

<b>1. Indledning</b>	<b>25</b>
1.1. Diagram af modellen	26
1.2. Lidt energihistorie	28
1.3. Beregninger med modellen	30
1.4. Lidt om metoder - to typer energimodeller	32
1.5. Energien og resten af økonomien	34
1.6. Læsevejledning	39
<b>2. Energiefterspørgsel og -produktion i ADAM-systemet</b>	<b>41</b>
2.1. Indledning til hovedkapitel 2	41
2.1.1. Oversigt over hovedkapitel 2	41
2.1.2. Lidt mere om metoder	44
2.1.3. Måling af energi: Aggregerings- og indeksproblemer	46
2.2. Husholdningernes energiforbrug	38
2.2.1. Egenskaber	39
2.2.2. Teori	44
2.2.3. Implementering i ADAM	56
2.2.4. Sammenligning med Energistyrelsens system	58
2.3. Erhvervenes energiefterspørgsel	59
2.3.1. Egenskaber	118
2.3.2. Teori	122
2.3.3. Implementering i ADAM	131
2.3.4. Sammenligning med Energistyrelsens system	132
2.4. Transporterhvervet	137
2.4.1. Egenskaber	137
2.4.2. Teori	140
2.4.3. Implementering i ADAM	142
2.4.4. Sammenligning med Energistyrelsens system	145
2.5. Energiforsyningserhvervet	147
2.5.1. Egenskaber	148
2.5.2. Teori	156
2.5.3. Implementering i ADAM	165
2.5.4. Sammenligning med Energistyrelsens system	169
2.6. Koblinger mellem de forskellige modeller	170
2.6.1. Energimængder	170
2.6.2. Energifriser og -afgifter	173
<b>3. Emissionsmodeller</b>	<b>179</b>
3.1. Overordnede karakteristika	179
3.2. Konstruktion af emissionskoefficienter	181
3.2.1. CO <sub>2</sub> -emissioner	181
3.2.2. SO <sub>2</sub> -emissioner	185
3.2.3. NO <sub>x</sub> -emissioner	188
3.3. Sammenligning med Energistyrelsens emissionsberegninger	191
<b>4. Multiplikatoranalyser</b>	<b>193</b>
4.1. Stigning i økonomisk aktivitet	193
4.2. Stigning i prisen på olieprodukter	197
4.3. Stigning i prisen på fast brændsel	200
<b>5. Sammenligning med Energistyrelsens modelsystem</b>	<b>203</b>
5.1. Indledning	203
5.2. Energistyrelsens modelsystem	203
5.2.1. Indledning	203
5.2.2. Energiforbrugsmodellen	204
5.2.3. Referencemodellen for transport	210
5.2.4. Modellen for lokale forsyningsanlæg	212
5.2.5. Energiforsyningsmodellen	212
5.2.6. Energibalancemodellen	214
5.2.7. Emissionsmodellen	214
5.3. Fremskrivning af energiforbruget med Energistyrelsens modelsystem	214
5.3.1. Forudsætninger	215
5.3.2. Udviklingen i energiforbruget	216

---

<b>5.3.3. Udviklingen i emissioner</b>	219
<b>5.4. Sammenligning af fremskrivninger med satellitmodellen og Energistyrelsens modelsystem.</b>	220
<b>5.4.1. Lidt teori</b>	220
<b>5.4.2. Fremskrivningen</b>	223
<b>Appendiks A.2.1. Mere om aggregerings- og indeksproblemer</b>	234
<b>1. Problemstillingen</b>	234
<b>2. Mere konkret om forskellige måder at indekse på</b>	240
<b>3. Teoretisk uddybning af indeksproblemet</b>	246
<b>Appendiks A.2.4. Sammenligning af Energi 21-fremskrivningen for transport og kørsler med satellitmodellen</b>	249
<b>Appendiks A.2.5. Brændselssubstitution på centrale værker</b>	258
<b>Appendix A.3</b>	259

## 1. Indledning

I denne rapport dokumenteres udarbejdelsen af et system af energimodeller til den makroøkonomiske model ADAM. Arbejdet er et forsøg på at sætte tal på sammenhængene mellem den energirelaterede luftforurening og den økonomiske udvikling i øvrigt. Med det samlede modelsystem knyttes beregninger af emissioner af kuldioxid, svovl og kvælstofilter ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_x$ ) til de beregninger, der i øvrigt foretages med ADAM. Offentlig regulering på energiområdet, f.eks. økonomiske styringsmidler som grønne afgifter eller direkte styringsmidler som kvoter for kraftværkernes emissioner, kan evalueres i den samlede ramme, som ADAM-modellen udgør.

De forskellige energiarter forurener ikke i samme grad, og emissionerne af  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_x$  afhænger derfor ikke kun af den samlede energianvendelse, men også af dens sammensætning. Derfor skal ikke blot den samlede energianvendelse, men også fordelingen på arter kunne beregnes. I den egentlige ADAM-model findes en bestemmelse af den samlede energiefterspørgsel, men fordelingen på arter er forholdsvis grov. Man kan sige, at formålet med projektet er at forfine denne fordeling og beregne emissioner på baggrund af denne opsplitning.

Beregninger på ADAM-systemet, bestående af disse "satellitmodeller" for energi og den egentlige ADAM-model, kan bruges i miljødebatten, hvor de energirelaterede forureningsproblemer har tiltrukket sig stor opmærksomhed. Internationalt har Danmark således forpligtet sig til reduktioner i emissionen af  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_x$ , og nationalt er der sat konkrete mål og tidsfrister for reduktionen af de tre typer emissioner. Desuden skal finanslovsforslag fremover miljøvurderes. ADAM-systemet kan bruges i dette arbejde, fordi det på den ene side indeholder en forholdsvis detaljeret beskrivelse af energiefterspørgslen og de tilknyttede emissioner og på den anden side holder styr på relationerne mellem det, der har med energi at gøre, og resten af økonomien. Eksempelvis opnås ved beregning af effekten af grønne afgifter ikke blot et skøn for anvendelsen af forskellige energiarter og ovennævnte emissioner, men også et skøn på konsekvensen for de offentlige finanser, erhvervenes omkostninger, eksporten og alle de øvrige størrelser, som ADAM beregner.

ADAM-systemet er opbygget ved at sammenkoble Danmarks Statistiks økonomiske model, ADAM, med fem energispecifikke modeller udviklet på Danmarks Miljøundersøgelser og Forskningscenter Risø. Disse modeller bestemmer husholdningernes og erhvervenes anvendelse af seks energiarter (flydende brændsler, faste brændsler, gas, transportenergi, el og fjernvarme), forsyningssektorens konvertering af brændsler (faste brændsler, flydende brændsler, gas, biomasse) til el og fjernvarme, og beregner de emissioner, der er knyttet energianvendelsen.<sup>1</sup>

ADAM-systemet kan beregne effekten af mange typer tiltag. Blandt de meget væsentlige træk er dog, at energipriserne spiller en stor rolle. Det overordnede niveau for energipriserne betyder noget for, hvor stort det samlede energiforbrug er, og forholdet mellem priserne på de forskellige energiarter påvirker sammensætningen af energiforbruget. Modellen kan derfor give et bud på effekten af  $\text{CO}_2$ -afgifter, som jo dels øger alle energipriser og dels ændrer de relative energipriser, så f.eks. kul, der frigiver meget  $\text{CO}_2$ , bliver dyrere i forhold til det mindre  $\text{CO}_2$ -emitterende naturgas.

---

<sup>1</sup>En beskrivelse af disse modeller findes i *Environmental satellite models for ADAM*, Danmarks Miljøundersøgelser 1995 og *Sammenkobling af makroøkonomiske og teknisk-økonomiske modeller for energisektoren*, Hybris, Forskningscenter Risø 1996.

## 1.1. Diagram af modellen

De overordnede træk i ADAM-systemet er illustreret i figur 1.1. Variablerne i kasser med skarpe hjørner er dem, der bliver bestemt i modellen, og som har specielt med energi at gøre. Variablerne i de skraverede kasser bliver enten bestemt helt uden for det samlede modelsystem, eller i den del af ADAM, der ikke har direkte med energi at gøre. Når bogen læses, skal man derfor kun tænke på variablerne i skarpe kasser som modelbestemte (endogene), mens de øvrige skal betragtes som bestemt uden for modellen (eksogene). Den stiplede linie, der går midt igennem figuren, adskiller de dele, der vedrører den egentlige ADAM og satellitmodellerne.

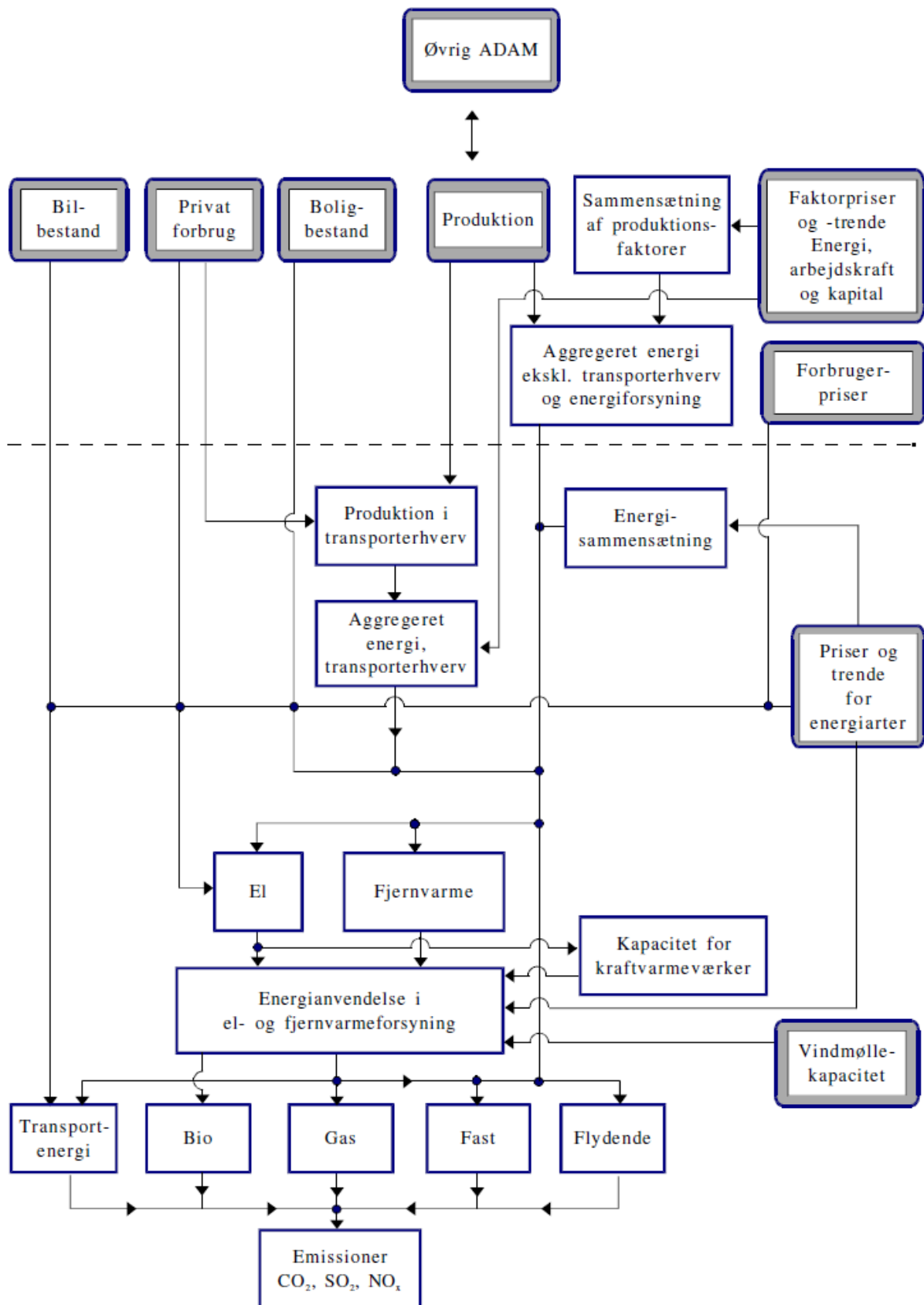
Bestemmelsen af energianvendelsen for erhvervene (eksklusive transporterhverv og energiforsyningserhverv) findes ved at gå lodret ned igennem figurens højre del. For hvert af 13 ADAM-erhverv bestemmes det samlede energiforbrug som funktion af erhvervenes produktion og prisen på energi i forhold til de øvrige faktorpriser. Derefter bestemmes sammensætningen af energiforbruget på baggrund af priserne for de forskellige energiarter. Noget af erhvervenes energi består af arterne flydende brændsel, fast brændsel, gas eller transportenergi, der findes næsten i bunden af figuren. En anden del består af de konverterede energiarter el eller fjernvarme, der leveres af energiforsyningserhvervet. Kraftvarmeværkerne og de traditionelle fjernvarmeværker producerer el og varme på basis af fast brændsel, flydende brændsel, gas eller biobrændsel. Hvilke brændsler, der anvendes, afhænger af hvilke brændsler, der er billigst, og af kapaciteterne på de kraftværker, der kan fyre med de forskellige brændselsarter. Nederst i figuren er vist, at disse brændsler er årsag til emissioner ■ biobrændslerne giver dog ikke anledning til CO<sub>2</sub>-emissioner.

Transporterhvervene behandles selvstændigt, idet det ene af ADAMs to transporterhverv er opdelt i ni undererhverv, således at modellen i alt opererer med ti transporterhverv. I den øverste del af figuren bestemmes produktionen i de ti erhverv afhængigt af, hvor meget disse erhverv skal levere til de øvrige erhverv og til husholdningerne. Energianvendelsen findes ved dernæst yderligere at tage hensyn til energiprisen i forhold til de øvrige faktorpriser. Endelig opdeles den samlede energi i hvert transporterhverv på energiarter. Hovedparten er naturligt nok transportenergi.

Til venstre i figuren er husholdningerne illustreret. Bilbestanden og benzinprisen i forhold til de generelle forbrugerpriser bestemmer transportenergiforbruget. Elforbruget ses som en del af det samlede private forbrug, hvor andelen afhænger af elprisen i forhold til forbrugerpriserne. Ud fra boligmassen og energipriserne bestemmes forbruget af energi til opvarmning. Opvarmningen kan ske på basis af fjernvarme, elradiatorer, gas, flydende og fast brændsel.

Generelt skal det siges, at økonomiske variabler som priser og produktion ikke forklarer hele udviklingen, hvorfor der også må inddrages en såkaldt tidstrend til "forklaring" af udviklingen ■ mere om dette bl.a. i afsnit 1.4.

Figur 1.1. Strukturen i ADAM-systemet



## 1.2. Lidt energihistorie

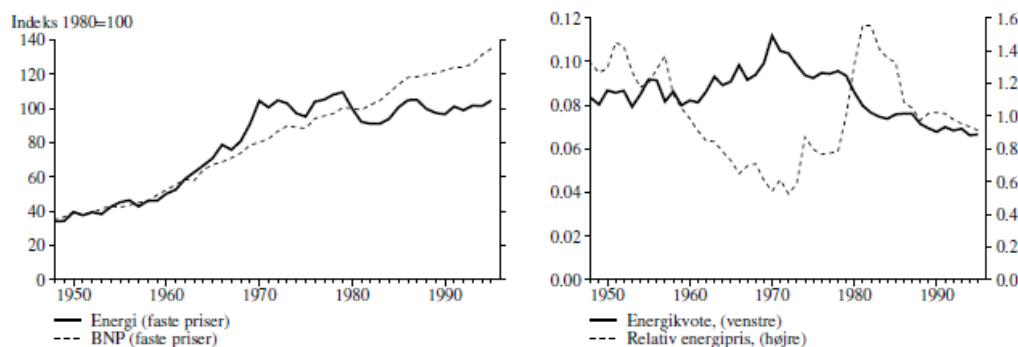
En kort, summarisk beskrivelse af Danmarks energiforhold de seneste ca. 30 år illustrerer, hvad modellen forsøger at forklare.

Figur 1.2.a viser, at energianvendelsen er steget kraftigt i efterkrigstiden. En meget væsentlig årsag er den generelt voksende økonomi udtrykt ved BNP i faste priser.

**Figur 1.2. Energianvendelse, økonomisk aktivitet og energipriser**

a. Energifterspørgsel og BNP

b. Energikvotep og relativ energipris



Anm. Energikvoten er opgjort som husholdningernes og erhvervenes anvendelse af energi i faste priser i forhold til BNP. Den relative energipris er prisindekset, der hører til energianvendelsen, i forhold til BNP-deflatoren.

Figur a viser også tydeligt, at udviklingen i energianvendelsen ikke udelukkende kan forklares med udviklingen i BNP. Eksempelvis vokser energianvendelsen i den sidste del af 60'erne langt hurtigere end BNP.<sup>2</sup> Prisen på energi i forhold til de øvrige priser har også betydning for energianvendelsen. Figur b viser energikvoten, dvs. anvendelsen af energi i forhold til BNP, sammenholdt med den gennemsnitlige energipris i forhold til et generelt prisindeks. Energikvoten stiger kraftigt gennem 60'erne, hvor energi bliver relativt billigere. De to kraftige olieprisstigninger i 1974 og 1980 ses tydeligt på figuren, og det ses, at specielt anden olieprisstigning falder sammen med et fald i energikvoten. Midt i 80'erne falder olieprisen igen kraftigt. Faldet i energikvoten ophører ikke direkte, men aftager dog i styrke. I øvrigt anes sammenhængen mellem priser og energifterspørgsel i hele perioden, f.eks. midt i 50'erne.

Energipriserne spiller således en væsentlig rolle, men energikvoten kan tydeligt nok ikke udelukkende forklares ved hjælp heraf. På aggregeret niveau spiller forskydninger mellem størrelsen af erhverv med forskellig energikvotep en stor rolle. For det enkelte erhverv eller den enkelte virksomhed må en del af udviklingen i, hvor effektivt energien udnyttes, forklares af andet end priser. Det kan f.eks. være udviklingen af nye teknologier og apparater.

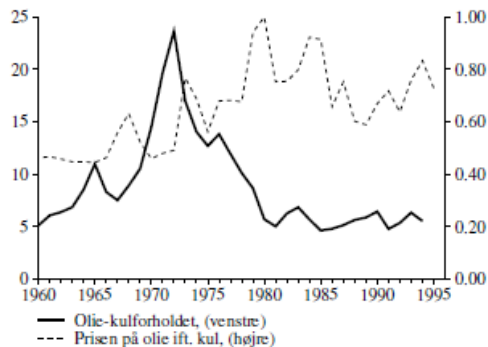
Sammensætningen af energi på forskellige energiarter er meget afhængig af forhold som f.eks. bilismens udbredelse, introduktionen af nye elforbrugende apparater og maskiner,

<sup>2</sup>At dette er tilfældet skyldes til dels, at energianvendelsen er målt i faste 1980-priser. Sammenlignet med de øvrige energipriser var olieprisen forholdsvis høj i 1980 ift. 60'erne. Den stigende olieandel i 60'erne (jf. figur 1.3) betyder derfor alt andet lige, at energianvendelsen i faste 1980-priser stiger hurtigere end energianvendelsen i Joule. Om måling af energi, se kapitel 2.1.3.

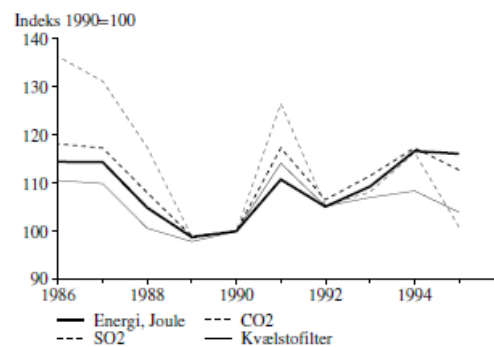
forskydninger mellem forskellige erhverv og udbygningen af naturgasnettet. Forholdet mellem de forskellige energipriser spiller også en rolle. Figur 1.3.a viser forholdet mellem anvendelsen af olie og kul og forholdet mellem priserne på de to energiarter.

**Figur 1.3. Sammensætning af energi, relative energipriser og emissioner**

a. Anvendelse af olie i forhold til kul, oliepris i forhold til kulpris



b. Energi og emissioner



Anm. I figur a er olie-kulforholdet er opgjort som anvendelsen af olieprodukter (ekskl. råolie) i forhold til kulimporten (i faste priser). Prisforholdet er opgjort som importprisen på olieprodukter i forhold til importprisen på kul. Afgifterne på de to varegrupper er ikke medregnet i prisforholdet.

I figur b er energimængden er for el opgjort som den indenlandske produktion af el, dvs. indenlandsk anvendelse plus nettoeksport.

Anvendelsen af olie steg i forhold til anvendelsen af kul i slutningen af 60'erne, uden det kan begrundes i ændringer i energipriserne i denne periode. Olieprisstigningerne i 70'erne medførte ikke blot, at energipriserne steg generelt, men også, at olie blev relativt dyrt. Olieprisen steg således omtrent dobbelt så meget som kulprisen i 70'erne, og især elværkerne skiftede gradvist olien ud med kul, efterhånden som værkerne blev bygget om til også at kunne fyre med kul. Midt i 80'erne faldt olieprisen igen i forhold til kulprisen, men kul er trods alt stadig billigere end olie, så ændringen er ikke tilstrækkelig til at få elværkerne til at vende tilbage til olie. Kortsigtede fluktuationer i de relative energipriser betyder tydeligvis mindre end de langsigtede ændringer.

Da de forskellige energiarter ikke forurener i samme grad, afhænger emissionen af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> ikke blot af et samlet mål for energianvendelsen, men også af sammensætningen af energiefterspørgslen.

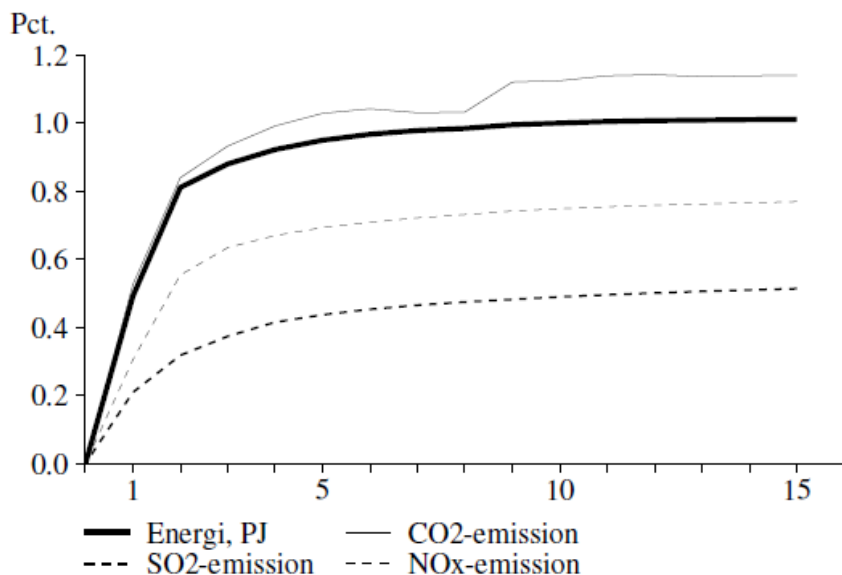
Figur 1.3.b viser, at der er væsentlig forskel på udviklingen i udledningen af de skadelige luftarter og den samlede energianvendelse. SO<sub>2</sub>-emissionen falder betydeligt mere end den samlede energi i sidste del af 80'erne, hvilket især skyldes indtrængningen af den renere naturgas. Den kraftige stigning i emissionerne i 1991 skyldes især eksport af el, som produceret på basis af olie og kul, der forurener forholdsvis meget.

### 1.3. Beregninger med modellen

Som eksempel på anvendelse af satellitmodellerne er i figur 1.4-1.6 vist, hvor meget energiefterspørgslen og emissionerne af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> ændres, når hhv. niveauet for den økonomiske aktivitet og priserne på olieprodukter sættes 1 % op. Eksperimenterne er gennemgået mere detaljeret i kapitel 4.

Ved en stigning i den økonomiske aktivitet, her stort set fortolket som erhvervenes produktion og det private forbrug, på 1 % stiger energianvendelsen på langt sigt også med omtrent 1 %. Omkostninger ved omlægning af produktionen og vaner gør imidlertid, at tilpasningen af erhvervenes og husholdningernes energianvendelse sker gradvist, således at energianvendelsen de første år stiger mindre end 1 %.

**Figur 1.4. Effekt på energianvendelse og emissioner af en stigning i aktivitetsvariabler på 1 %**

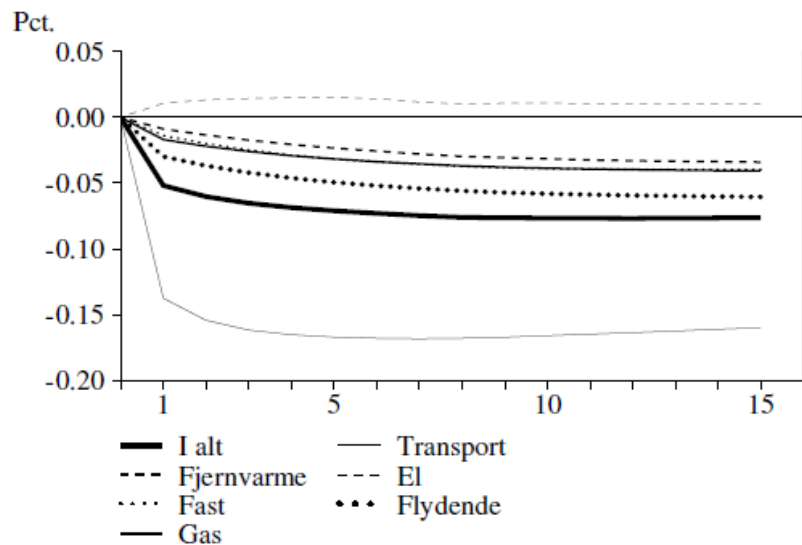


Stigningen i emissionerne afviger betydeligt fra stigningen i energianvendelsen. Den væsentligste forklaring på, at SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissionerne stiger så lidt, er, at kraftvarmeværkerne er underlagt kvoter herfor, og det ganske enkelt er antaget, at værkerne køber "renere" brændsler eller renser for SO<sub>2</sub>-udledninger, så kvoterne overholdes. Når CO<sub>2</sub>-emissionen stiger mere end 1 % skyldes det, at det hovedsageligt er de elværker, der fyrer med kul, der varetager den ekstra elproduktion. For eksempel øges vindkraften ikke automatisk, når elefterspørgslen stiger.

Forholdet mellem priserne på de forskellige energiarter er af stor betydning for sammensætningen af energianvendelsen. Når prisen på olie og benzin stiger, vil erhvervene dels reducere energianvendelsen generelt, og dels forsøge at erstatte olieprodukterne med el.

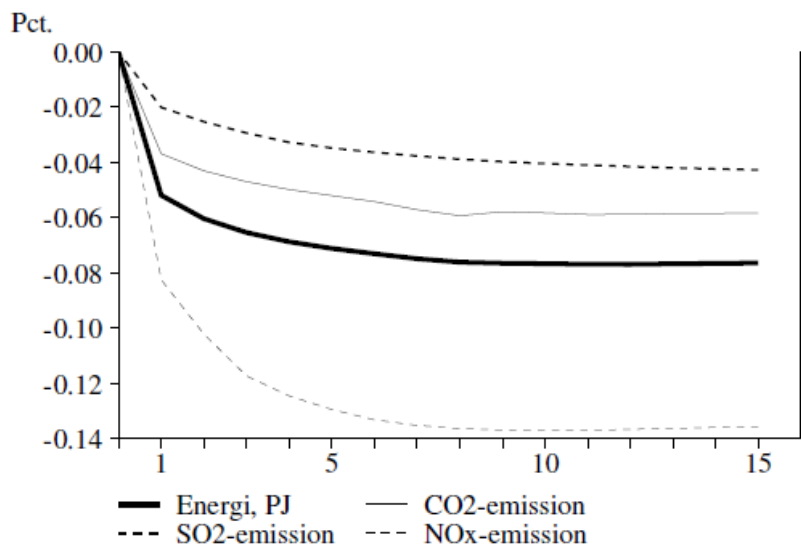


**Figur 1.5. Effekt på anvendelse af energiarter af en stigning i prisen på olieprodukter på 1%**



Figur 1.5 viser, at energianvendelsen ændres betydeligt. Efterspørgslen efter transportenergi, der jo er steget i pris, falder betydeligt mere end den samlede energi- efterspørgsel, mens elefterspørgslen er steget en smule, fordi olieprodukterne i en vis udstrækning bliver erstattet af el.

**Figur 1.6. Effekt på energianvendelse i alt og emissioner af en stigning i prisen på olieprodukter på 1 %**



3

Den ændrede energisammensætning får betydning for emissionerne, fordi forskellige energiarter forurener i forskellig grad. Det relativt store fald i NO<sub>x</sub>-emissionerne hænger sammen med det store fald i anvendelsen af transportenergi, som udleder særlig meget NO<sub>x</sub>.

## 1.4. Lidt om metoder - to typer energimodeller

To modeltyper har været fremhævet på energiområdet. På den ene side de teknisk orienterede modeller, der traditionelt har været fremherskende i energiplanlægningen, og på den anden side økonomisk orienterede makromodeller, der traditionelt bruges til andre dele af den økonomiske planlægning.<sup>3</sup>

Det faglige grundlag for de tekniske modeller er typisk fysiske sammenhænge, og modellerne er i mange tilfælde baseret på et omfattende og detaljeret datagrundlag. Modellerne er derfor velegnede til at vurdere effekten af f.eks. konkrete teknologiske fremskridt eller specifikke indgreb som f.eks. normer for apparaters energieffektivitet. Hvis en sådan model for husholdningernes forbrug af energi til opvarmning f.eks. indeholder en beskrivelse af antallet af boliger, der anvender henholdsvis olie, fjernvarme, naturgas eller elradiatorer som varmekilde, alderen for boligernes varmeanlæg, virkningsgraden for varmeanlæg af forskellig årgang og en god antagelse om, hvornår anlægget udskiftes, så har man et godt udgangspunkt for at vurdere udviklingen i forbruget af energi til varme.

Det faglige grundlag for den anden type modeller, de økonomiske, empiriske makromodeller, er økonomiske teorier. I opbygningen af disse er det hensigten, at kvantificere økonomisk teori, så den kan forklare den historiske, økonomiske udvikling, som den afspejler sig i den tilgængelige statistik. Dette arbejde er ikke færdigt, før der er opnået en vis grad af succes i beskrivelsen af den faktiske udvikling. Økonomisk teori lægger en stor vægt på prisers rolle i f.eks. anvendelsen af energi. Ofte vil modellerne derfor være velegnede til at vurdere effekten af ændrede priser.

Ved den tekniske metode splittes energianvendelsen ofte op på en række underkomponenter, som hver især kan underlægges en teknisk vurdering, mens den økonomiske metode ofte forsøger at beskrive energianvendelsen på et mere aggregeret niveau. Begge modeltyper søger altså at forklare og forudsige udviklingen i den samme energianvendelse og at kunne beregne effekten af indgreb, der påvirker energianvendelsen. Der er derfor oplagt at spørge, hvad der er fordelene ved den ene hhv. den anden type model?

Meget stiliseret og forsimplet og formentlig uden direkte reference til nogen eksisterende model kunne man opstille en prototype for en enkelt ligning for hhv. en teknisk-orienteret model og en model for økonomisk adfærd (i næste afsnit beskrives, hvordan energien indgår som en del af hele økonomien). Hvis det drejer sig om husholdningernes forbrug af energi til opvarmning,  $E$ , kan man forestille sig ligningerne:

Teknisk model (Bottom-up)

$$E = \sum_{k=1}^m k_k \cdot D_k + \text{restled} \quad (1.1)$$

Økonomisk efterspørgselsmodel (Top-down)

$$E = e(p_1, p_2, \dots, p_n, Y) + \text{restled}$$

<sup>3</sup> En længere diskussion af forskellen mellem de to typer modeller findes i *Sammenkobling af makroøkonomiske og teknisk-økonomiske modeller for energisektoren*, Hybris, Forskningscenter Risø 1996.

$E$  Husholdningernes energiforbrug til opvarmning.

$k_k$  Energiforbrug for varmekilde af typen  $k$  (oliefyr, fjernvarme, ...).

$D_k$  Antallet af boliger med varmekilde  $k$ .

$p_i$  Prisen på forbrugsvarer  $i$ , en af disse sammenfatter priserne på energi til opvarmning.

$Y$  Husholdningernes indkomst.

Den tekniske prototypeligning beskriver forbruget af opvarmningsenergi som summen over antallet af boligerne med varmekilde  $k$  gange varmeforbruget for varmekilde  $k$  for  $m$  typer af varmekilder. Rent hypotetisk kan man forestille sig, at ligningen stemmer med et restled på nul, fordi  $E$  i princippet kan defineres som summen af  $k_k \equiv D_k$ 'erne. I praksis kræver det en urealistisk god statistik at kunne beskrive  $E$  eksakt på denne måde, men man kan også være godt tilfreds, hvis man trods alt kender varmekilden og dens virkningsgrad i en stor del af boligmassen, og kan give nogle gode gæt for resten af husstandene. Til forudsigelse af den fremtidige opvarmningsenergi, er det klart, at der skal gøres nogle antagelser om ligningens elementer, f.eks.  $k_k$ 'erne. Men i tilfældet med husholdningernes varmeforbrug er dette på den anden side ikke urealistisk ■ kan man få ekspertbistand for vurderingen af udviklingen i anlæggenes virkningsgrad og udviklingen i husenes isolering er man nået langt. Oplagt er ligningen også født til at evaluere effekten af ændringer i varmeanlæggenes effektivitet eller i husholdningernes varmekilde, f.eks. pga. normer for effektiviteterne, eller politiske vedtagne udbygninger af f.eks. fjernvarmenettet eller forbud mod elradiatorer.

I den økonomiske efterspørgselsfunktion bestemmes varmeforbruget på baggrund af priserne på energi til opvarmning, prisen på i princippet alle andre forbrugsvarer og husholdningernes indkomst. Man kunne eventuelt yderligere underopdele opvarmningsenergien på de forskellige energiarter, afhængigt af de relative energipriser, og derfor også bestemme substitutionen mellem disse energiarter. Funktionen  $e$  vil aldrig stemme eksakt overens med energianvendelsen  $E$ . Teorien kan være forkert, dvs. der kan mangle nogle forklarende variabler, eller funktionsformen på  $e$  kan være forkert. Derfor lægges der stor vægt på gennem statistiske metoder at forsøge at forklare den historisk observerbare udvikling i forbruget af energi til opvarmning,  $E$ , således at teorien i det mindste ikke er i modstrid med data. For at kunne undersøge overensstemmelsen mellem teori og data stilles der på den anden side krav om forholdsvis lange tidsserier for variablerne, og derfor vil det ofte være vanskeligt at have samme detaljeringsgrad som i de tekniske modeller. Det fremgår, at ligningstypen er velegnet til at beregne effekter af prisændringer.

I praksis findes der næppe mange modeller, der svarer helt til den ene eller den anden af disse ekstremt stiliserede ligninger. I den tekniske ligning vil man måske forsøge at forklare udviklingen i  $k_k$ 'erne med prisen på energi, eller antallet af husholdninger med varmekilde  $k$ ,  $D_k$ , kunne være afledt af priser på de forskellige opvarmningsformer. Omvendt vil beskrivelsen i den økonomiske model ofte ikke give et fornuftigt resultat i den stiliserede form. I det konkrete tilfælde med husholdningernes varmeefterspørgsel kan det f.eks. være svært at beskrive effekten af, at naturgasnettet eller fjernvarmenettet udbygges. Den stiliserede ligning kan derfor suppleres enten med konkret statistik om udbygningen af naturgasnet eller måske med statistik om energieffektiviteten for de forskellige varmekilder. En anden korrektion af "teknisk" art kan tage højde for variationen i temperaturen. Endnu en mulighed er, at en såkaldt tidstrend måske kan approksimere nogle af de træk af den historiske udvikling, der ikke kan estimeres gennem priserne. På denne måde vil mange modeller være hybrider af tekniske og økonomiske modeller.

Som antydnet kan det ikke bestemmes generelt hvilken type model, der er bedst, eller hvor mange procent teknik og hvor mange procent økonomi, der bør være i den ideelle blandingsmodel. Udover de meget håndgribelige forhold som f.eks. tilgængeligheden af god statistik, afhænger valget af model af, hvilken type instrumenter til begrænsning af forureningen man ønsker at anvende. Modelvalget afhænger derfor af hvilke politiske instrumenter, der samfundsmæssigt er at foretrække. Under en række forudsætninger peger økonomisk teori på, at prismekanismen bør udnyttes f.eks. gennem afgifter, men i mange tilfælde er disse forudsætninger ikke opfyldt, og andre indgreb bliver da samfundøkonomisk fordelagtige.

Det er rigtigt at se satellitmodellerne i denne rapport som en blandingsmodel. Netop for husholdningernes forbrug af energi til opvarmning er der inddraget tekniske forklarende variabler for varmekildernes effektivitet samt for klimaet. I erhvervenes energiforbrug har det været nødvendigt at inddrage en tidstrend, fordi den stiliserede økonomiske model ellers ikke ville kunne forklare en drejning mod el i sammensætningen af energianvendelsen. Egentlige tekniske oplysninger om udviklingen i erhvervenes teknologi på linie med de oplysninger, der findes for husholdningerne, kunne her tænkes at forbedre beskrivelsen. En hel delmodel, nemlig modellen for forsyningen af el- og fjernvarme, er opbygget i den tekniske tradition. Priserne på elværkerens brændsler spiller her en vigtig rolle, idet der er antaget perfekt substitution mellem f.eks. kul og olie. Det vil her sige, at elværkerne køber det brændsel, der er billigst pr. Joule, hvilket kan begrundes ud fra tekniske og driftsøkonomiske betragtninger. Det, at prissubstitutionen ikke er forsøgt estimeret med økonometriske metoder, er et træk, der adskiller modellen fra de traditionelle makromodeller.

## 1.5. Energien og resten af økonomien

Diskussionen i foregående afsnit drejede sig om en enkelt ligning i modellerne. I dette afsnit beskrives, hvordan forskellige erhverv og forskellige endelige anvendelser bindes sammen i økonomiske makromodeller.

I *nationalregnskabet*s forsyningsbalance opgøres, hvordan den samlede tilgang af varer og tjenester (udbuddet) altid svarer til den samlede anvendelse af varer og tjenester (efterspørgslen):

$$Y + M = C + I + E \quad (1.2)$$

$Y$  Bruttonationalproduktet (*BNP*)

$M$  Import

$C$  Forbrug

$I$  Investeringer

$E$  Eksport.

*Bruttonationalproduktet*, som er summen af al værditilvækst ved indenlandsk produktion, er det teoretisk korrekte totalmål for størrelsen af den samfundsmæssige produktion. Til mere detaljerede analyser er det imidlertid ofte lettere at skaffe data for *produktionsværdien*, dvs. den samlede salgsværdi af periodens produktion. Sammenhængen mellem de to produktionsbegreber kan enkelt skrives<sup>4</sup>

<sup>4</sup> Det er klart, at *BNP* er det bedste totalmål for produktionen, fordi man ved sammenlægning af produktionsværdier vil komme til at lave en form for dobbeltregning, hvis et erhvervs produkt indgår som

$$X = V + Y \quad (1.3)$$

$X$  Produktionsværdien

$Y$  Bruttonationalproduktet (*BNP*)

$V$  Erhvervenes køb af varer og tjenester til input i produktionsprocessen.

Forsyningsbalancen kan imidlertid let udvides til at gælde produktionsværdien ved, at erhvervenes varekøb  $V$  lægges til på begge sider af lighedstegnet i (1.2), jf. (1.3):

$$X + M = V + C + I + E \quad (1.4)$$

Venstresiden af (1.4) er den samlede *tilgang* (udbuddet) af varer og tjenester, målt som summen af den danske produktionsværdi og importen. Højresiden af (1.4) er den samlede *anvendelse* (efterspørgsel) af varer og tjenester, og den består af erhvervenes varekøb,  $V$ , samt tre grundkomponenter af *endelig anvendelse*, nemlig forbrug, investering og eksport.

I tabel 1.1 vises forsyningsbalancen, ligning (1.4), for 1992, idet den danske produktion af varer og tjenester dog er fordelt på to typer: Energiproduktion og anden produktion. Ydermere er udenrigshandlen opgjort samlet som nettoeksporten,  $E-M$ , der indgår som en anvendelse. En sådan disaggregeret forsyningsbalance er en *input-output tabel*.<sup>5</sup> Det ses, at de energiproducerende erhverv har en betydelig egenleverance, dvs. 25-30% af tilgangen af energivarer går til videreforarbejdning i de energiproducerende erhverv, før de når slutbrugeren. Denne struktur beskrives nærmere i energiforsyningsmodellen, afsnit 2.5.1.

**Tabel 1.1. Input-output tabel for Danmark 1992. Varer og tjenester i basispriser, mio. kr.**

fra	til	Input i erhverv		Forbrug	Investe- ringer	Netto- eksport	I alt
		Energi	Andre				
Energiproducerende erhverv		12.1	16.9	16.7	- 0.5	- 3.1	42.1 $X_{Energi}$
Andre erhverv		7.6	637.5	565.0	118.3	67.5	1395.9 $X_{Andre}$
I alt		19.7	654.4	581.7	117.8	64.4	1438.0
		$V_{Energi}$	$V_{Andre}$	$C$	$I$	$E-M$	

Anm. Tallene i tabellen er for enkelhedens skyld eksklusive afgifter.

Desuden ses, at der stort set ikke bruges energi til investeringer (det lille negative tal skyldes et fald i lagerinvesteringerne). Dette betyder, at den indenlandske energian-

input i et andet erhvervs produktion. Specielt på energiområdet er denne problemstilling vigtig, fordi "rå" energivarer typisk videreforarbejdes til energi på mere forarbejdet form, inden den forbruges endeligt.

<sup>5</sup>Opstillingen af input-output tabellen ud fra det underliggende nationalregnskabsmateriale er i praksis en kompliceret proces, som i højere grad end anden økonomisk datakonstruktion hviler på antagelser, se f.eks. Christen Sørensen: Nationalregnskab, betalingsbalance og udenrigshandel. *Økonomisk Samfundsbeskrivelse*, Systime, Odense, 1993.

vendelse stort set består af erhvervenes energiforbrug til produktionen og af husholdningernes forbrug.

Det er ofte hensigtsmæssigt at supplere input-output tabellen vedrørende leverancer af varer og tjenester med en deltabel, der viser leverancerne af *primære inputs*. Denne udvidede tabel vil nemlig vise erhvervenes og forbrugernes samlede udgiftsstruktur. Udgifterne til primære inputs i erhvervene består først og fremmest af *værditilvækst* (bruttofaktorindkomst), som er summen af lønninger, kapitalomkostninger og overskud i erhvervene. Men udgiften til betaling af *afgifter* betragtes dog også som en udgift til primære inputs.

Den udvidede input-output tabel, svarende til tabel 1.1 er vist i tabel 1.2 (de felter, der er ens i de to tabeller, er markeret med gråt). Det ses, at såvel rækken som søjlen for et givet erhverv nu summer op til erhvervets samlede produktion. Søjlen for et erhverv viser erhvervets omkostningsstruktur, mens rækken for et erhverv viser dets afsætningsstruktur. Desuden er totalerne for forbrug, investering og nettoeksport nu inklusive afgifter. Afhængigt af analysens formål kan den samlede produktion måles enten ved bruttofaktorindkomsten,  $Y_f$ , som er eksklusive afgifter, eller ved bruttonationalproduktet,  $Y = Y_f + S_i$ , som er inklusive afgifter.

**Tabel 1.2. Input-output tabel for Danmark 1992. Mio. kr.**

fra	til	Input i erhverv		Forbrug	Investe- ringer	Netto- eksport	I alt
		Energi	Andre				
Energiproducerende erhverv		12.1	16.9	16.7	- 0.5	- 3.1	42.1 $X_{Energi}$
Andre erhverv		7.6	637.5	565.0	118.3	67.5	1395.9 $X_{Andre}$
Afgifter		1.0	20.3	84.5	13.9	- 6.1	113.6 $S_i$
Værditilvækst (BFI)		21.3	721.2	-	-	-	742.4 $Y_f$
I alt		42.1	1395.9	666.1	131.6	58.3	2294.0
		$X_{Energi}$	$X_{Andre}$	$C$	$I$	$E-M$	$X+Y$

Anm. Tallene i de grå felter er de samme som i tabel 1.1

Tabel 1.2 er det grundlæggende udgangspunkt for modelleringen af samspillet mellem energi og samfundsøkonomi i ADAM-modelsystemet. Input-output tabellerne opgøres både i beløb (årets priser) og i mængdeindeks (faste priser). Nationalregnskabets energimatricer, der er en særlig detaljeret specifikation af rækken for energivarer, findes også opgjort i terajoule (TJ). I afsnit 2.1.1 og 2.5.1 er vist energimatricer og i afsnit 2.1.3 er måling af energi i hhv. faste priser og Joule nærmere diskuteret.

