(P_t^T/P_t) - 0.3907 * D_t^{6672} - 0.2164 * D_t^{8330}$$

(3.22)
(1.62)
(-1.62)
  
(-7.30)
(-5.17)

$$R^2 = 0.91 \quad R_{adj}^2 = 0.88 \quad DW = 2.41$$

Jern- og metalindustri iøvrigt

$$(13.1) \ln(E_t^T) = -3.3727 * (1-0.2713) + 0.8259 * [\ln(Q_t) - 0.2713 * \ln(Q_{t-1})] - 0.1711 * \ln(P_t^T/P_t) - 0.3234 * [\ln(I_t) - 0.2713 * \ln(I_{t-1})] + 0.5815 * [\ln(Emp_t * 1000) - 0.2713 * \ln(Emp_{t-1} * 1000)] + 0.2713 * \ln(E_{t-1}^T)$$

(-1.66)
(0.91)
  
(2.66)
  
(-1.34)
  
(-1.92)
  
(0.91)

$$R^2 = 0.68 \quad R_{adj}^2 = 0.55 \quad DW = 1.96$$



$$\begin{aligned}
 (13.2) \quad S_t^S &= 1.6451 * [0.5323 - 0.1427 * (\ln(P_t^E) - \ln(P_t^S))] \\
 &\quad (7.70) \quad (41.09) \quad (-7.39) \\
 &\quad - 0.0938 * \ln(NQ_t)] + (0.3911 - 1.6750) * \\
 &\quad (-2.40) \quad (3.11) \\
 &\quad [0.5323 - -0.1427 * (\ln(P_{t-1}^E) - \ln(P_{t-1}^S))] \\
 &\quad - 0.0938 * \ln(NQ_{t-1})] + (1 - 0.3911) * \ln(S_{t-1}^S) \\
 R^2 &= 0.97 \quad R_{adj}^2 = 0.97 \quad DW = 2.56
 \end{aligned}$$

Kemiske råstoffer og gødning

$$\begin{aligned}
 (14.1) \quad \ln(E_t^T) &= 5.9493 + 0.4968 * \ln(Q_t) - 0.5024 * \ln(\text{Emp}_t) \\
 &\quad (6.67) \quad (5.11) \quad (-1.92) \\
 &\quad + 0.1367 * D_t^{7074} - 0.3038 * D_t^{8330} \\
 &\quad (3.00) \quad (-4.80) \\
 R^2 &= 0.75 \quad R_{adj}^2 = 0.68 \quad DW = 2.03
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (14.2) \quad S_t^S &= 1.2201 * [0.4997 - 0.1793 * (\ln(P_t^E) - \ln(P_t^S))] \\
 &\quad (6.14) \quad (38.25) \quad (-5.30) \\
 &\quad - 0.1437 * \ln(NQ_t)] + (0.6978 - 1.2201) * \\
 &\quad (-2.15) \quad (3.34) \\
 &\quad [0.4997 - 0.1793 * (\ln(P_{t-1}^E) - \ln(P_{t-1}^S))] \\
 &\quad - 0.1437 * \ln(NQ_{t-1})] + (1 - 0.6478) * S_{t-1}^S \\
 R^2 &= 0.88 \quad R_{adj}^2 = 0.88 \quad DW = 1.94
 \end{aligned}$$

Kemisk industri iøvrigt

$$\begin{aligned}
 (15.1) \quad \ln(E_t^S) &= 7.3295 + 0.1984 * \ln(Q_t) \\
 &\quad (3.17) \quad (0.93) \\
 &\quad - 0.4667 * \ln(P_t^S / P_t) - 0.0939 * \ln(I_t) \\
 &\quad (-2.99) \quad (-0.42) \\
 &\quad + 0.8908 * D_t^{7377} \\
 &\quad (11.94) \\
 R^2 &= 0.94 \quad R_{adj}^2 = 0.92 \quad DW = 2.09
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (15.2) \ln(E_t^e) &= 0.5237 * [- 3.2843 + 1.2377 * \ln(Q_t)] \\
 &\quad (3.77) \quad (-1.84) \quad (6.53) \\
 &- 0.3729 * \ln(P_t^e/P_t) + 0.1489 * D_t^{7377} \\
 &\quad (-1.29) \quad (1.71) \\
 &+ 0.2167 * D_t^{8230}] + (1-0.5237) * \ln(E_{t-1}^e) \\
 &\quad (1.83) \\
 R^2 &= 0.97 \quad R_{adj}^2 = 0.96 \quad DW = 2.55
 \end{aligned}$$

Papir og papfremstilling

$$\begin{aligned}
 (16.1) \ln(E_t^T) &= 0.8590 * [5.6548 + 0.4224 * \ln(Q_t)] \\
 &\quad (2.27) \quad (2.15) \quad (1.13) \\
 &- 0.1553 * \ln(P_t^T/P_t) + 0.3697 * D_t^{74}] \\
 &\quad (-1.05) \quad (1.91) \\
 &+ (0.4614-0.8590) * [5.6548 \\
 &\quad (1.76) \\
 &+ 0.4224 * \ln(Q_{t-1}) - 0.1553 * \ln(P_{t-1}^T/P_{t-1}) \\
 &+ 0.3697 * D_{t-1}^{74}] + (1-0.4614) * \ln(E_{t-1}^T) \\
 R^2 &= 0.75 \quad R_{adj}^2 = 0.66 \quad DW = 2.51
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (16.2) S_t^S &= 0.6393 - 0.1713 * [\ln(P_t^e) - \ln(P_t^S)] \\
 &\quad (169.00) \quad (-19.77) \\
 &- 0.0177 * \ln(NQ_t) \\
 &\quad (-0.98) \\
 R^2 &= 0.94 \quad R_{adj}^2 = 0.95 \quad DW = 1.89
 \end{aligned}$$

Keramik og glasværker

$$\begin{aligned}
 (17.1) \ln(E_t^S) &= - 0.9807 + 1.2328 * \ln(Q_t) \\
 &\quad (-0.43) \quad (3.96) \\
 &- 0.6335 * \ln(P_t^S/P_t) - 0.1164 * D_t^{7273} \\
 &\quad (-9.60) \quad (-0.77) \\
 &- 0.2126 * D_t^{8530} \\
 &\quad (-1.18) \\
 R^2 &= 0.92 \quad R_{adj}^2 = 0.90 \quad DW = 1.20
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (17.2) \ln(E_t^e) &= 3.0484 + 0.5321 * \ln(Q_t) \\
 &\quad (1.67) \quad (2.10) \\
 &\quad - 0.7441 * \ln(P_t^e/P_t) + 0.3147 * D_t^{7273} \\
 &\quad \quad (-4.09) \quad \quad (2.34) \\
 R^2 &= 0.74 \quad R_{adj}^2 = 0.69 \quad DW = 1.17
 \end{aligned}$$

Anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt

$$\begin{aligned}
 (18.1) \ln(E_t^s) &= 4.6115 + 0.4224 * \ln(Q_t) \\
 &\quad (1.56) \quad (1.48) \\
 &\quad - 0.1517 * \ln(P_t^s/P_t) + 0.1634 * D_t^{6672} \\
 &\quad \quad (-2.27) \quad \quad (2.29) \\
 R^2 &= 0.80 \quad R_{adj}^2 = 0.75 \quad DW = 1.69
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (18.2) \ln(E_t^e) &= - 2.2110 * (1-0.4374) \\
 &\quad (-0.30) \quad (1.97) \\
 &\quad + 1.0272 * [\ln(Q_t) - 0.4374 * \ln(Q_{t-1})] \\
 &\quad \quad (1.17) \\
 &\quad - 0.3872 * \ln(P_t^e/P_t) \\
 &\quad \quad (-1.61) \\
 &\quad - 0.1771 * [\ln(I_t) - 0.4374 * \ln(I_{t-1})] \\
 &\quad \quad (-1.21) \\
 &\quad + 0.3164 * [D_t^{7778} - 0.4374 * D_t^{7677}] \\
 &\quad \quad (3.05) \\
 &\quad + 0.0198 * [T_t - 0.4374 * T_{t-1}] * D_t^{6610} \\
 &\quad \quad (1.34) \\
 &\quad + 1.2451 * D_t^{1130} + 0.4374 * \ln(E_{t-1}^e) \\
 R^2 &= 0.94 \quad R_{adj}^2 = 0.92 \quad DW = 2.21
 \end{aligned}$$