### Bestemmelse af erhvervenes produktion

Med udgangspunkt i input-output tabellen kan efterspørgslen fordeles ud på de enkelte tilgangskomponenter ved hjælp af en statisk *input-output model*. Princippet i dette skal kort anskueliggøres med særligt henblik på energiproduktionen:

*Energiindholdet* i f.eks. forbruget defineres som leverancerne af energivarer til forbrug divideret med det samlede forbrug (her opgjort i faste priser):

$$a_{EC} = \frac{fX_{\text{energi},C}}{fC} \quad (1.5)$$

$f$  (foranstillet) Markerer, at størrelsen er opgjort i faste priser.  
 $fX_{\text{Energi},C}$  Leverancen af energivarer til forbrug (celle 1,3 i tabel 1.2, dvs. 16.9 mio. kr.).  
 $a_{EC}$  Forbrugets energiindhold.

Koefficienter af typen  $a_{EC}$  er *input-output koefficienter* vedrørende energien (eller kort *energikoefficienter*).

Med terminologien fra (1.5) kan den samlede efterspørgsel efter energivarer findes ved at summere de enkelte typer af energiefterspørgsel, dvs. langs energirækken i tabel 1.2:

$$fX_{\text{Energi}} = a_{EE}fX_{\text{Energi}} + a_{EA}fX_{\text{Andre}} + a_{EC}fC + a_{EI}fI + (fE_E - fM_E) \quad (1.6)$$

$a_{EE}$  Energiindholdet i de energiproducerende erhvervs produktion (konverteringsfaktoren)  
 $a_{EA}$  Energiindholdet i de øvrige erhvervs produktion  
 $a_{EC}$  Forbrugets energiindhold  
 $a_{EI}$  Investeringernes energiindhold  
 $(fE_E - fM_E)$  Nettoeksport af energi, faste priser (celle 1,5 i tabel 1.2, dvs. -3.1 mio. kr.).

Et første bud på den samlede energiefterspørgsel kan fås af (1.6), hvis energikoefficienterne antages at være konstante (dvs. uafhængige af udviklingen i produktionsomfang, forbrug, etc.). Dette svarer til en simpel antagelse om, at hvis f.eks. ikke-energiehvervenes mængdemæssige produktion,  $fX_{\text{Andre}}$ , stiger med 10 %, så vil deres efterspørgsel efter energi også stige med 10 %.

Denne grundskitse er udgangspunktet for modelleringen af energiefterspørgslen i ADAM-modelsystemet. Skitsen er dog her raffineret betydeligt, fordi energikoefficienterne modelleres som *variable størrelser*. De væsentligste grunde til, at der på denne måde må tillades variation i energikoefficienterne er, som allerede antydnet i foregående afsnit:

- Substitution mellem energi og andre inputs på grund af ændringer i den relative energipris.
- Trendmæssige bevægelser i energiforbruget som følge af indførelse af ny teknik, ændret sammensætning af bil- eller boligbestanden etc.
- Trægheder, der betyder at tilpasninger i energiforbruget ikke sker umiddelbart, men først i løbet af et stykke tid (her er bevægelsen i energikoefficienten kun midlertidig).

Input-output modellen skitseret i (1.6) bruges generelt i ADAM til fordeling af de forskellige efterspørgselskomponenter på relevante tilgangskomponenter i faste priser, dvs. på erhverv, afgifter, BFI etc.<sup>6</sup> Når input-output koefficienterne på denne måde er målt ud fra størrelser i faste priser, skal de for hver søjle i input-output tabellen summe op til 1.

<sup>6</sup> Se ADAM, *En model af dansk økonomi, Marts 1995*, Danmarks Statistik 1996, kapitel 7 for en nærmere gennemgang af input-output modellen og aggregeringsniveauet i ADAM. Sammenhængen via input-output modellen mellem energien og de øvrige erhverv giver mulighed for en række særlige analyser. I det viste, meget aggregerede eksempel fås således det samlede ligningssystem til bestemmelse af erhvervenes produktion

## Bestemmelsen af priser på endelig anvendelse

Input-output koefficienterne kan imidlertid også bruges til at bestemme prisindeks for anvendelseskomponenterne ud fra prisindeks for tilgangskomponenterne. Her kan indskydes, at importpriser og priser på råenergi betragtes som eksogene i ADAM. Hvis energierhvervets produktion har prisindekset  $p_{XE}$ , og produktionen i de øvrige erhverv har prisindekset  $p_{XA}$ , da kan prisindekset for f.eks. forbruget bestemmes efter grundskitsen

$$P_c = a_{EC} \cdot p_{XE} + a_{AC} \cdot p_{XA} + \text{afgiftssats} \quad (1.7)$$

idet forbruget jo netop består af  $a_{EC}$  dele energi og  $a_{AC}$  dele øvrig dansk produktion samt afgiften.

Ligninger af typen (1.7), der vejer prisindeks for tilgangskomponenter sammen til prisindeks for anvendelseskomponenter, kaldes *prissammenbindingsrelationer*.

$$fX_{\text{Energi}} = a_{EE} fX_{\text{Energi}} + a_{EA} fX_{\text{Andre}} + a_{EC} fC + a_{EI} fI + (fE_E - fM_E)$$

$$fX_{\text{Andre}} = a_{AE} fX_{\text{Energi}} + a_{AA} fX_{\text{Andre}} + a_{AC} fC + a_{AI} fI + (fE_A - fM_A)$$

Dette system kan løses for  $fX_{\text{Energi}}$  og  $fX_{\text{Andre}}$  til:

$$fX_{\text{Energi}} = b_{EC} fC + b_{EI} fI + b_{EU} (fE_E - fM_E)$$

$$fX_{\text{Andre}} = b_{AC} fC + b_{AI} fI + b_{AU} (fE_A - fM_A)$$

idet  $b_{ij}$ 'erne er koefficienterne i ligningssystemets inverterede koefficientmatrix. De vil typisk være større end  $a_{ij}$ 'erne, fordi en given efterspørgsel nu ikke kun får tilregnet sit direkte indhold af f.eks. energi, men også et indirekte energiindhold fra produktionen af de *andre* varer, der indgår i den pågældende efterspørgsel. Specielt vil energitabet i de energiproducerende erhverv på denne måde blive fordelt ud på de egentlige slutbrugere af energien. På denne måde udvides analysen til en - meget aggregeret - livscyklusanalyse (som altså er en del af enhver ADAM-kørsel).



## 1.6. Læsevejledning

Indholdet i rapportens kapitler beskrives kort nedenfor. I afsnit 2.1 gives i en mere detaljeret indledning til hovedkapitel 2.

Hovedkapitel 2 og kapitel 3 udgør beskrivelsen af opbygningen af modellen. Kapitlerne omfatter de firkantede kasser i figur 1.1, altså de endogene variabler i satellitmodellerne. Hovedkapitel 2, der udgør hovedparten af rapporten, er opdelt i en række mindre kapitler, der beskriver hver sin del af satellitmodellerne. Hvert af disse kapitler har fire afsnit. De overordnede egenskaber ved delmodellen er beskrevet først. Derefter beskrives mere detaljeret den økonomiske teori for delmodellen og de estimationsmetoder, der er anvendt til at kvantificere teorien. Efter teori afsnittet følger et temmelig teknisk afsnit, der viser, hvordan de estimerede ligninger rent faktisk ser ud i ADAM-nomenklatur og omsat til ligninger i det edb-program, som løser modellen. Til sidst er det skitseret, hvad der er de væsentligste forskelle og ligheder sammenlignet med Energistyrelsens model på området.

Læseren kan få et hurtigt overblik over hele modellen ved at læse alle de første afsnit i kapitlerne 2.2-2.5 og måske de sidste afsnit.

Det første af de i alt seks mindre kapitler i hovedkapitel 2 indeholder en indledning og en energibalance, der viser de tal, som resten af hovedkapitel 2 forsøger at beskrive. Derudover beskrives de metodemæssige fællestræk for de efterfølgende kapitler, og et afsnit diskuterer, hvordan energien mest hensigtsmæssigt måles. I kapitel 2.2 beskrives husholdningernes energiefterspørgsel, i kapitel 2.3 beskrives energiefterspørgslen for 13 ADAM-erhverv eksklusive transport- og energierhverv. ADAMs to transporterhverv er splittet op i ti undererhverv, hvis energiefterspørgsel er beskrevet selvstændigt i kapitel 2.4. I kapitel 2.5 er konverteringen af råenergi til el, fjernvarme og gas beskrevet. Endelig slutes af med et lidt teknisk kapitel 2.6, som forklarer, hvordan de forskellige satellitmodeller er koblet sammen med hinanden og med ADAM.

Modellerne i hovedkapitel 2 bestemmer altså anvendelsen af de forskellige energiarter. Sammenhængen mellem energianvendelse og emission af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> sker gennem de emissionskoefficienter, hvis konstruktion er beskrevet i kapitel 3. Med udgangspunkt i karakteristika for 25 energiarter dannes emissionskoefficienter for de aggregerede energiarter transportenergi, fast brændsel, flydende brændsel og gas.

I hovedkapitel 2 er egenskaberne ved de forskellige delmodeller beskrevet isoleret. Kapitel 4 beskriver, hvordan det samlede ADAM-system virker. Dette er gjort gennem en række multiplikatoranalyser.

I kapitel 5 beskrives det modelsystem, som ligger bag Energistyrelsens energiplan, *Energi 21*. Sammen med hovedkapitel 2 og 3 giver kapitel 5 således læseren et overblik over ligheder og forskelle på de to modelsystemer. Nogle hovedtræk i den fremskrivning, som Energistyrelsen lavede i forbindelse med Energi 21, er præsenteret. I kapitlet er ADAM-systemet brugt til at lave præcis den samme fremskrivning af energianvendelsen som i Energi 21. Det er gjort på baggrund af de samme antagelser om økonomisk vækst og prisudvikling, som ligger til grund for Energi 21, men med udviklingen i energieffektiviteten beregnet "baglæns", således at Energistyrelsens fremskrivning rammes med ADAM-systemet. En sådan beregning viser, hvor meget energieffektiviteten i ADAM-systemet skal ændres for at nå en given energipolitisk målsætning. Beregningen henleder i øvrigt opmærksomheden på, hvordan forventninger til udviklingen i energieffektiviteter baseret

på teknisk viden kan bruges i sammenhæng med ADAM-systemet, nemlig ved at basere fremskrivningen af ADAM-systemets trender for effektivitetsudviklingen på denne viden.

## 2. Energifterspørgsel og -produktion i ADAM-systemet

### 2.1. Indledning til hovedkapitel 2

Dette kapitel indeholder en oversigt over resten af hovedkapitel 2, et afsnit om metoder og et afsnit om aggregeringsproblemer ved måling af energi.

#### 2.1.1. Oversigt over hovedkapitel 2

I hovedkapitel 2 beskrives efterspørgslen efter energiarter. Kapitlet er opdelt i mindre kapitler, hvor hvert kapitel beskriver energifterspørgslen i en sektor. Tabel 2.1.1 viser hvilke tal, der forsøges bestemt i de følgende kapitler. Rækkerne i tabellen viser tilgangen af de forskellige energiarter. De første fem rækker viser tilgangen af "konverteret energi", der er produceret på basis af "råenergi". Råenergi er energiarter, der er produceret i primære erhverv, og tilgangen heraf er vist i de sidste rækker. Søjlerne viser, hvor meget erhvervene og husholdningerne bruger af hver energiart.

**Tabel 2.1.1. Energibalace 1992 (PJ)**

Energiart	Erhverv Energi- forsyning	Erhverv ekskl. energi- og trans- porterhverv				Trans- port	Husholdninger			Lager +ekspor -import	Svind og lednings- tab	Produktion
		Pri- mære	Indu- stri	Byg- geri	Ser- vice		Varme	El	Trans- port			
El	1.8	5.8	29.9	1.2	32.3	2.7	7.2	27.1	0	-13.1	7.3	102.1
Fjernvarme	0	2.0	3.1	0	18.8	1.1	61.1	0	0	0	15.2	101.3
Gas, distribueret	10.6	2.4	22.7	0.1	8.0	0.4	25.2	0	0	0	0.8	70.3
Olieprodukter	54.3	3.9	31.7	3.0	13.8	6.8	44.8	0	0.1	9.2	1.2	168.7
Transportenergi	0.5	27.2	6.6	10.9	24.3	68.1	0	0	63.0	-14.1	2.3	188.6
Konverteret energi i alt												631.0
Råolie	331.7	0	0	0	0	0	0	0	0	-11.0	3.4	324.1
Kul, mv.	264.2	2.8	24.9	0	0	0	3.7	0	0	-293.1	3.3	5.8
Gas, Nordsø	80.5	0	0	0	0	0	0	0	0	61.0	0	141.5
Vedvarende energi <sup>1</sup>	32.7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	32.7
I alt, direkte energianvendelse	776.3	44.0	118.9	15.2	97.2	79.1	142.0	27.1	63.1	-261.2	33.5	
Konvertering	-145.3											
Produktion	631.0											

Kilde: Danmarks Statistiks energimatricer, *Energistatistik*, Energistyrelsen, egne beregninger.

<sup>1</sup>Vedvarende energi er kun opgjort for energiforsyningserhvervet (i *Energistatistik*)

Husholdningernes energiefterspørgsel er opsplittet på formålet med anvendelsen. Over halvdelen af husholdningernes energianvendelse bruges til opvarmning. Fjernvarme, olie og naturgas yder størstedelen af husholdningernes opvarmning, mens en mindre del kommer fra elradiatorer. El til elapparater og transportenergi til private biler udgør resten af husholdningernes energiforbrug.

I *kapitel 2.2* forklares udviklingen i disse tal. Som i tabellen er energiefterspørgslen opdelt på tre formål, der er estimeret i hver sin relation. Varmeenergiefterspørgslen afhænger af, hvor stort et boligareal, der skal opvarmes, klimaet, en gennemsnitlig, real pris for de brændsler, der bruges til opvarmning og energieffektiviteten for varmeanlæggene. Elforbruget til apparater afhænger af det private forbrug, apparaternes effektivitet og en real elpris. Transportenergiforbruget afhænger af bilparken, et mål for bilernes brændseffektivitet og benzinprisen.

I *kapitel 2.3* er energianvendelsen bestemt for de 13 ADAM-erhverv, der ikke har med energiproduktion eller transport at gøre. Erhvervene har forskellig energikvote, dvs. forskelligt forhold mellem samlet energianvendelse og produktion, og sammensætningen af energien er også forskellig fra erhverv til erhverv. For eksempel ses det, at transportenergi udgør en meget væsentlig del af den samlede direkte energianvendelse i primære erhverv og byggeri, mens f.eks. el udgør en stor andel af energiforbruget i industri og service.

For hvert af disse erhverv er det samlede energiforbrug bestemt som funktion af erhvervets produktion og energiprisen i forhold til prisen på erhvervets produktion. Når sammensætningen af energien på arter skal bestemmes, ses i første trin på tre grupper af energiarter, nemlig el, transportenergi og restgruppen øvrig energi. Fordelingen på disse tre arter afhænger af de relative priser på de tre arter samt en tidstrend. Tidstrenden skal bl.a. approksimere effekten fra den stigende udbredelse af elmaskiner. I andet trin opsplittes aggregatet øvrig energi på arter ved faste kvoter.

Transporterhvervenes energianvendelse består naturligvis i hovedsagen af transportenergi. I *kapitel 2.4* er energianvendelsen i transporterhvervene bestemt. Energianvendelsen er bestemt på baggrund af produktionen i hvert af 10 transporterhverv, en tidstrend og en real energipris. Transporterhvervene har temmelig forskellig energikvote, så den detaljerede modellering af erhvervene giver mulighed for at fange effekten af strukturforskydningerne mellem de forskellige delerhverv.

Energiforsyningerhvervene i tabellen består af producenter af el og fjernvarme, distributionen af naturgassen, olieraffinaderierne og udvindingen af gas i Nordsøen. Det store input af råolie går til raffinaderierne, der leverer olieprodukter og transportenergi til andre erhverv og husholdningerne. Kullene bruges helt overvejende i kraftvarmeproduktionen, der leverer el og fjernvarme. Inputtet af Nordsøgas går til det erhverv, der distribuerer gassen til resten af økonomien. Biomassen består bl.a. af affald, der bruges til produktion af fjernvarme.

I *kapitel 2.5* er el- og fjernvarmeproduktionen og gasdistributionen beskrevet. Niveaue for input af råenergi i denne sektor bestemmes af hvor meget el, fjernvarme og gas, der skal leveres til resten af økonomien. Sammensætningen af råenergien på arter er dels bestemt af de relative priser på brændslerne og dels bestemt udenfor modellen af tekniske og politiske forhold. Den mængde energi, som energiforsyningserhvervene leverer, er mindre end den mængde, de selv anvender, og der forekommer derfor et konverteringstab. I tabellen er konverteringstabet beregnet til 145.3 (=776.3-631.0).

Sidste kapitel, *kapitel 2.6*, er af teknisk art og beskriver hvordan delmodellerne er koblet sammen indbyrdes og med ADAM.

## 2.1.2. Lidt mere om metoder

Som det er nævnt i kapitel 1 er hovedformålet med ADAM-systemet at kunne beregne emissionen af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. Til dette formål er det nødvendigt ikke blot at bestemme den samlede energianvendelse, men også dens sammensætning, fordi de forskellige energiarter ikke forurener i samme grad. Den væsentligste del af arbejdet er derfor opsplitningen af den i ADAM bestemte samlede energiefterspørgsel på arter og beregningen af emissionen, der hører hertil.

Nedenfor diskuteres prototypen for en enkelt ligning i stil med formel (1.1) i kapitel 1. Hvordan de enkelte ligninger knyttes sammen til et samlet modelsystem via input-outputsystemet, blev beskrevet i afsnit 1.5. Prototypeligningen nedenfor antyder bl.a., hvordan input-outputkoefficienterne bestemmes som funktion af f.eks. priser.

Om satellitmodellerne er det også indledningsvis værd at bemærke, at bortset fra el- og fjernvarmeproduktionen er udbudsforhold næsten ignoreret. Baggrunden er en antagelse om, at priserne på råenergi i store træk er givne fra verdensmarkedet, og at interessen er samlet om den emission af skadelige stoffer, der er knyttet til anvendelsen af energi i Danmark. Emissionen knyttes til energianvendelsen, hvad enten energien leveres af indenlandske producenter eller importeres.<sup>7</sup>

Der er selvfølgelig forskel på, hvordan elværkernes kulefterspørgsel og detailhandlens efterspørgsel efter transportenergi gribes an, men alligevel kan visse fællestræk illustreres af en prototypeligning af den type, der blev vist i kapitel 1, formel (1.1). Hvis  $E$  er efterspørgslen efter en energiart eller et aggregat af energiarter, vil denne i modellen typisk være bestemt af en variabel, der i mangel af bedre kunne betegnes som en aktivitetsvariabel, den relative energipris, dvs. prisen på energien i forhold til prisen på det, som i efterspørgselsrelationen er alternativet til energien, og endelig en tidstrend eller et mål for den tekniske udvikling. Ligningen kan derefter skrives som

$$E = e(P_E/P_{-E}, N, f(t)) \quad (2.1.1)$$

- $E$  Husholdningernes eller et erhvervs anvendelse af en energiart eller et aggregat af energiarter
- $p_E$  Prisen på energiarten eller den aggregerede energi
- $p_{-E}$  Prisen på den aggregerede energi eller ikke-energivarer
- $f(t)$  Tidstrend eller mål for teknisk udvikling
- $N$  Aktivitetsvariabel.

Fællestrækkene i den måde som de forskellige typer variable indgår i modellerne er beskrevet nedenfor.

Det konkrete indhold af *aktivitetsvariablen* er forskelligt i de forskellige dele af modelsystemet. I husholdningerne bestemmes elforbruget, forbruget af energi til opvarmning og benzinforbruget i tre forskellige ligninger med hver deres aktivitets-

---

<sup>7</sup> I selve ADAM bestemmes via input-outputsystemet, hvor energien leveres fra. Det er antaget, at udvindingen af råolie og gas fra nordsøerhvervet er udbudsbestemt og eksogent givet. En stigning i efterspørgslen efter råolie leveres derfor udelukkende fra udlandet. Kul leveres kun fra udlandet. Ved eksogene andele fastlægges om efterspørgslen efter olieprodukter leveres fra indenlandske olieraffinaderierne eller importeres.

variabel. Disse er husholdningernes private forbrug, det samlede boligareal og antallet af husholdningernes biler.

Modellerne for erhvervenes energianvendelse (ekskl. energiforsyningserhverv) består af to trin, først bestemmes den samlede energianvendelse i hvert erhverv, og derefter bestemmes fordelingen på hovedgrupper af energi. I første trin er  $E$  erhvervets samlede energianvendelse, og aktivitetsvariablen er erhvervets produktion. I andet trin er aktivitetsvariablen den i første trin bestemte samlede energianvendelse, og  $E$  står så for de enkelte hovedgrupper af energiarter.

I modellen for el-, gas og fjernvarmeforsyning, angiver  $E$  f.eks. den kul, der anvendes i kraftvarmeverkerne. Aktivitetsvariablerne er den samlede efterspørgsel efter el, gas og fjernvarme, altså forsyningserhvervets produktion.

For erhvervene er der antaget konstant skalaafkast. Det betyder, at hvis aktivitetsvariablen stiger med en procent, så stiger energiefterspørgslen på langt sigt også med en procent. Dette kan altså ikke siges at være et resultat, der er nået i projektet, men som sagt en antagelse. Antagelsen har intuitiv appel: stiger produktionen med 10 % så vil producenterne ikke ændre på sammensætningen af produktionsfaktorer, men blot øge anvendelsen af alle arter af energi, arbejdskraft, maskiner osv. med 10 %. Dette gælder på det lange sigt. Den dynamiske tilpasning mod den øgede faktorefterspørgsel bliver estimeret. På kort sigt kan f.eks. trægheder betyde, at efterspørgslen efter energiarter stiger mindre end 10 %.

Man kunne tilsvarende forestille sig, at husholdningernes energiforbrug steg med 1 %, når aktivitetsvariablerne steg 1 %. Her viser tallene, at antagelsen kan accepteres for opvarmning og benzinforbrug, mens elforbruget vokser hurtigere end det samlede private forbrug.

Med hensyn til *prisvariablerne* angiver  $p_E$  prisen på  $E$ , mens  $p_{\bullet E}$  angiver prisen på det, som energiefterspørgeren alternativt køber. Hvis  $E$  angiver en af flere energiarter som et erhverv kan efterspørge, vil  $p_{\bullet E}$  angive en gennemsnitlig energipris, så  $p_E/p_{\bullet E}$  angiver om  $E$  er dyr i forhold til andre energiarter. Hvis  $E$  angiver et erhvervs samlede energianvendelse er alternativet andre produktionsfaktorer, og hvis  $E$  er en af husholdningernes energivarer, så er alternativet andre forbrugsvarer.

I satellitmodellerne er effekten af prisændringerne estimeret. I de fleste erhverv er der substitution mellem energiarterne, så producenterne vil erstatte noget af energiart X med energiart Y, hvis prisen på X stiger. I energiforsyningserhvervet er der antaget perfekt substitution mellem de brændsler, der bruges til produktion af el og kraftvarme.

Beregningen af emissionerne afhænger som nævnt af, hvordan energianvendelsen er sammensat. Desto flere energiarter, der er med i modellen, desto bedre kan denne beregning foretages. Når energiefterspørgslen skal estimeres, sætter praktiske forhold på den anden side grænser for, hvor detaljeret en opdeling det er fornuftigt at arbejde med. I satellitmodellerne er der syv energiarter (nemlig de ni i tabel 2.1.1, hvor hhv. råolie og olieprodukter og nordsøgas og distribueret gas er slået sammen), hvoraf de to, el og fjernvarme, er konverterede energiarter. Aggregeringen er valgt med henblik på estimation af efterspørgselsfunktioner, og med henblik på at energiarterne i samme aggregat ikke er for forskellige mht. emissioner. Aggregeringen sætter dog visse begrænsninger på f.eks. hvilke pris- og afgiftseffekter, der kan beregnes med modellen. For eksempel er en af de syv energiarter flydende energi, der indeholder alle mulige typer olie. Et økonomisk

instrument til begrænsning af SO<sub>2</sub>-emission er SO<sub>2</sub>-afgifter, der øger prisen på energiarter, afhængigt af hvor meget SO<sub>2</sub> de emitterer. Modellen vil derfor kunne beregne, hvordan en sådan afgift påvirker f.eks. forholdet mellem den anvendte mængde flydende energi og transportenergi. Imidlertid findes der olie af forskellig kvalitet og med forskellig svovlindhold. Forskydningen inden for aggregatet flydende energi, fra olie med megen svovl til olie med lidt svovl, vil ikke blive beregnet, og modellen vil derfor undervurdere det fald i SO<sub>2</sub>-emissionen, der følger af en sådan afgift. Imidlertid kan ADAM-systemet så suppleres med beregninger uden for modellen. En stigning i SO<sub>2</sub>-afgiften vil derfor kunne begrunde, at emissionskoefficienten for SO<sub>2</sub> for flydende energi nedsættes.

*Tiden* indgår i mange estimerede ligninger som "forklarende" variabel. Begrundelsen herfor er, at ligningerne er et forenklet udtryk for virkelighedens økonomiske adfærd, hvori visse relevante forklarende variabler er udeladt, f.eks. fordi de trods alt er mindre væsentlige eller fordi det ikke er muligt at konstruere alle de ideelt set relevante data. Ved den økonometriske analyse er det imidlertid vigtigt, at disse udeladelser ikke får lov at forvrænge estimererne for f.eks. prisfølsomheden, og derfor forsøges effekten af eventuelle udeladte variabler approksimeret med en tidstrend. I ligninger for energiefterspørgslen er den helt dominerende fortolkning af trenden, at den repræsenterer tekniske fremskridt ■ både i almindelighed og specifikt i energianvendelsen.

Eksempelvis kan det være utilstrækkeligt at beskrive udviklingen i den gennemsnitlige energieffektivitet for elforbrugende husholdningsapparater alene med udviklingen i de observerede energipriser. Dette kan dels skyldes, at der hele tiden fremkommer nye typer af apparater, f.eks. pc'ere, dels at der løbende sker tekniske forbedringer af eksisterende apparattyper. I den økonometriske analyse kan en tidstrend anvendes som et samlende udtryk herfor.

Det er dog væsentligt, at den effekt på energianvendelsen, der stammer fra denne type tidstrender, ikke blot projiceres ud i al fremtid. I eksemplet, hvor elanvendelsen vokser, fordi der opbygges en bestand af pc'ere i husholdningerne, må vækstbidraget fra denne del af trenden aftage, efterhånden som alle *har* fået pc; det kan måske engang blive negativt, fordi der bliver opfundet pc'ere med mindre energiforbrug. Konkret teknisk kundskab kan her betyde, at trendbidraget til elanvendelsen må fremskrives med en helt anden vækstrate end den historiske.

Et alternativ til tidstrenden er direkte at udnytte statistik vedrørende energieffektiviteten, hvis den er til rådighed, og dette er netop gjort for husholdningernes elforbrug, benzinforbrug og forbrug af energi til opvarmning. Det er klart, at udviklingen i energianvendelsen derved kun er forklaret delvist, for ændringer i energieffektiviteten er jo ikke noget, der sker tilfældigt. Specielt kan energipriserne forventes at spille en væsentlig rolle, selv om det typisk ikke er let at vise empirisk.

### 2.1.3. Måling af energi: Aggregerings- og indeksproblemer

Udviklingen i mængden af energi eller energivarer kan måles på flere forskellige måder, alt efter hvad man ønsker at udtrykke. For en enkelt energitype er det temmelig uproblematisk, om man måler den mængdemæssige udvikling i ton, i Joule eller i 1980-priser. Aggregeringsproblemet opstår derimod, når man vil opgøre et antal ikke-ensartede *mængdestørrelser* som et samlet *mængdeindeks*, der på en eller anden måde skal sammenfatte størrelsen af disse. Hvordan sammenvejer man f.eks. 25 energityper til ét mål for energiforbruget? Hvad udtrykker de forskellige mål?



Gennem den fysiske brændværdi, f.eks. Joule pr. kg. kul, kan energiarterne let lægges sammen til et samlet energimål. Dette energimål fortæller så, hvor meget "nytte" man rent fysisk kan forestille sig, at det er muligt at få ud af energiarterne. Strengt taget betyder "nytte" eller antallet af Joule her, hvor mange gram vand, der kan opvarmes 1 grad under ideelle, laboratorieagtige forhold. I praksis er disse ideelle forhold ikke altid de mest relevante, og derfor kan det komme på tale at måle energianvendelsen i andet end Joule.

### Bruttoenergi og direkte energi

Ved opgørelse af f.eks. Danmarks samlede energianvendelse er det første problem, hvordan man tager hensyn til, at nogle erhverv konverterer energi fra en form til en anden. For eksempel bruges der i elforsyningssektoren kul, olie og gas til at producere el, og derfor vil der være tale om dobbeltregning, hvis man talte begge ting med. Man kan sige, at problemet opstår, fordi der sker en forarbejdning af visse energivarer, så de bliver mere brugbare for erhverv og husholdninger.

For at komme ud over dette problem korrigeres elanvendelsen ofte for det faktum, at når der bruges 1 Joule el, bruges der – på grund af konverterings- og ledningstab – mere end 1 Joule energi i form af kul, olie og gas til at producere den ene Joule el. Noget tilsvarende gælder for fjernvarmen, mens der kun er et lille ledningstab for gas.

Nedenfor gives et simpelt eksempel, hvor der kun er de to energityper, kul og el, og hvor der kun er tre sektorer, elforsyning, andre erhverv og husholdninger.

**Tabel 2.1.2. Energimatrix, direkte (Joule)**

Energitype	Elforsyning	Andre erhverv	Husholdninger
Kul	300	40	10
El	0	60	40

Den *direkte energianvendelse* udtrykker anvendelsen af energi målt i Joule i de ikke-energikonverterende erhverv og husholdninger, og er i alt 150 Joule fordelt med 100 Joule i andre erhverv og 50 Joule i husholdninger.

Økonomiens *bruttoenergiforbrug* udtrykker derimod hele økonomiens anvendelse af ikke-konverterede energiarter, og opgøres til 350 Joule, der fås som summen af kulanvendelsen i alle tre sektorer (300+40+10).

Ifølge tabel 2.1.2 synes husholdningerne kun at være "ansvarlige" for en tredjedel af den direkte energianvendelse (50 ud af 150). Alternativt kan elværkernes konverteringstab på  $300 - (60 + 40) = 200$  Joule fordeles på andre erhverv og husholdninger efter den relative elanvendelse. I så fald fås matricen:

**Tabel 2.1.3. Energimatrix, brutto (Joule)**

Energitype	Andre erhverv	Husholdninger
Kul	40	10
El	180	120

I denne tabel kan den samlede bruttoenergianvendelse opgøres til 350 Joule (som før) fordelt på 220 Joule i andre erhverv og 130 Joule i husholdninger. Husholdningernes anvendelse er beregnet på denne måde noget større end en tredjedel af den samlede energianvendelse.

Den direkte energianvendelse kan siges at være det relevante, hvis man er interesseret i den meget fysiske fortolkning af "nytten" af f.eks. den energi, som husholdningerne anvender. Korrektionen til bruttoenergi har to fordele. Bruttoenergiforbruget kan tænkes at være en nogenlunde approksimation for, at en Joule el vurderet fra husholdningernes synsvinkel giver mere nytte end en Joule kul eller olie, når nyttebegrebet anvendes mere bredt end i den strengt fysiske forstand. Desuden kan bruttoenergiebegrebet siges, at give et bedre udtryk for, hvor store træk på naturens begrænsede ressourcer, som husholdningernes energianvendelse giver anledning til.

Endnu er begreb, nemlig "nyttiggjort energi" ("nettoenergi" i Energistyrelsens terminologi), er et forsøg på en meget direkte tilnærmelse til den nytte, som energiarterne yder i husholdninger eller erhverv. Den direkte energi korrigeres for, at der kan forekomme lokale energitab som følge af, at f.eks. oliefyr eller forskellige apparater ikke udnytter energien fuldt ud. Begrebet nyttiggjort energi bruges, når energianvendelsen skal forudsiges. Til opvarmning af et hus kræves en given mængde nyttiggjort energi. Hvor stor direkte energimængde dette kræver, afhænger så af f.eks. oliefyrets virkningsgrad.

Men hvis ønsket er at finde et mål, der angiver enten nytten af energianvendelsen eller belastningen af naturens ressourcer, er der imidlertid andre alternativer end energi målt i Joule.

### Fastprisindeks og efterspørgslen

Som indikeret ovenfor spiller den nytte eller ydelse som efterspørgerne har af energien en hovedrolle ved aggregering af flere energiarter til et mål. Ifølge økonomisk teori er der en sammenhæng mellem nytten af energiarterne og energiarternes priser, og det er denne sammenhæng, der udnyttes i fastprisindeks. I appendiks A.2.1 gives der en uddybende og mere præcis, men også mere teknisk, gennemgang af indeksproblemet.

Indeksteoriens standardeksempel er, hvorledes man f.eks. sammenvejer eller adderer en persons forbrug af æbler og pærer? Man kunne f.eks. opgøre det samlede frugtforbrug i antal kg eller lægge indholdet af C-vitaminer sammen.

Hvad man skal vælge afhænger af, hvad sammenejningen skal bruges til. Til undersøgelser af transportbehovet er det sikkert bedst at bruge kg, men til analyser af ernæringen er det sikkert bedst at bruge vitaminindholdet. Til analyser af forbrugernes efterspørgsel kommer man ifølge økonomisk teori ikke uden om at overveje, hvad forbrugsgoderne yder, eller hvor stor *nytt* af dem er. Og helt tilsvarende gælder det for aggregering af inputs i en produktionsproces (faktorinputs), at man også dér må forsøge at finde ud af, hvor meget de bidrager til produktionen.

I eksemplet med æblerne og pærerne er spørgsmålet, hvor mange pærer der skal til for at erstatte ét æble, således at forbrugerens såkaldte "nytte" er uforandret, dvs. at han eller hun ikke stilles hverken bedre eller dårligere. Og i tilfældet med aggregering af inputs i en produktionsproces kunne spørgsmålet være, hvor mange arbejdere, der skal til for at erstatte én maskine, således at der kan produceres det samme. Hvis man har et mål for disse såkaldte *substitutionsforhold*, vil man kunne danne et aggregeret indeks for de mængder, som skal aggregeres.

Ingen af disse substitutionsforhold kan imidlertid under normale forhold observeres direkte, men ifølge standard økonomisk teori vil substitutionsforholdene blive afsløret af priserne på de pågældende goder. Således vil der gælde, at hvis forbrugernes præferencer er sådan indrettet, at der skal to æbler til at erstatte én pære, vil dette ifølge økonomisk teori blive afspejlet i priserne på æbler og pærer, idet der (i ligevægt) vil gælde, at pærerne vil være dobbelt så dyre som æblerne.<sup>8</sup> Og i producenttilfældet vil der gælde, at hvis der skal 20 arbejdere til at erstatte en maskine, vil maskinen være 20 gange så dyr som arbejdskraften.

Den grundlæggende idé i indeksteorien er således, at man sammenvejer forskellige forbrugsgoder eller faktorinputs vha. de relative priser på disse. Hvis en pære f.eks. koster dobbelt så meget som et æble, vil pærerne få dobbelt så stor vægt som æblerne i det aggregerede mængdeindeks.<sup>9</sup>

Et særligt simpelt fastprisindeks er det såkaldte *Laspeyres*-fastbasis(mængde)indeks, hvor energiarterne vægtes sammen med deres respektive priser i et givet år, f.eks. 1980. At det i praksis kan være vigtigt at skelne mellem aggregering i faste priser og aggregering i Joule, viser følgende tænkte eksempel.

**Tabel 2.1.4. Aggregering af el og kul: aggregering i rå Joule hhv. aggregering vha. Laspeyres-fastbasisindeks**

År	El TJ	Kul TJ	Pris på el kr/TJ	Pris på kul kr/TJ	Sum af TJ	Laspey- res- indeks
1980	120	300	20	5	420	1.00
1981	130	280	19	6	410	1.03
1982	140	260	18	7	400	1.05
1983	150	240	17	8	390	1.08
1984	160	220	16	9	380	1.10

Anm. Laspeyresindekset for 1981 er beregnet som  $1.03 = (20 \cdot 130 + 5 \cdot 280) / (20 \cdot 120 + 5 \cdot 300)$ .

Af tabellen ses, at efterspørgslen efter el er steget med 33 % (fra 120 til 160 TJ) over perioden, mens kulefterspørgslen er faldet med 27 % (fra 300 til 220 TJ). Lægger man de

<sup>8</sup> Det forudsættes her for nemheds skyld, at substitutionsforholdene er konstante, uanset størrelsen af "byttehandlerne".

<sup>9</sup> I appendiks A.2.1 uddybes dette, da problemstillingen naturligvis kompliceres af, at de relative priser ændrer sig over tid, og at de marginale substitutionsforhold heller ikke kan antages konstante over tid. *Niveauet* for det aggregerede mængdeindeks er i øvrigt i sig selv uinteressant og kan f.eks. sættes lig én i et givet år - det interessante er udelukkende *udviklingen* i mængdeindekset.

rå TJ sammen får man, at den samlede energifterspørgsel målt i TJ er faldet med godt 10 % (420 til 380 TJ), som følge af, at kullet "fylder" mere end elektriciteten, når der måles i TJ. Anderledes forholder det sig imidlertid, hvis der vægtes med f.eks. 1980-priserne på de to energiarter, idet elektriciteten i 1980 var fire gange dyrere end kullet. Foretages en sådan sammenvejning, fås Laspeyres-indekset i tabellens yderste søjle, hvor det ses, at Laspeyres-indekset *stiger* med 10 %, da elektriciteten nu har fået fire gange så stor vægt.

Alle måleproblemer er imidlertid ikke overståede hermed, for fastprisindeks kan laves på flere forskellige måder. En anden type er f.eks. det såkaldte Paasche-mængdeindeks, hvor der vejes sammen med periodens sidst observerede priser (her 16 hhv. 9). Et Paasche-mængdeindeks ville falde med ca. 2 % fra 1980-84, hvilket dog stadigvæk er et pænt stykke fra de 10 %, som efterspørgslen målt i rå TJ falder med.

Der kan laves mere avancerede mængdeindeks, men fælles for alle mængdeindeks er, at de på en eller anden måde bruger de relative priser til at vægte mængderne sammen med, da disse relative priser udtrykker, hvor stor nytte man har af de enkelte disaggregerede inputmængder. Er en af energikomponenterne meget dyr relativt til de andre, vil udviklingen i efterspørgslen efter denne få en tilsvarende stor betydning i det aggregerede energiindeks, hvilket var tilfældet for el i eksemplet ovenfor.

Ved opgørelse af økonomiens samlede energianvendelse i faste priser skal man selvfølgelig ikke medregne udgifterne til elværkernes kul og den endelige anvendelse af el i samme mål. Én mulighed er at måle husholdningernes og de ikke-energikonverterende erhvervs anvendelse af alle energityper – heriblandt el – i faste priser. Det vil udtrykke den samlede nytte, som økonomien har af disse typer. Dette kan kaldes den direkte energianvendelse målt i faste priser. En anden mulighed er, at måle hele økonomiens (også de energikonverterende erhvervs) anvendelse af ikke-konverterede energiarter – heriblandt *ikke* el. Målet kan kaldes bruttoenergianvendelsen i faste priser. Dette vil blandt andet kunne bruges som et mål for økonomiens træk på naturens energiressourcer.

### **Det energirelaterede træk på naturens ressourcer**

Både bruttoenergimålet i Joule og faste priser (dvs. fastprisindekset for anvendelsen af ikke-konverterede energiarter) kan måle hvor stort trækket på naturens udtømmelige energiressourcer er. Igen kan der argumenteres for at bruge fastprismålet. Priserne på de forskellige energiarter afspejler ikke blot nytten for efterspørgerne, men samtidig udbudsforhold som udvindingsomkostninger og de (forventede) tilbageværende mængder af energiarterne. Jo mindre olie, der er tilbage i forhold til kul, desto højere vil olie-kul prisforholdet alt andet lige være. Hvis den nulevende generation bruger en ekstra Joule olie og en Joule kul mindre, stiger energianvendelsen i faste priser, mens Joule-målet er uændret. Det er også klart, at de næste generationer efterlades med uændrede energiressourcer målt i Joule. Men værdien af disse ressourcer er formentlig faldet, fordi der er blevet mindre af den relativt nyttige og knappe olie.

Der er således flere gode grunde til at måle energianvendelsen i faste priser fremfor at bruge bruttoenergimålet i Joule. Ideelt set kræver fastprismålene dog, at markederne er i ligevægt. For nationalregnskabs Laspyresindeks er dette særlig vigtigt i basisåret 1980, og dette kan næppe siges at have været tilfældet for energimarkederne. Monopoliggende forhold på energimarkederne gør ligeledes fordelene ved fastprismålene mere tvivlsom. Der er således problemer med fastprismålene, som gør at bruttoenergimålene i Joule i praksis muligvis er omtrent lige så gode som fastprismålene.

Til at måle den forurening, der følger af energianvendelsen, og som er i fokus i denne rapport, kan der skabes meget mere direkte mål for miljøbelastningen, nemlig ved at beregne de faktiske emissioner af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. Dette gøres ved at vægte de forskellige energiarter med deres emissionskoefficienter.<sup>10</sup>

Konklusionen er altså, at den rigtige aggregeringsmetode afhænger af, hvad man ønsker at måle. I appendiks A.2.1 er specielt beskrevet aggregeringsproblemer i forbindelse med efterspørgslen efter produktionsfaktorer.

---

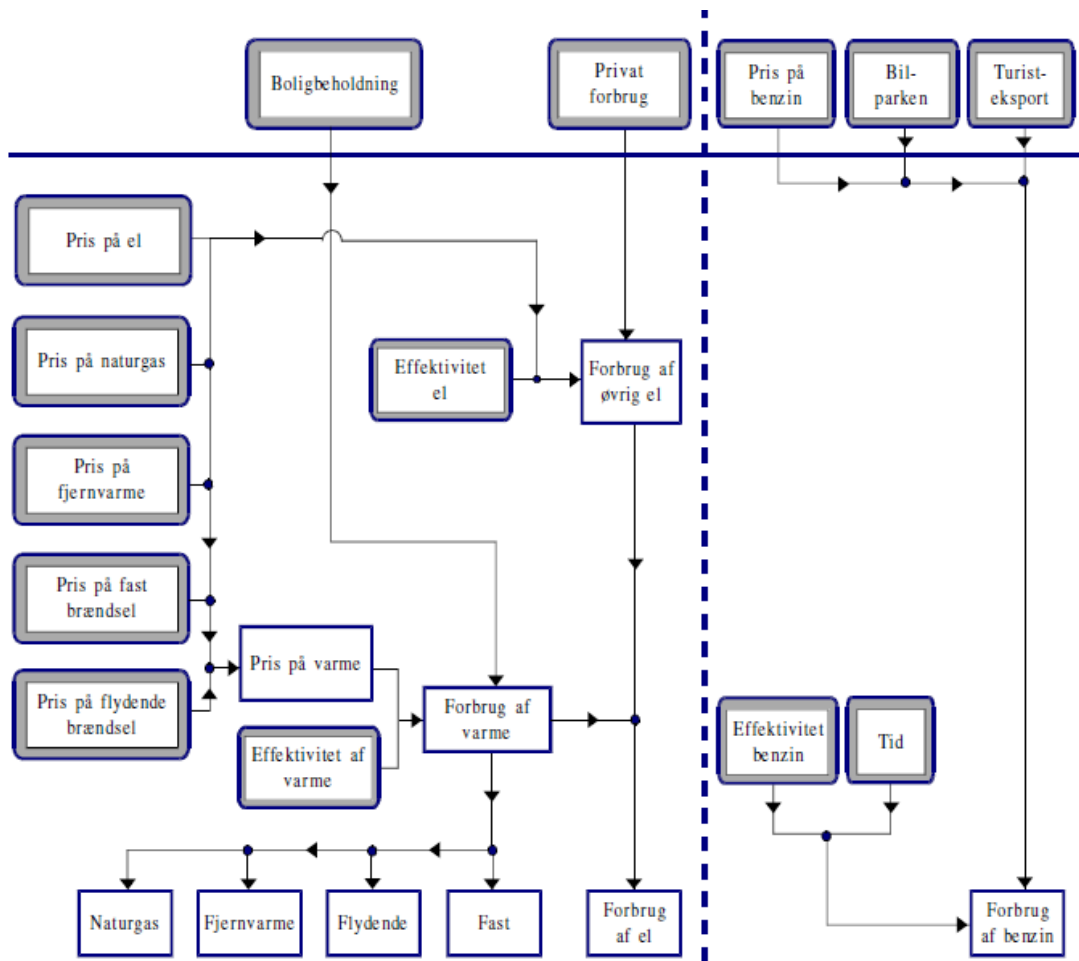
<sup>10</sup> Det kan bemærkes, at man også kunne forestille sig et samlet mål for udviklingen i forureningen, dvs. en sammenvæjning af udviklingen i CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. Det kræver, at det tages stilling til, hvor skadelige de forskellige former for forurening er. Princippet er altså det samme som ved almindelige fastprisindeks, "blot" findes ikke markedspriser for tilladelser til emission af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> eller NO<sub>x</sub>, der kunne afsløre skadeligheden (disnyttten) ved forureningen.