Transportmiddelindustri

$$\begin{aligned}
 (19.1) \ln(E_t^s) &= 13.0985 - 0.1447 * \ln(P_t^s/P_t) \\
 &\quad (4.45) \quad (-1.85) \\
 &\quad + 0.5731 * \ln(Emp_t) - -1.7082 * \ln(T) \\
 &\quad \quad (21.10) \quad \quad (-3.05) \\
 &\quad + 0.4413 * D_t^{80} \\
 &\quad \quad (6.35) \\
 R^2 &= 0.95 \quad R_{adj}^2 = 0.94 \quad DW = 2.44
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}(19.2) \ln(E_t^e) &= 0.9581 + 0.7414 * \ln(Q_t) \\ &\quad (0.21) \quad (1.63) \\ &- 0.4333 * \ln(P_t^e/P_t) - 0.6782 * \ln(\text{Emp}_t) \\ &\quad (-2.10) \quad (-0.78) \\ &+ 0.5243 * \ln(T) - 0.2903 * D_t^{79} \\ &\quad (0.47) \quad (2.32)\end{aligned}$$

$$R^2 = 0.75 \quad R_{adj}^2 = 0.67 \quad DW = 1.70$$

Bygge- og anlægsvirksomhed

$$\begin{aligned}(20.1) \ln(E_t^s) &= 2.6521 + 0.2539 * \ln(Q_t) \\ &\quad (1.09) \quad (1.11) \\ &- 0.1411 * \ln(P_t^s/P_t) + 0.8850 * \ln(T) \\ &\quad (-1.30) \quad (1.71) \\ &+ 0.1051 * D_t^{75} + 0.2064 * D_t^{8410} \\ &\quad (1.78) \quad (4.04)\end{aligned}$$

$$R^2 = 0.75 \quad R_{adj}^2 = 0.65 \quad DW = 1.83$$

$$\begin{aligned}(20.2) \ln(E_t^e) &= 0.7745 + 0.9432 * \ln(Q_t) \\ &\quad (0.33) \quad (3.19) \\ &- 0.1580 * \ln(P_t^e/p_t) - 0.5420 * \ln(\text{Emp}_t) \\ &\quad (-2.21) \quad (-2.02) \\ &- 0.6301 * D_t^{7530} \\ &\quad (-15.18)\end{aligned}$$

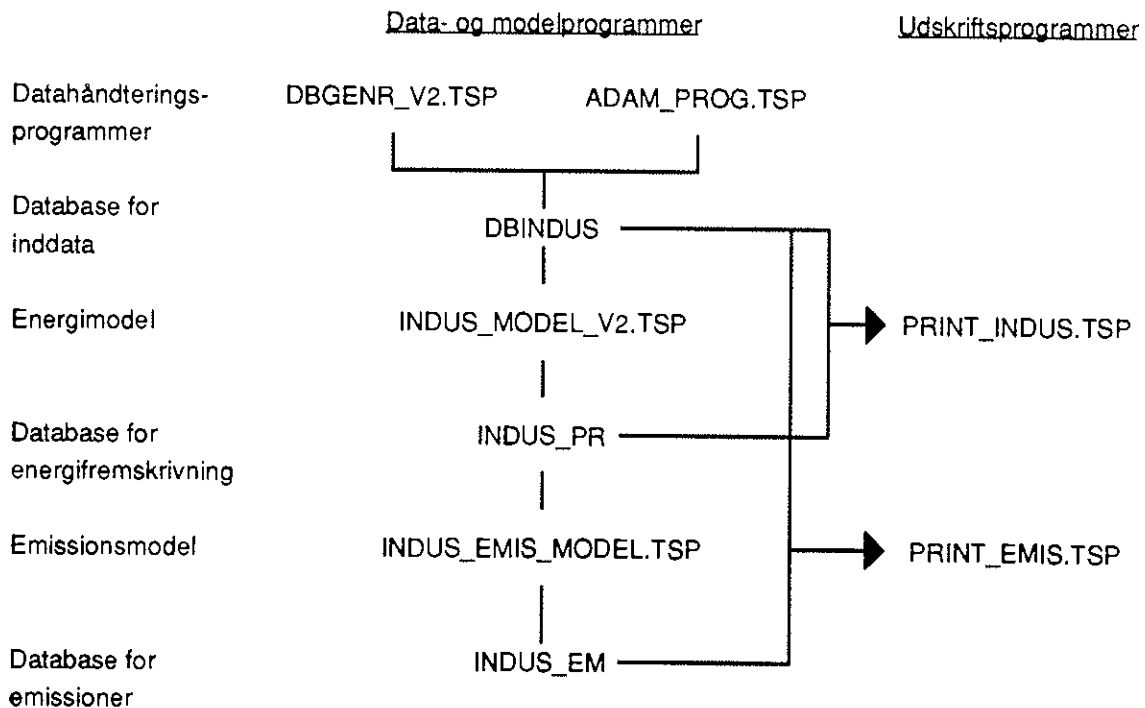
$$R^2 = 0.98 \quad R_{adj}^2 = 0.97 \quad DW = 2.30$$

BILAG 2

Brugervejledning til INDUS og INDUS-EMIS modellerne

B2.0. Den generelle programstruktur samt variabelnavne

Modelkomplekset består af 2 programmer til håndtering af inputdata til modellerne, 2 modelprogrammer der indeholder henholdsvis energi- og emissionsmodellerne, 3 databaser hvor resultater gemmes, samt en række udskriftsprogrammer der henter, aggregerer og udskriver data fra de 3 databaser. Samtlige programmer er programmeret i TSP-version 4.1 og er installeret på Risøs VAX 8700 under operativsystemet VAX/VMS. Den overordnede sammenhæng imellem de forskellige programmer og databaser er skitseret i figur B2.1.



Figur B2.1. Den overordnede programstruktur

Programmet DBGENR\_V2.TSP indeholder samtlige historiske data, der ligger til grund for de 2 modeller. Programmet anvendes til at oprette/opdatere de historiske data i databasen DBINDUS.

ADAM\_PROG.TSP indeholder den ADAM-fremskrivning og energiprisprognose, der aktuelt ønskes beregninger for. Alternative fremskrivninger og prognoser kan gemmes i kopier af programmet. Programmet konverterer ADAM-fremskrivninger og energiprisprognoser til data, der er nødvendige for at køre energimodellen, og lagrer disse i databasen DBINDUS.

Programmet INDUS\_MODEL\_V2.TSP indeholder energimodellens relationer. Programmet henter data fra DBINDUS og lagrer de beregnede energiforbrug i databasen INDUS\_PR. Udskrifter af det beregnede energiforbrug samt den forudsatte produktionsudvikling fås ved at køre programmet PRINT\_INDUS.TSP.

INDUS\_EMIS\_MODEL.TSP indeholder emissionsmodellen og de forudsatte emissionskoefficienter. Modellen henter grundlæggende produktionsfremskrivninger m.v. fra DBINDUS og fremskrivninger af energiforbruget fra INDUS\_PR. De beregnede emissioner lagres i databasen INDUS\_EM. Udskrifter af de beregnede emissioner, energiforbrug og den forudsatte produktionsudvikling fås ved at køre PRINT\_EMIS.TSP.

Udover disse programmer er der udviklet et program, der udfra DS's energibalancer og emissionskoefficienter for de 25 energityper beregner diverse emissionsopgørelser samt de emissionskoefficienter, der indgår i INDUS\_EMIS\_MODEL.TSP. Beregningsprogrammet hedder INDUS\_EMIS\_87.TSP, og resultaterne gemmes i EMISSION87.DAT. Tallet 87 refererer til, at programmet indeholder 1987-energiforbrugene. Tilsvarende programmer findes for årene 1970, 80 og 85. Programmerne opererer på en aggregering af energiforbrugene på INDUS-brancher.

For samtlige programmer i figur B2.1 gælder, at der indledningsvis defineres 4 konstanter, der definerer de perioder, der opereres på; OBSSTART og OBSSLUT der definerer første og

sidste år for hvilke der eksisterer et komplet sæt af observerede data, og SIMSTART og SIMSLUT der definerer første og sidste år for hvilke der ønskes beregninger.

I den generelle notation, der anvendes i programmerne, sammensættes variabelnavne af 3 komponenter. Første komponent beskriver, hvilken type variabel der er tale om, f.eks. EM for bruttoenergiforbrug i mængder, EV for energiforbrug i løbende priser og P for en prisvariabel. Anden komponent er en betegnelse af, hvilken branche variabelen er tilknyttet, og sidste komponent identificerer, hvilken energitype der er tale om. Som eksempel kan nævnes, at EMGARTO er gartneriernes bruttoenergiforbrug af flydende brændsel i TJ. Med hensyn til data der hentes fra ADAM-fremskrivninger er anvendt samme variabelnavne som i ADAM.