## 2.2. Husholdningernes energiforbrug

Husholdningerne tegnede sig i 1992 for ca. 1/3 af det samlede danske bruttoenergiforbrug, jf. tabel 2.1.1 i kapitel 2.1,<sup>11</sup> og emissionerne af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> (direkte og indirekte via energianvendelsen i de energikonverterende erhverv). Husholdningernes adfærd med hensyn til energiefterspørgslen er således væsentlig for det samlede danske energiforbrug og de hermed forbundne emissioner.

Modellen rummer en adfærdsbestemmelse af husholdningernes efterspørgsel efter energi til opvarmning, el til andet end opvarmning samt transportenergi, jf. figur 2.2.1.

**Figur 2.2.1. Bestemmelsen af husholdningernes energiforbrug på langt sigt**



Forbruget af energi til *opvarmning* er en funktion af boligarealet, den relative pris på opvarmning, et målt indeks for effektiviteten i brugen af energi til opvarmning samt klimaet. Prisen på opvarmning dannes ved sammenvejning af priserne på underkomponenterne. Forbruget af *el til andet end opvarmning* er en funktion af husholdningernes samlede reale private forbrug, den relative pris på el samt et målt indeks for effektiviteten af husholdningernes bestand af elapparater. Forbruget af *transportenergi* er en funktion af husholdningernes bestand af biler, den relative pris på transportenergi, et

<sup>11</sup>Der henvises til ordlisten for en definition af begrebet bruttoenergiforbrug.

mål for bilparkens brændstoføkonomi samt en eksogen trend. Husholdningernes bestand af biler er en endogen variabel, der bestemmes i en anden ligning i ADAM.

Energi til opvarmning fordeles på underkomponenterne *el til opvarmning, naturgas, fjernvarme, fast brændsel og flydende brændsel* ved eksogene kvoter, der skal fastlægges af brugeren f.eks. ved at inddrage information uden for modellen.

Mens satellitmodellen for erhvervenes vedkommende (uden for transport og energiforsyning) udspreder det i ADAM bestemte energiforbrug på underkomponenter, er der altså for husholdningernes vedkommende tale om, at satellitmodellen direkte bestemmer energiforbruget helt *uafhængigt* af bestemmelsen i ADAM. Da ADAM rummer en alternativ bestemmelse af husholdningernes energiforbrug, findes der en facilitet, som gør det muligt at låse det af ADAM bestemte energiforbrug i husholdningerne fast på satellitmodellens resultater. For særlige energi- og miljøøkonomiske analyser vil satellitmodellens bestemmelse af husholdningernes energiforbrug nemlig være at foretrække for ADAM's.

### 2.2.1. Egenskaber

De tre adfærdsrelationer for husholdningernes efterspørgsel efter henholdsvis energi til opvarmning, el til anden anvendelse og transportenergi er alle specificeret som variationer over samme grundtema.

I alle tre tilfælde afhænger efterspørgslen efter den pågældende energikomponent for det *første* af en "*velstandsvariabel*" eller aktivitetsvariabel, som bestemmer niveauet for efterspørgslen alt andet lige. For opvarmning er det boligarealet, for el til anden anvendelse er det samlede private forbrug og for transportenergi er det bilparken. Gennem andre ligninger i ADAM er boligarealet, det samlede private forbrug og bilparken direkte og indirekte bestemt af bl.a. husholdningernes disponible realindkomst og reale formue. For det *andet* afhænger efterspørgslen af *prisen* på energikomponenten relativt til prisen på alle varer og tjenester i det private forbrug. For det *tredje* afhænger efterspørgslen af den *effektivitet*, hvormed brændslet udnyttes. For det *fjerde* indgår der *særlige* variable: Forbruget af energi til opvarmning afhænger af et udtryk for klimaet, og forbruget af transportenergi afhænger af udenlandske turisternes forbrug i Danmark samt en trend.

#### Efterspørgslen efter energi til opvarmning

Tabel 2.2.1 viser elasticiteterne i husholdningernes efterspørgsel efter energi til opvarmning, dvs. den procentvise ændring i dette energiforbrug, der følger af en isoleret stigning i hver af de forklarende variable på 1 pct.



**Tabel 2.2.1. Elasticiteter i husholdningernes efterspørgsel efter energi til opvarmning med hensyn til forskellige variabler i 1991**

Variabel	ADAM- navn	1. år	2. år	5. år	langt sigt
Boligareal medio året i m <sup>2</sup>	<i>Khm2</i>	1.00	1.00	1.00	1.00
Klimakorrektionsfaktor	<i>klima</i>	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
Pris på energi til opvarmning i alt	<i>pqjvc1</i>	-0.19	-0.27	-0.43	-0.62
▪ pris på el	<i>pqjec1</i>	-0.02	-0.03	-0.05	-0.07
▪ pris på naturgas	<i>pqjgc1</i>	-0.03	-0.04	-0.06	-0.08
▪ pris på fjernvarme	<i>pqjhc1</i>	-0.08	-0.11	-0.17	-0.25
▪ pris på fast brændsel	<i>pqjsc1</i>	0.00	0.00	-0.01	-0.01
▪ pris på flydende brændsel	<i>pqjfc1</i>	-0.07	-0.09	-0.15	-0.21
Inverse effektivitet <sup>1</sup>	<i>bqjvc1</i>	0.80	0.72	0.56	0.38

<sup>1</sup>Den inverse effektivitet er lig med 1 divideret med effektiviteten.

Anm. Priserne på el, naturgas, fjernvarme, fast brændsel og flydende brændsel sammenvejes til prisen på energi til opvarmning i alt i en separat ligning. Række 4-8 summer til række 3.

Det ses, at en tilvækst i *boligarealets* størrelse målt i kvadratmeter fører til en procentvis lige så stor tilvækst i opvarmningsforbruget såvel på kort sigt som på langt sigt.

En stigning i *klimakorrektionsfaktoren* på 1 pct. fører til et fald i opvarmningsforbruget på 1 pct. Klimakorrektionsfaktoren er en eksogen variabel, dvs. den bestemmes uden for modellen. Faktoren afhænger af antal graddage, der er en indikator for den klimatisk betingede variation i opvarmningsbehovet. Et fald i antal graddage på 1 pct. i forhold til det gennemsnitlige, svarende til et varmere år, indebærer, at klimakorrektionsfaktoren stiger med 0.63 pct., og at varmeforbruget derfor falder med 0.63 pct. Ved konstruktion af klimakorrektionsfaktoren er det nemlig forudsat, at 37 pct. af det klimakorrigerede forbrug af energi til opvarmning er klimauafhængigt.<sup>12</sup>

Hvis den *aggregerede pris* på energi til opvarmning vokser med 1 pct., falder forbruget med 0.62 pct. på langt sigt. Tilpasningshastigheden er dog ret langsom. Det første år falder forbruget med kun 0.19 pct., og efter 5 år er stadig kun godt 2/3 af tilpasningen gennemført. En årsag til den langsomme tilpasning er, at en vigtig del består af forøget isolering og lignende, som tager en vis tid at gennemføre.

Den *aggregerede pris* på opvarmning bestemmes ved sammenvejning af *priserne på underkomponenterne* el til opvarmning, naturgas, fjernvarme, fast brændsel og flydende brændsel. Vægtene afspejler underkomponenternes andele af de samlede energiudgifter til opvarmning. Når prisen på en underkomponent hæves, afspejler virkningen på det samlede forbrug af energi til opvarmning derfor blot den aggregerede priselasticitet vejet med underkomponentens andel af de samlede udgifter. For eksempel udgør eludgiften godt 10 pct. af de samlede udgifter til energi til opvarmning, hvorfor virkningen af en isoleret elprisforhøjelse på 1 pct. er godt 1/10 af virkningen, når alle underkomponenternes priser (og derfor også aggregatets pris) forhøjes med 1 pct.

*Virkningsgraden* er en sammenvejet indikator for den samlede lokale effektivitet i husholdningernes udnyttelse af de enkelte brændsler. Udviklingen i indikatoren afspejler

<sup>12</sup>En overvejende del af det klimauafhængige forbrug kan tilskrives forbruget af varmt vand.

for det *første* udviklingen i de enkelte brændsels lokale virkningsgrader. Et brændsels lokale virkningsgrad er den andel af brændslets energiindhold, der nyttiggøres lokalt hos husholdningen efter fradrag af lokale konverteringstab og ledningstab. For det *andet* afspejler udviklingen i indikatoren ændringer i *sammensætningen* af det samlede forbrug af energi til opvarmning på underkomponenter, da underkomponenternes lokale virkningsgrader er ret forskellige. I fremskrivninger og alternativ-eksperimenter kan viden om ændrede lokale virkningsgrader af de enkelte brændsler og ændret sammensætning af energiforbruget på de enkelte brændsler opsamles i indikatoren.

En stigning i den inverse virkningsgrad på 1 pct., dvs. et tilsvarende fald i energieffektiviteten, vil forøge energiforbruget med 0.80 pct. på kort sigt, aftagende til 0.38 pct. på langt sigt. Energiforbruget stiger altså ikke 1 pct. svarende til den formindskede brændsels-effektivitet. Årsagen er, at brændslet i effektive termer fordyres, hvorved forbrugerne substituerer væk fra det og over mod andre forbrugsvarer, der ikke er steget i pris og derfor er blevet relativt billigere.<sup>13</sup>

Fordelingen af det samlede forbrug af opvarmning på *underkomponenterne* el til opvarmning, naturgas, fjernvarme, fast brændsel og flydende brændsel sker ved kvoter, der er *eksogene*, dvs. de skal fastlægges af brugeren f.eks. ved at inddrage information uden for modellen. Hvis de relative priser på underkomponenterne ændres, sker der altså ikke automatisk nogen modelbestemt (endogen) ændring i underkomponenternes kvoter. Virkningen af en eventuelt ændret sammensætning på den aggregerede inverse lokale virkningsgrad må ligeledes bestemmes uden for modellen.

### Efterspørgslen efter el

Den *samlede* efterspørgsel efter el opdeles i efterspørgslen efter el til *opvarmning* og efterspørgslen efter el til *andre formål*. Tabel 2.2.2 viser elasticiteterne i elefterspørgslen, dvs. den procentvise ændring heri, der følger af en stigning på skift i hver af de forklarende variabler på 1 pct.

Efterspørgslen efter el til *opvarmning* bestemmes som angivet ovenfor. De øverste rækker i tabel 2.2.2 er således taget direkte fra tabel 2.2.1.

Elasticiteterne i efterspørgslen efter el til *andre formål* end opvarmning fremgår af de midterste rækker i tabel 2.2.2. En stigning i det samlede reale *private forbrug* på 1 pct. medfører en betragtelig tilvækst i forbruget af el til andet formål på 1.35 pct. på langt sigt, mens *priselasticiteten* kun er 0.30 pct. på langt sigt. Tilpasningstiden er dog lang. Førsteårsvirkningerne er væsentligt mindre, og efter 5 år er kun knap 3/4 af tilpasningen gennemført.

Den *inverse effektivitet* af elapparater er et indeks for det sammenvejede skønnede elforbrug per apparat for 20 typer elapparater. Vægtene i sammenvejningen afspejler de andele af det samlede elforbrug til andet formål, apparaterne tegner sig for. I fremskrivninger og alternativ-eksperimenter kan viden om ændret elforbrug for de enkelte

<sup>13</sup> En forringet brændselseffektivitet indebærer en effektiv prisforhøjelse af samme størrelse, fordi prisen på at opvarme et bestemt rum til en bestemt temperatur vokser i samme takt. Det virker i retning af mindsket forbrug i henhold til priselasticiteten. Det ses af tabel 2.2.1, at elasticiteten af den inverse virkningsgrad netop er lig med 1 plus priselasticiteten (bortset fra afrunding). Dette teoretiske fænomen er også beskrevet i afsnit 8.2.1 i Danmarks Statistik: *ADAM. En model af dansk økonomi. Marts 1995*. 1996.

apparater og en ændret sammensætning af elforbruget på de enkelte apparater opsamles i ændringer i dette indeks. En stigning i indekset, der afspejler en faldende effektivitet, indebærer isoleret en tilsvarende forøgelse af elforbruget. Analogt til opvarmning indebærer det også, at den effektive elpris vokser i samme takt, fordi en given ydelse fra elapparaterne nu opnås ved en tilsvarende højere eludgift. Det tilskynder isoleret set til et mindre elforbrug.<sup>14</sup>

Elasticiteterne i husholdningernes *samlede* elforbrug er et vejet gennemsnit af elasticiteterne for el til opvarmning og el til andre formål. Vægtene afspejler de to formåls andele af det samlede elforbrug. I 1991 udgjorde el til opvarmning 21 pct. af det samlede elforbrug.

**Tabel 2.2.2. Elasticiteter i husholdningernes efterspørgsel efter el med hensyn til forskellige variabler i 1991**

Variabel	ADAM- navn	1. år	2. år	5. år	langt sigt
<i>El til opvarmning</i>					
Boligbeholdning medio året i m <sup>2</sup>	<i>Kh<sub>m2</sub></i>	1.00	1.00	1.00	1.00
Klimakorrektionsfaktor	<i>klima</i>	-1.00	-1.00	-1.00	-1.00
Pris på el	<i>pqjec1</i>	-0.02	-0.03	-0.05	-0.07
<i>El til andet end opvarmning</i>					
Samlet private forbrug	<i>Cp4</i>	0.30	0.53	0.96	1.35
Pris på el	<i>pqjec1</i>	-0.07	-0.12	-0.21	-0.30
Invers effektivitet af elapparater	<i>bqjexvc</i>	0.93	0.88	0.79	0.70
<i>Samlet elforbrug</i>					
Boligbeholdning medio året i m <sup>2</sup>	<i>Kh<sub>m2</sub></i>	0.21	0.21	0.21	0.21
Klimakorrektionsfaktor	<i>klima</i>	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21
Samlet private forbrug	<i>Cp4</i>	0.23	0.41	0.75	1.06
Pris på el	<i>pqjec1</i>	-0.06	-0.10	-0.18	-0.25
Invers effektivitet af elapparater	<i>bqjexvc</i>	0.73	0.69	0.62	0.55

### Efterspørgslen efter transportenergi

Tabel 2.2.3 viser elasticiteterne i husholdningernes efterspørgsel efter transportenergi, dvs. den procentvise virkning på transportenergiefterspørgslen af en stigning i de respektive forklarende variabler på 1 pct.

En stigning i *antallet af biler* ultimo året har først virkning på transportenergiforbruget året efter, hvor det vokser 0.86 pct., hvilket er det samme som på helt langt sigt. Bag denne elasticitet dækker sig det forhold, at elasticiteten af de *danske* husholdningers benzinforbrug med hensyn til bilparken (ejet af danskere) er 1 på både kort og langt sigt. Husholdningernes samlede transportenergiforbrug indbefatter såvel de danske hushold-

<sup>14</sup>Derfor er den samlede elasticitet af elforbruget med hensyn til indekset netop lig med 1 plus priselasticiteten.

ningers som *udenlandske turisters* køb på dansk område. Det forudsættes, at udgiften til transportenergi udgør 6 pct. af værdien af turisteksporten, der består af udenlandske turisters samlede udgifter på dansk område. I 1991 svarede det til, at 14 pct. af det samlede forbrug af transportenergi på dansk område stammede fra udenlandske turister. En stigning i turisteksporten på 1 pct. afleder derfor en tilvækst i forbruget af transportenergi på 0.14 pct.

*Prisforhøjelser* har en væsentlig hurtigere virkning på husholdningerne forbrug af transportenergi end på deres forbrug af de andre energiarter. Priselasticiteten er således -0.43 første år og allerede i år 2 er næsten hele den langsigtede prisvirkning på -0.51 på slået igennem. Af denne langsigtsvirkning på -0.51 pct. tegner de danske husholdninger sig for -0.43 pct, mens de resterende -0.08 pct. skyldes, at udenlandske turisters efterspørgsel på dansk område falder.

**Tabel 2.2.3. Elasticiteter i husholdningernes efterspørgsel efter transportenergi med hensyn til forskellige variabler i 1991**

Variabel	ADAM- navn	1. år	2. år	5. år	langt sigt
<i>Bilparken eksogen</i>					
Bilparken ultimo	<i>Kcb</i>	0.00	0.86	0.86	0.86
Prisen på transportenergi	<i>pcg</i>	-0.43	-0.49	-0.51	-0.51
Bilparkens inverse brændselseffektivitet	<i>bfcg</i>	0.56	0.51	0.48	0.48
Trend <sup>2</sup>	<i>dtqjtc</i>	-0.47	-0.62	-0.69	-0.69
Turisteksport	<i>Et</i>	0.14	0.14	0.14	0.14
<i>Bilparken endogen</i>					
Disponible indkomst og formue <sup>1</sup>	<i>Wcp5, Yd9</i>	0.00	0.11	0.48	0.93
Prisen på transportenergi	<i>pcg</i>	-0.43	-0.50	-0.60	-0.69

<sup>1</sup>Begge variabler hæves samtidigt med 1 pct.

<sup>2</sup>Den årlige trend i 1991. Der er altså ikke tale om en elasticitet.

*Bilparkens inverse brændselseffektivitet* er målt som forholdet mellem bilparkens skønnede benzinforbrug og det skønnede trafikarbejde udført af personbilparken. En stigning i variabelen på 1 pct. har kun halv virkning på brændselsforbruget, fordi den ændrede brændselseffektivitet samtidig indebærer en prisændring i effektive termer analogt med modellen for opvarmningsforbruget.<sup>15</sup> I fremskrivninger og alternativ-eksperimenter kan viden om ændret gennemsnitlig benzinøkonomi af bilparken opsamles i ændringer i dette indeks.

Den historiske udvikling i husholdningernes transportenergiforbrug har forløbet med en årlig tilvækst, der systematisk er mindre, end ovenstående variabler har kunnet forklare. Det fremgår af adfærdsrelationens *trend*, jf. tabel 2.2.3. Denne systematiske forskel kan være udtryk for specifikationsfejl i adfærdsbeskrivelsen eller målefejl i variablerne. I fremskrivninger kan man ikke uden videre gå ud fra, at trenden vil fortsætte.<sup>16</sup>

<sup>15</sup> Elasticiteten med hensyn til brændselseffektiviteten er således lig med 1 plus priselasticiteten.

<sup>16</sup> En vigtig kilde til systematiske målefejl er, at danskeres køb af transportenergi i udlandet ikke indgår i transportenergiforbruget. Data herfor er ikke helt pålidelige, men omfanget har været stærkt voksende i den historiske periode. Med reverseringen af forholdet mellem danske og tyske priser på transportenergi i

I selve ADAM bestemmes udviklingen i bilparken via en estimeret investeringsteoretisk relation for (netto)anskaffelserne, jf. *ADAM. En model af dansk økonomi. Marts 1995*, Danmarks Statistik 1996, kapitel 4.2. Bilanskaffelserne afhænger blandt andet af husholdningernes disponible realindkomst og realformue samt prisen på transportenergi. Nederst i tabel 2.2.3 er angivet, hvordan elasticiteterne for transportenergi ser ud, hvis der i tillæg til de direkte virkninger øverst i tabellen tages højde for de indirekte virkninger gennem bilparken. Da bilparkens langsigtede indkomst- plus formueelasticitet kun er lidt større end 1, er transportbrændslernes langsigtede elasticitet med hensyn til indkomst og formue (0.93) kun lidt større end elasticiteten med hensyn til bilparken (0.86). På kort sigt er den endda mindre, fordi bilparken kun gradvist tilpasser sig større indkomst og formue. Priselasticiteten på langt sigt forhøjes numerisk fra -0.51 til -0.69, når der tages hensyn til, at bilparken er følsom overfor prisen på transportbrændsler.

## 2.2.2. Teori

Efterspørgslen efter *energi til opvarmning, el til andre formål og transportenergi* bestemmes i 3 adfærdsrelationer. Forbruget af energi til opvarmning fordeles på underkomponenterne *el til opvarmning, naturgas, fjernvarme, fast brændsel og flydende brændsel* ved eksogene andele.

Udgangspunktet for de 3 adfærdsrelationer er følgende overordnede model for efterspørgslen efter den pågældende energitype på langt sigt

$$\left(\frac{E^*}{I}\right) = f\left(K, \frac{C}{P}, \frac{P_E I}{P}, G, T\right) \quad (2.2.1)$$

$E^*$	Energiforbrug på langt sigt pr. capita
$I$	Indeks for invers brændselseffektivitet
$K$	Relevant kapitalapparat pr. capita
$C$	Samlede private forbrugsudgifter pr. capita
$P$	Prisindeks for samlet privat forbrug
$P_E$	Prisen på brændslet
$G$	Klimakorrektionsfaktor
$T$	Tiden

I de enkelte relationer kan en eller flere af variablerne udgå.

Modellen er formuleret i *effektivitetskorrigerede enheder*, hvor såvel den forbrugte mængde af brændslet som brændslets pris korrigeres for effektiviteten i energiudnyttelsen. En tilvækst i energieffektiviteten indebærer alt andet lige en stigning i energiforbruget målt i effektivitetsenheder og et modsvarende fald i brændslets effektive pris. Baggrunden for denne formulering er, at forbrugeren ikke har nytte af forbruget af brændslet i sig selv, men derimod af *effekten* af brændselsanvendelsen. Desuden sikrer formuleringen, at pris gange mængde i *effektive* enheder giver samme udgift som i observerede enheder.

---

begyndelsen af 1990'erne er den egentlige grænsehandel med benzin stort set ophørt. Det er et argument for, at trenden ikke bør forlænges uændret i fremskrivninger.

Formuleringen indebærer, at brændselseffektiviteten er udefra givet, dvs. *eksogen* for forbrugerne. I praksis er effektiviteten bestemt fra såvel udbudssiden (fremstillingen) som fra efterspørgselssiden (forbrugerne) bl.a. under indtryk af energiprisudviklingen: Det er virksomhederne, der udvikler og markedsfører den mere energieffektive teknologi, men det er forbrugerne, som bestemmer den hastighed, hvormed den installeres hos dem. I (2.2.1) bortses fra, at forbrugerne på denne måde selv kan påvirke effektiviteten bl.a. som reaktion på prisudviklingen. Implikationen er, at efterspørgslens prisfølsomhed undervurderes ved den økonometriske estimation.

Når denne specifikation alligevel er valgt, skyldes det, at det har vist sig vanskeligt at fastlægge den fra udbudssiden bestemte udvikling i energieffektiviteten troværdigt ved fri estimation på et trendled bl.a. som følge af skadelig multikollinearitet. Det er vurderingen, at modellen (2.2.1) er en tilstrækkelig brugbar tilnærmelse, da estimationerne af denne specifikation resulterer i prisfølsomheder, der er rimeligt store bl.a. set i lyset af resultaterne for andre lande. Som det fremgår nedenfor, forekommer udviklingen i energieffektiviteten kun at være lidet koblet til den seneste energiprisudvikling. Husholdningerne anskaffer og udskifter tilsyneladende primært de energiforbrugende apparater i takt med den almindelige nedslidning og forældelse og påvirket af den generelle konjunkturudvikling (indkomstudviklingen).

Efterspørgslen efter en energivare afhænger ifølge økonomisk teori også af det *samlede budget* samt *prisen på varen selv* og *priserne på alle andre varer*. Ifølge standard-teorien opfylder forbrugeradfærden en række restriktioner, der kan opsummeres i de såkaldte Slutsky-ligninger.<sup>17</sup> I ADAM bestemmes husholdningernes efterspørgsel efter de fleste forbrugskomponenter på en gang i et samlet såkaldt komplet forbrugssystem, der overholder Slutsky-ligningerne. Erfaringen har imidlertid vist, at efterspørgslen efter de forskellige energityper ikke altid bliver bestemt med stor pålidelighed i et sådant system.<sup>18</sup> Derfor fortrækkes det at arbejde med mere ad-hoc prægede enkeltligningsrelationer for energiefterspørgslen, hvor funktionsformerne ikke overholder Slutsky-ligningerne, men stadig rummer de forklarende variabler, der er relevante i henhold til økonomisk teori.<sup>19</sup>

Det "*relevante kapitalapparat*" er en fælles benævnelse, der dækker over begrebsmæssigt forskellige størrelser. For forbruget af energi til opvarmning er det boligarealet, og for transportenergi er det bilparken. For forbruget af el til anden anvendelse ville den relevante størrelse være bestanden af elapparater hos husholdningerne, men modsat de to andre kapitalstørrelser bestemmes denne variabel ikke i forvejen i ADAM, og den er derfor udeladt.<sup>20</sup> Bestanden af elapparater hos husholdningerne afhænger igen bl.a. af det samlede

<sup>17</sup> Restriktionerne er adding-up, homogenitet af nul'te grad i priser og budget, Slutsky-symmetri og negativitet. Slutsky-ligningerne gælder for den enkelte forbruger og holder ikke umiddelbart for summen af forbrugere. I ADAM's forbrugssystem forudsættes, at den aggregerede forbrugeradfærd kan beskrives ved en repræsentativ forbruger, der opfylder Slutsky-ligningerne.

<sup>18</sup> ADAM's forbrugssystem er modelleret som det såkaldte lineære udgiftssystem, hvor der lægges stærke teoretiske restriktioner på parametrene. Det er en af grundene til, at det erfaringsmæssigt er svært at bestemme efterspørgslen efter forskellige energiarter i det lineære udgiftssystem.

<sup>19</sup> Ud af de 4 nævnte teoretiske restriktioner overholdes ikke adding-up og Slutsky-symmetri. Adding-up betingelsen er ikke relevant, fordi energiudgiften udgør en lille andel af de samlede forbrugsudgifter. Af samme grund og for enkelheds skyld undlades det at hive energipriserne ud af det samlede prisindeks, *P*.

<sup>20</sup> I ADAM's model af boligmarkedet bestemmes boligbeholdningen i faste 1980-priser. Det omregnes til boligarealet målt i m<sup>2</sup> ved brug af en korrektionsfaktor.

private forbrug, og der foretages i stedet en direkte bestemmelse af den samlede direkte og indirekte sammenhæng mellem elforbruget og det samlede reale private forbrug.

*Klimakorrektionen* er kun relevant for bestemmelsen af forbruget af energi til opvarmning. Klimakorrektionsfaktoren er 1 i et normalt år. Et klimatisk betinget fald i varmebehovet på  $x$  pct. i forhold til normalåret forhøjer klimafaktoren til  $1+x$  og omvendt for et koldere år.

*Tiden* indgår som repræsentant for eventuelle udeladte forklarende variabler. Da energieffektiviteten indgår som en selvstændig variabel i relationen, kan tiden ikke som i afsnit 2.2 fortolkes som repræsentant for tekniske fremskridt.

Som en *approximation* til den ukendte underliggende langsigts-funktionsform (2.2.1) vælges den *log-lineære* form

$$\log(E^*/I) = \alpha^* + \beta_K^* \log(K) + \beta_C^* \log(C/P) + \Phi^* \log(P_E \cdot I/P) + \pi^* \log(G) + \tau^* T \quad (2.2.2)$$

hvor *log* betegner naturlig logaritme. Specifikationen har den fordel, at den er enkel, og at koefficienterne (angivet med græske bogstaver) kan fortolkes som elasticiteter.

For eksempel er parameteren  $\Phi^*$  lig med elasticiteten af det effektivitetskorrigerede energiforbrug med hensyn til den effektivitetskorrigerede relative energipris. Toptegnet  $*$  angiver, at der er tale om en langsigtselasticitet. Parameteren  $\tau^*$  er dog lig med den procentvise ændring i det effektivitetskorrigerede energiforbrug ved en ændring i  $T$  på en enhed (semielasticitet), da der ikke tages logaritmen til  $T$ .

Ligning (2.2.2) kan umiddelbart omformes til

$$\log(E^*) = \alpha^* + \beta_K^* \log(K) + \beta_C^* \log(C/P) + \Phi^* \log(P_E/P) + (1 + \Phi^*) \log(I) + \pi^* \log(G) + \tau^* T \quad (2.2.3)$$

Det viser, at en stigende effektivitet i brændselsudnyttelsen ( $I$  falder) vil mindske forbruget, hvis  $\Phi^* > -1$ , dvs. hvis priselasticiteten er numerisk mindre end 1, og efterspørgslen dermed er uelastisk. Til estimationsformål opskrives (2.2.3) på formen

$$\begin{aligned} \log(\tilde{E}^*) &= \log(E^* \cdot G / (I \cdot K)) \\ &= \alpha^* + (\beta_K^* - 1) \log(K) + \beta_C^* \log(C/P) + \Phi_p^* \log(P_E/P) \\ &\quad + \Phi_i^* \log(I) + (\pi^* + 1) \log(G) + \tau^* T \end{aligned} \quad (2.2.4)$$

På venstresiden i (2.2.4) står det effektivitets- og klimakorrigerede energiforbrug per enhed af kapitalapparatet. Det er hypotesen, at det netop er denne størrelse, som afhænger af det reale private forbrug, den effektivitetskorrigerede relative energipris samt tiden. Formuleringen gør det nemt at teste hypotesen ved at estimere (2.2.4) med OLS. Hvis hypotesen er korrekt, skal  $\beta_K^* = 1$ ,  $\pi^* = -1$ , og  $\Phi_p^* = \Phi_i^*$  (udover at  $\beta_C^* \neq 0$ ,  $\Phi_p^* \neq 0$ , og  $\tau^* \neq 0$ ). Såfremt  $\beta_K^* \neq 1$ , er venstresiden af (2.2.4) korreleret med kapitalapparatet. I så fald er det fejlagtigt at binde  $\beta_K^*$  til 1, sådan som hypotesen tilsiger. Tilsvarende vil  $\pi^* \neq -1$ , hvis

klimakorrekturen systematisk er fejlagtig, og  $\Phi_p^* \neq \Phi_i^*$ , hvis det ikke er de effektivitetskorrigerede priser, der er afgørende for forbrugernes reaktioner.

På kort sigt antages der kun at ske en ufuldstændig tilpasning til langsigsrelationen (2.2.3). Det beskrives konkret ved *fejlkorrektionsmodellen*

$$\begin{aligned} D\log(\tilde{E}) = & (\beta_K - 1)D\log(K) + \beta_C D\log(C/P) \\ & + \Phi_P D\log(P_E/P) + \Phi_I D\log(I) + (\pi^* + 1)D\log(G) \\ & + \gamma [\log(\tilde{E}^*) - \log(\tilde{E})]_{-1} \end{aligned} \quad (2.2.5)$$

hvor

$$\tilde{E} = E \cdot G / (I \cdot K)$$

Koefficienterne til variableerne i årlige log-ændringer angiver førsteårselasticiteterne, mens parameteren  $\gamma$  angiver tilpasningshastigheden fra år to og frem. For eksempel er  $\beta_C$  lig med førsteårsvirkningen af en ændring i  $C/P$ . Fra år to og frem tilpasser forbruget sig gradvist langsigtvirkningen  $\beta_C^*$ . Hvis  $\gamma$  er tæt på nul, er tilpasningen langsom. Hvis  $\gamma=1$ , er tilpasningen øjeblikkelig. Da koefficienten til  $D\log(G)$  er  $1+\pi^*$  forudsættes det, at klimavirkningen er den samme på kort og langt sigt.

I de konkrete estimationer, der præsenteres nedenfor, er flere af parametrene i (2.2.5) på forhånd bundet. Hvilke restriktioner, der er tale om, afhænger af den konkrete efterspørgselsrelation. I alle tilfælde er det ved hjælp af statistiske tests fundet, at restriktionerne statistisk ikke kan afvises.<sup>21</sup> Et generelt resultat er, at variableerne  $K$  og  $C$  ikke kan indgå samtidigt i relationerne (heller ikke de respektive ændringer heri). Det gælder også, hvis  $\beta_K^*$  (og  $\beta_K$ ) bindes til 1. Det skyldes, at  $K$  og  $C/P$  er tæt korrelerede i den historiske periode og er ikke nødvendigvis udtryk for, at begge variable ikke indgår i de "sande" efterspørgselsrelationer.

<sup>21</sup>For forbruget af el til andre formål afstås dog på forhånd fra at operere med et kapitalapparat, dvs.  $\log(K)$  udgår af ligningen, af hensyn til samspillet med den øvrige del af ADAM, jf. ovenfor. For forbruget af el til andre formål og for forbruget af transportenergi er klimakorrektion ikke relevant, dvs.  $\log(G)$  udgår af ligningerne. De fleste af testresultaterne er dokumenteret i Andersen og Trier (1995, kapitel I.4). Her dokumenteres bl.a. også forsøg på at identificere asymmetri og irreversibilitet i efterspørgslens reaktion på prisændringer. I ingen tilfælde findes sådanne fænomener at være statistisk signifikante.



### Efterspørgslen efter energi til opvarmning

Virkningsgraden i husholdningernes energiforbrug til opvarmning er en eksogen variabel. Den er defineret som en sammenvejning af de 5 indgående brændslers lokale virkningsgrader, hvor vægten er deres andele af det samlede nettoenergiforbrug.

$$V_{varme} = \sum_{i=1}^5 \frac{E_i}{\sum_{i=1}^5 E_i} \cdot V_i, \quad I_{varme} = V_{varme}^{-1} \quad (2.2.6)$$

- $V_{varme}$  Aggregeret virkningsgrad i husholdningernes opvarmning
- $E_i$  Husholdningernes nettoforbrug af energitype  $i$  til opvarmning
- $V_i$  Lokal virkningsgrad for energitype  $i$
- $I_{varme}$  Invers aggregeret virkningsgrad i husholdningernes opvarmning

Talstørrelserne fremgår af tabel 2.2.4.

**Tabel 2.2.4. Beregning af aggregeret lokal virkningsgrad i husholdningernes forbrug af energi til opvarmning**

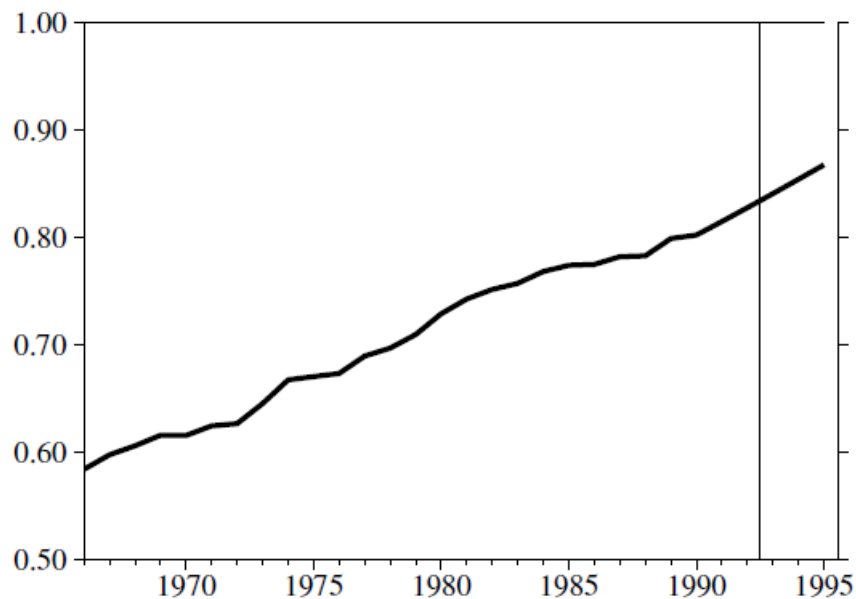
Brændsel	1966		1991	
	Vægt	Virkningsgrad	Vægt	Virkningsgrad
1. El	.003	.97	.054	.97
2. Naturgas	.000	.	.167	.77
3. Fjernvarme	.117	.85	.435	.91
4. Fast brændsel	.338	.51	.026	.76
5. Flydende brændsel	.543	.57	.318	.70
I alt	1.000	.58	1.000	.82

Anm. Konsistente og komplette data for virkningsgrader findes kun tilbage til 1972. For hvert brændsel forudsættes virkningsgraderne i 1966-71 at være lig med virkningsgraden i 1972.

Kilde Data til HYBRIS-modellen, jf. Jacobsen, Morthorst, Nielsen og Stephensen (1996, kapitel 6) og egne beregninger.

Den aggregerede virkningsgrad er vokset med 24 pct.-point fra 58 pct. i 1966 til 82 pct. i 1991 svarende til en gennemsnitlig årlig vækst på 1.4 pct. Tilvæksten kan dels tilskrives stigende virkningsgrader for de fleste af de 5 underliggende brændsler dels substitution fra flydende og fast brændsel, som har forholdsvis lave virkningsgrader, over mod naturgas og fjernvarme, der har forholdsvis høje virkningsgrader. En vigtig del af tilvæksten kan således tilskrives udbygningen af fjernvarme- og naturgasnettet, der i høj grad er et resultat af beslutninger, som er taget af andre end husholdningerne selv. Det fremgår da også af figur 2.2.2, at stigningen i virkningsgraden er forløbet ret jævnt og uden en synlig direkte sammenhæng med udviklingen i forbrugerprisen på opvarmning. Derfor betragtes virkningsgraden som eksogen for forbrugeradfærden.

Figur 2.2.2. Virkningsgrad i husholdningernes forbrug af brændsel til opvarmning



Estimationsresultaterne fremgår af tabel 2.2.5. Restriktionerne på (2.2.5), der fremgår af fodnoten til tabellen, indebærer, at det, der i realiteten bestemmes, er *enhedsforbruget*, dvs. det klimakorrigerede varmebehov pr. m<sup>2</sup> boligareal, hvor varmebehovet er det effektivitetskorrigerede direkte forbrug af energi til opvarmning.

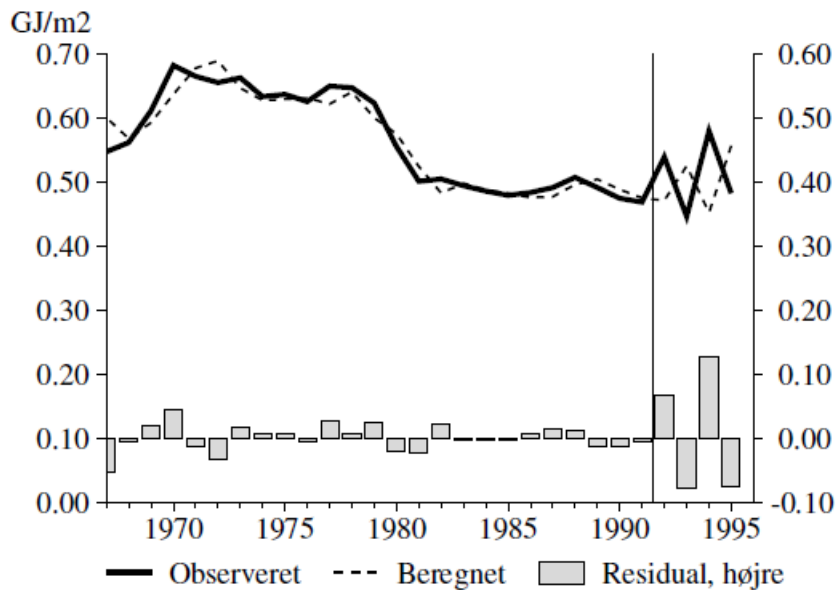
Tabel 2.2.5. Estimation af ligning for enhedsforbruget<sup>1</sup>

Variabel	ADAM-navn	Koefficient	Spredning
Ændring i enhedsforbrug	$D\log(qJvc \cdot klima / (Khm2 \cdot bqjvc))$		
Konstantled		$\alpha$	-0.4237 0.1511
Effektiv relativ prisændring	$D\log(pqjvc1 \cdot bqjvc / pcp4v)$	$\Phi$	-0.1955 0.0704
Lagget enhedsforbrug	$\log(qJvc \cdot klima / (Khm2 \cdot bqjvc))_{-1}$	$\gamma$	0.1862 0.0997
Lagget effektiv relativ pris	$\log(pqjvc1 \cdot bqjvc / pcp4v)_{-1}$	$\gamma\Phi^*$	-0.1158 0.0379

Anm.  $n = 1967-1995$ ,  $s = 0.038$ ,  $R^2 = 0.473$ ,  $DW = 1.61$ ,  $LM_1 = 0.07$   
<sup>1</sup> Restriktioner i (2.2.5):  $\beta_K = \beta_K^* = 1$ ,  $\phi_p = \phi_i = \phi$ ,  $\phi_p^* = \phi_i^* = \phi^*$ ,  $\beta_C = \beta_C^* = 0$ ,  $\pi^* = 1$ ,  $\tau^* = 0$ .  
 Relationen er estimeret med OLS. Til brug for figur 2.2.4 er relationen reestimeret med NLS, hvorved der opnås et direkte (identisk) estimat på langsigtspiselasticiteten  $\Phi^*$  og spredningen herpå.

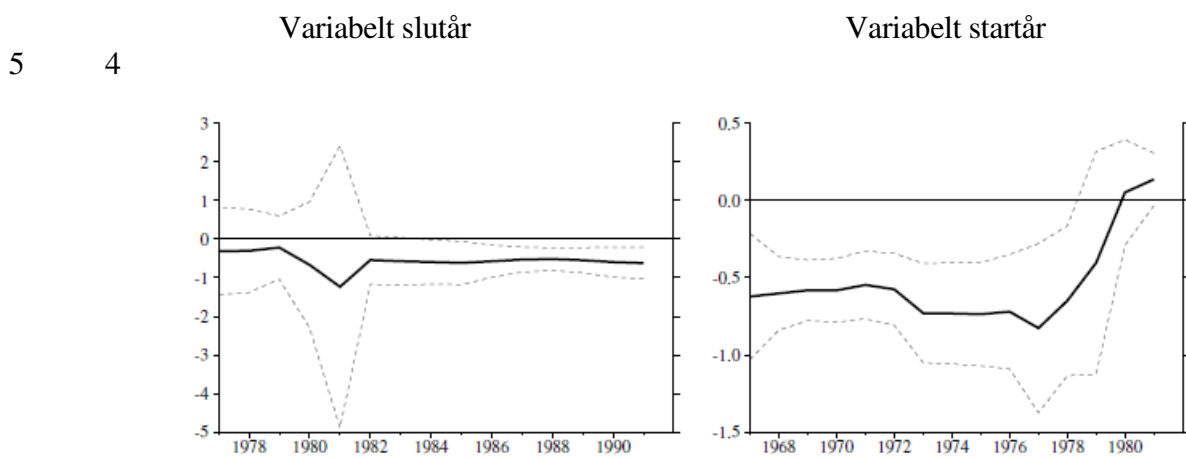
Figur 2.2.3 illustrerer, at enhedsforbruget historisk rummer to bratte niveauskift. Ved slutningen af 1960'erne voksede enhedsforbruget betydeligt i forbindelse med en hurtig udfasning af fast brændsel til fordel for flydende brændsel. Første olieprisforhøjelse i 1974 afledte kun et mindre fald i enhedsforbruget, mens anden olieprisforhøjelse omkring 1980 resulterede i et markant fald i enhedsforbruget.