En liste over hver af de 3 komponenter i de anvendte variabelnavne er givet i tabellerne B2.1, B2.2 og B2.3.

#### Tabel B2.1. Liste over anvendte variabelnavne

Der anvendes følgende notation:

variabelnavn, branche, energitype.

Et i på branche komponentens plads refererer til en INDUS-branche, et a på branche komponentens plads refererer til en ADAM-branche, og et e på energitype komponentens plads referer til en INDUS-energitype.

Et foranskrevet D refererer til årlige %-vise ændringer i en variabel. Foranskrevet L referer til en logaritmisk transformeret variabel.

|           |          |         |   |
|-----------|----------|---------|---|
| QFU, i    | QFO, i   | p, i    | Output i løbende priser, 1980-priser og prisindex                                     |
| x, a      | FX, a    | PX, a   | Output i løbende priser, 1980-priser og prisindex                                     |
| EMP, i    | EMPL, i  | EMPA, i | Total beskæftigelse, antal lønmodtagere, antal arbejdere                              |
| EMPF, i   | EMPS, i  |         | Antal funktionærer og antal selvstændige  |
| Q, a      | Q, aA    | Q, aF   | Total beskæftigelse, antal arbejdere og antal funktionærer                            |
| INV, i    |          |         | Investeringer i 1980-priser   |
| FIP       |          |         | Faste private investeringer i 1980-priser (ADAM-variabel)                             |
| s, i, a   |          |         | En INDUS-branches andel af produktionen i en ADAM-branch (output andel i 1980-priser) |
| EM, i, e  | EV, i, e | P, i, e | Bruttoenergiforbrug i TJ, energjudgifter og energiprisindex                           |
| EM, i, eF |          |         | Modelberegnet bruttoenergiforbrug i TJ  |
| s, i, e   |          |         | Energibudgetandel   |
| s, e, i   |          |         | Energiforbrugsandel i TJ  |
| SO, i, e  | S, i, eC |         | SO <sub>2</sub> -emissioner i kg og SO <sub>2</sub> -emissioner i kg pr. TJ           |
| NO, i, e  | N, i, eC |         | NO <sub>x</sub> -emissioner i kg og NO <sub>x</sub> -emissioner i kg pr. TJ           |
| CO, i, e  | C, i, eC |         | CO <sub>2</sub> -emissioner i ton og CO <sub>2</sub> -emissioner i ton pr. TJ         |
| STAAL     |          |         | ton smeltet stål på Stålvalseværket   |
| GRADDAGE  |          |         | antal graddage i et år  |
| T         |          |         | Trendvariabel startende med 0 i år 1900   |
| D, år     |          |         | Dummy variabel der er 1 i det år, der angives, og ellers 0                            |



Tabel B2.2. Liste over anvendte branchenavne

| INDUS-brancher |      |  |
|----------------|------|--|
| 1              | LAND | Landbrug m.v.                                      |
| 2              | GART | Gartnerier   |
| 3              | FISK | Fiskeri  |
| 1-3            | PRIM | Primære erhverv                                    |
| 4              | GAS  | Brunkulslejre, råolie og naturgas                  |
| 5              | RAF  | Olieraffinaderier                                  |
| 6              | SLAG | Slagterier   |
| 7              | FIFO | Fiskemel- og foderstoffremstilling                 |
| 8              | NAER | Næringsmiddelindustri iøvrigt                      |
| 9              | NYD  | Nydelsesmiddelindustri                             |
| 10             | CEM  | Cementfremstilling m.v.                            |
| 11             | ISO  | Teglværker og fremstilling af isoleringsmaterialer |
| 12             | BYG  | Leverandører til byggeri iøvrigt                   |
| 13             | STAL | Stålværker   |
| 14             | JERN | Jernstøberier, metalværker og -støberier           |
| 15             | META | Jern- og metalindustri iøvrigt                     |
| 16             | SKIB | Transportmiddelindustri                            |
| 17             | KRAA | Kemiske råstoffer og gødningsfremstilling          |
| 18             | KEMI | Kemisk industri iøvrigt                            |
| 19             | PAP  | Papir- og papfremstilling                          |
| 20             | GLAS | Porcelæn- og glasfremstilling                      |
| 21             | IQV  | Anden fremstillingsvirksomhed iøvrigt              |
| 6-21           | INDU | Industrien i alt                                   |
| 22             | BYAN | Bygge- og anlægsvirksomhed                         |