**Figur 2.2.3. Den historiske forklaringssevne for relationen for enhedsforbruget, GJ/m<sup>2</sup>**



Figur 2.2.4 illustrerer følgelig, at observationerne omkring anden oliekrise er afgørende for estimatet på langsigtpriselasticiteten.

**Figur 2.2.4. Parameterstabilitet: priselasticitet på langt sigt**



**Efterspørgslen efter el til andre formål**

Som udtryk for den inverse *brændselseffektivitet* i husholdningernes beholdning af elapparater er beregnet et aggregeret indeks for det årlige elforbrug pr. apparat i 20 af husholdningernes vigtigste elapparater. Indekset er en eksogen variabel, der er defineret som

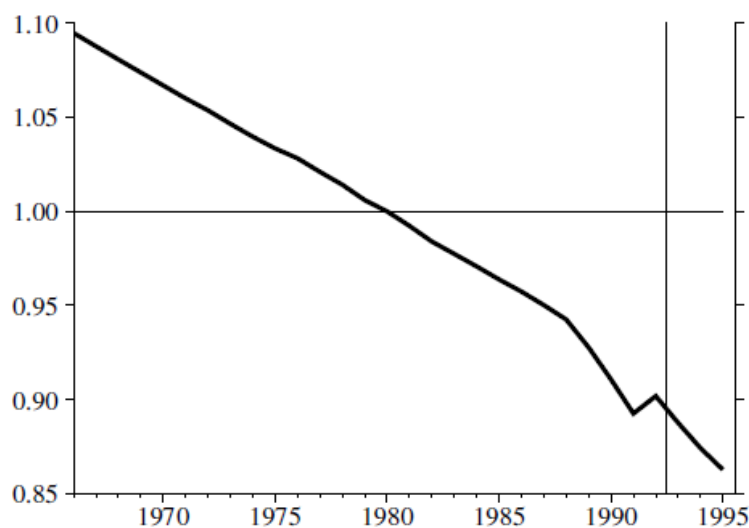
$$I_{el} = \sum_{i=1}^{20} v_i \cdot \left( \frac{KWH_i}{A \cdot D_i} \right)_{1989=1}, \quad v_i = \frac{KWH_i}{\sum_{i=1}^{20} KWH_i} \quad (2.2.7)$$

- $I_{el}$  Aggregeret indeks for elforbrug pr. apparat
- $KWH_i$  Samlet elforbrug for apparat  $i$  i boligsektoren
- $A$  Antal boliger
- $D_i$  Dækningsgrad for elapparat  $i$  i boligsektoren
- $v_i$  Apparat  $i$ 's vægt i sammenvæjningen

$A \cdot D_i$  angiver det samlede antal apparater af typen  $i$  i boligsektoren.  $KWH_i / (A \cdot D_i)$  er det gennemsnitlige elforbrug pr. apparat af typen  $i$ , som sammenvæjes med vægte, der afspejler apparat  $i$ 's vægt i årets samlede elforbrug. Variablerne  $KWH_i$ ,  $A$  og  $D_i$  indgår i DEFU's fremskrivningsmodel ELMODEL-bolig. Her er  $A$  eksogen, mens  $D_i$  bestemmes bl.a. ud fra antagelser om markedsindtrængning, og  $KWH_i$  afhænger af elforbruget i de forskellige årgange af apparat  $i$  samt bestandens størrelse og sammensætning.  $KWH_i$  er opgjort under forudsætning om konstant brugshyppighed. Virkningen på den aggregerede effektivitet af, at husholdningerne anskaffer nye og elbesparende apparater, samt at sammensætningen af husholdningernes apparatbestand på typer ændres, kan derfor beregnes ved hjælp af ELMODEL-bolig.

Det sammenvæjede indeks for elforbrug pr. apparat er faldet 18.8 pct. fra 1966 til 1991 eller gennemsnitligt 0.8 pct. årligt. Som figur 2.2.5 viser, er den historiske udvikling i det aggregerede indeks forløbet ret jævnt og tilsyneladende ret uafhængigt af pris- og konjunkturudviklingen. For de enkelte apparater er udviklingen imidlertid forløbet forskelligt, og der er sket vigtige vægtforskydninger. Tabel 2.2.6 nedenfor angiver de konkrete talstørrelser.

**Figur 2.2.5. Invers effektivitet i husholdningernes forbrug af el til andet end opvarmning, indeks 1980=1**



**Tabel 2.2.6. Aggregeret invers effektivitet i husholdningernes forbrug af el til andet end opvarmning**

Elapparat	1970			1991		
	Vægt	Elforbrug pr. apparat		Vægt	Elforbrug pr. apparat	
		kWh pr. år	Indeks, 1989=1		kWh pr. år	Indeks, 1989=1
1. Cirkulationspumpe	.105	270	1.37	.038	176	.89
2. Diverse	.055	119	.30	.128	417	1.07
3. Elbageovn	.023	115	.83	.037	132	.95
4. Elkøgeplader	.107	530	1.10	.130	480	1.00
5. Farve TV 1	.003	359	1.64	.055	198	.90
6. Farve TV 2	.000	.	.	.003	78	.97
7. Kombiskab	.057	1118	1.51	.078	706	.96
8. Kummefryser 1	.084	747	1.05	.080	682	.96
9. Kummefryser 2	.011	361	1.17	.009	292	.94
10. Køleskab med frostboks	.074	457	1.29	.030	344	.97
11. Køleskab uden frostboks	.070	331	1.04	.033	310	.97
12. Lavenergipærer	.000	.	.	.006	25	.84
13. Glødelamper	.227	27	.93	.168	27	.92
14. Mikrobølgeovn	.000	.	.	.003	64	.78
15. Opvaskemaskine	.011	641	1.19	.034	498	.93
16. Skabfryser	.024	710	1.18	.026	593	.99
17. Sort/hvid TV	.068	197	1.98	.003	93	.93
18. Tørretumbler	.001	679	.79	.043	875	1.02
19. Vandseng	.000	.	.	.021	781	.96
20. Vaskemaskine	.078	526	1.20	.076	421	.96
I alt	1.000		1.14	1.000		.97
I alt, indeks 1980=1			1.10			.94

Anm. Der foreligger ikke komplette data før 1970. Det samlede indeks er ført tilbage fra 1970 til 1966 med den gennemsnitlige årlige vækstrate fra 1971 til 1974. Elforbruget til de 4 resterende apparater i ELMODEL-bolig, elvandvarmer, elvarme, naturgasfyr og oliefyr er henført til forbruget af el til opvarmning.

Kilde DEFU (1995) og egne beregninger.

Effektivitetsindekset betragtes derfor som eksogent for forbrugeradfærden. Det indebærer bl.a., at virkningen på elforbruget af variationer i

- Apparatbestandens sammensætning på *apparatyper*
- Sammensætning på *årgange* i bestanden af den enkelte type må bestemmes udenfor modellen f.eks. ved hjælp af ELMODEL-bolig.<sup>22</sup>

Med eksogent effektivitetsindeks afhænger elefterspørgslen alene af

- *Bestanden* af elforbrugende apparater
- *Brugshyppigheden* af apparaterne (den fælles brugshyppighed)

<sup>22</sup> Begge forhold kan tænkes at afhænge af den reale elpris, men det er ikke modelleret i ELMODEL-bolig.

Det antages, at bestanden og brugshyppigheden er en funktion af det samlede reale private forbrug (realindkomsten) og den effektive reale elpris. For at undgå at operere med bestanden af elapparater i modellen er bestanden udeladt af ligning (2.2.5) og elforbruget bliver derved alene en funktion af det samlede reale private forbrug og den reale elpris.

Estimeringsresultaterne fremgår af tabel 2.2.7. Kun estimatet på tilpasningshastigheden,  $\gamma$ , er signifikant forskellig fra nul på et 5 pct. signifikansniveau. Koefficienten til elprisen overstiger kun dens standardafvigelse med godt 10 pct.<sup>23</sup> Figur 2.2.6 viser, at den estimerede relation kun fanger de meget grove tendenser i udviklingen i elforbruget, mens de betragtelige udsving i dets tilvækst, der forekommer i flere år, ikke fanges.

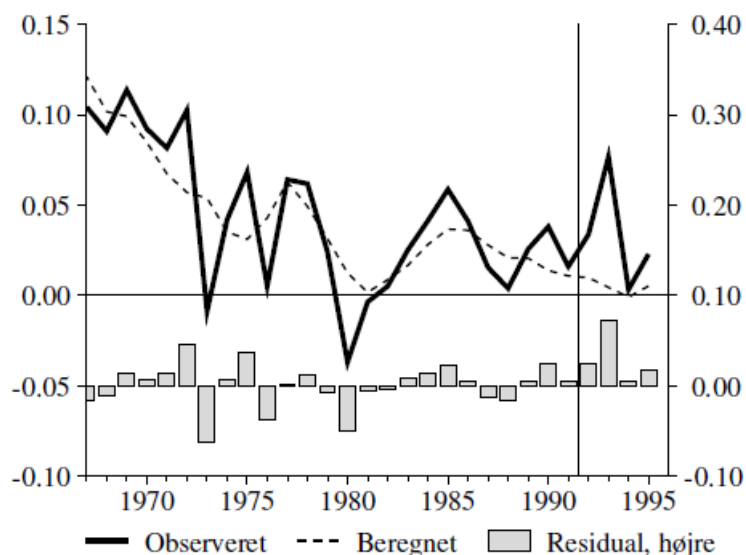
**Tabel 2.2.7. Estimation af ligning for forbruget af el til andre formål<sup>1</sup>**

Variabel	ADAM-navn	Koefficient	Spredning
Ændring i elforbrug pr. capita	$D\log(qJexvc/(U \cdot bqjexvc))$		
Konstantled		$\alpha$	■0.8820 0.5467
Real privat forbrug pr. capita	$\log(Cp4/(U \cdot pcp4v))$	$\gamma\beta_C^*$	0.2963 0.1743
Effektiv relativ pris	$\log(pqjec1 \cdot bqjexvc/pcp4v)$	$\gamma\Phi^*$	■0.0662 0.0594
Lagget elforbrug pr. capita	$\log(qJexvc/(U \cdot bqjexvc))_{-1}$	$\gamma$	0.2196 0.0756

Anm. n = 1967-91 s = 0.0261 R<sup>2</sup> = 0.628 DW = 2.29 (LM<sub>1</sub> = 0.70)

<sup>1</sup>Restriktioner i (2.2.5):  $\beta_C = \gamma\beta_C^*$ ,  $\Phi_p = \Phi_i = \Phi$ ,  $\Phi_p^* = \Phi_i^* = \Phi^*$ ,  $\Phi = \gamma\Phi^*$ ,  $\tau^* = 0$ . Variableerne K og G udgår på forhånd. Relationen er estimeret med OLS. Til brug for figur 2.2.7 er relationen reestimeret med NLS, hvorved der opnås et direkte (identisk) estimat på langsigtspiselasticiteten,  $\Phi^*$ , elasticiteten med hensyn til det samlede private forbrug pr. capita,  $\beta_C^*$ , og spredningerne herpå.

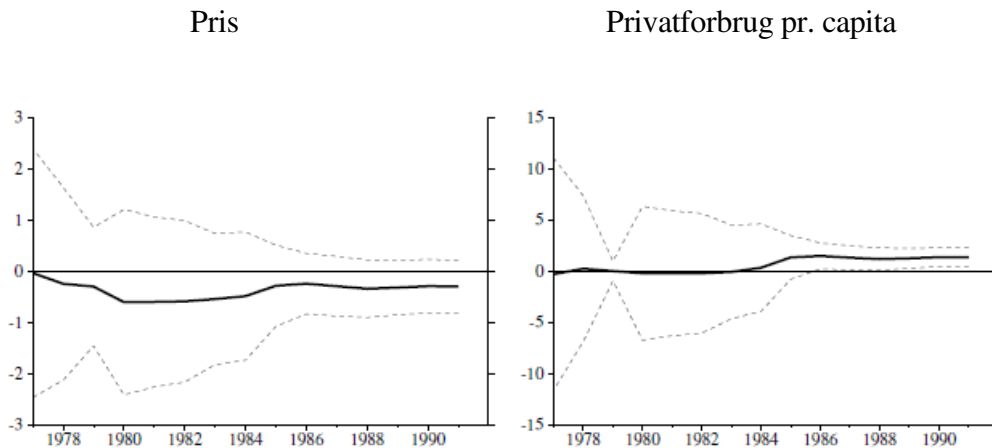
**Figur 2.2.6. Den historiske forklaringssevne for relationen for det effektivitets korrigerede forbrug af el til andre formål, relative årlige ændringer**



<sup>23</sup> Hvis effektivitetskorrektionen helt udelades, fås næsten helt samme estimat på priselasticiteten, mens estimatet på elasticiteten med hensyn til det samlede private forbrug falder fra 1.35 til 1.1.

De store udsving i elforbrugets vækstrate er vanskelige at forklare. Figur 2.2.7 viser, at estimaterne på langsigtselasticiteterne er noget ustabile, og at variansen er stor. Trods de insignifikante koefficientestimater foretrækkes det at benytte den estimerede relation af teoretiske grunde.

**Figur 2.2.7. Parameterstabilitet: langsigtselasticiteter**

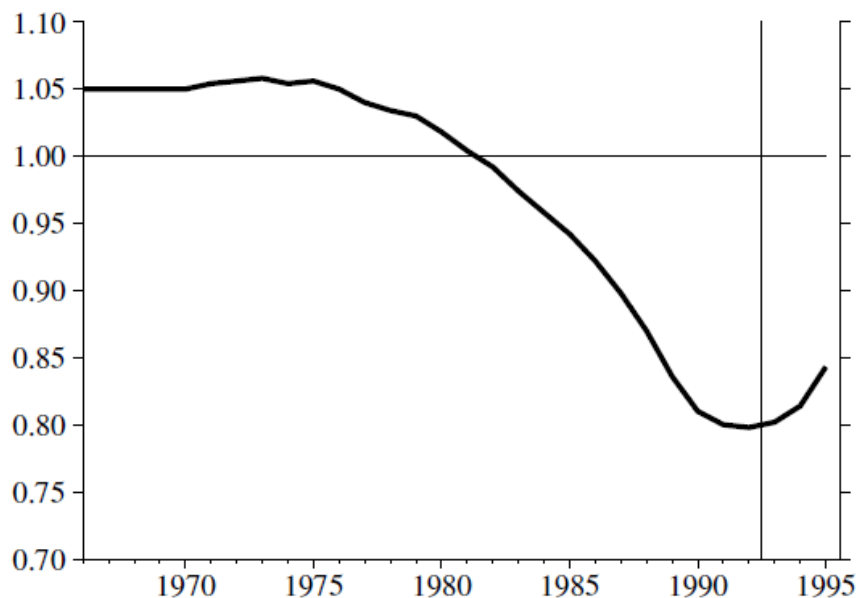


7 6

**Efterspørgslen efter transportenergi**

Figur 2.2.8 viser det benyttede indeks for *brændselseffektiviteten* i husholdningernes forbrug af transportenergi.

**Figur 2.2.8. 5 års glidende gennemsnit af indeks (1980=1) for invers brændsels effektivitet i husholdningernes forbrug af transportenergi**



Anm. Primær data kan kun føres tilbage til 1970. For 1955-69 antages, at indekset antager samme værdi som i 1970.

Kilde Bjørner (1994) og egne beregninger.

Indekset er et 5 års glidende gennemsnit af Bjørners (1994) beregning af udviklingen i forholdet mellem salg af motorbenzin til private husholdninger og det udførte trafikarbejde med husholdningernes motorkøretøjer. Indekset er altså afledt indirekte af anden statistik og er ikke baseret på direkte fysiske mål af køretøjernes benzinøkonomi. Det indebærer en ekstra usikkerhed, og for at udjævne de årlige udsving er der taget 5 års glidende gennemsnit.

Ifølge Bjørners beregninger er brændstoføkonomien pr. køretøj steget fra 10.4 km/l i 1970 til 13.3 km/l i 1991 eller gennemsnitligt 1.2 pct. årligt. Det er valgt, at betragte indekset som en eksogen variabel, fordi det langt hen ad vejen afspejler fremkomsten af mere benzinøkonomiske biler. Herved bortses i adfærdsbestemmelsen fra, at forbrugerne har mulighed for selv at påvirke benzinøkonomien ved at anskaffe mere benzinøkonomiske biler inden for en given årgang, hvilket primært er biler med lavere vægt og mindre motorstørrelse.

Forbruget af transportenergi måles her i faste 1980-priser. Da transportenergi er et ret homogent, usammensat brændsel er udviklingen i forbruget målt i faste 1980-priser forholdsvis sammenfaldende med forbruget målt i TJ. Ved at måle forbruget i faste priser kan serien føres længere tilbage og relationen kan eventuelt udnyttes direkte i selve ADAM.

Estimationsresultaterne fremgår af tabel 2.2.8. Alle parameterestimater er statistisk signifikante på et 5 pct. niveau.

**Tabel 2.2.8. Estimation af ligning for danskeres effektivitetskorrigerede forbrug af transportenergi pr. køretøj<sup>1</sup>**

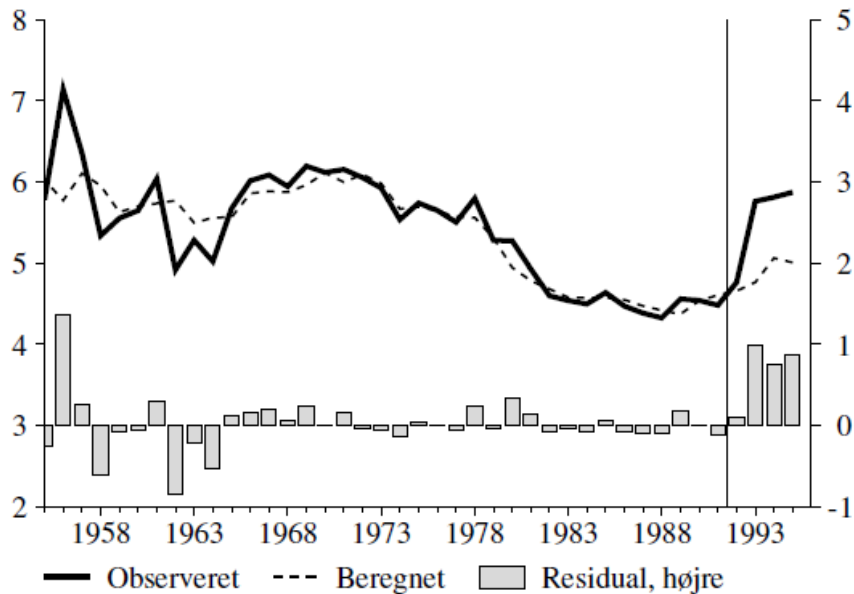
Variabel	ADAM-navn	Koefficient	Spredning	
Ændring i forbruget pr. køretøj	$D\log((fCg-0.06 \cdot Et/pcg)/(Kcb(-1) \cdot bfcg))$			
Konstantled		$\alpha$	1.2638	0.3158
Effektiv relativ prisændring	$D\log(pcg \cdot bfcg/pcp4v)$	$\Phi$	-0.3403	0.1737
Lagget forbrug pr. køretøj	$\log((fCg-0.06 \cdot Et/pcg)/(Kcb(-1) \cdot bfcg))_{-1}$	$\gamma$	0.6884	0.1701
Lagget effektiv relativ pris	$\log(pcg \cdot bfcg/pcp4v)_{-1}$	$\gamma\Phi^*$	-0.2990	0.1108
Tid	<i>tid-1947</i>	$\gamma\tau^*$	-0.0055	0.0019

Anm.  $n = 1955-91$ ,  $s = 0.0606$ ,  $R^2 = 0.462$ ,  $DW = 2.00$ ,  $LM_1 = 0.02$   
<sup>1</sup> Restriktioner i (2.2.5):  $\beta_K = \beta_K^* = 1$ ,  $\beta_C = \beta_C^* = 0$ ,  $\Phi_p = \Phi_i = \Phi$ ,  $\Phi_p^* = \Phi_i^* = \Phi^*$ ,  $\beta_C = \beta_C^* = 0$ . Variablen  $G$  udgår på forhånd. Relationen er estimeres med OLS. Til brug for figur 2.2.10 er relationen reestimeret med NLS, hvorved der opnås et direkte (identisk) estimat på langsigtsprielasticiteten  $\Phi^*$  samt spredningen herpå.

Figur 2.2.9 viser, at relationen ikke kan beskrive de store udsving i forbruget af transportenergi i slutningen af 1950'erne og begyndelsen af 1960'erne. Derimod fanges niveauskiftene ved de to store olieprisforhøjelser i 1970'erne.

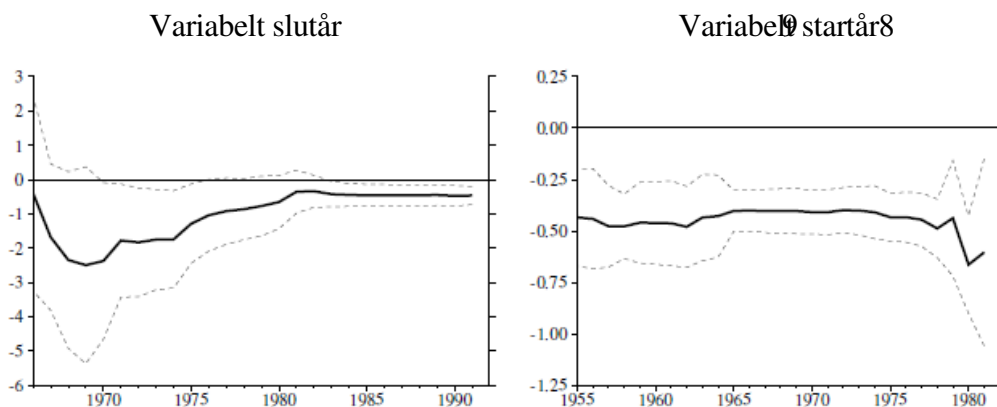


**Figur 2.2.9. Den historiske forklaringssevne for relationen for forbruget af transportenergi pr. køretøj, 1980-priser pr. 1000 køretøjer**



De rekursive estimationer i figur 2.2.10 viser, at observationerne omkring anden olieprisforhøjelse i 1979-80 er afgørende for estimatet på den langsigtede priselasticitet.

**Figur 2.2.10. Parameterstabilitet: priselasticitet på langt sigt**



### 2.2.3. Implementering i ADAM

ADAM rummer i forvejen en komplet bestemmelse af det samlede private forbrug fordelt på komponenter. Satellitmodellen rummer derfor faciliteter, der tvinger ADAM's almindelige bestemmelse op på satellitmodellens resultater. De konkrete ligninger er listet nedenfor. For en forklaring på variabelnavnene henvises generelt til variabellisten, der fås som arbejdsrapport ved henvendelse til Danmarks Statistik.

1.  $k_{hm2} = b_{k_{hm2}} * (K_h + K_h(-1)) / 2$  \$

2.  $p_{qjvc1} = b_{qjvc1} * p_{qjvc1} + b_{qjgcv} * p_{qjgcv} + b_{qjhcv} * p_{qjhcv} + b_{qjscv} * p_{qjsc1}$

$$\begin{aligned}
 & +bqjfcv*pqjfc1 \text{ \$} \\
 3. \quad Dlog(qJvc) &= dlog(khm2) + dlog(bqjvc) - dlog(klima) \\
 & - 0.195529*dlog(pqjvc1*bqjvc/pcp4v) \\
 & + 0.186234*(-0.62171*log(pqjvc1(-1)*bqjvc(-1)/pcp4v(-1)) \\
 & \quad -2.27490-log(qJvc(-1)*klima(-1)/(khm2(-1) \\
 & \quad *bqjvc(-1)))) \text{ \$} \\
 4. \quad Dlog(qJexvc) &= dlog(U) + dlog(bqjexvc) \\
 & + 0.219588*(1.3493*log(Cp4/(U*pcp4v)) \\
 & - 0.30137 * log(pqjec1*bqjexvc/pcp4v) - 4.0168 \\
 & + log(U(-1)) + log(bqjexvc(-1)) - log(qJexvc(-1))) \text{ \$} \\
 5. \quad qJvec &= qJvc+qJexvc \text{ \$} \\
 6. \quad fCe_e &= bfce*qJvec \text{ \$} \\
 7. \quad qJec1 &= qJexvc+bqjvec*qJvc \text{ \$} \\
 8. \quad qJgc1 &= bqjgcv*qJvc \text{ \$} \\
 9. \quad qJhc1 &= bqjhcv*qJvc \text{ \$} \\
 10. \quad qJsc1 &= bqjscv*qJvc \text{ \$} \\
 11. \quad qJfc1 &= (1-bqjvec-bqjgcv-bqjhcv-bqjscv)*qJvc \text{ \$} \\
 12. \quad Dlog(fJtc1) &= 0 - 0.340291*dlog(pcg*bfcg/pcp4v) \\
 & - 0.688439 * dlog(dtqjtc) \\
 & + 0.688439*(1.8356746 \\
 & \quad - 0.4343565*log(pcg(-1)*bfcg(-1)/pcp4v(-1)) \\
 & \quad - log(dtqjtc(-1)) - log(fJtc1(-1))) \text{ \$} \\
 13. \quad fJtc2 &= fJtc1*bfcg*Kcb(-1) \text{ \$} \\
 14. \quad fCg_e &= fJtc2 + 0.06*Et/pcg \text{ \$} \\
 15. \quad qJtc1 &= kfjtc*fCg_e \text{ \$} \\
 16. \quad qJtc2 &= qJtc1 \text{ \$}
 \end{aligned}$$

Ligning 1-3 og 8-11 vedrører varmemeforbruget. Boligarealet målt i 1000 m<sup>2</sup>, *Kh*m2, fremskrives i ligning 1 med boligbeholdningen i faste 1980-priser, *Kh*, der bestemmes i ADAM's model af boligmarkedet. Korrektionsfaktoren, *bkh*m2, der danner overgangen mellem de to opgørelser, har historisk udvist en tydelig omvendt aftagende negativ trend, der udover statistiske opgørelsesproblemer kan tolkes som udtryk for gennemsnitlige kvalitetsforbedringer af boligmassen.<sup>24</sup> I fremskrivninger bør forventede fortsatte kvalitetsforbedringer indarbejdes i en fortsat negativ trend.

Prisen på varme, *pqjvc1*, bestemmes i ligning 2 ved sammenvejning af priserne på underkomponenterne. Ligning 3 rummer bestemmelsen af varmemeforbruget, jf. ligning (2.2.5) og tabel 2.2.4. I ligning 8-11 udsplittes varmemeforbruget på underkomponenterne naturgas (*qJgc1*), fjernvarme (*qJhc1*), fast brændsel (*qJsc1*) og flydende brændsel (*qJfc1*) ved

<sup>24</sup> Der knytter sig betydelige problemer til opgørelse af boligbeholdningen i faste 1980-priser (ADAM variabelen *Kh*), jf. *Arbejdsnotat nr. 24*, Danmarks Statistik 1988 (afsnit 6.A.1.).

eksogene kvoter,  $bqj_{cv}$ , idet forbruget af flydende brændsel bestemmes residualt i ligning 11.

Ligning 4 bestemmer forbruget af *el til andet formål*,  $qJexvc$ , jf. ligning (2.2.5) og tabel 2.2.6. Ligning 7 bestemmer det samlede elforbrug,  $qJec1$ , som summen af elforbruget til andet formål og til opvarmning.

Udviklingen i ADAM's opgørelse af forbruget af brændsel i faste 1980-priser,  $fCe$ , svarer principielt til udviklingen i summen,  $qJvec$ , af satellitmodellens komponenter forbruget af energi til opvarmning,  $qJvc$ , og forbruget af el til andet formål,  $qJexvc$ , jf. ligning 5, bortset fra, at satellitmodellens variabler måles i TJ.

Ligning 12-14 rummer satellitmodellens bestemmelse af transportenergiforbruget,  $qJtc1$ , som direkte kan erstatte ADAM's bestemmelse af  $fCg$  om ønskeligt.

Ligning 6, 15 og 16 danner overgang mellem satellitmodellen og ADAM. De er nærmere kommenteret i kapitel 2.6.

Alle variabler for invers brændsefficiens er eksogene. Som det fremgår af de foregående afsnit er det muligt at bestemme den inverse virkningsgrad for varme,  $bqj_{vc}$ , ved hjælp af Forskningscenter RISØ's HYBRIS-model. Såfremt udspreddingen af varmeforbruget,  $qJvc$ , på de 5 underkomponenter el, naturgas, fjernvarme, fast brændsel og flydende brændsel ved hjælp af de eksogene andele  $bqj_{cv}$  ændres, skal  $bqj_{vc}$  normalt også korrigeres. Den inverse energiefficiens af elapparater,  $bqj_{exvc}$ , kan bestemmes udfra elforbruget fra 20 elapparater ved hjælp af DEFU's ELMODEL-bolig. Der eksisterer ikke tilsvarende modeller for bestemmelsen af personbilparkens inverse benzinøkonomi,  $bfcg$ .

## 2.2.4. Sammenligning med Energistyrelsens system

I Energistyrelsens system bestemmes efterspørgslen efter el og energi til opvarmning henholdsvis efterspørgslen efter transportenergi i separate moduler.

### Efterspørgslen efter el og energi til opvarmning

Som det fremgår nærmere af oversigten i kapitel 5, opererer den i denne sammenhæng relevante del af Energistyrelsens modelsystem, *energiforbrugsmodellen*, med 5 dimensioner i bestemmelsen af husholdningernes energiefterspørgsel: 13 energityper, 12 slutanvendelser, 4 geografiske områder, teknologier og tid (år). Satellitmodellen for husholdningerne rummer kun 3 dimensioner: 6 energityper, teknologier og tid. De 13 energityper i energiforbrugsmodellen er bortset fra visse definitionsforskelle groft sagt lig med de 6 energityper i satellitmodellen plus 6 vedvarende energityper, som bortset fra træ kun indgår i satellitmodellen for energiforsyning (jf. kapitel 2.5), samt en restgruppe.

I realiteten løses energiforbrugsmodellen kun for 10-15 års mellemrum, således at den mellemliggende dynamik kun til en vis grad beskrives, og modellen må siges at være en *langsigtsmodel*. Det giver derfor kun mening at sammenligne modellernes langsigtssegenskaber.

*Varmeforbruget* i den fremskrivning, der kaldes referenceforløbet, bestemmes i Energistyrelsens modelsystem udenfor energiforbrugsmodellen i *rumopvarmnings-*

*modellen.* Det sker ved at multiplicere et målt enhedsforbrug med boligbestanden målt i m<sup>2</sup>, idet boligbestanden er opdelt på boligtyper, alderskategorier og geografiske områder. Eksogene afvigelser fra referenceforløbet kan specificeres i energiforbrugsmodellen, der så beregner de videre virkninger for forsyningerhvervene mv.

Såvel satellitmodellen som energiforbrugsmodellen opererer begge med enhedsforbruget som et grundlæggende begreb. *Forskellen* er, at mens satellitmodellen har en historisk estimeret prisfølsomhed i det samlede enhedsforbrug, som primært afspejler ændringer i boligstandard med hensyn til isolering m.m. som reaktion på energiprisændringer, rummer energiforbrugsmodellen (rumopvarmningsmodellen) nogle eksogene forudsætninger om enhedsforbruget i en række forskellige boliger baseret på direkte fysiske opgørelser.

For *forbruget af el* baserer energiforbrugsmodellen sig ligesom satellitmodellen på DEFU's ELMODEL-bolig. I energiforbrugsmodellen benyttes ELMODEL-bolig direkte til at beregne elforbruget. I satellitmodellen benyttes ELMODEL-bolig alene til at generere et indeks for apparaternes eleffektivitet, der udnyttes i efterspørgselsfunktionen, som herudover rummer estimerede budget- og egenpriselasticiteter.<sup>25</sup>

Modellernes makroegenskaber kan sammenlignes ved langsigtselasticiteterne, jf. tabel 2.2.9. Faldende brændseffektivitet indebærer en relativ mindre stigning i energiforbruget i satellitmodellen, fordi der er taget højde for den modgående virkning af, at energien fordyres målt i effektive termer.

*Sammenfattende* kan det konkluderes, at mens der i satellitmodellen primært er lagt vægt på at bestemme pris- og indkomsteffekterne i energiefterspørgslen, er der i energiforbrugsmodellen primært lagt vægt på at foretage en ren teknisk bestemmelse af energiforbruget.

**Tabel 2.2.9. Elasticiteter på langt sigt i husholdningernes efterspørgsel efter energi til opvarmning samt el**

Variabel	ADAM-systemet	Energiforbrugsmodellen
<i>Energi til opvarmning</i>		
Boligareal	1.00	1.00
Pris på opvarmning	-0.62	0.00
Invers energieffektivitet	0.38	1.00
<i>El til andet formål</i>		
Antal boliger	0.00	1.00
Private forbrug	1.35	0.00
Invers effektivitet af elapparater	0.70	1.00
Pris	-0.30	0.00

### Efterspørgslen efter transportbrændsler

<sup>25</sup> I den variant af ELMODEL-bolig, der udnyttes i satellitmodellen, forudsættes, at apparaterne har konstant brugshyppighed, hvilket er nødvendigt for at kunne fortolke det beregnede effektivitetsindeks som et effektivitetsindeks.

For husholdningernes forbrug af transportbrændsler baserer Energistyrelsen sig på Trafikministeriets *Referencemodel*, som er en dynamisk model, der er økonometrisk estimeret på årsdata. Her skal kun fokuseres på langsigtegenskaberne, som er af størst interesse i miljøøkonomiske sammenhænge.

Bestemmelsen sker i tre trin. Først bestemmes *personbilparkens* størrelse som funktion af BNP i faste priser og realrenten i en log-lineær relation.<sup>26</sup> Dernæst bestemmes personbilernes *trafikarbejde* (antal kørte km) som funktion af bilparkens størrelse, BNP i faste priser, prisen på benzin og olie relativt til forbrugerprisindekset og prisen på kollektiv transport relativt til forbrugerprisindekset i en ligeledes log-lineær relation. Endelig bestemmes forbruget af *transportbrændsler* ved at multiplicere trafikarbejdet med eksogene energifaktorer, der angiver det gennemsnitlige energiforbrug pr. kørt km. Trafikarbejdet splittes eksogent i det, der er fremkommet ved brug af benzindrevne biler, og det, der er fremkommet ved brug af dieseldrevne biler, og der opereres med separate energifaktorer for de to kategorier.

Der er flere principielle *ligheder* med ADAM-systemet. Begge modeller opdeler problemet i 2 dele: Først bestemmes bilparken og dernæst bestemmes dens udnyttelse. Begge modeller opererer med estimerede relationer.

*Forskellene* er også flere. I ADAM bestemmes bilanskaffelserne ved et investerings-teoretisk oplæg. Som forklarende variabler bruges ikke real BNP, men husholdningernes realindkomst og reale formue, der dog på meget langt sigt begge tendentielt vil følge real BNP. Desuden opereres i ADAM med realrenten efter skat, og der suppleres med et udtryk for reale usercost, der angiver omkostningerne til brændstof, vægtafgift samt afskrivninger pr. krone bil relativt til prisen på kollektiv transport. Bilanskaffelserne målt i faste 1980-priser kumuleres efter konvertering til antal stk. og fradrag af skrotninger til udviklingen i bilparken målt i antal. I satellitmodellen opereres ikke med trafikarbejdet, som ikke har selvstændig interesse i en makroøkonomisk model, men der estimeres direkte en relation for forbruget af transportbrændsler uden hensyn til type. Relationens effektivitetsindeks svarer begrebsmæssigt til Trafikministeriets energifaktorer. Relationen rummer ikke en indkomstvariabel og den relative pris på kollektiv transport indgår heller ikke.

Modellernes elasticiteter på langt sigt i 1991 sammenlignes i tabel 2.2.10, hvor de indirekte effekter via bilparken er indregnet.

**Tabel 2.2.10. Elasticiteter på langt sigt i 1991 i husholdningernes efterspørgsel efter transportenergi inklusive indirekte virkninger via bilparken**

Variabel	ADAM-systemet	Referencemodellen
Indkomst	1.04 <sup>1</sup>	0.91
Pris på transportenergi	-0.69	-0.40
Bilparkens inverse brændselseffektivitet	0.48	1.00
Pris på kollektiv transport	0.63	0.22
Pris på biler	-0.35	0.00
Vægtafgiftssats	-0.07	0.00
Nominel rente <sup>2</sup>	-1.25	-1.66

<sup>1</sup> Adskiller sig fra tallet i tabel 2.2.3 nederst (0.93) ved, at yderligere turisteksporten hæves samtidigt med 1 pct. Det er relevant for sammenligningen med referencemodellen, hvor indkomstbegrebet er BNP, der indbefatter turisteksporten.

<sup>2</sup> Semielasticitet, dvs. rækken viser den procentvise ændring i forbruget af transport brændsler ved en stigning i renten på 1 pct.-point. I ADAM-systemet er der tale om en rente før skat.

Kilde (Til Referencemodellen) Trafikministeriet, *Transportsektorens miljøbelastning*, 1995.

<sup>26</sup> Udviklingen på kort sigt er både her og i relationen for trafikarbejdet bestemt ved en fejlkorrigering omkring langsigtsrelationen. I kortsigtsrelationerne kan der indgå variabler, som ikke indgår i langsigtsrelationerne, og som der derfor ses bort fra her.

I ADAM afhænger bilanskaffelserne også af prisen på kollektiv transport, hvorved benzinforbruget indirekte også afhænger af prisen på kollektiv transport. Det ses, at indkomst- og priselasticiteterne er numerisk størst i ADAM-systemet. "Indkomstelasticiteterne" er dog ikke helt sammenlignelige størrelser, blandt andet fordi ADAM-systemets beregninger indbefatter et stød til husholdningernes realformue, som ganske vist på helt langt sigt tendentielt udvikler sig som husholdningernes realindkomster, der igen tendentielt følger real BNP. I statistisk forstand skyldes den større historiske indkomstelasticitet i ADAM-systemet formentlig inddragelsen af den negative trend i relationen for forbruget af transportbrændsler.

Faldende brændseffektivitet i bilparken indebærer en relativ mindre stigning i brændselsforbruget i satellitmodellen, fordi der er taget højde for den modgående virkning af, at transportbrændslerne fordyres målt i effektive termer. Prisen på biler og vægtafgiftssatsen er ikke forklarende variabler i referencemodellen.

## 2.3. Erhvervenes energiefterspørgsel eksklusive transporterhverv og energiforsyning

De 13 ADAM-erhverv udenfor transport og energiforsyning tegnede sig i 1992 for godt halvdelen af det samlede danske bruttoenergiforbrug, jf. tabel 2.1.1 i kapitel 2.1.<sup>27</sup> Ligeledes var de direkte og indirekte via energianvendelsen i de energikonverterende erhverv ansvarlige for godt halvdelen af de energirelaterede CO<sub>2</sub>-emissioner. De tegnede sig for en noget større andel af SO<sub>2</sub>-emissionerne og en lidt mindre andel af NO<sub>x</sub>-emissionerne. Bestemmelsen af disse 13 erhvervs efterspørgsel efter energi spiller således en hovedrolle i fastlæggelsen af det samlede danske energiforbrug og de hermed forbundne emissioner.

Ifølge økonomisk teori fastlægges efterspørgslen efter alle inputs i et erhvervs produktionsproces i det generelle tilfælde *på en gang* som funktion af erhvervets produktion og priserne på *samlige* inputs i produktionsprocessen. Efterspørgslen efter en given energitype bestemmes således på en gang sammen med efterspørgslen efter såvel de andre energityper som kapital, arbejdskraft og materialer som funktion af den samlede produktion og priserne på alle disse inputs. Via nogle supplerende teoretiske antagelser er det alligevel muligt at opdele bestemmelsen af energiefterspørgslen i nogle trin, der isoleret kan ansues for sig.

Figur 2.3.1 illustrerer således, at efterspørgslen efter de enkelte inputs i produktionsprocessen, herunder de 6 energityper, fastlægges som en integreret del af bestemmelsen af efterspørgslen efter samtlige inputs, men at der alligevel er tale om en trinvis modellering.

Bestemmelsen af efterspørgslen efter kapital, arbejdskraft og materialer (og energi) er nærmere uddybet i *ADAM. En model af dansk økonomi. Marts 1995*, Danmarks Statistik 1996, kapitel 8.

I dette afsnit er emnet alene energiefterspørgslen, som er fremhævet på figur 2.3.1. På øverste trin bestemmes det samlede energiforbrug i hvert af de 13 erhverv som funktion af erhvervets reale bruttofaktoringkomst, den reale energipris samt eventuelt en trend. Den reale energipris er defineret som energiprisen i forhold til prisen på bruttofaktoringkomst, som er et indeks for aflønningen af kapital og arbejdskraft.

På det næste trin fordeles erhvervets samlede energibudget på de 3 energityper transportenergi, el og aggregatet "øvrige energi". Fordelingen afhænger af priserne på de 3 energityper samt eventuelt en trend.

På nederste trin bestemmes fordelingen af "øvrige energi" på de 4 energityper naturgas, fjernvarme, fast brændsel og flydende brændsel ved eksogene kvoter, som skal fastlægges af brugeren f.eks. ved at inddrage information uden for modellen.

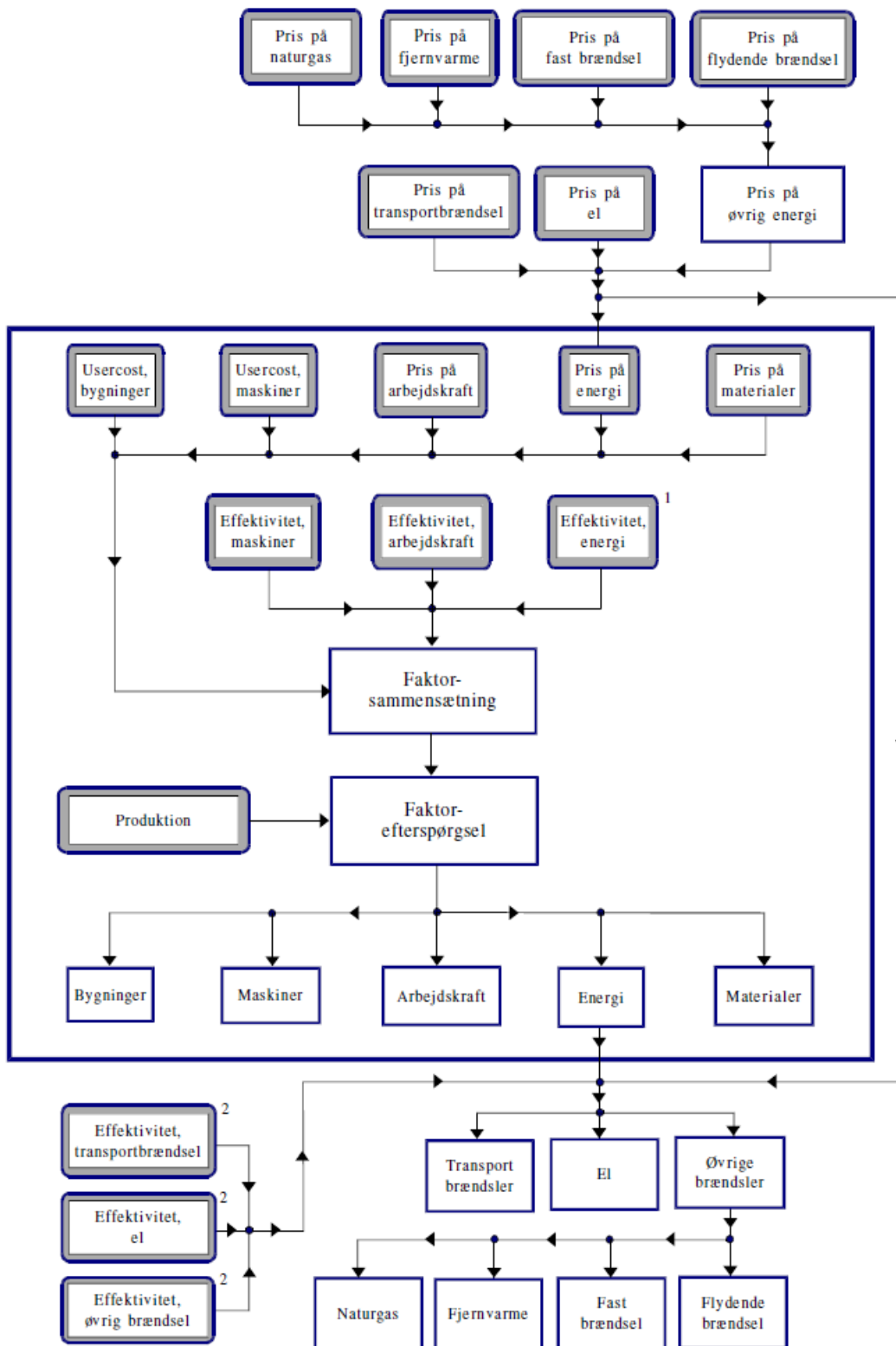
I afsnit 2.3.1 gives en oversigt over egenskaberne ved den samlede delmodel for erhvervenes energiefterspørgsel. Afsnit 2.3.2 beskriver den underliggende teori. Afsnit 2.3.3 gennemgår den konkrete implementering af modellen, mens afsnit 2.3.4 sammenligner med Energistyrelsens metoder på samme felt.

---

<sup>27</sup> Der henvises til ordlisten for en definition af begrebet bruttoenergiforbrug. De resterende 6 erhverv er brunkul, råolie og naturgas, olieraffinaderier, el gas og fjernvarme, boligbenyttelse, anden transport mv. samt søtransport. Det kunstige erhverv "importerede finansielle tjenester" er ikke med i modellen.



Figur 2.3.1. Bestemmelse af efterspørgslen efter 6 energityper i 13 erhverv på langt sigt



Anm. Den store boks angiver faktorefterspørgslen i den egentlige ADAM, jf. Danmarks Statistik (1996) s. 110, figur 8.1. De kasser, der ikke indgår i den store boks, refererer alene til satellit-modellen. De markerede bokse er relevante for energiefterspørgslen i satellitmodellen.

<sup>1</sup> Vedrører alle energiarter under et (såkaldt Hicks-neutrale).

<sup>2</sup> Vedrører de enkelte energiarter isoleret (såkaldt faktorforvridende).

### 2.3.1. Egenskaber

I den *samlede* delmodel for energieftefterspørgslen markeret på figur 2.3.1 for de 13 erhverv uden for transport og energikonvertering afhænger forbruget af hver af de 6 energityper af erhvervets samlede energieftefterspørgsel (der igen afhænger af erhvervets bruttofaktorindkomst), af de relative energipriser samt af nogle eksogene trende. I tabel 2.3.1-2.3.3 er angivet den effekt, hvormed disse 3 kategorier af forklarende variabler påvirker energieftefterspørgslen i det samlede delsystem.

Tabel 2.3.1 viser elasticiteten af *energieftefterspørgslen i de 13 erhverv tilsammen* med hensyn til erhvervenes *BFI i faste priser*, dvs. den procentvise effekt på energieftefterspørgslen i de 13 erhverv tilsammen af en tilvækst i hvert erhvervs reale bruttofaktorindkomst på 1 pct. På langt sigt vokser efterspørgslen efter alle energityper ligeledes med 1 pct. Der sker en gradvis tilpasning til dette langsigtsniveau, og førsteårseffekten er i gennemsnit kun det halve. I år 5 er en helt overvejende del af tilpasningen gennemført. For hvert enkelt erhverv gælder, at tilpasningshastigheden for de 6 energityper er den samme og dermed også lig med tilpasningshastigheden for erhvervets samlede energianvendelse, men tilpasningshastighederne varierer mellem erhvervene. Forskellen mellem tilpasningshastighederne i den samlede anvendelse af hver af de 6 energityper opstår, fordi de enkelte erhverv benytter de forskellige energityper i et varierende forhold.<sup>28</sup>

**Tabel 2.3.1. Aggregerede elasticiteter af energieftefterspørgslen med hensyn til BFI i summen af 13 erhverv**

Variabel	1. år	2. år	5. år	langt sigt
Transportenergi	0.36	0.59	0.88	1.00
El	0.55	0.76	0.95	1.00
Øvrig energi	0.46	0.69	0.92	1.00
- naturgas	0.41	0.69	0.93	1.00
- fjernvarme	0.67	0.81	0.96	1.00
- fast brændsel	0.36	0.59	0.88	1.00
- flydende energi	0.48	0.71	0.92	1.00
Al energi	0.50	0.71	0.93	1.00

Tabel 2.3.2 viser den procentvise virkning på *langt sigt* på *energieftefterspørgslen i de 13 erhverv tilsammen* af at hæve priserne på *de enkelte energiarter* med 1 pct. (krydspris-elasticiteter). Tabellen viser f.eks., at hvis prisen på øvrig energi vokser 1 pct., vil efterspørgslen efter øvrig energi på langt sigt falde med 0.26 pct., mens efterspørgslen efter transportenergi og el vokser henholdsvis 0.14 pct. og 0.04 pct., fordi der sker en substitution fra den fordyrede energitype over mod de andre energiarter, som er blevet relativt billigere. Den samlede energieftefterspørgsel vil på langt sigt falde med 0.10 pct., fordi forbruget af øvrig energi falder mere, end efterspørgslen efter transportenergi og el vokser. Den samlede egenpriselasticitet for energi fås umiddelbart som summen af elasticiteterne for

<sup>28</sup> En tabel over tilpasningshastighederne i hvert af de 13 erhvervs samlede energianvendelse findes i Danmarks Statistik (1996) s. 124, tabel 8.5. Her er produktionselasticiteten for første år for alle erhverv under et lig med 0.51, hvilket afviger lidt fra resultatet i tabel 2.3.1 (0.50), fordi tabel 2.3.1 indbefatter færre erhverv.

det samlede energiforbrug med hensyn til priserne på henholdsvis transportenergi, el og øvrig energi, dvs. som  $-0.06-0.10-0.10 = -0.25$  efter afrunding.<sup>29</sup>

Krydspriselasticiteten af forbruget af øvrig energi med hensyn til elprisen er negativ (-0.03), dvs., at forbruget af øvrig energi falder, når elprisen vokser. Den oprindelige statistisk estimerede krydspriselasticitet er positiv i alle 13 erhverv (el og øvrig energi er substitutter i alle erhverv), hvorfor den samlede estimerede elasticitet også er positiv, men meget lille (0.04). Af praktiske grunde er det imidlertid valgt at foretage en tilnærmelse i modelbestemmelsen af prisindeksene for hvert erhvervs samlede energiforbrug, hvilket resulterer i approksimationsfejl.<sup>30</sup> Alle model-elasticiteterne i tabel 2.3.2 (og tabel 2.3.3) afviger således noget fra de statistisk estimerede elasticiteter, og for krydspriselasticiteten mellem øvrig energi og el vendes et lille positivt tal til et numerisk lille negativt tal. Udfaldet kan tolkes således, at prisforhøjelsen på el har en negativ virkning på den samlede energiefterspørgsel (energi som sådan fordyres, hvorfor der generelt spares på energi), som overdøver den positive substitutionseffekt (øvrig energi bliver relativt billigere, hvorfor der bruges mere øvrig energi).

**Tabel 2.3.2. Aggregerede krydspriselasticiteter på langt sigt i summen af 13 erhverv for energiefterspørgslen i 1991**

Virkning på efterspørgslen efter	Ændring i prisen på 1 pct. på						
	Transportenergi	El	Øvrig energi				
			I alt	naturgas	fjernvarme	fast brændsel	flydende brændsel
Transportenergi	-0.42	0.00	0.14	0.02	0.05	0.01	0.06
El	0.02	-0.32	0.04	0.01	0.00	0.01	0.02
Øvrig energi	0.05	-0.03	-0.26	-0.05	-0.06	-0.06	-0.10
- naturgas	0.03	0.00	-0.25	-0.05	-0.05	-0.05	-0.09
- fjernvarme	0.11	-0.07	-0.29	-0.04	-0.13	-0.02	-0.10
- fast brændsel	0.02	-0.03	-0.27	-0.04	-0.02	-0.13	-0.08
- flydende brændsel	0.05	-0.02	-0.26	-0.05	-0.06	-0.05	-0.11
<b>Al energi</b>	<b>-0.06</b>	<b>-0.10</b>	<b>-0.10</b>	<b>-0.02</b>	<b>-0.02</b>	<b>-0.02</b>	<b>-0.03</b>

Anm. Kun det skraverede felt angiver estimerede substitutionseffekter mellem energityperne, jf. teksten. Øvrig energi er et aggregat af de 4 energityper naturgas, fjernvarme, fast brændsel og flydende brændsel. Elasticiteterne med hensyn til prisen på øvrig energi i alt er beregnet ved at hæve priserne på disse 4 underkomponenter med 1 pct. samtidigt.

Det har ikke været muligt at foretage en statistisk bestemmelse af prisfølsomheden i efterspørgslen efter energityperne naturgas, fjernvarme, fast brændsel og flydende

<sup>29</sup> I *ADAM-dokumentationen*, side 124, tabel 8.5, opgøres den samlede egenspriselasticitet for energi på langt sigt til at være lig med -0.22. Der er to grunde til forskellen mellem tabel 2.2.2 (-0.25) og dette resultat. For det første fremkommer resultatet i *ADAM-dokumentationen* ved en simulation med den samlede faktorefterspørgselsblok, hvor erhvervenes BFI i faste priser er endogene. I tabel 2.2.2 er BFI eksogen, således at der kun beregnes prisvirkningen i energiligningerne. For det andet vedrører resultatet i tabel 2.3.2 færre erhverv.

<sup>30</sup> Tilnærmelsen består i, at det såkaldte GLO-enhedsomkostningsindeks erstattes af et traditionelt Paascheindeks, jf. kommentaren til formel (2.3.8) i afsnit 2.3.2 nedenfor og kapitel 2.6.

brændsel. Der er kun fastlagt fælles prisfølsomheder for de 4 energityper under et, jf. aggregatet øvrig energi. Historisk har de andele, som de 4 energityper hver for sig udgør af øvrig energi, ændret sig betragteligt i alle erhverv. I modellen forudsættes det i mangel af bedre som udgangspunkt, at andelene fremover er konstante i det enkelte erhverv. Dog har modelbrugeren mulighed for selv at bestemme, at andelene skal ændre sig, men disse ændringer er altså ikke modelbestemte, dvs. de er eksogene.

Modelantagelsen om konstante andele inden for øvrig energi betyder, at *inden for* hvert erhverv ændres forbruget af de 4 energityper i samme takt som forbruget af øvrig energi. I eksemplet med en forhøjelse af den samlede pris på øvrig energi med 1 pct. ændres den *samlede* anvendelse i de 13 erhverv af de 4 energiarter imidlertid ikke præcist i takt med anvendelsen af øvrig energi (-0.26 pct.), da erhvervenes forbrug af øvrig energi ændrer sig forskelligt, og da erhvervene anvender de 4 underkomponenter i forskellige forhold.

Omvendt vil en forhøjelse af f.eks. prisen på fjernvarme i et givet erhverv medføre, at prisen på aggregatet øvrig energi vil vokse svarende til vægten (omkostningsandelen) af fjernvarme i aggregatet øvrig energi. Det indebærer, at den mængde øvrig energi, erhvervet efterspørger, vil falde i henhold til den vejede egenpriselasticitet for øvrig energi i dette erhverv. Da omkostningsandelene summer til 1, summer egenpriselasticiteterne for de 4 underkomponenter til egenpriselasticiteten for øvrig energi. Erhvervets efterspørgsel efter samtlige 4 underkomponenter og ikke blot fjernvarme vil ændres relativt lige meget, fordi det forudsættes, at de 4 underkomponenters andele af øvrig energi ligger fast. Brugeren kan (eksogent) vælge at forudsætte, at disse andele ændres, f.eks. at fjernvarmes andel af øvrig energi falder, mens de øvrige 3 komponenters andele vokser, men det sker ikke automatisk (endogent) i modellen.

Tabel 2.3.3 viser *egenpriselasticiteterne* for energiefterspørgslen i *hvert* erhverv, dvs. den procentvise ændring i efterspørgslen efter en energitype, der er resultatet af en stigning i prisen på den pågældende energitype på 1 pct. Nederst i tabellen er resultaterne for de enkelte erhverv aggregeret til totaler for de 13 erhverv. Diagonalen i det skraverede felt i tabel 2.3.2 genfindes her som de totale egenpriselasticiteter på langt sigt.

Egenpriselasticiteten for al energi under et, dvs. den procentvise ændring i det totale energiforbrug i de 13 erhverv tilsammen, der følger af en stigning i samtlige energipriser på 1 pct., er -0.25 pct. på langt sigt. Førsteårseffekten er kun ca. 2/3 heraf. I år 5 er næsten hele tilpasningen gennemført. Egenpriselasticiteterne for de enkelte energityper transportenergi, el og øvrig energi er noget større numerisk. De enkelte erhverv kan afvige betydeligt fra gennemsnittet.

Tabel 2.3.3 angiver også størrelsen af de estimerede *trende*. Behandlingen af *trende* er et meget centralt, men også meget vanskeligt punkt i fremskrivninger. De *historiske* *trende* er en slags systematiske reststørrelser, der angiver den del af udviklingen i energiforbruget, som ikke kan forklares ved udviklingen i produktionen og de relative priser. Trendene repræsenterer altså udeladte forklarende variabler. Tekniske fremskridt er et vigtigt, men ikke nødvendigvis eneste eksempel. Det har ikke været muligt at foretage en egentlig modelbestemmelse af den teknologiske udvikling. Det er derfor valgt at repræsentere den teknologiske udvikling (og eventuelle andre udeladte systematiske forklarende variabler) ved en trend. Trendene kan variere fra år til år, og i tabel 2.3.3 er derfor anført den gennemsnitlige årlige udvikling i trendene for perioden 1981-91.

Det ses, at i perioden 1981-91 steg det totale energiforbrug i de 13 erhverv tilsammen med 1.3 pct. mindre om året, end udvikling i produktion og priser ellers skulle tilsige. Det kan

fortolkes som en eksogen "udefra kommende" generel energibesparende trend på 1.3 pct. om året. For transportenergi og øvrig energi er den negative trend endnu kraftigere. Omvendt er trenden positiv for el. Denne elforbrugende trend er udtryk for en historisk omlægning af energiforbruget over mod el, der overstiger, hvad udviklingen i den relative elpris kan forklare.

Trendene er eksogene variabler, dvs. de bestemmes ikke i modellen, og brugeren skal selv tage stilling til deres udvikling i *fremskrivninger*. Man kan ikke uden videre gå ud fra, at trendene vil fortsætte deres historiske bane uændret, og det bør så vidt muligt tilstræbes at fastlægge trendene ved anden information.

I nogle *alternativeksperimenter* kan det også være relevant at ændre trendene i forhold til grundforløbet. For eksempel kan der argumenteres for, at en forhøjelse af energipriserne på verdensmarkedet vil fremtvinge en bred international bestræbelse på at udvikle og implementere yderligere energibesparende teknologi, som ikke eksisterer i dag, og som også vil blive taget i brug i Danmark efterhånden. Det kan i modellen repræsenteres som en eksogen numerisk tilvækst i de negative energibesparende trende.

**Tabel 2.3.3. Egenpriselasticiteter og trende for energifterspørgslen i 1991**

Erhverv	Variabel	Navn	Egenpriselasticitet i 1991					Trend <sup>1</sup>	
			1. år	2. år	5. år	langt sigt	langt sigt		
								-pct.-	
Landbrug	Transportenergi	<i>qJta</i>	-0.05	-0.20	-0.39	-0.46	-3.6		
	El	<i>qJea</i>	-0.15	-0.34	-0.56	-0.61	-1.9		
	Øvrig energi	<i>qJoa</i>	-0.29	-0.41	-0.56	-0.61	-5.8		
	Al energi	<i>fVea</i>	-0.05	-0.17	-0.33	-0.40	-4.1		
Næringsmiddelindustri	Transportenergi	<i>qJmf</i>	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-1.6		
	El	<i>qJenf</i>	-0.51	-0.51	-0.51	-0.51	-1.6		
	Øvrig energi	<i>qJonf</i>	-0.15	-0.16	-0.16	-0.17	-1.6		
	Al energi	<i>fVenf</i>	-0.08	-0.09	-0.09	-0.10	-1.6		
Nydelsesmiddelindustri	Transportenergi	<i>qJtn</i>	-0.05	-0.06	-0.06	-0.06	7.1		
	El	<i>qJenn</i>	-0.15	-0.19	-0.20	-0.20	8.8		
	Øvrig energi	<i>qJonn</i>	-0.09	-0.14	-0.16	-0.16	3.1		
	Al energi	<i>fVenn</i>	-0.12	-0.24	-0.26	-0.26	4.2		
Leverandører til byggeri	Transportenergi	<i>qJmb</i>	-0.56	-0.57	-0.60	-0.62	2.6		
	El	<i>qJenb</i>	-0.06	-0.11	-0.20	-0.25	1.6		
	Øvrig energi	<i>qJonb</i>	-0.06	-0.12	-0.21	-0.26	-0.4		
	Al energi	<i>fVenb</i>	-0.08	-0.16	-0.29	-0.35	-0.2		
Jern- og metalindustri	Transportenergi	<i>qJtm</i>	-0.15	-0.16	-0.16	-0.16	0.8		
	El	<i>qJenm</i>	-0.24	-0.25	-0.25	-0.25	1.3		
	Øvrig energi	<i>qJonm</i>	-0.20	-0.20	-0.21	-0.21	-6.4		
	Al energi	<i>fVenm</i>	-0.15	-0.17	-0.18	-0.18	-2.5		
Transportmiddelindustri	Transportenergi	<i>qJmt</i>	-0.04	-0.04	-0.04	-0.04	0.5		
	El	<i>qJent</i>	-0.24	-0.24	-0.24	-0.24	0.5		
	Øvrig energi	<i>qJont</i>	-0.17	-0.17	-0.17	-0.17	0.5		
	Al energi	<i>fVent</i>	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	0.5		

Kemisk industri mv.	Transportenergi	<i>qJtnk</i>	-0.22	-0.31	-0.42	-0.46	-1.9
	El	<i>qJenk</i>	-0.14	-0.31	-0.41	-0.43	0.2
	Øvrig energi	<i>qJonk</i>	-0.10	-0.19	-0.28	-0.30	-6.5
	Al energi	<i>fVenk</i>	-0.07	-0.24	-0.30	-0.30	-4.0
Anden fremstillingsvirksomhed	Transportenergi	<i>qJtmq</i>	-0.27	-0.32	-0.41	-0.48	-0.9
	El	<i>qJenq</i>	-0.13	-0.19	-0.28	-0.36	-0.9
	Øvrig energi	<i>qJonq</i>	-0.09	-0.12	-0.16	-0.19	-0.9
	Al energi	<i>fVenq</i>	-0.14	-0.17	-0.19	-0.19	-0.9
Bygge- og anlægsvirksomhed	Transportenergi	<i>qJtb</i>	-0.20	-0.22	-0.25	-0.27	0.0
	El	<i>qJeb</i>	-0.15	-0.20	-0.27	-0.30	0.0
	Øvrig energi	<i>qJob</i>	-0.24	-0.27	-0.32	-0.34	0.0
	Al energi	<i>fVeb</i>	-0.08	-0.09	-0.11	-0.13	0.0
Handel	Transportenergi	<i>qJtqh</i>	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	0.1
	El	<i>qJeqh</i>	-0.15	-0.15	-0.15	-0.15	1.3
	Øvrig energi	<i>qJoqh</i>	-0.21	-0.21	-0.21	-0.21	-8.8
	Al energi	<i>fVeqh</i>	-0.23	-0.23	-0.23	-0.23	-1.4
Finansiell virksomhed	Transportenergi	<i>qJtqf</i>	-1.34	-1.34	-1.34	-1.34	11.5
	El	<i>qJeqf</i>	-0.41	-0.41	-0.41	-0.41	10.2
	Øvrig energi	<i>qJoqf</i>	-0.33	-0.33	-0.33	-0.33	-0.3
	Al energi	<i>fVeaf</i>	-0.43	-0.43	-0.43	-0.43	6.0
Andre tjenesteydende erhverv	Transportenergi	<i>qJtqq</i>	-0.92	-0.92	-0.92	-0.92	-0.7
	El	<i>qJeqq</i>	-0.39	-0.39	-0.39	-0.39	1.9
	Øvrig energi	<i>qJoqq</i>	-0.48	-0.48	-0.48	-0.48	-8.0
	Al energi	<i>fVeqq</i>	-0.39	-0.39	-0.39	-0.30	-1.7
Offentlige tjenester	Transportenergi	<i>qJto</i>	-0.89	-0.89	-0.89	-0.89	-11.0
	El	<i>qJeo</i>	-0.22	-0.22	-0.22	-0.22	4.0
	Øvrig energi	<i>qJoo</i>	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-1.1
	Al energi	<i>fVeoo</i>	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.2
Sum af ovenstående erhverv	Transportenergi		-0.26	-0.32	-0.39	-0.42	-2.2
	El		-0.25	-0.28	-0.31	-0.32	1.8
	Øvrig energi		-0.16	-0.20	-0.24	-0.26	-2.4
	Al energi		-0.16	-0.20	-0.24	-0.25	-1.3

Anm. Øvrig energi er et aggregat af de 4 energityper naturgas, fjernvarme, fast brændsel og flydende brændsel. Egenpriselasticiteten for øvrig energi er beregnet ved at hæve priserne på disse 4 underkomponenter med 1 pct. samtidigt.

<sup>1</sup> For trendene er angivet den gennemsnitlige årlige udvikling for årene 1981-91 evalueret ved modellens ligevægtsværdier i 1991.

### 2.3.2. Teori

Som det fremgår af figur 2.3.1 bestemmes hvert af de 13 erhvervs forbrug af de 6 energiarter i tre trin:

- a) Det *samlede energiforbrug i 1980-priser* bestemmes som funktion af sektorens bruttofaktoriindkomst i faste priser, energiprisen relativt til BFI-deflatoren og eventuelt en trend.
- b) Forbruget af *transportenergi, el og øvrig energi i TJ* bestemmes som funktion af den samlede energiudgift, priserne på de 3 brændsler og eventuelt trende.
- c) Forbruget af *naturgas, fjernvarme, fast brændsel og flydende brændsel i TJ* bestemmes ved eksogene andele af øvrig energi.

Denne konstruktion forudsætter, at energi er separabel fra de øvrige faktorinputs kapital, arbejdskraft og materialer i produktionsfunktionen. Det indebærer, at elasticiteten af forbruget af hver af de 6 energiarter med hensyn til prisen på et ikke-energi input er den samme. Separabilitetsantagelsen har været undersøgt empirisk, jf. f.eks. Thomsen (1994). Undersøgelsen konkluderer, at det først og fremmest er tvivlsomt, hvorvidt energi og kapital er separable, mens energi med større ret kan antages at være separabel fra arbejdskraft og materialer.

### Det samlede energiforbrug

Det samlede energiforbrug i hvert erhverv i faste 1980-priser bestemmes ved en log-lineær fejlkorrektionsmodel, jf. Danmarks Statistik (1996) kapitel 8.3.2.

Erhvervets samlede energiforbrug i faste priser kan omregnes til energiforbruget i løbende priser ved at multiplicere med prisindekset for erhvervets samlede energiforbrug, der bestemmes som beskrevet i kapitel 2.6.

### Forbruget af transportenergi, el og øvrig energi

Forbruget af transportenergi, el og øvrig energi opgjort i TJ fastlægges i hvert erhverv ved at bestemme de 3 energiarter *andele af det samlede energibudget* i løbende priser og derpå omregne budgetandelene til forbruget i TJ. Budgetandelene bestemmes ved en *Generaliseret Leontief Omkostningsfunktion* (GLO) formuleret i budgetandele og dynamiseret ved en *fejlkorrektionsmodel*.

Det teoretiske udgangspunkt er, at erhvervet på langt sigt benytter den kombination af indsatsen af produktionsfaktorer, der minimerer omkostningerne ved at producere et givet output. Den optimale kombination afhænger generelt af produktionens størrelse, af de udefra givne priser på alle produktionsfaktorerne samt af teknologien, der kan beskrives ved en produktionsfunktion. Den nævnte forudsætning, om at energi er separabel fra de øvrige produktionsfaktorer, betyder, at den optimale kombination af de forskellige energityper kan findes ved alene at betragte en sub-produktionsfunktion for energi.

Baggrunden for valget af GLO er, at der er tale om en såkaldt fleksibel funktionsform, der kan approksimere en vilkårlig teknologi, og hvor approksimationen er særlig god, når substitutionseffekterne som her er små.

Teknologiantagelserne bag GLO leder sammen med forudsætningen om omkostningsminimering frem til faktorefterspørgselsfunktionerne

$$E_i = E \cdot \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 g_{ij} P_i^{\frac{1}{2}} P_j^{\frac{1}{2}}, \quad (2.3.1)$$

$$g_{ii} = g_{ii}^x + g_{1Ti}T + g_{2Ti}T^2 + g_{1Di}D_1 + g_{2Di}D_2, \\ i = 1, 2, 3$$

$$g_{ij} = g_{ji} \quad (2.3.2)$$

$$\sum_{i=1}^3 g_{1Ti} = \sum_{i=1}^3 g_{2Ti} = \sum_{i=1}^3 g_{1Di} = \sum_{i=1}^3 g_{2Di} = 0 \quad (2.3.3)$$

$$\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 g_{ij} = 1 \quad (2.3.4)$$

- $E$  Samlet energiindsats
- $E_i$  Forbrug af energitype  $i$
- $P_i$  Pris på energitype  $i$
- $T$  Tiden (årstal minus 1947)
- $D_1$  Eventuel første dummy
- $D_2$  Eventuel anden dummy
- $g_{ij}$  Parametre der styrer krydspriseffekterne
- $g_{1Ti}$  Lineær trend i faktorintensiteten for energitype  $i$
- $g_{2Ti}$  Kvadratisk trend i faktorintensiteten for energitype  $i$
- $g_{1Di}$  Virkning af dummy 1 på faktorintensiteten for energitype  $i$
- $g_{2Di}$  Virkning af dummy 2 på faktorintensiteten for energitype  $i$

Som (2.3.1) er skrevet op, antages teknologien at være karakteriseret af konstant skalaafkast: En relativt lige stor forøgelse af indsatsen af alle energityper vil øge den samlede energiindsats relativt lige så meget.

Den samlede energiindsats,  $E$ , er bestemt på øverste trin som beskrevet ovenfor, og er derfor at betragte som eksogen på dette trin. Ligning (2.3.1) bestemmer forbruget af de 3 energityper som funktion af deres priser, en trend samt eventuelle dummy-variabler.

Tiden indgår som repræsentant for udeladte systematiske forklarende variabler som f.eks. den teknologiske udvikling. Specifikationen indebærer, at trendene påvirker faktorintensiteterne, dvs. forbruget af de enkelte energityper per enhed samlet energiindsats. Afhængigt af fortegnene på trendkoefficienterne,  $g_{1Ti}$  og  $g_{2Ti}$ , kan trenden være negativ eller positiv og accelererende eller decelererende. Eventuelle dummy-variabler, der er nul i visse år og 1 i andre år, skal opfange pludselige spring i den historiske udvikling, som skyldes ekstraordinære forhold, og som derfor ikke kan opfanges af de øvrige variabler.

Parameterrestriktionen (2.3.2) sikrer overholdelse af det teoretiske krav, at krydssubstitutionseffekterne er (Slutsky)symmetriske. Betingelsen (2.3.3) sikrer, at budgetrestriktionen overholdes. Et tredje teoretisk krav om homogenitet af 1. grad i priserne er altid overholdt: En given ændring i alle priserne samtidigt vil aflede en tilsvarende ændring i de samlede omkostninger. Ligning (2.3.4) er en arbitrær normering, der gør det muligt at estimere budgetandelsfunktionerne (2.3.6) nedenfor. Hvis alle "off-diagonalelementerne"  $g_{ij}$ ,  $i \neq j$ , er nul,



opnås specialtilfældet Leontief omkostningsfunktionen, hvor faktorindsatsen ikke påvirkes af de relative priser, og hvor indsatserne pr. produceret enhed derfor er konstante. Off-diagonalelementerne repræsenterer altså krydssubstitutionseffekterne, mens diagonalelementerne repræsenterer egenpriseffekterne. Der fremgår også direkte af elasticitetsformlerne

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \frac{g_{ij} P_j^{\frac{1}{2}}}{\sum_{j=1}^3 g_{ij} P_j^{\frac{1}{2}}}, i \neq j; e_{ii} = \frac{1}{2} \left( \frac{g_{ii} P_i^{\frac{1}{2}}}{\sum_{j=1}^3 g_{ij} P_j^{\frac{1}{2}}} - 1 \right) \quad (2.3.5)$$

$e_{ij}$  (kryds)priselastisitet for faktor  $i$  mht. prisen på faktor  $j$

Relationen (2.3.1) kan omregnes til budgetandelsfunktionerne

$$S_i^* = \frac{\sum_{j=1}^3 g_{ij} P_i^{\frac{1}{2}} P_j^{\frac{1}{2}}}{\sum_{k=1}^3 \sum_{i=1}^3 g_{ki} P_k^{\frac{1}{2}} P_i^{\frac{1}{2}}} \quad i = 1, 2, 3 \quad (2.3.6)$$

$S_i^*$  Den optimale budgetandel for faktor  $i$  på langt sigt

På kort sigt kan de faktiske budgetandele afvige fra de optimale. Tilpasningsprocessen beskrives ved en fejlkorrektionsmodel<sup>31</sup>

$$D(S_i) = k_1 D(S_i^*) + k_2 (S_{i,-1}^* - S_{i,-1}) \quad i = 1, 2, 3, 0 < k_2 < 1 \quad (2.3.7)$$

$S_i$  Den faktiske budgetandel for faktor  $i$

$k_1$  Første års tilpasningsparameter

$k_2$  Følgende års tilpasningsparameter

Tilpasningsparametrene  $k_1$  og  $k_2$  er fælles for alle 3 energityper, der derfor har samme tilpasningshastigheder.

Parameteren  $k_1$  angiver førsteårvirkningen på budgetandelene af en ændring i de optimale budgetandele.<sup>32</sup> Parameteren  $k_2$  angiver den hastighed, hvormed den resterende uligevægt nedskrives fra år to og frem. Jo tættere  $k_2$  er på nul, jo langsommere er denne tilpasning. For  $k_2=1$ , er der øjeblikkelig tilpasning fra og med år to. For nogle erhverv er en statisk model med øjeblikkelig tilpasning foretrukket, svarende til  $k_1=k_2=1$ .

Parametrene  $g$  og  $k$  findes ved systemestimation af (2.3.6) indsat i (2.3.7). Da budgetandelene summer til 1, er systemets varians-kovarians matrice singulær. Problemet håndteres ved at undertrykke en af ligningerne i estimationen og beregne dens parametre residualt ved restriktionerne (2.3.2)-(2.3.4).<sup>33</sup>

<sup>31</sup> Fejlkorrektionsmodellen (2.3.7) er essentielt en omparametriseret version af fejlkorrektionsmodellen i kapitel 2.2.3 formel (2.2.5).

<sup>32</sup> Da energiefteerspørgslen typisk er uelastisk, skal  $k_1 > 1$ , for at førsteårseffekten af en prisændring på mængderne er mindre end langsigteeffekten. Det skyldes at (2.3.7) er opskrevet i værdier (budgetandele).

<sup>33</sup> Det kan vises, at denne metode leder frem til maximum likelihood-estimer, og at estimations-

Estimationerne er udført under den restriktion, at transportenergi er separabel fra de to andre energiarter, fordi transportenergi primært anvendes til formålet transport, der adskiller sig fra de primære formål med anvendelsen af de to andre energiformer, nemlig opvarmning og proces.

Af pladsmæssige grunde gennemgås som eksempel kun estimationsresultaterne for *jern- og metalindustrien*, jf. tabel 2.3.4. For en nærmere dokumentation af estimationsmetode og -resultater for de øvrige erhverv henvises til Andersen og Trier (1995).<sup>34</sup>

**Tabel 2.3.4. Estimation af relationer for andelen af transportbrændsler, el og øvrige brændsler af de samlede energiudgifter, nm-erhvervet**

Fortolkning af parameter	Parameter	Estimat	Spredning
Første års tilpasningshastighed	$k_1$	1.0000	•
Efterfølgende tilpasningshastighed	$k_2$	1.0000	•
Diagonalelement, transportbrændsler	$g_{11}^x$	-0.0085	•
Off-diagonalelement, transportbrændsler og el	$g_{12}$	0.0115	0.0053
Off-diagonalelement, transportbrændsler og øvrige brændsler	$g_{13}$	0.0140	•
Diagonalelement, el	$g_{22}^x$	-0.1817	0.0233
Off-diagonalelement, el og øvrige brændsler	$g_{23}$	0.1042	0.0252
Diagonalelement, øvrige brændsler	$g_{33}^x$	0.9307	0.0476
Lineær trendparameter, transportbrændsler	$g_{1T1}$	0.0019	0.0002
Lineær trendparameter, el	$g_{1T2}$	0.0146	0.0008
Lineær trendparameter, øvrige brændsler	$g_{1T3}$	-0.0165	•
Dummy for 1966-73, transportbrændsler	$g_{1D1}$	0.0324	0.0032
Dummy for 1966-73, el	$g_{1D2}$	-0.0021	0.0113
Dummy for 1966-73, øvrige brændsler	$g_{1D3}$	-0.0303	•
Dummy for 1988-91, transportbrændsler	$g_{2D1}$	-0.0048	0.0032
Dummy for 1988-91, el	$g_{2D2}$	0.0339	0.0118
Dummy for 1988-91, øvrige brændsler	$g_{2D3}$	-0.0291	•

Anm.  $n = 1966-91$   $S_{\text{transport}} = 0.0038$   $R^2_{\text{transport}} = 0.984$   $DW_{\text{transport}} = 1.89$  ☺  
 $S_{\text{el}} = 0.0109$   $R^2_{\text{el}} = 0.985$   $DW_{\text{el}} = 2.24$  ☺

Ligning 1 vedrører transportbrændsler, ligning 2 vedrører el, og ligning 3, som er undertrykt, vedrører øvrige brændsler. Forudsætningen om separabilitet mellem transportbrændsler og de andre energityper indebærer en restriktion på  $g_{13}$ , der derfor ikke estimeres frit. Selvom ligning 3 undertrykkes, beregnes  $g_{11}^x$  og ikke  $g_{33}^x$  ved restriktionen (2.3.4), fordi det teknisk letter pålæggelsen af separabilitetsrestriktionen. De ikke anførte off-diagonal elementer kan umiddelbart findes ved symmetrirestriktionen (2.3.2). De dynamiske parametre  $k_1$  og  $k_2$  er begge bundet til 1 svarende til øjeblikkelig tilpasning. De kvadratiske trendparametre er sat til nul.

I tabel 2.3.4, er de dynamiske parametre  $k_1$  og  $k_2$  begge bundet til 1 svarende til øjeblikkelig tilpasning, fordi de i fri estimation ikke er signifikant forskellige fra 1. Da estimationen udføres betinget på det samlede energiforbrug, indebærer "øjeblikkelig

resultatet er uafhængigt af hvilken ligning, der undertrykkes. Se Barten (1969).

<sup>34</sup> De specifikationer, der er udvalgt, fremgår af tabel 3.7.7 på side 73 i kapitel I.3 heri.

tilpasning" her, at efterspørgslen efter de 3 energiarter tilpasser sig med samme hastighed som tilpasningen i erhvervets samlede energiefterspørgsel.<sup>35</sup>

Det har været nødvendigt at indføre 2 dummy-variabler. Dummy'en for 1966-73 korrigerer for et niveauskift i serien for forbruget af transportbrændsler som følge af en ændret beregningsmetode fra 1974. Dummy'en fra 1988-91 korrigerer for et niveauskift i elektricitetens andel af energiforbruget, der ikke kan forklares ved et fald i den relative elpris.

Alle parametrene  $g_{ij}$  er signifikant forskellige fra nul svarende til, at prissubstitutions-effekterne er signifikante. Størrelsen af estimaterne på  $g_{ij}$ 'erne er vanskelige at forholde sig til direkte, og derfor er der i tabel 2.3.5 angivet de afledte priselasticiteter.

**Tabel 2.3.5. Partielle krydspriselasticiteter i 1991 betinget på den samlede energiindsats, nm-erhvervet**

Virkning på efterspørgslen efter	Ændring i prisen på 1 pct. på		
	Transportenergi	El	Øvrig energi
Transportenergi	-0.14	0.07	0.07
El	0.01	-0.09	0.08
Øvrig energi	0.02	0.19	-0.21

Det skal understreges, at disse elasticiteter er *partielle*, betinget på den samlede energiindsats. De samlede elasticiteter findes ved at korrigere for, at den samlede energiindsats varierer med de enkelte energipriser. Det kan vises, at de *totale* elasticiteter, hvor der tages hensyn til virkningen på den samlede energiindsats, er givet ved

$$e_{ij}^T = e_{ij} + e_{EE} S_{E_j} \quad (2.3.8)$$

$e_{ij}^T$  Totale (kryds)priselasticitet for forbruget af brændsel  $i$  mht. prisen på brændsel  $j$   
 $e_{EE}$  (Egen)priselasticitet for den samlede energiindsats  
 $S_{E_j}$  Energitype  $j$ 's andel af det samlede energibudget

I modelligningerne gælder denne formel dog kun approksimativt, da prisindekset for erhvervets samlede energiforbrug ikke beregnes som et GLO-prisindeks,<sup>36</sup> men tilnærmes ved et traditionelt Paascheindeks. GLO-prisindekset er teoretisk at foretrække, men Paascheindekset er valgt af praktiske grunde, jf. kapitel 2.6.

Den samlede priselasticitet på langt sigt for f.eks. el i jern- og metalindustrien i 1991 er estimeret til -0.20. Den fremkommer ved til den partielle priselasticitet på -0.09, jf. tabel 2.3.5, at lægge den samlede priselasticitet på -0.18, jf. Danmarks Statistik (1996) s. 134, tabel 8.7, vejet med elektricitetens ligevægtsbudgetandel på ca. 2/3. Som følge af den nævnte approksimation er elasticiteten i selve modelligningerne imidlertid lig med -0.25.

<sup>35</sup> Den samlede energiefterspørgsel i nm-erhvervet udviser gradvis tilpasning, jf. Danmarks Statistik (1996) s. 134, tabel 8.7.

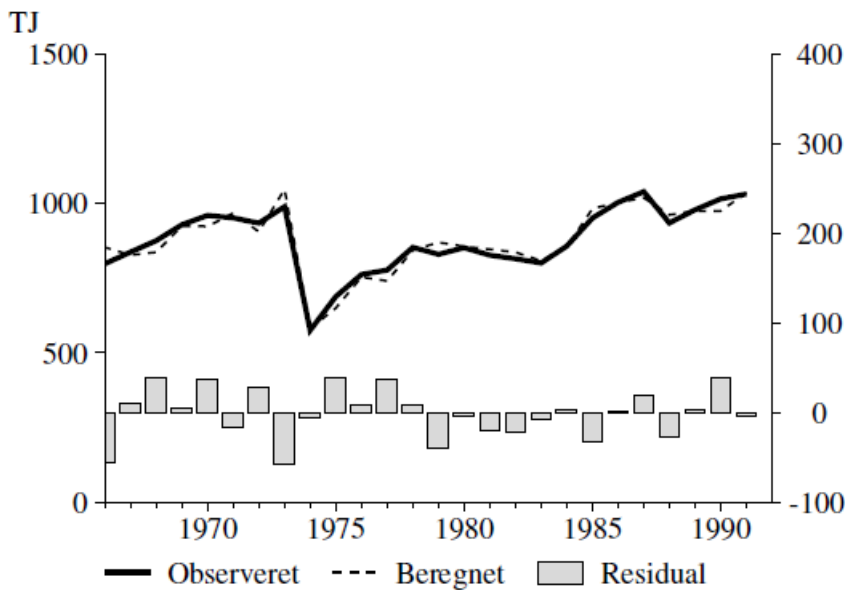
<sup>36</sup> GLO-prisindekset kan beregnes ved den såkaldte GLO-enhedsomkostningsfunktion.

I tabel 2.3.4 estimeres en lineær trend i elektricitetens andel af den samlede energiindsats på 1.46 pct. årligt. De kvadratiske trende er elimineret, fordi de ikke er signifikant forskellige fra nul.

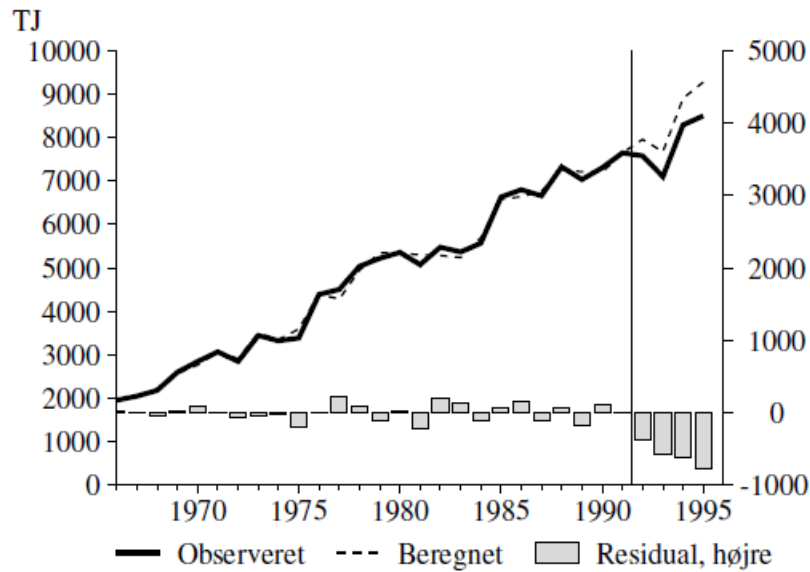
Figur 2.3.2.a - 2.3.2.c viser, at de estimerede relationer kan beskrive grundtrækkene i den historiske udvikling. Figureerne illustrerer, at el-andelen er steget kraftigt i den historiske periode på bekostning af øvrige brændsler. Det kan ikke alene forklares med en faldende relativ elpris, hvorfor der estimeres en elforbrugende trend. Dette forhold genfindes i mange erhverv.

Det skal endelig bemærkes, at det ikke er i alle erhverv, at prissubstitutionsvirkningerne er signifikante. Ved en såkaldt likelihood ratio-test findes, at det i 6 ud af 13 erhverv ikke kan afvises på et 5 pct. signifikansniveau, at alle off-diagonal elementer  $g_{ij}$ ,  $i \neq j$ , er nul, dvs. Leontief specialtilfældet kan ikke afvises. Det betyder ikke nødvendigvis, at der ikke er substitutionsvirkninger i de 6 erhverv, men er måske mest et udtryk for, at variansen på regressionerne er meget stor. De estimerede relationer benyttes derfor alligevel som bedste gæt på substitutionseffekterne under stor usikkerhed.

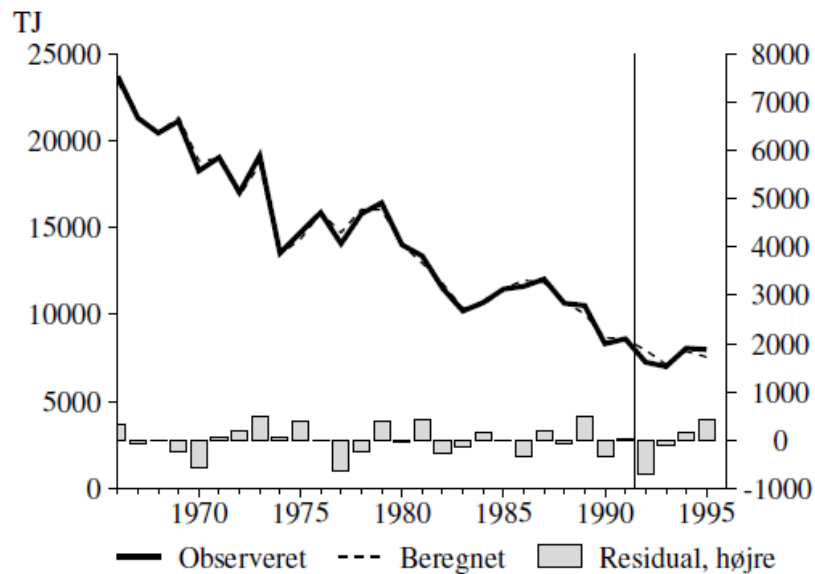
**Figur 2.3.2.a Den historiske forklaringssevne for relationen for forbruget af transportbrændsler i *nm*-erhvervet, TJ**



**Figur 2.3.2.b Den historiske forklaringssevne for relationen for forbruget af el i *nm*-erhvervet, TJ**



**Figur 2.3.2.c Den historiske forklaringssevne for relationen for forbruget af øvrige brændsler i *nm*-erhvervet, TJ**



### Forbruget af naturgas, fjernvarme, fast brændsel og flydende brændsel

Forbruget af naturgas, fjernvarme, fast brændsel og flydende brændsel bestemmes ved eksogene kvoter af forbruget af øvrig energi. Det har ikke været muligt at foretage en økonomisk bestemmelse af adfærden i efterspørgslen efter disse 4 energiarter. Naturgas og fjernvarme har været rationeret fra udbudssiden. Fast brændsel bruges stort set ikke i de fleste af de 13 erhverv.