| ADAM-<br>branchenavn | INDUS-<br>branchenavn | Aggregering af INDUS<br>branchenr. |
|----------------------|-----------------------|------------------------------------|
| A                    | PRIM                  | 1-3                                |
| E                    | GAS                   | 4                                  |
| NG                   | RAF                   | 5                                  |
| NF                   | MAD                   | 6-8                                |
| NN                   | NYD                   | 9                                  |
| NB                   | LEVB                  | 10-12                              |
| NM                   | MET                   | 13-15                              |
| NT                   | SKIB                  | 16                                 |
| NK                   | KEM                   | 17-18                              |
| NQ                   | AFR                   | 19-21                              |
| B                    | BYAN                  | 22                                 |

Tabel B2.3. Liste over anvendte energitypebetegnelser

|     |   |                                       |
|-----|---|---------------------------------------|
| 1   | T | Total energiforbrug                   |
| 2   | F | Fast brændsel                         |
| 3   | O | Flydende brændsel                     |
| 4   | G | Naturgas                              |
| 2-4 | S | Fast og flydende brændsel og naturgas |
| 5   | E | Elektricitet                          |

### B2.1. Opdatering af datagrundlaget

Ved opdatering af det historiske datagrundlag for INDUS-modellen anvendes programmet:

DBGENR\_V2.TSP

Første trin i opdateringen er at redefinere sample-perioden til at være i overensstemmelse med den udvidede periode. Dette gøres ved at redefinere konstanterne "OBSSLUT" og "SIMSTART" til henholdsvis sidste år, for hvilket der i det opdaterede datagrundlag er et komplet sæt af observationer, og året efter. Dernæst opdateres LOAD-sektionens data og de tilsvarende SMPL-perioder i LOAD-sektionen. Programmet køres ved ordren:

TSPO DBGENR\_V2.TSP 50

TSPO betyder, at programmet køres interaktivt, ønskes programmet kørt som batch job, erstattes TSPO med TSPB. Tallet 50 efter filnavnet angiver, hvor meget plads programmet kræver.

Når programmet er kørt, er der oprettet en fil ved navn:

DBGENR\_V2.OUT

Denne fil hentes ind i editoren, og det checkes, om kørslen er gennemført uden fejl. Fejl findes ved at søge på "\*\*\* ERROR". At kørslen er gennemført i sin helhed checkes ved at liste slutningen af filen og se, om filen er afsluttet på normal vis. Er kørslen gennemført uden fejl, kan filen DBGENR\_V2.OUT deletes, da den udelukkende bruges til at checke, hvorvidt kørslen er gennemført korrekt. Er der fejl i kørslen eller er denne ikke kørt til ende, skal man være opmærksom på, at databasen DBINDUS kan være delvist opdateret, hvilket kan være svært umiddelbart at konstatere, d.v.s. man bør ikke fortsætte beregningerne, før DBGENR\_V2.TSP er kørt fejlfrit igennem.

## B2.2. Kørsler med modellerne

Ved beregning af en ny energiforbrugsfremskrivning anvendes følgende procedure

a) Programmet ADAM\_PROG.TSP opdateres med den aktuelle ADAM-fremskrivning og energiprisprognose. Beregningsperioden fastsættes ved at ændre "SIMSTART" OG "SIMSLUT". SIMSTART skal sættes til OBSSLUT+1.

b) Beregningsforudsætningerne lagres i DBINDUS ved at køre programmet med ordren  
TSPO ADAM\_PROG.TSP 25  
og ved at se på filen ADAM\_PROG.OUT checkes, at kørslen er gennemført fejlfrit.

c) Energimodellen køres ved  
TSPO INDUS\_MODEL\_V2.TSP 60  
og en korrekt gennemførelse af beregningerne checkes ved at undersøge filen INDUS\_MODEL\_V2.OUT.  
Beregningsperioden fastsættes ved SIMSTART og SIMSLUT. Ønskes beregninger på en del af observationsperioden, vil SIMSTART være før OBSSLUT. Eneste betingelse er, at  
$$\text{OBSSTART}+1 \leq \text{SIMSTART} < \text{SIMSLUT}$$

d) En udskrift af energifremskrivningen fås ved at køre  
TSPO PRINT\_INDUS.TSP 20  
og udskrive  
PRINT\_INDUS.OUT