Den aggregerede pris på øvrig energi bestemmes ved sammenvæjning af priserne på de 4 underkomponenter med de eksogene andele som vægte.

### TJ og faste 1980-priser

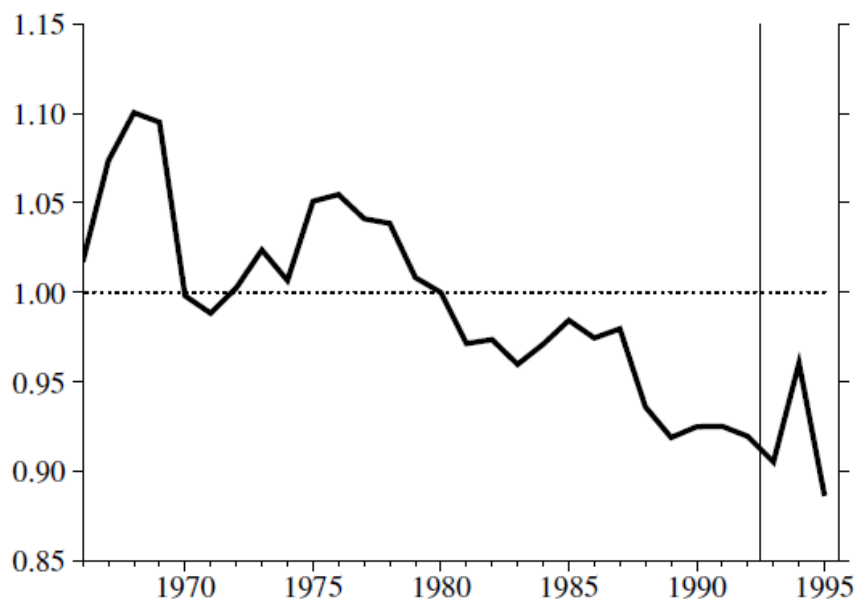
De estimerede adfærdsrelationer for erhvervenes samlede energiforbrug er en del af den almindelige ADAM, hvor den mængdemæssige udvikling i en variabel typisk repræsenteres ved variabelens forløb opgjort i *faste 1980-priser*. Derfor bestemmes det samlede energiforbrug også i faste 1980-priser.

I det samlede ADAM-system bestemmes forbruget af hver af de 6 energiarter i *TJ*, der er et bedre udtryk for den fysiske energimængde, som det er relevant at tilknytte emissionskoefficienter.

For et givet erhverv vil det samlede energiforbrug målt i *TJ* defineret som summen af forbruget af de 6 energiarter, generelt *ikke* udvikle sig helt parallelt med udviklingen i det samlede energiforbrug målt i 1980-priser. Det skyldes primært *sammensætningseffekter*. For en enkelt energiart vil de to opgørelser udvikle sig næsten parallelt. For summen af flere energiarter kan udviklingen afvige, fordi den vægt, hvormed den enkelte energiart indgår i summen, afviger mellem de to opgørelser.

Figur 2.3.3 viser, at det samlede energiforbrug i de 13 erhverv historisk ikke har udviklet sig helt ens i de to alternative opgørelser. I de 24 år fra 1968 til 1990 steg energiforbruget i alt 16 pct. mere opgjort i faste 1980-priser end i *TJ*. Det skyldes bl.a. den stigende andel af el, der har en forholdvis høj pris pr. *TJ*. De årlige udsving i forholdet kan løbe helt op i 10 pct.

**Figur 2.3.3. Forholdet mellem det samlede energiforbrug i 13 erhverv opgjort i *TJ* og i faste 1980-priser, indeks 1980=1**



### 2.3.3. Implementering i ADAM

Den konkrete implementering af satellitmodellen kan belyses ved at gennemgå ligningerne for jern- og metalindustrien som eksempel. Ligningerne for de andre erhverv er helt analoge. Gennemgangen refererer til den *tretrins* bestemmelse, der er angivet på figur 2.3.1, og som også fremgår af indledningen til afsnit 2.3.2. Ligning 1 stammer fra ADAM, mens ligning 2-17 kun findes i satellitmodellen. For en forklaring af variabelnavnene henvises generelt til variabellisten, der findes som arbejdsrapport og kan fås ved henvendelse til Danmarks Statistik.

1. 
$$\begin{aligned} \text{Dlog}(fV_{\text{enm}}) &= \text{Dlog}(fY_{\text{fnm}}) - 1.8314 - 0.5588 * \text{Dlog}(fY_{\text{fnm}}) \\ &\quad - 0.1539 * \text{Dlog}(p_{\text{venm}}/p_{\text{yfnm}}) + 0.001675 * \text{Dif}(f_{\text{ros}}) \\ &\quad - 0.6344 * (\log(fV_{\text{enm}}(-1))/fY_{\text{fnm}}(-1)) + 0.1837 * \log(p_{\text{venm}}(-1)/p_{\text{yfnm}}(-1)) \\ &\quad - 0.001675 * f_{\text{ros}}(-1) + \log(dt_{\text{fvenm}} + 0.5307) + \log(1 + j_{\text{rfvenm}}) \end{aligned}$$
2. 
$$\begin{aligned} \text{bvjtnmw} &= ((-0.0085356 + dt_{\text{bvjtnm}}) * (p_{\text{qjtnm}}/0.091327) \\ &\quad + 0.011520 * ((p_{\text{qjtnm}}/0.091327)**0.5) * ((p_{\text{qjenm}}/0.076128)**0.5) \\ &\quad + 0.014045 * ((p_{\text{qjtnm}}/0.091327)**0.5) * ((p_{\text{qjonm}}/0.035234)**0.5)) / p_{\text{qjznm}} \end{aligned}$$
3. 
$$\begin{aligned} \text{bvjenmw} &= (0.011520 * ((p_{\text{qjtnm}}/0.091327)**0.5) * ((p_{\text{qjenm}}/0.076128)**0.5) \\ &\quad + (-0.181658 + dt_{\text{bvjenm}}) * (p_{\text{qjenm}}/0.076128) \\ &\quad + 0.104173 * ((p_{\text{qjenm}}/0.076128)**0.5) \\ &\quad * ((p_{\text{qjonm}}/0.035234)**0.5)) / p_{\text{qjznm}} \end{aligned}$$
4. 
$$\text{bvjonmw} = 1 - \text{bvjtnmw} - \text{bvjenmw}$$
5. 
$$\text{bvjtnm} = \text{bvjtnmw} + \text{Jbvjtnm}$$
6. 
$$\text{bvjenm} = \text{bvjenmw} + \text{Jbvjenm}$$
7. 
$$\text{bvjonm} = 1 - \text{bvjtnm} - \text{bvjenm}$$
8. 
$$\begin{aligned} p_{\text{qjonm}} &= b_{\text{qgnm}} * p_{\text{qjgnm}} + b_{\text{qhn}} * p_{\text{qjhn}} + b_{\text{qsnm}} * p_{\text{qjsnm}} \\ &\quad + (1 - b_{\text{qgnm}} - b_{\text{qhn}} - b_{\text{qsnm}}) * p_{\text{qjfnm}} \end{aligned}$$
9. 
$$q_{\text{Jznm}} = k_{\text{qjnm}} * kv_{\text{jnm}} * fV_{\text{enm}}$$
10. 
$$\begin{aligned} q_{\text{Jtnm}} &= q_{\text{Jznm}} * \text{bvjtnm} / p_{\text{qjtnm}} \\ &\quad / (\text{bvjtnm} / p_{\text{qjtnm}} + \text{bvjenm} / p_{\text{qjenm}} + \text{bvjonm} / p_{\text{qjonm}}) \end{aligned}$$
11. 
$$\begin{aligned} q_{\text{Jenm}} &= q_{\text{Jznm}} * \text{bvjenm} / p_{\text{qjenm}} \\ &\quad / (\text{bvjtnm} / p_{\text{qjtnm}} + \text{bvjenm} / p_{\text{qjenm}} + \text{bvjonm} / p_{\text{qjonm}}) \end{aligned}$$
12. 
$$\begin{aligned} q_{\text{Jonm}} &= q_{\text{Jznm}} * \text{bvjonm} / p_{\text{qjonm}} \\ &\quad / (\text{bvjtnm} / p_{\text{qjtnm}} + \text{bvjenm} / p_{\text{qjenm}} + \text{bvjonm} / p_{\text{qjonm}}) \end{aligned}$$
13. 
$$\begin{aligned} p_{\text{venm}} &= (p_{\text{qjtnm}} * q_{\text{Jtnm}} + p_{\text{qjenm}} * q_{\text{Jenm}} + p_{\text{qjgnm}} * q_{\text{Jgnm}} \\ &\quad + p_{\text{qjhn}} * q_{\text{Jhn}} + p_{\text{qjsnm}} * q_{\text{Jsnm}} + p_{\text{qjfnm}} * q_{\text{Jfnm}}) / kv_{\text{jnm}} / fV_{\text{enm}} \end{aligned}$$
14. 
$$q_{\text{Jgnm}} = b_{\text{qgnm}} * q_{\text{Jonm}}$$
15. 
$$q_{\text{Jhn}} = b_{\text{qhn}} * q_{\text{Jonm}}$$
16. 
$$q_{\text{Jsnm}} = b_{\text{qsnm}} * q_{\text{Jonm}}$$
17. 
$$q_{\text{Jfnm}} = (1 - b_{\text{qgnm}} - b_{\text{qhn}} - b_{\text{qsnm}}) * q_{\text{Jonm}}$$

På *første trin* bestemmer ligning 1 erhvervets *samlede* energiforbrug i faste 1980-priser,  $fV_{enm}$ . Omregnet til løbende priser,  $fV_{enm} \cdot p_{venm}$ , udgør det budgetrestriktionen i mill. kr., som fordeles på de 6 energiarter i de sidste to trin i ligning 2-17. Erhvervets aggregerede energipris,  $p_{venm}$ , bestemmes i ligning 13 ved en sammenvejning af priserne på de 3 energityper transportbrændsler, el og øvrig energi. Prisen på øvrig energi,  $p_{qjonm}$ , bestemmes i ligning 8 ved en sammenvejning af priserne på naturgas, fjernvarme, fast brændsel og flydende brændsel. Korrektionsfaktoren  $kvjnm$ , korrigerer for definitionsforskelle.

På *andet trin* bestemmes ligevægtsbudgetandelene for transportenergi,  $bvjtnmw$ , og el,  $bvjennmw$ , i de estimerede ligninger 2 og 3, der svarer til (2.3.6). De estimerede koefficienter fra tabel 2.3.4 genfindes i ligningerne. Derudover divideres alle priser med deres værdi i 1980, fordi estimationerne er udført på priser normeret til 1 i 1980 (hvilket selvklaart er uden betydning for resultatet). Værdierne af trenden og dummy'erne multipliceret med deres respektive parametre er opsummeret i indeksene  $dtbvjnm$ . Ligevægtsbudgetandelen for øvrig energi,  $bvjonmw$ , beregnes residualt i ligning 4. Ligningerne 5 og 6, der svarer til (2.3.7), bestemmer de faktiske budgetandele for transportenergi,  $bvjtnm$ , og el,  $bvjennm$ , ud fra ligevægtsværdierne. Da der er øjeblikkelig tilpasning i dette erhverv, jf. resultaterne i tabel 2.3.4, er der i dette tilfælde ingen forskel på ligevægtsbudgetandelene og de faktiske budgetandele, men for andre erhverv, hvor der ikke er øjeblikkelig tilpasning, er der forskelle. Den faktiske budgetandel for øvrig energi,  $bvjonm$ , beregnes igen residualt i ligning 7.

De faktiske budgetandele omregnes herefter til *energiforbrug i TJ* i ligning 9-12 ud fra den definitions-mæssige sammenhæng mellem de to størrelser. Variablen  $kqjnm$  danner overgang mellem erhvervets samlede energiforbrug målt i faste 1980-priser og i TJ.

I *tredje og sidste trin* fordeles erhvervets samlede forbrug af øvrig brændsel opgjort i TJ på de fire underkomponenter ved hjælp af *eksogene kvoter*,  $bqjnm$ , jf. ligning 14-17. Forbruget af flydende brændsel i TJ beregnes residualt i ligning 17.

### 2.3.4. Sammenligning med Energistyrelsens system

Som det fremgår nærmere af oversigten i kapitel 5, opererer den i denne sammenhæng relevante del af Energistyrelsens modelsystem, *energiforbrugsmodellen*, med 6 dimensioner i bestemmelsen af erhvervenes energiefterspørgsel: 9 erhverv (uden for transport og energiforsyning), 13 energityper, 12 slutanvendelser, 4 geografiske områder, teknologier og tid (år). Satellitmodellen for erhvervene rummer kun 3 dimensioner: 13 erhverv, 6 energityper og tid. De 9 egentlige erhverv i energiforbrugsmodellen (uden for transport og energiforsyning) er aggregater af de 13 erhverv i satellitmodellen. Dog opererer energiforbrugsmodellen med en detaljeret opdeling af den offentlige sektor. De 13 energityper i energiforbrugsmodellen er bortset fra visse definitionsforskelle groft sagt lig med de 6 energityper i satellitmodellen plus 6 vedvarende energityper, som bortset fra træ slet ikke indgår i satellitmodellen, samt en restgruppe.

I realiteten løses energiforbrugsmodellen kun for 10-15 års mellemrum, således at den mellemliggende dynamik kun til en vis grad beskrives, og modellen må siges at være en *langsigtmodel*. Det giver derfor kun mening at sammenligne modellernes langsigtsegenskaber.



---

Ligesom satellitmodellen foretager energiforbrugsmodellen en *trinvis* bestemmelse af energiforbruget i erhvervene. Undtaget fra det følgende er den offentlige sektor, hvor energiforbruget i energiforbrugsmodellen er knyttet til den demografiske udvikling.

Først bestemmer energiforbrugsmodellen det *samlede forbrug af nyttiggjort energi*<sup>37</sup> i 8 erhverv (landbrug mv. er undtaget) som funktion af erhvervets *BFI i faste priser*. Ligesom i satellitmodellen er elasticiteten af energiforbruget med hensyn til BFI lig med 1 på langt sigt. I forhold hertil adskiller satellitmodellen sig ved følgende *forskelle*

---

<sup>37</sup> I Energistyrelsens terminologi benævnes forbruget af nyttiggjort energi for nettoenergiforbruget.

- Måleenheden for energiforbruget er faste 1980-priser
- Der er estimeret en priselasticitet (gennemsnitligt lig med  $\approx 0.25$ )
- Der indgår en eksogen trend.

Den eksogene trend modsvarer historisk typisk energibesparende tekniske fremskridt, men er dog for enkelte erhverv energiforbrugende. Under alle omstændigheder skal brugeren selv tage stilling til dens udvikling i fremskrivninger.

Dernæst *splitter* energiforbrugsmodellen erhvervets samlede forbrug af nyttiggjort energi i henholdsvis *el* og *resten* som funktion af erhvervets BFI i faste priser i en lineær *estimeret* relation.

I forhold hertil adskiller satellitmodellen sig ved følgende *forskelle*

- Måleenheden for forbruget af de enkelte energiarter er direkte energi (i TJ)
- Forbruget af transportbrændsler bestemmes også
- Den matematiske funktionsform afviger
- BFI-elasticiteten for alle energiarter er 1
- Der er estimeret prissubstitutionseffekter mellem de tre energiarter.

Energiforbrugsmodellen skelner mellem forskellige slutanvendelser af energityperne. For hver slutanvendelse er defineret et *teknologiindeks* og et *adfærdsindeks*, der begge er eksogene. En teknologisk betinget ændret effektivitet i en slutanvendelse kan indlægges som en ændring i det relevante teknologiindeks. Virkninger på energiforbruget i slutanvendelsen af ændret adfærd f.eks. som reaktion på nye normer, oplysningskampagner eller ændrede afgifter kan indlægges som en ændring i det relevante adfærdsindeks.

I satellitmodellen er der også eksogene trende, men de er estimeret på den historiske periode. Da BFI i faste priser historisk er vokset ret trendmæssigt i erhvervene, repræsenterer energiforbrugsmodellens estimationer af BFI-elasticiteter forskellige fra 1 i ren *statistisk* forstand delvist det samme fænomen som satellitmodellens estimationer af trende under den restriktion, at BFI-elasticiteterne er bundet til 1. De to alternative specifikationer har selvfølgelig væsensforskellige konsekvenser for *modelegenskaberne*. Brugeren af satellitmodellen skal selv tage stilling til trendenes udvikling i fremskrivninger, men det kan bl.a. ske med støtte i de historisk estimerede trende.

Endelig *fordeler* energiforbrugsmodellen *rest (ikke-el)* forbruget på underkomponenter ved eksogene andele. Det samme kan essentielt siges at ske i satellitmodellen, når der blot tages højde for de definitions-mæssige forskelle, der følger umiddelbart af ovenstående.

Forbruget af energi til egentransport bestemmes i energiforbrugsmodellen samlet for erhvervene under et, jf. kapitel 2.4.

Modelegenskaberne sammenlignes i tabel 2.3.6 med elasticiteterne som kriterie. Det ses, at energiforbrugsmodellen har en BFI-elasticitet i elforbruget, som er mindre end 1, i landbrug, leverandører til byggeri, transportmiddelindustri og anden fremstillingsvirksomhed samt bygge- og anlægsvirksomhed. I disse erhverv bortset fra bygge- og anlægsvirksomhed – såvel som i de øvrige erhverv – finder trendestimationerne i satellitmodellen en tendens til et større forbrug af el relativt til de øvrige energiarter, hvilket umiddelbart synes uforeneligt med energiforbrugsmodellens resultater.

*Sammenfattende* kan det konkluderes, at selvom der er mange og vigtige forskelle i definitioner, aggregeringsniveau og modelspecifikation, er lighederne mellem satellitmodellen og energiforbrugsmodellen alligevel iøjnefaldende. På det *overordnede* plan er det en grundlæggende forskel, at satellitmodellen opererer med historisk estimerede *prisfølsomheder*, mens virkninger af prisændringer må indlægges eksogent via adfærdsindeksene i energiforbrugsmodellen. Endelig er det værd at fremhæve, at energiforbrugsmodellen opererer med en mere disaggregeret tilgang (bortset fra erhvervsopdelingen), der letter konsekvensberegninger af *detaljerede* teknologiske forandringer.

**Tabel 2.3.6. Elasticiteter på langt sigt i 1991 i ADAM-systemet og i energiforbrugsmodellen**

Erhverv i energiforbrugsmodellen	Variabel	ADAM-kode	ADAM-systemet			Energiforbrugsmodel	
			BFI	Pris	Trend <sup>1</sup>	BFI	Pris
Landbrug	Transportenergi	<i>a</i>	1.00	-0.46	-3.6		
	El	-	1.00	-0.61	-1.9	0.55	0.00
	Øvrig energi	-	1.00	-0.61	-5.8	1.13	0.00
	Al energi	-	1.00	-0.40	-4.1	1.00	0.00
Nærings- og nydelsesmiddelindustri	Transportenergi	<i>nf,nn</i>	1.00	-0.22	-0.9		
	El	-	1.00	-0.47	-0.1	1.37	0.00
	Øvrig energi	-	1.00	-0.17	-1.0	0.85	0.00
	Al energi	-	1.00	-0.11	-1.0	1.00	0.00
Leverandører til byggeri	Transportenergi	<i>nb</i>	1.00	-0.62	2.6		
	El	-	1.00	-0.25	1.6	0.49	0.00
	Øvrig energi	-	1.00	-0.26	-0.4	1.10	0.00
	Al energi	-	1.00	-0.35	-0.2	1.00	0.00
Jern- og metalindustri	Transportenergi	<i>nm</i>	1.00	-0.16	0.8		
	El	-	1.00	-0.25	1.3	1.60	0.00
	Øvrig energi	-	1.00	-0.21	-6.4	0.31	0.00
	Al energi	-	1.00	-0.18	-2.5	1.00	0.00
Transportmiddelindustri og anden fremstillingsvirksomhed	Transportenergi	<i>nt,nq</i>	1.00	-0.45	-0.8		
	El	-	1.00	-0.33	-0.6	0.47	0.00
	Øvrig energi	-	1.00	-0.19	-0.8	1.48	0.00
	Al energi	-	1.00	-0.19	-0.7	1.00	0.00
Kemisk industri mv.	Transportenergi	<i>nk</i>	1.00	-0.46	-1.9		
	El	-	1.00	-0.43	0.2	1.45	0.00
	Øvrig energi	-	1.00	-0.30	-6.5	0.57	0.00
	Al energi	-	1.00	-0.30	-4.0	1.00	0.00
Bygge- og anlægsvirksomhed	Transportenergi	<i>b</i>	1.00	-0.27	0.0		
	El	-	1.00	-0.30	0.0	0.95	0.00
	Øvrig energi	-	1.00	-0.34	0.0	1.01	0.00
	Al energi	-	1.00	-0.13	0.0	1.00	0.00
Handel, finansiel virksomhed og andre tjenesteydende erhverv	Transportenergi	<i>qh,qf,qq</i>	1.00	-0.38	-0.0		
	El	-	1.00	-0.30	2.6	1.11	0.00
	Øvrig energi	-	1.00	-0.35	-7.4	0.77	0.00
	Al energi	-	1.00	-0.32	-0.8	1.00	0.00

Anm. Det bemærkes, at der er vigtige definitionsforskelle for variableerne mellem de to modeller. Energiforbrugsmodellens BFI-elasticitet for al energi vedrører kun summen af el og øvrig energi, idet egenforbruget af transportenergi særbehandles, jf. kapitel 2.4.

<sup>1</sup> Trenden er den gennemsnitlige årlige trend for årene 1981-91 evalueret ved modellens ligevægtsværdier i 1991. Der er således ikke tale om en elasticitet. I energiforbrugsmodellen optræder ingen estimeret trend, dvs. trenden er nul i den historiske periode.

## 2.4. Transporterhvervet

Både energi- og miljømæssigt er transporterhvervene af stor og stigende betydning. I ADAM opdeles transporterhvervene i søtransport (*qs*-erhvervet) og anden transport (*qt*-erhvervet). Energiforbruget til søtransport beskrives i ADAM. Dette kapitel beskriver en underopdeling af erhvervet anden transport samt energiforbruget i de underopdelte transporterhverv.

I 1990 anvendte *qt*-erhvervet ca. 10 % af det totale energiforbrug og emitterede godt 15 % af de totale NO<sub>x</sub>-emissioner, men som det ses af tabel 2.4.1, inkluderer *qt*-erhvervet erhverv, der er meget forskellige. Knap 50 % af *qt*-erhvervets produktion produceres i undererhvervene post- og telekommunikation og hjælpevirksomheder, der tilsammen kun anvender ca. 11 % af *qt*-erhvervets samlede bruttoenergiforbrug. Desuden har energiforbruget udviklet sig meget forskelligt i de enkelte undererhverv. Generelt har der været en stigende energiintensitet i vejtransporten, faldende energiintensitet i lufttransporten og konstant energiintensitet for post- og telekommunikation samt hjælpevirksomheder. Tendensen har desuden været, at produktionen er steget kraftigst i undererhverv med faldende eller konstant energiintensitet.

**Tabel 2.4.1. Produktion, energiforbrug og NO<sub>x</sub>-emissioner i underopdelte transporterhverv i 1990**

Erhverv	Andel af produktionen %	Andel af bruttoenergiforbrug <sup>1</sup> %	Energikoefficient Bruttoenergi i PJ/mia 1980-kr.	Andel af NO <sub>x</sub> -emissioner %
Jernbaner	5	7	2.8	8
Busdrift	3	9	7.6	15
Færger	1	6	9.1	6
Turistbusser	2	4	3.7	7
Taxi	3	3	2.0	2
Fragtvognmænd	24	29	2.1	47
Luftfart	12	31	4.3	10
Post- og telekommunikation	23	7	0.6	3
Hjælpevirksomheder	26	4	0.3	2
Total	100	100	1.8	100

<sup>1</sup> Fordelingen af CO<sub>2</sub>-emissioner svarer stort set til fordelingen af energiforbruget, og erhvervenes bidrag til SO<sub>2</sub>-emissionerne er minimale.

### 2.4.1. Egenskaber

Produktionen i de underopdelte erhverv bestemmes ud fra en underopdeling af ADAM's input-output tabel. Idet der forudsættes konstante input-output koefficienter, bestemmes leverancerne fra hvert af de underopdelte erhverv som konstante andele af produktionen i de modtagende erhverv og endelige anvendelseskategorier, og produktionen bestemmes som summen af erhvervenes leverancer. Som det ses af tabel 2.4.2, tages der herved højde for, at de enkelte erhverv og endelige anvendelseskategorier i ADAM trækker forskelligt på de enkelte undererhverv. Eksempelvis trækker ADAM's erhverv primært på jernbaner, færger og fragtvognmænd, mens husholdningerne primært trækker på jernbaner, busdrift, turistbusser og taxi. Ser man på en række i tabel 2.4.2, bemærkes f.eks. fragtvognmænd

primært at levere til andre erhverv og eksport, mens leverancerne til husholdningerne er minimale. Summeres over de enkelte transporterhverv er modellen formuleret således, at produktionen i disse summerer til produktionen i ADAM's *qt*-erhverv.

**Tabel 2.4.2. Procentvise ændringer i transporterhvervenes produktion ved ændringer i de øvrige erhvervs produktion samt ændringer i det private forbrug**

Erhverv	Ændring i produktionen med 1 pct.					Ændring i endelig anv. med 1 pct.			Sum
	Prim. erhv. <i>fxa</i>	Industri <i>fxn,e</i>	Bygge-anlæg <i>fxb</i>	Service <i>fxq,h,o</i>	Total ekskl. anden transp.	Koll. transp. <i>fck</i>	Tjenester <i>fcs</i>	Eksport <i>fe</i>	
Jernbaner	0.002	0.204	0.004	0.237	0.447	0.540	0.004	0.008	1.000
Busdrift	0.000	0.004	0.002	0.212	0.218	0.778	0.000	0.004	1.000
Færger	0.005	0.096	0.059	0.423	0.582	0.279	0.007	0.132	1.000
Turistbus.	0.003	0.030	0.000	0.260	0.292	0.706	0.000	0.001	1.000
Taxi	0.004	0.044	0.000	0.334	0.382	0.614	0.001	0.003	1.000
Fragtvogn.	0.013	0.192	0.115	0.339	0.658	0.024	0.003	0.315	1.000
Luftfart	0.004	0.084	0.019	0.175	0.283	0.321	0.003	0.393	1.000
Post/tele.	0.013	0.145	0.039	0.444	0.641	0.343	0.011	0.006	1.000
Hjælpevirk.	0.035	0.202	0.025	0.391	0.652	0.041	0.110	0.198	1.000

Det totale energiforbrug i det enkelte erhverv afhænger af erhvervets produktion, den reale energipris og en trend, der historisk udtrykker den årlige procentvise ændring i energikoefficienten, som ikke kan forklares af udviklingen i produktion og energipriser. - Den styrke hvormed ændringer i produktionen og energiprisen påvirker energiforbruget samt den historisk estimerede trend er vist i tabel 2.4.3.

**Tabel 2.4.3. Produktions- og energipriselasticiteter samt den historisk estimerede trend i transporterhvervenes totale energiforbrug i 1980-priser**

Erhverv	Produktionselasticitet		Energielasticitet		Historisk trend Årlig pct.
	1. år	Langt sigt	1. år	Langt sigt	
Jernbaner	1.00	1.00	-0.18	-0.12	1.13
Busdrift	0.26	1.00	-0.09	-0.26	7.76
Færger	0.21	1.00	-0.00	-0.13	1.50
Turistbusser	0.49	1.00	-0.09	-0.09	1.70
Taxi	0.07	1.00	-0.39	-0.14	1.23
Fragtvognmænd	0.74	1.00	-0.14	-0.01	3.99
Luftfart	1.00	1.00	-0.07	-0.07	-1.55
Post- og telekommunikation	1.00	1.00	-0.06	-0.23	0.00
Hjælpevirksomheder	0.66	1.00	-0.36	-0.22	1.31
Anden transport i alt	0.74	1.00	-0.09	-0.08	1.72

Som det ses af tabel 2.4.3 er produktionselasticiteten på langt sigt 1.0, dvs. stiger produktionen 1 %, vil energiforbruget også stige 1 % på langt sigt. Tilpasningen til langsigtsniveauet sker gradvist, og førsteårseffekten er i gennemsnit 3/4, men som det ses af tabellen, er der betydelige forskelle imellem de enkelte erhverv. Meget små førsteårselasticiteter må fortolkes således, at produktionsændringer umiddelbart medfører ændret belægningsgrad. For eksempel ved at der er flere, der tager bussen, uden at antallet af busafgange umiddelbart ændres.

Langsigtspriselasticiteterne bemærkes generelt at være små og i gennemsnit -0.08. Ses på førsteårselasticiteterne, er disse større end langsigtspriselasticiteterne i fire af erhvervene. Dette virker umiddelbart noget overraskende, men betyder fortolkningsmæssigt blot, at f.eks. energiprisstigninger medfører umiddelbare energibesparelser, der ikke holder i længden. Ved store og uforudsete energiprisstigninger (som der har været i estimationsperioden) er det for f.eks. taxi og fragtvognmænd måske ikke urimeligt at forvente kortsigtede adfærdsændringer, der ikke holder i længden. Man kører umiddelbart mere energiøkonomisk, men med tiden kører man, som man plejer. For en jævn prisudvikling er effekten sværere at fortolke. For jernbaner er resultatet mere tvivlsomt, men kan indikere et stramt energibudget, der efterfølgende reguleres. Forskellen på førsteårs- og langsigtselasticiteten er dog ikke stor. Trenden er udtryk for den historiske årlige procentvise ændring i energikoefficienten og afspejler udeladte forklarende variabler. Som det ses af tabellen, varierer trenden betydeligt imellem erhvervene og er generelt positiv, men dog negativ for luftfart. Den positive trend afspejler en generel substitution fra arbejdskraft til større og mere energiforbrugende biler, busser osv. Generelt har større biler et større energiforbrug pr. km. der køres, men i forhold til hvor meget der kan transporteres, dvs. pr. tonkm. eller personkm., er energiforbruget mindre. Den stigende energikoefficient (energiforbrug/produktion i 1980-priser) i estimationsperioden er således ikke nødvendigvis udtryk for, at bilernes energiforbrug målt i forhold til, hvor meget der transporteres (energiforbrug/ton- eller personkm.), har været stigende.

Udover denne generelle tendens til større biler afspejler de positive trends specielle historiske ændringer i de enkelte erhverv, og disse kan ikke nødvendigvis forventes at fortsætte. For busdrift skyldes den meget store historiske trend i væsentlig grad stigende subsidier og dermed stigende aktivitet i forhold til produktionsværdien (i nationalregnskabet bestemmes produktionen som materialeforbrug plus faktorindkomst minus subsidier). Forudsættes i en fremskrivning uændrede subsidier, bør trenden reduceres til mellem 0.5% og 1.5%. For turistbusser kan trenden forklares med, at antal personkm. stiger mere end produktionen. For fragtvognmænd kan trenden tilskrives substitution til større biler, en stigning i antal kørte km. i forhold til produktionsværdien og et fald i kapacitetsudnyttelsen. I fremskrivninger må man forvente, at kapacitetsudnyttelsen ikke fortsætter med at falde, og man må forvente en lavere trend.

Det totale energiforbrug i de enkelte erhverv fordeles på energityper ved eksogent fastsatte andele. Normalt anvendes konstante andele, hvorefter forbruget af de enkelte typer følger udviklingen i det totale energiforbrug. Som det ses af tabel 2.4.4, udgør transportenergiforbruget i de fleste af transporterhvervene den overvejende andel af det totale energiforbrug. Jernbanerne anvender dog en del el, og i fremskrivninger bør bl.a. elandelen fastsættes under hensyntagen til den planlagte elektrificering af jernbanerne. Erhvervene post- og telekommunikation samt hjælpevirksomheder er reelt serviceerhverv, der ikke anvender en specielt stor andel transportenergi. Til gengæld er de heller ikke specielt energiforbrugende.

**Tabel 2.4.4. Fordeling af det totale energiforbrug på energityper i 1990**

Andele af totalt energiforbrug	Fast brændsel	Fjernvarme	Flydende brændsel	Transport brændsel	Naturgas	El	Sum
Jernbaner	0.00	0.01	0.02	0.71	0.00	0.26*	1.0
Busdrift	0.00	0.00	0.00	0.99	0.00	0.01	1.0
Færger	0.00	0.00	0.48*	0.51	0.00	0.01	1.0
Turistbusser	0.00	0.00	0.02	0.97	0.00	0.01	1.0
Taxi	0.00	0.00	0.10	0.89	0.00	0.01	1.0
Fragtvognmænd	0.00	0.00	0.00	0.99	0.00	0.01	1.0
Luftfart	0.00	0.00	0.01	0.97	0.00	0.02	1.0
Post- og telekom.	0.00	0.08	0.09	0.39	0.03	0.41	1.0
Hjælpevirksomheder	0.00	0.06	0.08	0.53	0.02	0.31	1.0

\* Anvendt som transportbrændsel

## 2.4.2. Teori

Produktionen i de underopdelte transporterhverv input-output bestemmes ud fra en underopdeling af ADAM's input-output tabel (jf. afsnit 1.1.5 om i-o-systemet generelt), dvs.

$$fX_i^* = \sum_{j \neq i} \alpha_{ij} \cdot fX_j + \sum_{l \neq i} \alpha_{il} \cdot fX_l^* + \sum_k \alpha_{ik} \cdot fC_k + \alpha_{iE} \cdot fE \quad (2.4.1)$$

- $fX_i^*$  Produktion i transporterhverv  $i$  under forudsætning af konstante 1990 i-o-koefficienter
- $fX_l^*$  Produktion i transporterhverv  $l$  under forudsætning af konstante 1990 i-o-koefficienter
- $fX_j$  Produktion i erhverv  $j$
- $fC_k$  Forbruget af forbrugskategori  $k$
- $fE$  Eksport
- $\alpha_{ij}$  Parametre der er lig med i-o-koefficienterne i 1990.<sup>38</sup>

Summes over disse transporterhverv fås produktionen i ADAM's  $qt$ -erhverv baseret på detaljerede i-o-koefficienter for 1990, dvs.

$$fX_{qt}^* = \sum_{i \in qt} fX_i^* \quad (2.4.2)$$

Da dette ikke er lig den beregnede produktion i ADAM's  $qt$ -erhverv, korrigeres produktionsværdien i de enkelte transporterhverv bestemt ved 2.4.1 således, at de summer til ADAM's  $fX_{qt}$ :

$$fX_i = \frac{fX_i^*}{fX_{qt}^*} \cdot fX_{qt} \quad (2.4.3)$$

<sup>38</sup> Der opereres på en underopdeling af nationalregnskabet, og der er kun i-o-koefficienter for 1990.



$fX_{qt}$  Produktionen i  $qt$ -erhvervet bestemt i ADAM

Beregningen i ligning (2.4.1) anvendes altså som fordelingsnøgle, og produktionen i de underopdelte erhverv tvinges til at summe til produktionen i  $qt$ -erhvervet.

Energiforbruget i de enkelte transporterhverv bestemmes ved en relation for det totale energiforbrug i 1980-priser specificeret som en logaritmisk fejlkorrektionsmodel. Langsigtslige vægtsrelationen er specificeret som

$$\log\left(\frac{E}{fX}\right) = a + b \cdot \log\left(\frac{P^E}{P^N}\right) + \gamma \cdot T \quad (2.4.4)$$

$E$	Energiforbruget i 1980-priser
$fX$	Produktionen i 1980-priser
$P^E$	Energiprisen, index 1980=1.0
$P^N$	Prisen på ikke-energi input, index 1980=1.0
$T$	Tid.

Det vil sige, at ligningen er homogen af 0'te grad i priserne, langsigtsproduktionselasticiteten er 1, priselasticiteten  $b$  er konstant, og der er en eksponentiel trend i energikoefficienten.

Funktionsformen i (2.4.4) er en såkaldt "ad-hoc"-relation, idet der ikke er gjort forsøg på at estimere efterspørgslen efter "energi" og "ikke-energi" som faktorefterspørgselsrelationer udledt fra produktionsfunktionen  $fX = F(E, N)$ , hvor  $fX$  er produktionen,  $E$  er energiforbrug og  $N$  er ikke-energi input.<sup>39</sup>

Tilpasningen til langsigtslige vægtsniveauet beskrives ved en fejlkorrektionsmodel, hvor produktionselasticiteten tillades at afvige fra 1 på kort sigt, og hvor der introduceres dummy-variabler til at korrigere for databrud. De estimerede relationer er således specificeret som

$$\begin{aligned} D\log\left(\frac{E_t}{fX_t}\right) &= a_0 + a_1 D\log\left(\frac{P_t^E}{P_t^N}\right) + a_2 D\log(fX_t) + d D(Dummy) \\ &\quad - k \left(\log\left(\frac{E_{t-1}}{fX_{t-1}}\right) - b \log\left(\frac{P_{t-1}^E}{P_{t-1}^N}\right) - \gamma T_{t-1} - d Dummy_{t-1}\right) \end{aligned} \quad (2.4.5)$$

Estimationsresultaterne for de enkelte transporterhverv er vist i tabel 2.4.5. Ses på estimationsresultaterne, må det generelt konkluderes, at relationernes statistiske egenskaber ikke er specielt overbevisende, hvilket hænger sammen med kvaliteten af de

<sup>39</sup>Ligning (2.4.4) har to parametre og giver samme fleksibilitet, som hvis man estimerede  $E$  og  $N$  i et samlet to-faktor CES-faktorefterspørgselssystem. Ligning (2.4.4) kan opfattes som en forenklet CES-ligning. Ændrer man den afhængige variabel i ligning 2.4.4 fra at være  $\log(E/fX)$  til at være  $\log(E/N)$ , vil ligningen repræsentere en underliggende CES-produktionsfunktion. Forsøgsvis estimationer med  $\log(E/N)$  som venstresidevariabel gav dog dårligere statistiske resultater end (2.4.4), hvorfor denne er foretrukket.

grundlæggende data. Generelt bemærkes priselasticiteterne at være små og statistisk insignifikante, samt at trenden afspejler historiske udviklinger, der ikke nødvendigvis forventes at fortsætte i fremtiden.<sup>40</sup>

Sluttelig fordeles energiforbruget i 1980-priser på de 6 energityper ved eksogent bestemte andele, og forbruget af de enkelte typer omregnes til TJ ved at dividere med prisen pr. TJ i 1980.

**Tabel 2.4.5. Estimationsresultater for de enkelte transporterhverv, energiforbrug i 1980-priser**

Erhverv	$a_0$	$a_1$	$a_2$	k	b	$\gamma$	$d_1^{6673}$	$d_2^{8890}$	$R^2_{adj}$	s	DW
Jernbaner	-11.5795 (3.585)	-0.1708 (0.062)	-	0.6455 (0.200)	-0.1144 -	0.0115 -	-	-0.1024 -	0.50	0.059	1.92
Busdrift	-53.5923 (22.001)	-0.0838 (0.077)	-0.7241 (0.213)	0.3716 (0.152)	-0.2224 -	0.0755 -	-1.2236 -	-0.3309 -	0.94	0.081	1.75
Færger	1.8847 (1.421)	-	-0.7874 (0.166)	0.3264 (0.246)	-0.1114 (0.089)	-	-	-	0.76	0.065	2.45
Turistbusser	-2.0872 (13.549)	-0.0790 (0.063)	-0.5072 (0.249)	0.0776 (0.142)	-0.0790 -	0.0165 (0.064)	0.2901 -	-0.2561 (0.054)	0.76	0.048	2.01
Taxi	-5.9979 (2.442)	-0.3848 (0.179)	-0.9424 (0.381)	0.3120 (0.127)	-0.1628 -	0.0123 -	-	-0.3416 -	0.24	0.120	1.51
Fragtvogn.	-46.3216 (16.309)	-0.1339 (0.059)	-0.2618 (0.160)	0.6242 (0.220)	-0.0099 -	0.0399 -	-	-0.2607 -	0.64	0.043	1.75
Luftfart	35.8699 (8.341)	-	-	-	-0.0675 (0.050)	-0.0153 (0.004)	-0.1776 (0.067)	-0.1048 (0.064)	0.64	0.068	2.00
Post/tele.	0.6548 (0.656)	-0.0645 (0.150)	-	0.1940 (0.186)	-0.2255 (0.388)	-	0.2144 (0.110)	-0.1927 (0.086)	0.38	0.078	1.62
Hjælpevirk.	-5.032 (4.483)	-0.3583 (0.182)	-0.3401 (0.386)	0.2182 (0.193)	-0.2238 -	0.0131 -	-	-0.2091 -	0.31	0.104	1.59

Anm. Standardfejl i parenteser;  $a_0$ : konstant;  $a_1$ : førsteårs-priselasticitet;  $a_2$ : førsteårs-produktionselasticitet; b: langsigtspiselasticitet;  $\gamma$ : trend; k: tilpasningsparameter;  $d_1^{6673}$ ,  $d_2^{8890}$ : dummy-koefficienter.

### 2.4.3. Implementering i ADAM

Som eksempel på implementeringen i ADAM er i dette afsnit valgt at beskrive de enkelte typer af ligninger for erhvervet fragtvognmænd. Ligningerne 1-5 beskriver bestemmelsen af erhvervets produktion i 1980-priser. I ligningerne 6-8 bestemmes energiforbruget i 1980-priser, og i ligning 9 omregnes til energiforbrug i TJ. For variabelnavne henvises generelt til variabellisten, der findes som arbejdspapir og kan fås ved henvendelse til Danmarks Statistik.

Ligning 1 bestemmer leverancerne fra fragtvognmænd til landbruget. Tilsvarende ligninger findes for leverancerne til andre erhverv og endelige anvendelser. Ligning 2 bestemmer erhvervets produktion som summen af erhvervets leverancer. De 0.99925 er en

<sup>40</sup> For en nærmere gennemgang af estimationsresultaterne for de enkelte erhverv henvises til Andersen, F.M. og Trier, P. (1995) p. 34-39.

korrektionsfaktor, der sikrer, at variabelen  $fXt2v1$  er lig erhvervets produktion i 1990. Når summen i parenteser ikke umiddelbart giver produktionen i 1990 skyldes det, at erhvervet fragtvognmænd er en underopdeling af nationalregnskabsbranchen turist-, taxi-, fragtvognmænd m.v., samt at den grundlæggende input-output-tabel for underopdelingen er i 1990-priser. Omregningen til input-output koefficienter i 1980-priser er foretaget ved at beregne leverancerne i 1980-priser og at sikre, at de beregnede koefficienter for undererhvervene summer til nationalregnskabets input-output koefficienter i 1980-priser. De beregnede koefficienter for de underopdelte erhverv er således kun approximative. For erhverv, der er nationalregnskabserhverv, er input-output koefficienterne hentet fra nationalregnskabet i 1980-priser, hvorfor parenteser for disse erhverv summer til produktionen i 1980-priser, dvs. for disse erhverv er det ikke nødvendigt med en korrektion. Ligningerne 3 til 5 sikrer, at produktionen i de underopdelte erhverv summer til produktionen i ADAMs  $qt$ -erhverv. Ligning 3 svarer til ligning 2.4.2, og ligningerne 4 og 5 svarer til ligning 2.4.3 i afsnit 2.4.2.

Ligning 6 beregner erhvervets totale energiforbrug i 1980-priser. Ligningen er den estimerede ligning med koefficienterne fra tabel 2.4.5 indsat. Ligning 7 beregner den aggregerede energipris ud fra priserne på de enkelte energityper. Ligning 8 fordeler det totale energiforbrug i 1980-priser på de 6 energityper, og ligning 9 omregner dette til TJ. I ligning 9 er tallet i parenteser prisen pr. TJ i 1980, og  $qJjt2vn$  er korrektionsfaktorer, der historisk sikrer, at  $qJjt2v$  er lig det faktiske energiforbrug i TJ. Variabelen  $qJjt2vn$  afspejler ændret vægtning af underliggende energityper, og er identisk lig 1.0 for energityperne fjernvarme, naturgas og el, der ikke aggregeres af underliggende energityper. For fast-, flydende- og transportbrændsel er  $qJjt2vn$  forskellig fra 1.0, og fastsættes i fremskrivninger normalt til værdien i seneste år i observationsperioden.