Ønskes en beregning af de emissionsmæssige konsekvenser af det beregnede energiforbrug, udvides ovennævnte procedure med

e) en beregning af emissionerne ved at køre emissionsmodellen  
TSPO INDUS\_EMIS\_MODEL.TSP 50  
og en udskrift af emissionsberegningerne fås ved at køre

f) TSP0 PRINT\_EMIS.TSP 25  
og udskrive filen  
PRINT\_EMIS.OUT

Da filen PRINT\_EMIS.OUT indeholder en del af de samme oplysninger som PRINT\_INDUS.OUT, kan punkt d) eventuelt udelades. Generelt set kan de beregnede data aggregeres og udskrives på mange niveauer. De nævnte udskriftsprogrammer aggregerer data til ADAM-brancheniveauet. Ønskes mere specielle eller detaljerede udskrifter, kan dette fås ved at ændre i de nævnte udskriftsprogrammer eller ved at udvikle specielle udskriftsprogrammer, f.eks. er der til udskrift af en elprognose udviklet programmet PRINT\_INDUS\_ELPROG.TSP.

BILAG 3:

Branche- og energitypeaggregering samt sammenhæng mellem  
industristatistikken og modelbrancherne

Brancheaggregering

| ADAM-branche                           | INDUS-brancher   | NR-brancher                   |
|--|--|-------------------------------|
| FXA Landbrug m.v.                      | Landbrug<br>Gartnerier<br>Fiskeri  | 1,3,4<br>2<br>6               |
| FXE Brunkul, råolie<br>og naturgas     | Råolie og naturgas   | 7                             |
| FXNG Olieraffinaderier                 | Raffinaderier  | 57                            |
| FXNF Næringsmiddelindustri             | Slagterier<br>Fiskemel og foderstoffer<br>Næringsmiddel iøvrigt 11-17,19-25                      | 9,10<br>18,26<br>11-17,19-25  |
| FXNN Nydelsesmiddelindustri            | Nydelsesmiddelindustri   | 27-29                         |
| FXNB Lev.til byggeri                   | Cementfabrikker<br>Teglværker og<br>isoleringsmaterialer<br>Lev.t.byggeri<br>iøvrigt             | 65<br>64,67<br>5,8,37,58,66   |
| FXNM Jern- og metalindustri            | Stålværker<br>Jernstøberier, metal-<br>værker og -støberier<br>Jern- og metalindustri<br>iøvrigt | 68<br>69-71<br>72-84,88       |
| FXNT Transportmiddel-<br>industri m.v. | Transportmiddel-<br>industri m.v.  | 85-87                         |
| FXNK Kemisk industri                   | Kemiske råstoffer og<br>gødning<br>Kemisk industri<br>iøvrigt                                    | 50,51<br>52-56,59-61,89,90    |
| FXNQ Anden fremst.virksomhed           | Papir- og papfabrikker<br>Keramik, porcelæn og glas<br>Anden fremstilling<br>iøvrigt             | 39<br>62,63<br>30-36,38,40-49 |
| FXB Bygge- anlægsvirksomhed            | Bygge- anlægsvirksomhed  | 95                            |

Energitype aggregering

INDUS-typer DS's energibalancetyper (typenr.)

Fast kul (3), brunkul (4), brunkulsbriketter (5), cinders og koks (6), brænde (23), jordskokolie (24).

Flydende gasværksgas (1), fjernvarme (2), jetpetroleum (8), jetbenzin (9), motorbenzin (10), motorbenzin (11), anden benzin, nafta (12), petroleum (13), autogasolie (14), fyringsgasolie (15), marinedieselolie (16), fuelolie (17), LPG (19), anden gas (20).

Elektricitet Elektricitet (22).

Naturgas Naturgas til forbrugere (25).

DS's energityper råolie (7), olieprodukter til videreforarbejdelse (18) og naturgas, der hentes op fra Nordsøen (21), indgår ikke i aggregeringen.