1.  $ft2va = fXa * a1t2va \$$
2.  $fXt2v1 = (ft2va + ft2ve + ft2vng + ft2vne + ft2vnf + ft2vnn + ft2vnb + ft2vnm + ft2vnt + ft2vnk + ft2vnq + ft2vb + ft2vqh + ft2vqs + ft2vt1j + ft2vt1b + ft2vt1f + ft2vt2b + ft2vt2t + ft2vt2v + ft2vt3 + ft2vt4 + ft2vt5 + ft2vqf + ft2vqq + ft2vh + ft2vo + ft2vCk1 + ft2vEs) * 0.99925 \$$
3.  $fXqt1 = fXt1j1 + fXt1b1 + fXt1f1 + fXt2b1 + fXt2t1 + fXt2v1 + fXt31 + fXt41 + fXt51 \$$
4.  $kfxt2v = fXt2v1 / fXqt1 \$$
5.  $fXt2v = kfxt2v * fXqt \$$
6.  $Dlog(fJzt2v) = Dlog(fXt2v) - 0.1339 * Dlog(pfjzt2v / pat2v) - 0.2618 * Dlog(fXt2v) - 0.2607 * Dif(d8825) - 0.6242 * Dlog(dtftj2v) + 0.6242 * (-0.0099 * log(pfjzt2v(-1) / pat2v(-1)) - 0.260700 * d8825(-1) - log(dtftj2v) + log(fXt2v(-1)) - log(fJzt2v(-1)) - 1.716305) \$$
7.  $pfjzt2v = pfjst2v * bfjst2v + pfjht2v * bfjht2v + pfjft2v * bfjft2v + pfjtt2v * bfjtt2v + pfjgt2v * bfjgt2v + pfjet2v * bfjet2v$
8.  $fJst2v = fJzt2v * bfjst2v \$$   
 $fJht2v = fJzt2v * bfjht2v \$$   
 $fJft2v = fJzt2v * bfjft2v \$$   
 $fJtt2v = fJzt2v * bfjtt2v \$$

$$fJgt2v = fJzt2v * bfjgt2v \$$$

$$fJet2v = fJzt2v * bfjet2v \$$$

9.  $qJst2v = fJst2v / (1.0000 * qJst2vn) \$$

$$qJht2v = fJht2v / (0.0494 * qJht2vn) \$$$

$$qJft2v = fJft2v / (0.1240 * qJft2vn) \$$$

$$qJtt2v = fJtt2v / (0.0615 * qJtt2vn) \$$$

$$qJgt2v = fJgt2v / (0.1000 * qJgt2vn) \$$$

$$qJet2v = fJet2v / (0.0848 * qJet2vn) \$$$

#### 2.4.4. Sammenligning med Energistyrelsens system

Den fremskrivning for transportens energiforbrug, der er inkluderet i Energi 21, er udarbejdet af Trafikministeriet og er baseret på en fremskrivning med "Referencemodellen". Referencemodellen beskriver transportarbejdets udvikling ud fra den generelle økonomiske udvikling og bestemmer person- og godstransportarbejdet målt i fysiske enheder på et meget aggregeret niveau. Opdelingen i person- og godstransport er ikke umiddelbart sammenlignelig med opdelingen i satellitmodellen, der opererer på en erhvervsopdeling, men med lidt god vilje kan begge modeller aggregeres til grupper, hvis udvikling burde være sammenlignelige.

For godstransporten tager "Referencemodellen" udgangspunkt i, at det totale godstransportarbejde målt i tonkm.<sup>41</sup> følger udviklingen i bruttofaktoriindkomsten (BFI) i de vareproducerende erhverv plus vareimporten. Grundlæggende forudsættes altså en produktionselasticitet på 1. Det totale godstransportarbejde fordeles herefter på transportmidlerne godstog, fragtskibe, varebiler og lastbiler. For hvert af de fire transportmidler fastlægges herefter en belægningsgrad, der siger hvor mange tons eller personer, der i gennemsnit transporteres pr. kørt kilometer,<sup>42</sup> og transportmiddelkm. (vognkm.)<sup>43</sup> beregnes som godstransportarbejde i forhold til belægningsgrad. Endelig fordeles transportmiddelkm. (vognkm.) på drivmidler, og der forudsættes en energieffektivitet for hvert transportmiddel og energitype.<sup>44</sup> Energiforbruget beregnes som transportmiddelkm. gange energieffektivitet.

Persontransporten omfatter både private biler og kollektiv transport, hvor det her kun er relevant at sammenligne med den kollektive transport. (Transporten med private biler er en del af privatforbruget og behandles i afsnit 2.2). Prognoserne for persontransporten er baseret på fremskrivninger for de enkelte transportmidler, og er altså ikke som for godstransporten en prognose for det totale transportarbejde fordelt på transportmidler. I Energi 21 er jernbanernes udvikling baseret på en prognose fra DSB, busdriften forudsættes uændret på 1994-niveauet, flytransporten, der kun omfatter indenrigstrafikken, fremskrives med en BNP-elasticitet på 1.75, og færgerne fremskrives med samme vækst som personbiltransporten. Desuden er der fra og med 1998 korrigeret for effekterne af Storebæltsbroen.

Til sammenligning med Energi 21 er der, på basis af den ADAM-fremskrivning, der ligger til grund for Energi 21, gennemført to kørsler med satellitmodellen:

- én hvor trenden i energieffektiviteten er baseret på de historisk estimerede trends, der dog er revideret for forhold, der åbenlyst ikke kan forventes at fortsætte,
- én hvor trenden i energieffektiviteterne i satellitmodellen sættes lig med de tilsvarende energitekniske effektiviteter i Energi 21.

---

<sup>41</sup> tonkm. er tons gange km. En tonkm. er ét tons transporteret én km., og 10 tonkm. kan enten være ét tons transporteret 10 km. eller 10 tons transporteret én km.

<sup>42</sup> Belægningsgraden defineres som godstransportarbejdet i tonkm. ift. transportmiddelkm. i vognkm.

<sup>43</sup> Antal km. der køres med transportmidlet.

<sup>44</sup> Energieffektiviteten defineres som energiforbruget til at flytte et transportmiddel én km. uafhængigt af, hvor tungt transportmidlet er læsset. Udviklingen i energieffektiviteten dækker således over både en udvikling i motorens energieffektivitet og en udvikling i den gennemsnitlige last.

I appendiks A.2.4 gives en mere udførlig sammenligning af de gennemførte kørsler og Energi 21 fremskrivningen. Her skal blot uddrages nogle overordnede konklusioner. En væsentlig forskel imellem de to modeller er, hvordan aktiviteten måles og fremskrives. I Energi 21 måles aktiviteten i ton- og personkm., og i satellitmodellen måles aktiviteten ved produktionen i 1980-priser. Disse to mål for aktiviteten vil kun i særlige tilfælde udvikle sig helt ens.

For godstransporten fremskrives tonkm. i Energi 21 med den generelle økonomiske udvikling, mens produktionen i satellitmodellen fremskrives ud fra de enkelte erhvervs og endelige anvendelsers specifikke træk på transporterhvervene samt egentransporten i de enkelte erhverv. For den specifikke ADAM-fremskrivning, der ligger til grund for Energi 21, betyder forskellen, at satellitmodellen fremskriver en noget kraftigere aktivitetsstigning end i Energi 21.

For persontransporten fremskrives antal personkm. i Energi 21 ud fra individuelle vurderinger for de enkelte kollektive transportmidler. I satellitmodellen fremskrives produktionen som for godstransporten ud fra de enkelte erhvervs og endelige anvendelsers træk på transporterhvervene. Da den specifikke ADAM-fremskrivning, der ligger til grund for Energi 21, forudsætter en betydelig vækst i husholdningernes træk på den kollektive transport, giver satellitmodellen igen en betydeligt større stigning i aktiviteten end hvad, der forventes i Energi 21.

Energiforbruget til den enkelte aktivitet bestemmes i begge modeller som aktivitet gange en energikoefficient, og i begge modeller forudsættes grundlæggende en aktivitetselasticitet på langt sigt på 1.0, dvs. øges aktiviteten 1 %, øges energiforbruget på langt sigt 1 %. I begge modeller ændres energikoefficienten over tid. Ud fra tekniske vurderinger fremskrives energikoefficienten i Energi 21 ved to trends; en trend i belægningsfaktoren, der siger hvor meget eller hvor mange, der transporteres pr. kørt km., samt en trend i transportmidlets brændseffektivitet, dvs. energiforbrug pr. kørt km. I satellitmodellen fremskrives energikoefficienten ud fra en estimeret energipriselasticitet, der generelt er meget lille, samt eksogene trends. Generelt må man sige, at for at ramme udviklingen i Energi 21, vil fremskrivningen af de eksogene trends i satellitmodellen beskrive et brud i forhold til udviklingen i estimationsperioden. For enkelte af aktiviteterne er et sådant brud ganske plausibelt, men for andre er et væsentligt brud på trenden nok mere tvivlsomt.

## 2.5. Energiforsyningserhvervet

Omtrent halvdelen af husholdningernes og erhvervenes bruttoenergianvendelse<sup>45</sup> kan henføres til anvendelse af el, gas eller fjernvarme. Brændselsbehovet og brændsels-sammensætningen i energiforsyningserhvervet, eller de energikonverterende erhverv, der leverer disse energiarter, er derfor væsentlige for den samlede energirelaterede miljøbelastning i Danmark.

I produktionen af *el* har generelt stigende virkningsgrad mindsket miljøbelastningen pr. produceret kWh el. Brændsels-sammensætningen er især efter anden oliekrise sidst i 70'erne ændret, så kul har erstattet olie. Det har i sig selv øget emissionen af CO<sub>2</sub>, da kul frigiver mere CO<sub>2</sub> end olie. Siden slutningen af 80'erne har vindmøller leveret en stadig større del af den samlede el og derved reduceret CO<sub>2</sub>- og SO<sub>2</sub>-emissionerne.

Den kollektive *varmeforsyning* består af fjernvarme, der i høj grad er baseret på biobrændsler – især forskellige former for affald – og af udnyttelsen af varmen fra elproduktionen, kraftvarmen. Denne samproduktion af el og varme øger udnyttelsen af brændslernes energiindhold betydeligt.

*Gasforsyningserhvervet* dækker over distributionen af gassen fra Nordsøen, og der er et mindre nettab i forbindelse hermed.

I figur 2.5.1 er forsyningsmodellen skitseret. Variablerne i skraverede, afrundede kasser bestemmes udenfor forsyningsmodellen og variablerne i de rektangulære kasser bestemmes i forsyningsmodellen.

Efterspørgslen efter el, gas og varme fordeles først på forskellige typer af producenter. Gasefterspørgslen tilfredsstilles ved at distribuere gas fra Nordsøen. Den efterspurgte varme leveres fra traditionelle fjernvarmeproducenter, der kun laver varme, og fra kraftvarmeværker, der både laver el og varme. Af de sidstnævnte er der to teknisk forskellige typer, centrale værker og decentrale. Endelig bliver efterspørgslen tilfredsstillet dels af produktionen fra vindkraft, der afhænger af vindmøllekapaciteten, og dels af produktionen fra de to typer kraftvarmeværker. El- og varmeproduktionen på decentrale værker er kapacitetsbestemt.

Forsyningserhvervets brændselsbehov og fordelingen på forskellige brændsler kan dernæst bestemmes. For de centrale værker afhænger brændsels-sammensætningen af brændselspriser og af kapaciteten for værker, der kan fyre med de forskellige brændselsarter. Den CO<sub>2</sub>-emission, der er knyttet til el- og varmeproduktionen, bestemmes.

I næste afsnit opridses egenskaberne i denne del af det samlede modelsystem ved multiplikatoreksperimenter. I afsnit 2.5.2 beskrives princippet i modellen mere præcist, og i de sidste to afsnit opridses kort implementeringen i ADAM-modellsystemet, og der laves en kort sammenligning med Energistyrelsens model for energiforsyning.

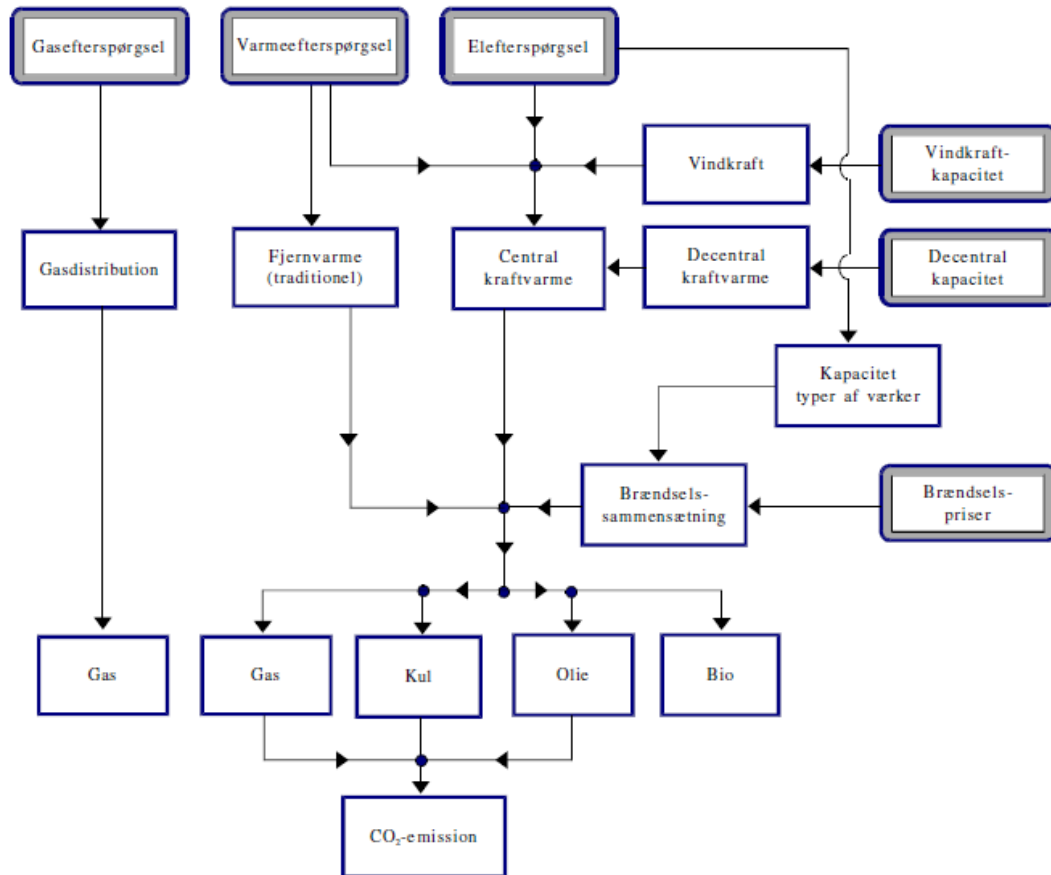
Det primære formål med forsyningsmodellen er bestemmelsen af anvendelsen af brændslerne kul, olie, gas fra Nordsøen og biobrændsler og bestemmelsen af udledningen af især CO<sub>2</sub>. Prisen på el og udbygningen af elkapacitet bestemmes også. De vigtigste

---

<sup>45</sup>For el og fjernvarme er bruttoenergianvendelsen opgjort som brændværdien i de brændsler, der går til produktionen heraf. Se ordlisten.

bestemmende faktorer for niveauet af brændselsanvendelsen i forsyningserhvervet er størrelsen af el- gas- og fjernvarmeefterspørgslen, brændselsudnyttelsen i erhvervet og vindmøllekapaciteten. De vigtigste bestemmende faktorer for brændsels sammensætningen er de muligheder, som værkerne har for at vælge brændsel og brændselspriserne.

**Figur 2.5.1. Skitse af forsyningsmodellen**



### 2.5.1. Egenskaber

I kapitlerne 2.2, 2.3 og 2.4 er den indenlandske efterspørgsel efter el, gas og fjernvarme bestemt. Forsyningserhvervet leverer den efterspurgte mængde ved at "konvertere" brændsler til disse energiarter. Hovedlinierne er illustreret i nedenstående forenkede energimatrix. Det er især de tre første rækker og søjler, der har interesse her.

Hver række viser, hvordan en bestemt energiart er anvendt. Anvendelsen kan enten være input i et energikonverterende eller ikke-energikonverterende erhverv, forbrug i husholdningerne, lagerforøgelse eller eksport. En del forsvinder desuden som svind og ledningstab. Søjlerne viser, hvordan de energikonverterende erhverv og husholdninger og ikke-energikonverterende erhverv sammensætter deres anvendelse af energi.

Af tabellen ses, at husholdninger og ikke-energikonverterende erhverv har et direkte energiforbrug (se ordlisten) på 586.5 PJ. Elforbruget er 106.2 PJ, hvoraf de 13.1 PJ importeres og de resterende 94.8 PJ bliver leveret af danske elproducenter, der dog skal producere noget mere pga. ledningstab, nemlig 102.1 PJ. Denne størrelse genfindes i første søjles nederste række. For at producere denne mængde el må producenterne anvende i alt 247.2 PJ. Forskellen mellem den producerede mængde energi og energiindholdet i brændslerne, dvs.  $247.2 - 102.1 = -145.1$  PJ, skyldes konverteringstab i elproduktionen.



Det ses også, at husholdningerne og erhvervene i alt anvender 86.1 PJ fjernvarme. Fjernvarmeproducenterne skal producere 101.3 PJ for at levere dette. I anden søjle ses, at der kun skal 80.7 PJ til at producere denne mængde varme. Dette skyldes, at en del af fjernvarmen er produceret i samproduktion med el, og at størstedelen af kraftvarmeverkernes brændsler henregnes til elproduktionen.

I første søjle ses, at langt størstedelen af brændselsinputtet i elværkerne er kul.

**Tabel 2.5.1. Tilgang og anvendelse af energiarter, 1992 (PJ)**

Energiart	Erhverv	El	Fjernvarme	Gas	ng- erhv.	e- erhv.	Husholdn. og erhverv	Lager +eksport -import	Svind og ledningstab	Produktion
El		0	0.7	0	1.0	0	106.2	-13.1	7.3	102.1
Fjernvarme		0	0	0	0	0	86.1	0	15.2	101.3
Gas, distribueret		0	10.6	0	0	0	58.9	0	0.8	70.3
Olieprodukter		8.2	2.5	0	41.5	2.1	104.1	9.2	1.2	168.7
Transport		0.4	0	0.1	0	0	200.0	-14.1	2.3	188.6
Råolie		0	0	0	331.7	0	0	-11.0	3.4	324.1
Kul, mv.		228.7	35.5	0	0	0	31.3	-293.1	3.3	5.8
Gas, Nordsø		2.8	5.9	71.8	0	0	0	61.0	0	141.5
Vedvarende energi <sup>1</sup>		7.1	25.5	-	-	-	-	-	-	32.6
I alt		247.2	80.7	71.9	374.2	2.1	586.5	-261.2	33.5	
Konvertering		-45.1	20.6 <sup>2</sup>	-1.6	-20.4					
Produktion		102.1	101.3	70.3	353.8					

Kilde Danmarks Statistiks energimatricer, *Energistatistik 1992*, Energistyrelsen.

<sup>1</sup> Vedvarende energi er kun opgjort for energiforsyningserhvervet. Kilden er *Energistatistik*.

<sup>2</sup> Konverteringsgevinsten opstår pga. brændselsbesparelsen ved samproduktionen med el (se nedenfor).

Forsyningssmodellen er mere detaljeret, end det antydes i tabellen, i den forstand, at el- og varmeerhvervet er delt op i delerhverv med forskellig teknologi. De to første søjler er i modellen så at sige opdelt i flere søjler.

### Stigning i el- og varmeefterspørgslen

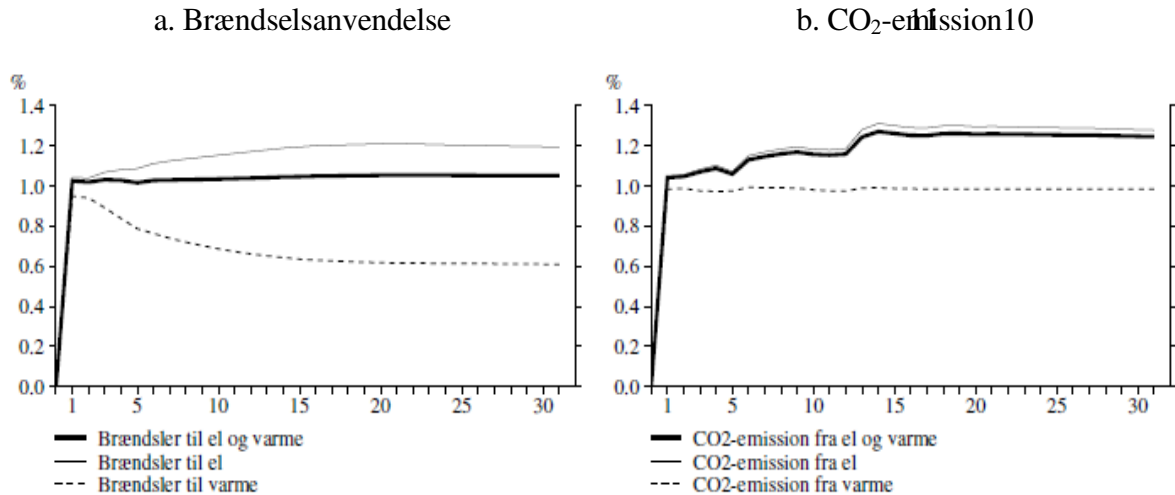
En stigning i el- og varmeefterspørgslen på 1 %<sup>46</sup> øger den samlede brændselsanvendelse i el- og varmeerhverv med lige godt 1% (jf. figur 2.5.2.a). At stigningen er en anelse over 1 % skyldes, at elproduktionen fra vindkraft er konstant og virker som "dødvægt". Den betydelige forskel i effekten på brændselsanvendelsen til el- og varmeproduktion har samme, til dels bogholderimæssige, forklaring som "det negative konverteringstab" i anden søjle i tabel 2.5.1 (på 20.6 PJ), og vedrører fordelingen af kraftvarmeverkernes brændsler på el og varme. Forklaringen er, at på de centrale værker henføres næsten hele brændselsanvendelsen til el, mens "omkostningsfordelingen" er mere ligelig på de decentrale værker.<sup>47</sup> I eksperimentet er produktionen fra decentrale værker konstant

<sup>46</sup> I eksperimentet er nettoimporten af el også ændret med 1%, hvilket letter tolkningen af eksperimentet.

<sup>47</sup> Årsagen hertil er, at på centrale værker kan man vælge, om man vil udnytte varmen, når der produceres

(ligesom for vindkraft), så det er de centrale værker, der må tilfredsstille hele den ekstra efterspørgsel. Produktionen forskydes altså mod de centrale værker, og dermed henføres en større andel af brændslerne til elproduktionen.

**Figur 2.5.2. Effekten på brændselsanvendelse og CO<sub>2</sub>-emission af stigning i el- og varmeefterspørgslen på 1 %**



CO<sub>2</sub>-emissionen afledt af el- og varmeproduktionen stiger med væsentligt mere end 1%. Med uændret produktion fra vindkraft og decentrale kraftvarmeværker, må de centrale værker (og de traditionelle fjernvarmeværker) tilfredsstille stigningen i efterspørgslen. Denne drejning fra vindkraft og decentrale værker mod centrale værker betyder, at elektriciteten og varmen i højere grad produceres med CO<sub>2</sub>-holdig kul end f.eks. det renere gas, fordi de centrale værker i særlig høj grad bruger kul. Som for brændselsanvendelsen ses det, at der er væsentlig forskel på effekten på CO<sub>2</sub>-udledningen fra hhv. el- og varmeproduktionen.

Det er værd at knytte nogle kommentarer til det dynamiske forløb i eksperimenterne, der i høj grad afhænger af modellens grundforløb. Grundforløbet er den udvikling som modellen forudsiger, hvis efterspørgslen ikke var sat op.

Den procentvise effekt på CO<sub>2</sub>-emissionen og på brændselsanvendelsen i elerhvervet er større på langt end på kort sigt. Når CO<sub>2</sub>-emissionen stiger mere end 1 % skyldes det som nævnt, at elproduktionen forskydes mod centrale værker, fordi produktionen fra decentrale værker og vindkraft er eksogent givet. Denne forskydning får forholdsvis større betydning på langt sigt end på kort, fordi det er antaget, at kapaciteten og produktionen for decentrale værker og vindkraft vokser relativt kraftigt på længere sigt på bekostning af de centrale værker.

Den forholdsvis lille effekt på CO<sub>2</sub>-emissionen i årene 5 og 10-12 illustrerer også modellens grundløbsafhængighed. I disse år er kapaciteten på centrale værker, der kan fyre med kul, ikke rigelig nok til at tilfredsstille hele elproduktionen, og der må derfor tages

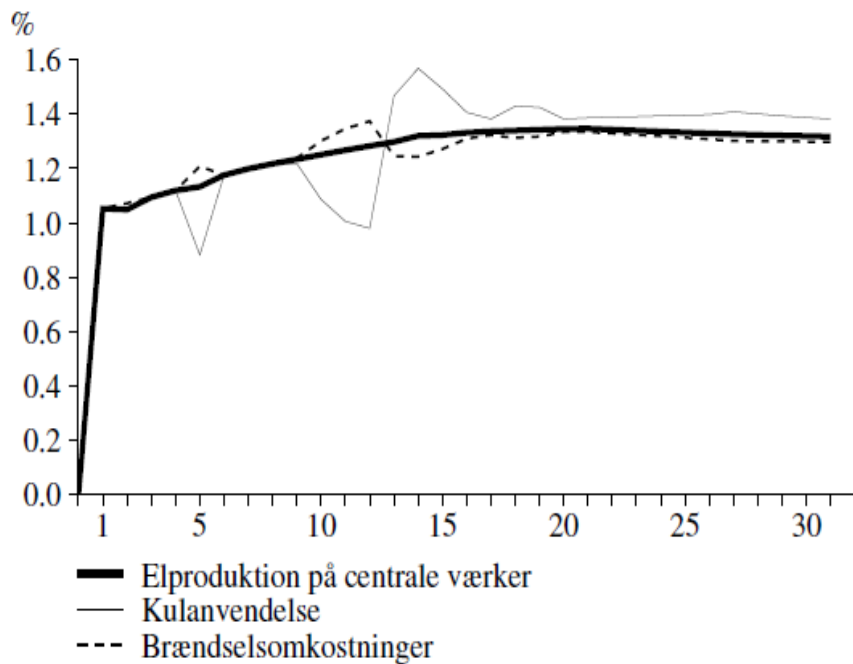
---

el, mens el- og varmeproduktionen på decentrale værker altid sker i et fast forhold. På centrale værker betragtes varmen altså i denne forbindelse som en slags biprodukt, der kan produceres med små brændselsomkostninger. I modellen for de decentrale værker fordeles brændslerne på el og varme efter produktionen af de to varer målt i energienheder.

andre og dyrere brændsler i brug, dvs. gas og olie. Den ekstra el- og fjernvarmeproduktion er derfor i høj grad baseret på disse brændsler, og følgelig øges disse brændslers andel af den samlede brændselsanvendelse. Det bidrager i sig selv til at reducere CO<sub>2</sub>-emissionen. Omkring år 13 bevirker den større efterspørgsel imidlertid, at der tages ekstra elværkskapacitet i brug, og det er antaget, at den ny kapacitet kan fyre med kul.

Figur 2.5.3 viser netop, at i år 5 og i år 10-12 kan den ekstra elproduktion, som de centrale værker skal producere, kun i mindre grad varetages med kul. Følgelig må andre og dyrere brændsler tages i brug, så brændselsomkostningerne stiger mere end elproduktionen. Når der fra år 13 tages ny kapacitet i brug, følger brændselsomkostningerne elproduktionen tættere.

**Figur 2.5.3. Effekten på centrale værkers elproduktion, kulanvendelse og brændselsomkostninger af stigning i el- og varmeefterspørgslen på 1 %**



12

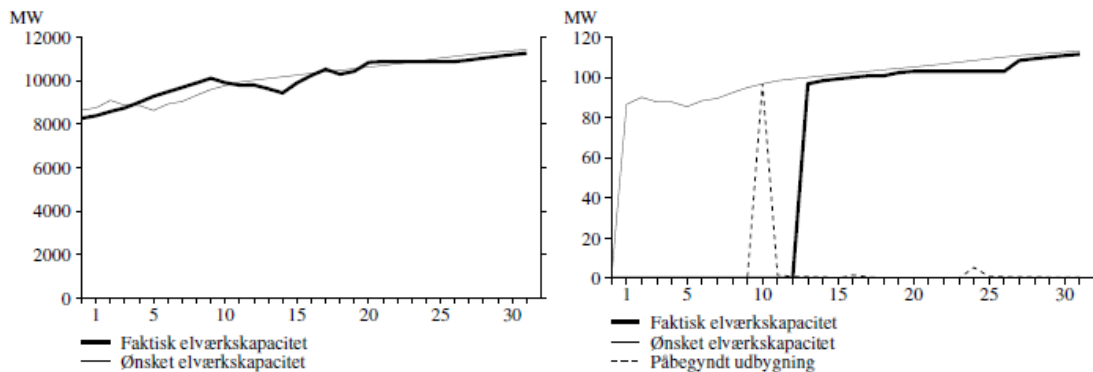
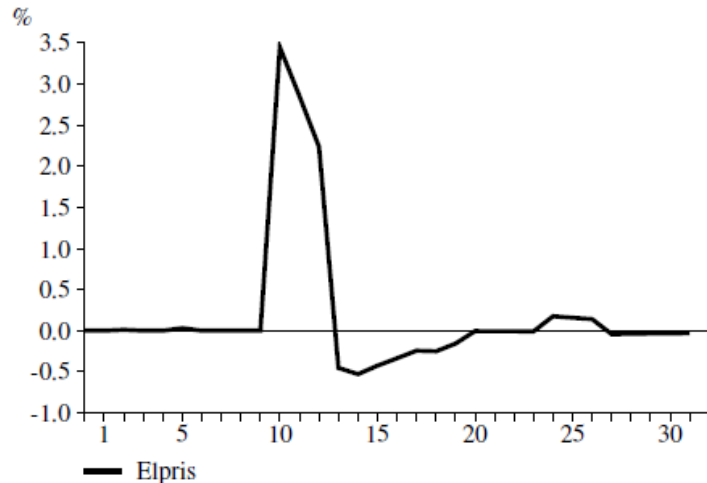
Af figur 2.5.4.a illustreres *niveauet* for den faktiske og den "ønskede" kapacitet. Den ønskede kapacitet er den kapacitet, som elværkerne forsøger at opnå (se senere). Det ses, at elværkskapaciteten er rigelig mellem år 4 og år 9. I disse år kan efterspørgslen, og dermed den ønskede kapacitet, derfor stige, uden at det medfører investeringer i nye elværker. I figur 2.5.4.b vises *ændringen* i den ønskede og faktiske kapacitet og de påbegyndte udbygninger. Fra år 8 nedlægges nogle gamle værker samtidig med, at efterspørgslen og den ønskede kapacitet stiger. År 10 iværksættes derfor nybygning af elkapacitet, der kan tages i brug 3 år senere. Af figurene anes, at den faktiske kapacitet følger den ønskede på langt sigt.

En væsentlig del af elselskabernes finansieringsomkostninger skal dækkes ved henlæggelser i årene før ibrugtagningen af nye værker. Selskaberne har derfor ikke mulighed for at sprede investeringsomkostningerne ud over mange år via de finansielle markeder. Det betyder, at investeringer påvirker elprisen temmelig kraftigt i årene omkring ibrugtagningen af nye værker, se figur 2.5.5. I modellen er disse regler simplificeret, så effekten fra investeringer til elprisen i få år er endog meget kraftig, og formentlig også overvurderet. I eksperimentet ses elprisen således at stige omtrent 3% i årene omkring igangsættelsen af de nye investeringer.

**Figur 2.5.4. Faktisk og ønsket kapacitet samt udbygning**

a. Grundforløbsniveau for kapaciteter

b. Multiplikator for ønsket og faktisk kapacitet og udbygning 13

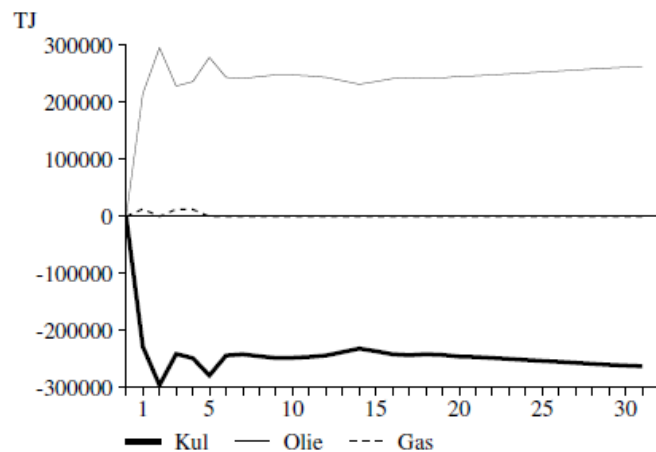
**Figur 2.5.5. Effekt på elprisen af stigning i el- og varmeefterspørgslen på 1 %**

Elprisen påvirkes også af hvilke brændsler, der anvendes jf. figur 2.5.3. En (meget lille) del af stigningen i elprisen år 10-12 skyldes således, at elværkerne er nødsaget til at benytte olie og gas i stedet for kul. Når der er en negativ effekt på elprisen i årene efter ibrugtagningen af den nye kapacitet, skyldes det, at selv med uændret efterspørgsel bliver der under alle omstændigheder foretaget en del udbygninger i disse år. Omkostningerne til disse udbygninger bliver nu fordelt på en større elproduktion.

### Stigning i kulprisen

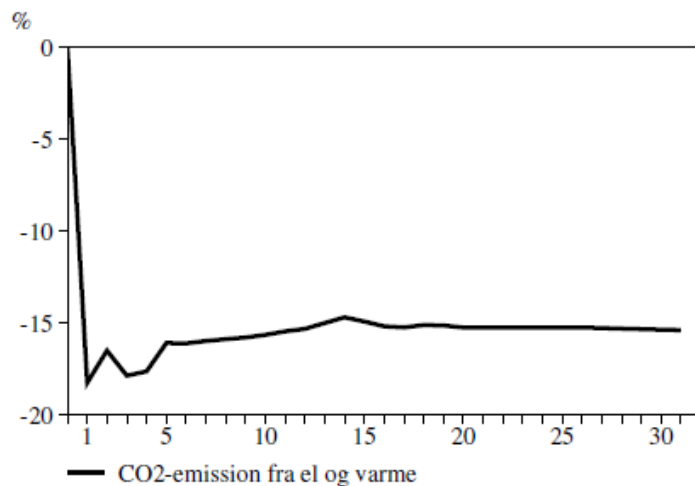
En kraftig stigning i kulprisen på 40 % bevirker, at kul ikke længere er det billigste brændsel. I de første par år bliver gas billigst, olie næstbilligst og kul tredjebilligst. Derefter bytter gas og olie plads. Effekten er, at de centrale elværker de første år ønsker at skifte fra kul til gas i den grad det er muligt. Senere skiftes til olie.

**Figur 2.5.6. Effekt på de centrale værkers brændselsforbrug af stigning i kulprisen på 40 %**



Det meget store fald i anvendelsen af kul svarer omtrent til den samlede kulanvendelse i erhvervet. Kul erstattes i de første par år af gas i den grad, der er kapacitet på værker, der kan fyre med gas. Denne kapacitet er dog langt fra tilstrækkelig til, at gas-baseret el kan tilfredsstille hele efterspørgslen, så det bliver olie, der i hovedsagen erstatter kul. Den samlede energianvendelse er uændret, hvilket dækker over en ikke helt realistisk antagelse om, at virkningsgraden på centrale værker er den samme for alle brændsler.

**Figur 2.5.7. Effekt på CO<sub>2</sub>-emissionen fra el- og varmeproduktionen af stigning i kulprisen på 40 %**

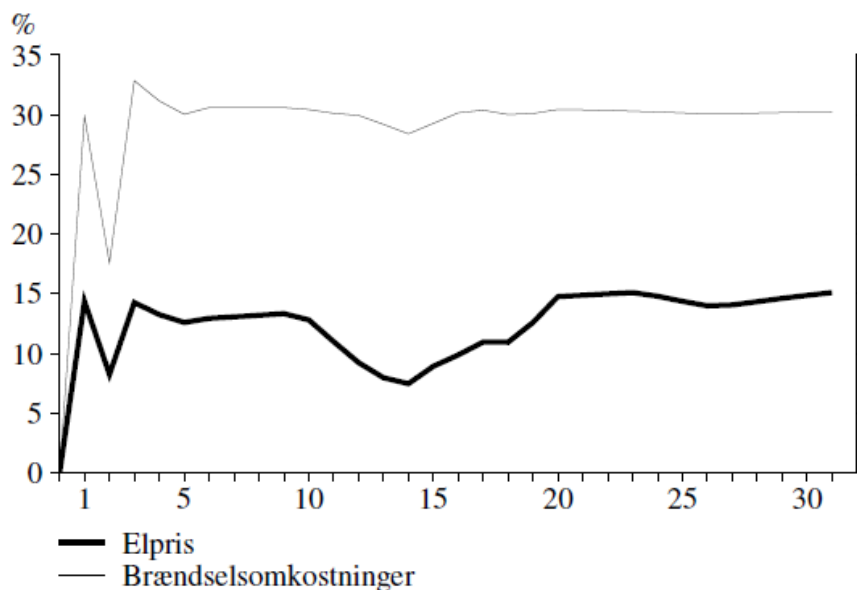


CO<sub>2</sub>-emissionen fra elproduktionen falder, fordi brændselsanvendelsen forskydes mod brændsler med lavere CO<sub>2</sub>-indhold end kul. Faldet i CO<sub>2</sub>-emissionen er drastisk, nemlig godt 15 % af den samlede emission fra elproduktionen. Når der ikke er samme procentvise effekt på CO<sub>2</sub>-emissionen i alle år, skyldes det, at der i nogle år i grundforløbet blev brugt (lidt) olie og gas til elproduktionen, fordi kapaciteten på kulværker var knap.

Effekten for SO<sub>2</sub>-emissionen kan ikke beregnes på denne måde, fordi elværkerne skal overholde visse kvoter for SO<sub>2</sub>-emissionen. Det er i modellen ganske enkelt antaget, at elværkernes svovlkvoter overholdes. I praksis vil den større produktion øge kravet til svovlrensning, hvilket i sig selv kræver energi, eller også må elværkerne købe dyrere olie med mindre svovlindhold. Disse forhold er ikke medtaget i modellen.

Brændselsomkostningerne påvirkes med godt 30 %, men altså væsentligt mindre end de 40 % som kulprisen stiger, fordi elværkerne jo skifter til olie og gas. Olieprisen er netop godt 30 % højere end kulprisen i udgangssituationen. De stigende brændselsomkostninger slår igennem på elprisen med en effekt, der afspejler brændselsomkostningernes andel af de samlede omkostninger. Denne andel kan variere meget og afhænger specielt af brændselspriserne og udgifterne til finansiering af udbygningen af kapacitet. Historisk har andelen således været betydeligt højere end i dag. I figur 2.5.8 er det udbygningsomkostningerne, der påvirker andelen. Elprisen stiger med mellem 10 % og 15 %, altså med under halvdelen af stigningen i brændselsomkostningerne.

**Figur 2.5.8. Effekt på brændselsomkostninger og elpris af stigning i kulprisen på 40 %**



Afslutningsvis er det værd at knytte en kommentar til metoden, der anvendes i forsyningsmodellen, idet denne adskiller sig noget fra f.eks. den måde som husholdningernes og erhvervenes brændsefterspørgsel primært er bestemt. Forsyningsmodellen er opbygget i den tradition, der er kendt som "bottom-up", og som er kendetegnet ved fysiske eller tekniske beskrivelser af sit emne. Således er f.eks. brændselsvalget ikke bestemt økonometrisk ud fra relative brændselspriser, hvilket ville være den traditionelle økonometriske fremgangsmåde. For en mere uddybende diskussion heraf, se *Sammen-*

---

*kobling af makroøkonomiske og teknisk-økonomiske modeller for energisektoren Hybris, Forskningscenter Risø (1996), eller kapitel 1.4.*

## 2.5.2. Teori

I afsnittet bestemmes først produktionen i forskellige dele af forsyningsmodulet, og dernæst brændselsbehovet, der afhænger af de relative priser. Så bestemmes udbygningen af elkapacitet og endelig emissioner og priser.

### Elproduktionen

Hvis  $D_e$  er den indenlandske elefterspørgsel, som den er bestemt i kapitlerne 2.2, 2.3 og 2.4, findes den indenlandske elproduktion,  $X_e$ , ved at korrigere for nettoimporten,  $(M_e - E_e)$ , og for nettab. Udenrigshandlen er i høj grad præget af uforudsigelige udsving forårsaget af vejrforhold i Norge, driftsstop på Barsebäck eller lignende, og er derfor betragtet som eksogen. Det giver

$$X_e = D_e \cdot (1 + \lambda_e) - (M_e - E_e) \quad (2.5.1)$$

hvor  $\lambda_e$  er den andel af elproduktionen, der tabes i nettet.

Den samlede elproduktion skal fordeles på typer af producenter dvs., vindkraft, decentrale værker og centrale værker. Decentrale og centrale værker adskiller sig teknologisk. De centrale værker er hovedkilden til forsyningen af el og er primært dimensioneret med effektiv elforsyning for øje. Det kan vælges om varmen skal udnyttes eller ej. I decentrale elværker er kapaciteten knyttet til et lokalt varmebehov, og el- og varmeproduktionen hører altid sammen og produceres i fast forhold. Produktionen fra vindmøller og decentrale værker bestemmes som produktet af et kapacitetsmål og en driftstid. Da begge dele er eksogene, er produktionen herfra i realiteten eksogen.<sup>48</sup> Antagelsen om, at produktionen ikke varierer med den samlede elefterspørgsel er vel rimelig nok for vindkraftens vedkommende. For decentrale værker er der også fornuft i, at produktionen ikke afhænger af elefterspørgslen, men et alternativ til den kapacitetsbestemte produktion kunne være, at både el- og varmeproduktionen var afhængig af varmeefterspørgslen, idet driften af decentrale værker jo er bestemt af lokale varmebehov.

Den efterspørgsel, der ikke produceres af disse producenter, bliver produceret af de centrale værker. Når  $T$  er driftstid og  $K$  kapacitet haves, med nærliggende toptegn,

$$\begin{aligned} X_e^{vind} &= T^{vind} \cdot K^{vind} \\ X_e^{dec} &= T^{dec} \cdot K^{dec} \\ X_e^{cen} &= X_e - (X_e^{vind} + X_e^{dec}) \end{aligned} \quad (2.5.2)$$

Brændselsanvendelsen til elproduktion skal dernæst findes. Dette gøres lettest ved at se på de to værkstyper hver for sig.

<sup>48</sup>Indførslen af driftstiden er dog interessant som en effektivitetsparameter for vindkraften. Ligesom brændselseffektiviteter er steget for konventionelle værker, udviser driftstiden en stigende tendens for vindmøller.



### Brændselsanvendelsen i centrale værker

Princippet i bestemmelsen af hvilke brændsler, der skal bruges til en given elproduktion er simpelt. Det antages ganske enkelt, at elværkerne bruger det brændsel, der er billigst pr. energienhed. Hvis – som tilfældet er for øjeblikket – kul er billigst og kapaciteten på værker, der kan fyre med kul er rigelig, så bliver hele elproduktionen baseret på kul. Hvis kulkapaciteten ikke havde været så rigelig, så kunne det tænkes, at værker, der kan fyre med det næstbilligste brændsel (men ikke med kul), måtte køre på de tidspunkter af døgnet, hvor elforbruget er størst.

Princippet er altså intuitivt enkelt, men beregningsteknisk skal der holdes styr på i hvert fald to forhold.