En aggregering af INDUS-brancher og industristatistikens  
brancher til sammenlignelige brancher

| Industristatistikens<br>brancher | NR-nr. | INDUS-brancher                               | NR-nr.            |
|----------------------------------|--------|--|-------------------|
| Næringsmiddelindustri            | 9-26   | Slagterier                                   | 9,10              |
|                                  |        | Fiskemel og foderstoffer                     | 18,26             |
|                                  |        | Næringsmidler iøvrigt                        | 11-17,19-25       |
| Nydelsesmiddelindustri           | 27-29  | Nydelsesmiddelindustri                       | 27-29             |
| Textilindustri                   | 30-36  | Anden fremstilling iøvrigt                   | 30-36,38,40-49    |
| Træforarbejdning                 | 37,38  | Papir og pap                                 | 39                |
| Papir og grafisk ind.            | 39-49  | (mangler 37 træbearb. ekskl. møbler)         |                   |
| Kemisk industri                  | 50-61  | Kemiske råstoffer                            | 50,51             |
| Guld, sølv etc.                  | 89,90  | Kemisk iøvrigt                               | 52-56,59-61,89-90 |
|                                  |        | Raffinaderier                                | 57                |
|                                  |        | (mangler 58 asfalt og tagpap)                |                   |
| Sten-ler-glas                    | 62-67  | Keramik og glas                              | 62,63             |
|                                  |        | Cement                                       | 65                |
|                                  |        | Teglværker, isolering                        | 64,67             |
|                                  |        | (mangler 66 betonvarefabr. m.v.)             |                   |
| Jern- og metalværker             | 68-71  | Stålværker                                   | 68                |
|                                  |        | Jernstøberier, metalværker og<br>- støberier | 69-71             |
| Jern- og metalprod.              | 72-88  | Jern- og metalindustri iøvrigt               | 72-84,88          |
|                                  |        | Transportmiddelindustri m.v.                 | 85-87             |

|  |  |
|--|--|
| <p>Title and author(s)</p> <p>A TECHNICAL-ECONOMIC MODEL FOR THE INDUSTRIAL ENERGY CONSUMPTION AND ENERGY RELATED CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> AND NO<sub>x</sub> EMISSIONS (In Danish)</p> <p>INDUS version 2/EMIS</p> <p>Frits Møller Andersen, Niels A. Kilde, Lars Henrik Nielsen, Søren Præstegaard</p>   | <p>Date January 1991</p> <p>Department or group<br/>Systems Analysis<br/>Department<br/>Energy Systems Group</p> <p>Groups own registration number(s)<br/>ESG 02538.00</p> <p>Project/contract no.<br/>0351/89-1</p> |
| <p>Pages 158 Tables 34 Illustrations 32 References 0</p>   | <p>ISBN 87-550-1713-4</p>  |
| <p>Abstract (Max. 2000 char.)</p> <p>This report presents an updating and enlargement of the INDUS model described in the report "A technical-economic model for the industrial energy consumption in Denmark". Riso National Laboratory, July 1986 (Riso-M-2606) (in Danish).</p> <p>In short the model is characterized as an econometric sub-model that converts ADAM-forecasts to forecasts for the industrial energy consumption. (ADAM is a macro-economic model used by the Danish Ministry of Finance.)</p> <p>The model is reestimated on data for 1966 to 1985 and using the latest published energy balances, the post-sample properties of the model for 1986 and 1987 are analyzed.</p> <p>Using the same method of modelling as for the industrial branches the model is enlarged to include the primary and construction sectors. The primary sector is disaggregated into three branches: agriculture etc., horticulture, and fishing.</p> <p>Finally, a sub-model for the calculation of energy related CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, and NO<sub>x</sub> emissions is developed. This model is based on the energy balances of the Danish Statistical Office and technical determined emission coefficients for the individual fuels included in the energy balances.</p> |  |
| <p>Descriptors - EDB:</p> <p>CARBON DIOXIDE; CONSUMPTION RATES; DENMARK; ECONOMETRICS; EMISSION; ENERGY ANALYSIS; ENERGY CONSUMPTION; ENERGY MODELS; FORECASTING; INDUSTRY; MATHEMATICAL MODELS; NITROGEN OXIDES; SULFUR DIOXIDE</p> <p>Available on request from Riso Library, Riso National Laboratory, (Riso Bibliotek, Forskningscenter Riso), P.O. Box 49, DK-4000 Roskilde, Denmark.<br/>Telephone +45 42 37 12 12, ext. 2268/2269. Telex: 43116, Telefax: +45 46 75 56 27</p>   |  |