Det første er, at de fleste elværker kan vælge mellem flere brændsler. Tabellen nedenfor viser kapaciteten på elværker fordelt efter, hvilke brændsler de kan vælge imellem.

**Tabel 2.5.2. Kapacitet for forskellige elværkstyper, 1992**

Elværkstype	Kapacitet i MW
Kul, olie, gas	88
Kul, olie, biomasse	0
Kul, olie	7163
Olie, gas	0
Olie	1014
Gas	71

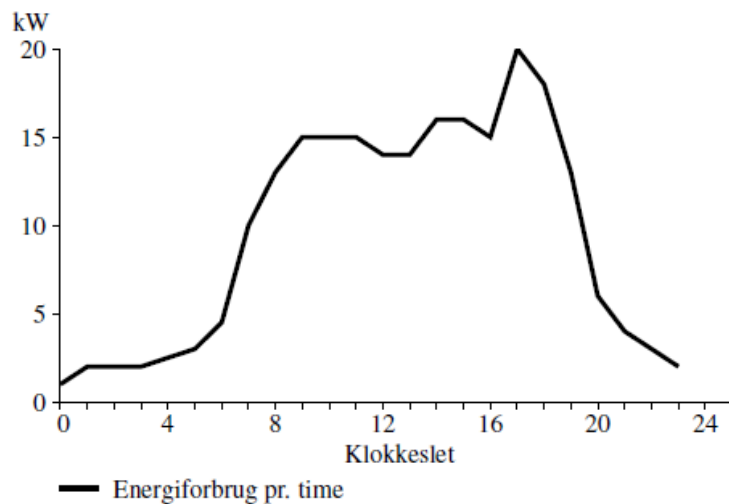
Kilde: *Elforsyningen, Ti-års statistik*, Danske Elværkers Forening 1995, og egne beregninger

Der er altså flest elværker, der kan fyre med enten kul eller olie. Antag nu, at kul er billigst og olie næstbilligst. Den kapacitet, der kan regnes med til at producere el baseret på kul er 7251 (=88+7163). Hvis dette ikke er tilstrækkeligt til at levere den efterspurgte mængde, må det næstbilligste brændsel – antag det er olie – tages i brug. Den kapacitet, der nu kan bruges til oliebaseret elproduktion, er kun 1014 og oplagt ikke 8265 (=88+7163+1014), da de værker, der både kan køre med kul og olie, jo allerede er anvendt. Givet de relative brændselspriser kan kapaciteten for de 6 elværkstyper således fordeles på det billigste, det næstbilligste, det tredjebilligste og det dyreste brændsel. Hver værkstype henregnes til det billigste af de brændsler, som det kan fyre med.

Det næste forhold, der skal tages i betragtning er den såkaldte varighedskurve. Denne er beregnet ud fra en døgnbelastningskurve, som beskriver, hvordan elforbruget er fordelt over døgnetimer. Antag i skitsen nedenfor, at efterspørgslen på et døgn, svarende til arealet under døgnbelastningskurven, er på 240 kWh. Et kraftværk, der har kapaciteten 10 kW, kan oplagt ikke tilfredsstille efterspørgslen til trods for, at de 240 kWh teknisk set godt kan produceres. I spidsbelastningsperioderne må andre værker træde til. Hensynet til varighedskurven er vigtigt ved modelberegningen af elproduktionen baseret på det billigste, næstbilligste, tredjebilligste og dyreste brændsel. Varighedskurven er ligeledes relevant ved beregning af ekstra forbrug af forskellige brændsler ved en stigning i den samlede efterspørgsel. Antag nemlig, at der *ikke* var taget hensyn til varighedskurven (hvilket er det samme som en antagelse om en flad kurve). Så ville det alene være anvendelsen af et enkelt brændsel, der steg, når efterspørgslen steg. Nemlig det billigste af de brændsler, hvortil den henregnede værkskapacitet endnu ikke er udnyttet.

Ved en stigning i elproduktionen antages, at varighedskurven forskydes opad. Resultatet bliver, at anvendelsen af alle hidtil brugte brændsler vil stige, når produktionen stiger, det billigste dog relativt mindst, fordi den tilhørende kapacitet allerede er udnyttet i vid udstrækning. Endelig skal det siges, at varighedskurven i modellen er temmelig simplificeret.

**Figur 2.5.9. Skitse af varighedskurven/døgnbelastningskurve**



Tabellen nedenfor forsøger at illustrere det nævnte kapacitetsbegreb og den forudsagte elproduktion på centrale værker baseret på de forskellige brændsler.

**Tabel 2.5.3. Priser, kapacitet henregnet til brændsler, forudsagt elproduktion baseret på hvert af de fire brændsler, centrale værker 1992**

Brændsel	Pris (kr/GJ)	Henregnet kapacitet (MW) <sup>1</sup>	Forudsagt elproduktion (TJ)
Kul	9.9	7251	94409
Olie	13.3	1014	0
Gas	11.3	71	0
Bio	20.0	0	0

Kilde Priserne er beregnet ud fra Danmarks Statistiks energimatricer, bortset fra biomasseprisen, der er skønnet. Kapacitetsmålene er egne beregninger.

<sup>1</sup> Værkstyperne fra tabel 2.5.2 henregnes til det billigste af de brændsler, som værkstypen kan fyre med.

Når det således antages, at brændselsanvendelsen alene afhænger af kapaciteten af værkstyper og de relative brændselspriser, forudsiger modellen altså, at de centrale elværker i 1992 alene ville basere elproduktionen på kul, fordi kul er billigst og fordi kapaciteten på værker, der kan fyre med kul, er tilstrækkelig til at tilfredsstille efterspørgslen (i figur 2.5.9 svarer det til, at kapaciteten på kulværker er større end maksimumsværdien omkring klokken 17). I 1992 var langt den største del af elproduktionen rent faktisk baseret på kul. Det er dog teknisk nødvendigt med et vist minimumsforbrug af olie. Gas- og biomasseanvendelsen var heller ikke helt lig nul.

I forhold til problemets enkelthed er den tekniske beskrivelse omstændelig, og er derfor placeret i et appendiks til kapitlet (A.2.5).

Produktionen af el i de centrale værker baseret på brændsel  $j$  betegnes  $X_{e,j}^{cen}$ . Brændselsanvendelsen findes ved at korrigeres for elvirkningsgraden,  $\eta_j^{cen}$ , dvs. energimængden i den producerede el i forhold til energimængden i de anvendte brændsler

$$B_{e,j}^{cen} = \frac{X_{e,j}^{cen}}{\eta_j^{cen}} \quad (2.5.3)$$

### Brændelsanvendelsen i de decentrale værker

Bestemmelsen er betydeligt simplere end for de centrale værker, idet det antages, at det enkelte brændsels andel af den samlede brændselsanvendelse,  $m_j^{dec}$ , er eksogen. En begrundelse er, at de fleste små værker bygges, så de kun kan fyre med et enkelt brændsel. Valget af værkstype er desuden politisk påvirket.

Anvendelsen af brændsel  $j$  findes da som

$$B_{e,j}^{dec} = m_j^{dec} \cdot \frac{X_e^{dec}}{\sum_i m_i^{dec} \eta_i^{dec}} \quad (2.5.4)$$

$j, i \in \{\text{kul, fuel, gas, bio}\}$

hvor  $\eta_j^{dec}$  er en brændselsspecifik virkningsgrad.

I både de centrale og de decentrale værker er virkningsgraderne betragtet som eksogene, hvilket ikke er helt realistisk, når der betragtes grupper af værker og ikke enkeltværker. På de centrale værker er der en betydelig variation i værkernes alder og effektivitet, og de ældste og mindst effektive værker vil derfor kun tages i brug, når der ikke er tilstrækkelig kapacitet på mere effektive værker. Derfor burde effektiviteten for centrale værker afhænge af produktionen, eller rettere produktionen i forhold til kapaciteten (jf. Forskningscenter Risø (1996)). På de decentrale værker er fejlen nok mindre ved at tage effektiviteterne for givet. Dels varierer produktionen som sagt ikke med den samlede efterspørgsel (i hvert fald ikke i modellen), og dels er aldersfordelingen og dermed brændselseffektiviteterne for decentrale værker formentlig mindre spredt.

Modelleringen af brændselssubstitutionen i de centrale værker er klart nok også en forsimpning. Blandt andet tages værkstyperne for givne, men netop her ligger måske de mest væsentlige økonomiske beslutninger, der afhænger af brændselspriserne. Det var netop en følge af olieprisstigningerne, der også medførte en stigning i olieprisen i forhold til kulprisen, at elværkerne blev ombygget til også at kunne køre med kul. Endelig kan nævnes, at den perfekte brændselssubstitution på de eksisterende værker begrænses af, at elnettet i Øst- og Vestdanmark ikke er forbundet endnu. En vigtigere begrænsning på brændselssubstitutionen er, at en del kraftvarmeværker nødvendigvis må køre i nogle perioder af hensyn til varmeefterspørgslen, uafhængigt af om de kan bruge det billigste brændsel.

## Varmeproduktionen

Varmeforsyningen i Danmark tilfredsstilles ved individuel opvarmning (f.eks. olie- eller gasfyr eller udnyttelse af varme fra en produktionsproces) eller ved den kollektive varmforsyning. Efterspørgslen efter varme leveret fra den kollektive forsyning,  $D_v$ , betragtes som eksogen i denne delmodel. I det samlede modelsystem er denne størrelse naturligvis ikke eksogen, men afhænger bl.a. af den samlede økonomiske aktivitet og varmeprisen. Det energipolitisk relevante eksperiment med udbygning af kraftvarmforsyning til erstatning af individuel opvarmning foretages altså i den samlede model, men giver sig i denne delmodel udslag i en større værdi for  $D_v$ .

Den kollektive varmforsyning,  $D_v$ , leveres fra tre forskellige typer af værker med hver deres brændselssammensætning og teknologi. Først opdeles den samlede produktion på fjernvarmeværker og kraftvarmeværker med en eksogen andel,  $kv$ , dernæst opdeles kraftvarmen på produktion fra decentrale værker og centrale værker.<sup>49</sup> Varmeproduktion på decentrale værker er eksogent bestemt, ligesom det gjaldt for elproduktionen, og den centrale varmeproduktion bliver derfor residualbestemt.

Lad  $cm$  være forholdet mellem produktion af el og varme på decentrale værker, dvs.  $cm = X_e^{dec} / X_v^{dec}$ .<sup>50</sup> Dette er en eksogen, teknisk bestemt koefficient. Varmeproduktionen betegnes  $X_v^j$ , hvor  $j$  er indeks for producenttype. Når nettabet i varmforsyningen angives ved andelen  $\lambda_v$ , og den samlede varmeproduktion er  $X_v$ , haves

$$\begin{aligned} X_v &= \sum_j X_v^j = D_v \cdot (1 + \lambda_v) \\ X_v^{fjv} &= (1 - kv) \cdot X_v \\ X_v^{dec} &= \frac{1}{cm} \cdot X_e^{dec} \\ X_v^{cen} &= X_v - (X_v^{dec} + X_v^{fjv}) \end{aligned} \tag{2.5.5}$$

hvor  $j = fjv, dec, cen$

Brændselsanvendelsen findes nu ved hjælp af brændselsandele og brændseffektiviteter. For både centrale og decentrale værker antages samme brændselsfordeling som i elproduktionen. Som nævnt er forskellen på centrale og decentrale værker af teknisk art. Decentrale værker er beskrevet ved en samlet brændseffektivitet, betegnet  $\eta^{dec}$ , (på omkring 0.90) samt  $cm$ -værdien beskrevet ovenfor. Det samlede brændselsbehov fordeles "ligeligt" på el og varme, så at brændselsmængden til varme er  $X_v^{dec} / \eta^{dec} = 1/cm \cong X_e^{dec} / \eta^{dec}$ , og til el  $X_e^{dec} / \eta^{dec}$ . På centrale værker er teknikken beskrevet ved en el-specifik brændseffektivitet,  $\eta^{cen}$ , (på omtrent 0.4), og en faktor for input af el ved produktion af en enhed varme,  $cv$ . Faktoren fortæller, hvor meget el man mister ved at udnytte varmen, dvs.  $cv = dX_e / dX_v$ . På denne måde opfattes el som produktionsfaktoren til varmeproduktionen. De egentlige brændsler, der anvendes til denne elproduktion, bliver så indirekte produktionsfaktorer. Værdien af  $cv$  er lille, nærmere bestemt 0.15, hvilket fortæller, at det brændselsmæssigt er billigt at udnytte den "marginale spildvarme". Anvendelsen af brændsel  $j$  til central varmeproduktion bliver således  $cv \cong X_{vj}^{cen} / \eta_j^{cen}$ .<sup>51</sup>

<sup>49</sup> Se ordliste.

<sup>50</sup> Vi ser i teksten bort fra, at de tekniske forhold afviger lidt fra brændsel til brændsel.

<sup>51</sup> Hvis man skulle beregne en brændseffektivitet for udnyttelsen af "spildvarme" på centrale værker, bliver den  $\eta/cv$ , dvs. omtrent lig 267 pct. Det er dette, der gør, at der opstår en konverteringsgevinst som vist

Kort sagt er forskellen på de to typer værker altså, at på centrale værker tillægges størstedelen af brændselsanvendelsen elproduktionen, mens der finder en mere ligelig fordeling sted på de decentrale værker.

Brændselsanvendelsen i varmeproduktionen,  $B_{v,i}^j$ , hvor  $j$  indikerer typen af varmeproducent og  $i$  indikerer brændslet, kan nu beregnes. Hvis  $m_j^i$  er andelen af brændselsbehovet, der bliver dækket af brændsel  $j$  for producent  $i$ ,  $i=fjv, dec, cen$ , haves

$$\begin{aligned} B_{v,j}^{fjv} &= m_j^{fjv} \cdot \frac{X_v^{fjv}}{\sum_j m_j^{fjv} \eta_j^{fjv}} \\ B_{v,j}^{dec} &= m_j^{dec} \cdot \frac{X_v^{dec}}{\sum_j m_j^{dec} \eta_j^{dec}} \\ B_v^{cen} &= cv \cdot \frac{X_v^{cen}}{\eta^{cen}} \end{aligned} \tag{2.5.6}$$

hvor  $j = kul, olie, gas, bio$

## Gasforsyningen

Erhvervet er overordentlig simpelt i denne sammenhæng. Nordsøgassen er produktionsfaktoren, og den producerede vare er den naturgas, der distribueres til forbrugerne. Der skal tages højde for et mindre ledningstab, men ellers er der intet at modellere for erhvervet – gassen kommer så at sige blot ind i den ene ende af et rør, og ud i den anden ende.

## Emissioner

I kapitel 3 gennemgås behandlingen af emissioner af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> omhyggeligt. Men i denne generelle behandling er der ikke knyttet emissionskoefficienter til erhvervenes og husholdningers anvendelse af el og fjernvarme, fordi en sådan emissionskoefficient knyttet til f.eks. den færdige el i givet fald burde afhænge af brændselssammensætningen i elproduktionen. Der er derfor mere hensigtsmæssigt at knytte emissionen direkte til anvendelsen af brændsler i el- og fjernvarmeproduktionen. Udledning af SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> reguleres for de centrale værker via kvoter. I modellen er det ganske enkelt antaget, at kvoterne overholdes. Det kan ske ved rensning eller ved køb af olie med mindre svovlindhold.

Emissioner fra naturgasanvendelsen behandles i kapitel 3, fordi erhvervet er så enkelt.

Her beskrives alene CO<sub>2</sub>-emissionen fra el- og varmeproduktionen, hvilket er ganske ukompliceret, idet der blot ganges en emissionsfaktor på anvendelsen af kul, olie og gas. For de decentrale værker beregnes udledningen af SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> efter samme skitse. Der dannes CO<sub>2</sub> ved forbrænding af biomasse, men dette er ikke medregnet, fordi planter i deres levetid absorberer en tilsvarende mængde CO<sub>2</sub> (så de er CO<sub>2</sub>-neutrale).

Når  $c_j$ ,  $j = kul, olie, gas$  er emissionsfaktoren for de tre øvrige brændsler, og  $B_{i,j}$  anvendelsen af brændsel  $j$  i produktionen af  $i$ ,  $i = el, varme$  (hvor der er summeret over centrale og decentrale værker og fjernvarmeproducenter), findes den samlede emission,  $C$ , fra forsyningssektorens produktion ved

$$C = \sum_i \sum_j c_j \cdot B_{i,j} \quad \text{hvor } \begin{matrix} j = kul, olie, gas, \\ i = el, varme \end{matrix} \quad (2.5.7)$$

Formentlig er det mere interessant at vurdere udviklingen i den emission, der er knyttet til den indenlandske energianvendelse i husholdninger og erhverv. Ellers kunne CO<sub>2</sub>-målsætningen i Energi 2000 jo nås, blot ved at al elektriciteten i år 2005 blev importeret. Emissionen ovenfor skal derfor korrigeres for nettoimporten af el. Dette sker ved at beregne den emission, der ville være forekommet, hvis den importerede el blev produceret på danske elværker med en CO<sub>2</sub>-emission pr. kWh, der svarer til den gennemsnitlige emission. Korrektionen bliver derfor

$$\text{CO}_2\text{-korrektion} = \frac{M_e - Ex_e}{X_e} \cdot \sum_j c_j \cdot B_{el,j} \quad \text{hvor } j = kul, olie, gas \quad (2.5.8)$$

### Udbygningen af elværker

Modellen indeholder et forsøg på at beskrive udbygningen af ny central kraftværkskapacitet. Modellen er baseret på aftaler for udbygningen af elkapacitet, hvorefter elværkerne skal have kapacitet til at klare den forventede spidsbelastning. Det skal nævnes, at modellen klart har undervurderet udbygning de seneste år, hvilket der kan være flere grunde til. For eksempel er det ikke indlysende i hvilken grad de centrale værker, der har pligt til at kunne tilfredsstille efterspørgslen, i praksis kan regne med produktionsbidrag fra den decentrale kapacitet. I modellen er denne eksogent bestemte kapacitet medregnet, således at flere vindmøller reducerer behovet for central kapacitet.

Eludbygningen er – som det er set ovenfor – relevant for brændselsvalget. Hvilke brændsler, de nye værker skal kunne fyre med, er dog bestemt uden for modellen. Endelig er udgifterne til investeringen af stor betydning for elprisen.

Udbygningen afhænger af forskellen mellem den ønskede kapacitet og den faktiske. Den ønskede kapacitet er beregnet således, at den indenlandske efterspørgsel kan tilfredsstilles. Der bliver beregnet 20 % til reservekapacitet.

Da det tager nogen tid at bygge elværker, må investeringen iværksættes, nogle år før værket skal tages i brug. Byggetiden er i modellen sat til tre år (hvilket er i underkanten). Elproducenterne må derfor skønne over den fremtidige efterspørgsel for at kunne finde den ønskede kapacitet. De må selvfølgelig ligeledes forudsige den faktiske kapacitet. Til det formål, skal der tages hensyn til den centrale udbygning, der er iværksat, men ikke færdig, til udbygningen af decentral kapacitet og vindkapacitet og til forventede afskrivninger af eksisterende kapacitet.

Der er brug for lidt notation. Det tager altså tre år at færdiggøre et elværk. Den indenlandske efterspørgsel, der i periode  $t$  forventes at findes i periode  $t+3$  er  $D_{e,t+3}^{exp}$ . Spidsbelastningen eller maksimumværdien for varighedskurven er betegnet med  $a$ . Iværksættelse af ny kapacitet betegnes  $II$  og selve ibrugtagningen betegnes  $I$ . Den centrale

elkapacitet er  $K$  og den ønskede  $K_w$ . Udtagningen eller nedlæggelserne af centrale værker betegnes  $DE$ . Kapaciteten for decentrale værker og vindkraft er  $K^{dec}$  og  $K^{vind}$ , og den fremtidige udbygning af disse antages kendt. Endelig er det antaget, at størrelsen af kapitalapparatet ikke kan falde med mere end denne afskrivning. Således fås

$$\begin{aligned}
 Kw_{t+3} &= a \cdot 1.2 \cdot D_{e,t+3}^{exp} \\
 II_t &= \max \{ Kw_{t+3} - (K_t - \sum_{i=0,1,2} DE_{t+i}) \\
 &\quad - (K_{t+3}^{vind} + K_{t+3}^{dec} - K_t^{vind} - K_t^{dec}) - \sum_{i=1,2} II_{t-i}, 0 \} \\
 I_t &= II_{t-3} \\
 K_t &= K_{t-1} + I_t - DE_t
 \end{aligned} \tag{2.5.9}$$

Den ønskede kapacitet,  $Kw_{t+3}$ , er altså proportional med den indenlandske efterspørgsel,  $D_{e,t+3}^{exp}$ , hvor proportionalitetsfaktoren er faktoren fra varighedskurven plus 20% til reservekapacitet. Dette leder til en påbegyndt udbygning af kapacitet,  $II_t$ , svarende til forskellen mellem den ønskede kapacitet og den faktiske under hensyntagen til den udbygning, der allerede er iværksat og udtagningen af eksisterende værker og endelig udbygningen af decentral kapacitet og vindkapacitet. Den iværksatte udbygning tages i brug 3 år efter påbegyndelsen, således at kapaciteten,  $K_t$ , øges med denne størrelse.

Det er naturligvis et problem, hvordan den forventede efterspørgsel dannes. I modellen er denne blot sat lig med den aktuelle efterspørgsel kombineret med en eksogen forventet vækstrate,  $g$ , så  $D_{e,t+3}^{exp} = (1+g)^3 D_{e,t}$ . Som nævnt fordeles den samlede udbygning,  $I$ , eksogent ud på typer af værker. Udbygningen med kul-olie værker bliver f.eks.  $I_{kf} = m_{kf} \cong I$ , hvor  $m_{kf}$  er en eksogen andel.

### Priser på el gas og varme

Modellen indeholder en beskrivelse af prisen på el og den distribuerede gas. Beskrivelsen af gasprisen er ganske rudimentær, idet det antages, at forbrugerprisen på gas følger den internationale gaspris. Varmeprisen er eksogen.

### Prisen på el

Bestemmelsen bygger på hvile-i-sig-selv princippet, således at elprisen afhænger af omkostningerne pr. kWh. På baggrund af foregående afsnit kan brændselsomkostningerne og de samlede omkostningerne til bygning af elværker bestemmes. Et prisindeks for anvendelsen af arbejdskraft og materialer approksimeres ved et indeks baseret på ADAM-variabler.

Det er elprisen i de centrale elværker der bestemmes, fordi de formentlig kan antages at være prisbestemmende, idet de står for størstedelen af elproduktionen.

Der er lovgivningsmæssige regler for finansieringen af udbygningen. Der kan henlægges 75 % af de samlede omkostninger i årene før ibrugtagningen af nye værker. De sidste 25 % kan afskrives over 15 år (jf. Forskningscenter Risø (1996)). Der er i modellen foretaget en simplificering af reglerne, så det antages, at hele finansieringen sker over elprisen i byggeperioden. Den påbegyndte udbygning, der finder sted i år  $t$ ,  $II_t$ , finansieres derfor ved

en tredjedel i år  $t$  og hvert af de efterfølgende to år. De samlede henlæggelser i et givent år,  $H_t$ , findes, når  $p_k$  er prisen for en enhed ny kapacitet, ved

$$H_t = \frac{1}{3} \sum_{i=1,2,3} p_{k,t} \cdot H_{t-i} \quad (2.5.10)$$

Brændselsomkostninger er lette at beskrive, fordi brændselsanvendelsen i de centrale værker allerede er bestemt. Når  $p_j$  er prisen for brændsel  $j$ , findes brændselsudgifterne,  $E$ , som

$$E = \sum_j p_j \cdot B_{e,j}^{cen} \quad \text{hvor } j = \text{kul, olie, gas, bio} \quad (2.5.11)$$

Prisindekset for andre produktionfaktorer betegnes  $p_{lm}$ . Når  $p_{el}$  er elprisen målt som øre pr. energienhed er det naturligt at bestemme elprisen som  $p_{el} = (B+H)/D_{el}^{cen} + \alpha \cong p_{lm}$ , hvor  $\alpha$  bestemmes ved regression. Imidlertid giver det for ringe statistiske resultater at binde parameteren til brændsels- og kapitalomkostningerne til 1, hvorfor følgende estimat er valgt<sup>52</sup>

$$p_{el} = 1.34 \cdot \frac{B+H}{D_{el}^{cen}} + 9.10 \cdot p_{lm} \quad (2.5.12)$$

En forklaring på, at parametren til brændsels- og kapitalomkostningerne ikke slår igennem på elprisen med parameteren 1 kan være, at approksimationen af andre omkostninger er unøjagtig. Med kørsel med modellen vil den væsentligste kilde til fejl i estimatet for elprisen dog formentlig næppe ligge i selve denne ligning, men i et fejlskøn for udbygningen af elværkerne og for hvordan udgifterne til udbygning af elværkerne præcist påvirker variabelen  $H$ .

### Prisen på gas

Som nævnt ovenfor følger forbrugernes gaspris,  $p_{gf}$ , den internationale gaspris,  $p_g$ ,

$$p_{gf} = k \cdot p_g \quad (2.5.13)$$

hvor  $k$  er en korrektionsfaktor.

---

<sup>52</sup> Estimationen og datakonstruktionen er nærmere beskrevet i papiret *Estimation af elpris*, Grinderslev, D. papir, Danmarks Statistik 1996.



### 2.5.3. Implementering i ADAM

De væsentligste elementer af implementeringen af forsyningsmodellen gennemgås i dette afsnit. Udeladte modelligninger er enten analoge til de viste eller forholdvis letforståelige. En tredje type af ikke-viste ligninger er endogene "dummy"-variabler, der styrer brændselssubstitutionen på centrale værker. Implementeringen af disse er lovligt kompliceret i forhold til det egentlige indhold i ligningen. For variabelnavne henvises generelt til variabellisten, der findes som arbejdsrapport og kan fås ved henvendelse til Danmarks Statistik.

I ligning 1.-4. opsplittes elproduktionen på forskellige producenter

1.  $qX_{nee} = (1+b_{nete}) \cdot qJ_{edk} - qM_e$  \$
2.  $qX_{vnd} = (3.6/1000) \cdot q_{tidvnd} \cdot qK_{vnd}$  \$
3.  $qX_{dece} = (3.6/1000) \cdot q_{tiddec} \cdot qK_{dec}$  \$
4.  $qX_{cene} = qX_{nee} - (qX_{dece} + qX_{vnd})$  \$

Der omregnes fra indenlandsk elefterspørgsel,  $qJ_{edk}$ , til produktion,  $qX_{nee}$ , ved korrektion for nettab,  $b_{nete}$ , og nettoimport,  $qM_e$ . Den indenlandske produktion opsplittes på vindkraft,  $qX_{vnd}$ , produktionen på decentrale værker,  $qX_{dece}$ , og produktion på centrale værker,  $qX_{cene}$ . Produktionen på f.eks. decentrale værker er bestemt af en driftstid,  $q_{dectid}$ , og kapaciteten af disse værker,  $qK_{dec}$ .

Opsplitningen af varmeproduktionen på forskellige producenter:

5.  $qX_{neh} = (1+b_{neth}) \cdot qJ_{hdk}$  \$
6.  $qX_{fjv} = (1-b_{krafth}) \cdot qX_{neh}$  \$
7.  $qJ_{sdech} = (bs_{dec} \cdot qX_{dece} / cms) / dt_{dec}$  \$
- .
- .
8.  $qJ_{zdech} = qJ_{sdech} + qJ_{fdech} + qJ_{gdech} + qJ_{bdech}$  \$
9.  $qX_{dech} = qJ_{zdech} \cdot dt_{dec}$  \$
10.  $qX_{cenh} = qX_{neh} - qX_{dech} - qX_{fjv}$  \$

Igen regnes fra den indenlandske varmeefterspørgsel,  $qJ_{hdk}$ , til produktion,  $qX_{neh}$ , ved at korrigerer for et nettab. En andel af varmen produceres på traditionelle fjernvarmeværker,  $qX_{fjv}$ , mens resten,  $b_{krafth}$ , produceres på centrale eller decentrale kraftvarmeværker. Forholdet mellem el og varme på de decentrale værker, der fyrer med kul,  $cms$ , bruges sammen med elproduktionen, den gennemsnitlige virkningsgrad på decentrale værker,  $dt_{dec}$ , og kullenes andel af den samlede brændselsanvendelse,  $bs_{dec}$ , til at bestemme den samlede kulanvendelse,  $qJ_{sdech}$ . Det samme gøres for de tre øvrige brændsler, og til sidst kan den samlede brændselsanvendelse,  $qJ_{zdech}$ , og varmeproduktionen på decentrale værker,  $qX_{dech}$ , findes. De centrale værker leverer den resterende del af varmen,  $qX_{cenh}$ .

Det samlede brændselsbehov for elproduktion på decentrale værker findes som elproduktionen divideret med den gennemsnitlige virkningsgrad,  $qX_{dece}/dt_{dec}$ . Dette fordeles på de fire brændsler ved hjælp af andele, f.eks. findes kulanvendelsen,  $qJ_{sdech}$ , ved hjælp af andelen,  $bs_{dec}$ .

11.  $qJ_{sdech} = bs_{dec} \cdot (1/dt_{dec} \cdot qX_{dece})$  \$

I ligning 7 er allerede beskrevet, hvordan brændselsvalget for varmeproduktionen på decentrale værker er implementeret. På traditionelle fjernvarmeværker er relationen af samme type som ligning 11.

På centrale værker angiver varmereproduktionen og den tekniske faktor  $cv1$  "el-inputet" til varmereproduktionen. Når dette kombineres med forholdet mellem kulanvendelsen til elproduktionen på centrale værker,  $qJscene$  (se nedenfor), og elproduktionen findes kulanvendelsen til varmereproduktionen,  $qJscenh$ .

$$12. qJscenh = cv1 * (qJscene / qXcene) * qXcenh \text{ \$}$$

Kapaciteterne for de seks forskellige typer af centrale elværker fordeles på de fire brændsler afhængigt af brændselspriserne. En række dummyvariabler styrer dette. Disse har formen<sup>53</sup>

$$dsf = 1 \text{ hvis } pqsne < pqfne, 0 \text{ hvis } pqfne < pqsne$$

Af de seks faktiske, observerbare værkstyper er der tre, der har muligheden for at fyre med kul. Disse værker kan dog også fyre med andre brændsler. Kapaciteten for værker, der kan fyre med kul, olie og gas, er  $qKsfg$ . Denne kapacitet henregnes kul, hvis  $dsf = dsf = 1$ , dvs, hvis kul er billigst af de tre brændsler. Således beregnes kapacitetsmålet  $qKls$  som

$$13. qKls = dsf * dsf * qKsfg + dsf * dsb * qKsfb + dsf * qKsf \text{ \$}$$

I stedet for at benævne kapaciteterne med de fire faktiske brændsler skal de nu benævnes efter den prismæssige rangordning af brændslerne. For eksempel er  $qK3$  den kapacitet på de værker, der vil fyre med det tredjebilligste brændsel, og  $qKT3$  er kapaciteten på de værker, der kan fyre med de tre billigste brændsler tilsammen. Omregningen styres igen ved hjælp af dummyer, der kan antage værdien 0 eller 1. Disse har formen

$$d3lf = 1 \text{ hvis olie er det tredjebilligste brændsel, 0 ellers.}$$

$$14. qK1 = d1Is * qKls + d1If * qKlf + d1Ig * qKlg + d1Ib * qKlb \text{ \$}$$

$$15. qKT1 = qK1 \text{ \$}$$

$$16. qK2 = d2Is * qKls + d2If * qKlf + d2Ig * qKlg + d2Ib * qKlb \text{ \$}$$

$$17. qKT2 = qK2 + qKT1 \text{ \$}$$

$$18. qK3 = d3Is * qKls + d3If * qKlf + d3Ig * qKlg + d3Ib * qKlb \text{ \$}$$

$$19. qKT3 = qK3 + qKT2 \text{ \$}$$

$$20. qK4 = d4Is * qKls + d4If * qKlf + d4Ig * qKlg + d4Ib * qKlb \text{ \$}$$

$$21. qKT4 = qK4 + qKT3 \text{ \$}$$

Det kan bemærkes, at den totale kapacitet bliver lig med  $qKT4$ .

Varighedskurven er implementeret på en overordentlig simpel måde, nemlig ved en minimumsproduktion og en maksimumsproduktion ( $qvariga$  og  $qvarigb$ ), der er proportionale med den samlede elproduktion på de centrale værker.

$$22. qvariga = qXcene * kvariga \text{ \$}$$

$$23. qvarigb = qXcene * kvarigb \text{ \$}$$

Den faktiske produktion baseret på brændslerne regnet efter prisrangordning findes nu ved hjælp af varighedskurven og de ovenfor beregnede kapaciteter. Det er to typer dummyvariabler, der styrer dette. Disse har formen

<sup>53</sup> Det er her på sin plads med en advarsel: Af tekniske årsager kan modellen ikke fungere, hvis to brændselspriser er *eksakt* ens. Brugeren må i så fald beslutte, hvilket brændsel elværkerne skal bruge og sætte dets pris marginalt ned.

$dkt2a = 0$  hvis kapaciteten på værker, der vil fyre med de to billigste brændsler, er tilstrækkelig til at klare spidsbelastningen, 1 ellers

$dkt2b = 1$  hvis kapaciteten på de to billigste brændsler er større end minimumsbelastningen, 0 ellers

Hvis f.eks.  $dkt2a=1$  betyder det, at hele elefterspørgslen ikke kan klares med de to billigste brændsler, og det tredjebilligste og evt. det dyreste må tages i brug.

Dette leder til ligninger, der bestemmer produktionen baseret på f.eks. de tre billigste brændsler tilsammen,  $qXt3$ , og produktionen baseret på netop det tredjebilligste brændsel,  $qX3$  ( $kwj$  og  $tmax$  angiver hhv. omregning mellem kWh og GJ og årets timer)

$$24. \quad qXt3 = dkt3a*(kwj*qKT3*tmax - (dkt3a*dkt3b*(kwj*qKT3-qvarigb))**2*(1/(2*qXcene*kvarigd))) + (1-dkt3a)*qXcene \text{ \$}$$

$$25. \quad qX3 = qXt3 - qXt2 \text{ \$}$$

Endelig skal omregnes til den faktiske brændselsanvendelse. Tidligere omtalte dummyer og virkningsgraden på centrale værker,  $dtcen$  (ganget med  $dtforsyn$ ), styrer dette. For eksempel bliver kulanvendelsen

$$26. \quad qJscene = (d1Is*qX1+d2Is*qX2+d3Is*qX3+d4Is*qX4)/(dtcen*dtforsyn) \text{ \$}$$

Den samlede ønskede elkapacitet tre år frem i tiden,  $qKneew3$ , afhænger af den forventede vækstrate i elefterspørgslen,  $gexp$ , og maksimumspunktet på varighedskurven,  $kvariga$ . De påbegyndte, "ønskede" udbygninger,  $qIIcenw$ , findes som forskellen mellem den ønskede kapacitet og den faktiske samlede aktuelle elkapacitet,  $qKnee$ . Der skal dog korrigeres for de udtagninger, der er kendskab til de kommende tre år, ( $qIv0 + qIv1 + qIv2$ ), de kendte udbygninger af vindkapacitet og decentral kapacitet, ( $qKvnd3 + qKdec3 - qKvnd - qKdec$ ), og de sidste to års påbegyndte centrale udbygninger, ( $qIIcen(1) + qIIcen(2)$ ). De faktiske påbegyndelser,  $qIIcen$ , adskiller sig fra de ønskede påbegyndelser ved ikke at kunne være negative. Endelig er  $qIIcen$  den færdige, nye samlede elkapacitet.

$$27. \quad qKnee = qKcen + qKvnd + qKdec \text{ \$}$$

$$28. \quad qKneew3 = kvariga*1.2*(1+gexp)**3*qJedk/3.6*1000 \text{ \$}$$

$$29. \quad qIIcenw = qKneew3 - (qKnee + (qIv0+qIv1+qIv2)) - (qKvnd3+qKdec3 - qKvnd - qKdec) - (qIIcen(-1)+qIIcen(-2)) \text{ \$}$$

$$30. \quad qIIcen = (abs(qIIcenw)/qIIcenw + 1)/2*qIIcenw \text{ \$}$$

$$31. \quad qIcen = qIIcen(-3) \text{ \$}$$

$$32. \quad qKcen = qKcen(-1) + qIcen + qIv0 \text{ \$}$$

Den nybyggede centrale kapacitet fordeles på typer af centrale værker. Af datamæssige årsager sker dette dog kun i fremskrivninger,  $dkap$  er en dummy, der eksogeniserer kapaciteten for en værkstype i den historiske periode. Kapaciteten på værker, der kan vælge mellem brændslerne kul, olie og gas,  $qKsfg$ , afhænger af forrige periodes kapacitet, udtagningerne  $qIsfgv0$  og den andel af de netop bestemte samlede udbygninger, der antages at være af denne type,  $bisfg$ .

$$33. \quad qKsfg = dkap*(qKsfg(-1) + qIsfgv0 + bisfg*qIcen) + (1-dkap)*zqKsfg \text{ \$}$$

Elprisen,  $pqxe$ , afhænger af henlæggelser til udbygninger,  $vIcen$ , og af brændselsudgifterne,  $vJzcene$ . Disse afhænger af investeringspriserne,  $pqinvkv$ , og brændselspriserne, f.eks. kulprisen,  $pqsne$ . Indekset til løn og materialer er  $phqvne$ . Med dummy'en  $dvicen$  er

der mulighed for at lade omkostningerne til henlæggelser følge elproduktionen proportionalt.

$$34. vIcen = 1/3*(pqinvkv*qIIcen+pqinvkv*qIIcen(-1)+pqinvkv*qIIcen(-2)) \\ *(1-dvicen) + dvicen*pqinvkv*(kvicen)*qXcene \$$$

$$35. vJzcene = (qJscene*pqnes+qJfcene*pqnef+qJgcene*pqneg+qJbcene*pqneb)/1000 \$$$

$$36. pqxe = 1.34*360*(vIcen+vJzcene)/qXt4+9.10*phqvne \$$$

#### 2.5.4. Sammenligning med Energistyrelsens system

Denne model for forsyningserhvervet er en stærkt forenklet udgave af en model, der er udarbejdet på Risø (Forskningscenter Risø (1996)). Denne model er igen af samme type, som den, der anvendes i Energistyrelsen i energiplanlægningen, RAMSES. Nedenfor er den ovenfor beskrevne model sammenlignet med disse.

Væsentligst for forskellen mellem RAMSES eller Risø's model og den ovenfor beskrevne er nok, at RAMSES og Risø's modeller beskriver de enkelte kraftvarmeværkers produktion bl.a. ved hjælp af tekniske data for de enkelte værker. En fordel ved enkeltværks-tilgangen er, at brændelseffektiviteter indgår som et element i beskrivelsen af de enkelte værker, således at modellen er en årgangsmodel, hvor brændelseffektiviteten i gennemsnit stiger, når gamle værker udskiftes med nye. I modellen ovenfor er effektiviteterne blot eksogene.

Bygningen af nye værker foregår i RAMSES og Risø's modeller efter samme princip som beskrevet ovenfor, dvs. den ønskede kapacitet bestemmes af spidsbelastningen i elefterspørgslen. Der udbygges i RAMSES og Risø med realistiske, diskrete kapacitetsstørrelser (på f.eks. 400 MW), hvor der ovenfor er antaget, at der kan udbygges med hvilke som helst kapaciteter. (Udbygningen foregår i RAMSES dog ikke automatisk.) I den praktiske fortolkning af modellerne er det på den anden side ikke sikkert, at der er den store forskel. I RAMSES eller Risø's model kan man næppe forudsige tidspunktet for udbygning præcist, men modellen beskriver alligevel udviklingen tilfredsstillende, hvis den gennemsnitlige udbygning over en årrække kan beskrives. Samme type tolkning kan gælde for den kontinuerte udbygning ■ modellen laver fejl hvert enkelt år, men er alligevel acceptabel, hvis udviklingen blot fanges over en årrække.

RAMSES, men ikke Risø's model, er ydermere udbygget med beskrivelser af hvert enkelt fjernvarmeområde.

RAMSES og Risø's model er altså mere detaljeret og på nogle områder kvalitativt mere udbygget. Håbet er, at ovenstående model alligevel fanger de overordnede træk ved udviklingen i forsyningserhvervet. Der er i RAMSES ikke prisbestemt brændelsesvalg.

## 2.6. Koblinger mellem de forskellige modeller

I dette tekniske kapitel beskrives en række koblinger mellem de forskellige satellitmodeller indbyrdes og mellem ADAM og satellitmodellerne. For eksempel bruges i forsyningserhvervet den el-, gas- og varmeefterspørgsel, som bestemmes i modellerne for de øvrige erhverv og husholdningerne. Dette er en indbyrdes kobling mellem delmodellerne, mens et eksempel på en kobling til ADAM kunne være, at ADAMs transportenergiforbrug skal bringes i overensstemmelse med satellitmodellens bud på samme. Et andet eksempel er, at en række ADAM i-o-koefficienter skal passe med satellitmodellens tal for det samme. Der skal også være overensstemmelse mellem ADAMs og satellitmodellens energipriser – og der skal skelnes mellem, om disse er før eller efter energiafgifter. Ydermere skal energiafgiftsprovenuene i satellitmodellen stemme med ADAMs energiafgifter.

I det følgende gennemgås først mængde-koblinger og siden pris-koblinger (herunder satellitmodellens formulering af energiafgifter). I begge disse afsnit gennemgås det bl.a., hvordan en række ADAM-variabler skal sættes for at skabe konsistens mellem ADAM og satellitmodellerne. I en række tilfælde er disse ADAM-variabler imidlertid selv endogene, og det vil ikke blive gennemgået her, hvorledes det rent teknisk sikres, at disse variabler bliver, hvad de skal være.<sup>54</sup>

### 2.6.1. Energimængder

#### Erhvervene

ADAMs *i-o-koefficienter* skal så vidt muligt bringes i overensstemmelse med det, som satellitmodellen bestemmer. For *nm*-erhvervet (jern- og metalindustrien) så ADAMs (energirelaterede) i-o-koefficienter ud som følger i 1992:

**Tablet 2.6.1. Energirelaterede i-o-koefficienter i jern- og metalindustrien i ADAM**

Leverance fra:	Mængde i 1980-priser	I-O-koefficient
Olieraffinaderier ( <i>ng</i> )	$angnm \cdot fXnm = 142$	$angnm = 0.0025$
El/gas/fjernvarme- forsyning ( <i>ne</i> )	$anenm \cdot fXnm = 611$	$anenm = 0.0106$
Import af raffinerede olieprodukter mv. ( <i>m3q</i> )	$am3qnm \cdot fXnm = 203$	$am3qnm = 0.0035$
Samlet	$fVnm = 956$	$fVnm/fXnm = 0.0166$

Anm. I 1992 var produktionsværdien i faste priser i *nm*-erhvervet,  $fXnm$ , lig 57.756 mio. kr. I-O-koefficienterne fås ved at dividere tallene i den venstre søjle med dette tal. Alle de i tabellen nævnte variabler er ADAM-variabler.

Det bemærkes her, at der f.eks. ikke er nogen leverancer af råolie eller kul ind i *nm*-erhvervet. Når der simuleres med den egentlige ADAM, bliver den samlede koefficient ( $fVnm/fXnm$ ) bestemt afhængigt af f.eks. priser, men *fordelingen* af energiforbruget mellem de tre leverancer antages blot at være den samme som året før. Det er denne

<sup>54</sup>Angående variabelnavne henvises til variabellisten.

fordeling af den samlede koefficient, som satellitmodellerne giver et bud på. I ADAM er det et generelt træk, at erhvervene (eksklusive energiforsyningserhvervene  $e$ ,  $ng$  og  $ne$ ) kun har energiinputs fra olieraffinaderier ( $ng$ ), el/gas/varmeforsyning ( $ne$ ) og import af raffinerede olieprodukter ( $m3q$ ).

Det falder lige for, at leverancen fra el, gas og fjernvarme (de 611 mio. 1980-kr i ovenstående tabel 2.6.1) skal følge udviklingen i satellitmodellens el-, gas- og fjernvarmeforbrug, dvs.  $qJenm$ ,  $qJgnm$  og  $qJhnm$ . Da satellitmodellens  $qJenm$ ,  $qJgnm$  og  $qJhnm$  måles i TJ, mens ADAMs energiforbrug måles i faste 1980-priser, bruges der tal for  $qJ$ erne opgjort i 1980-priser. I faste priser hedder energiforbrugene  $fJenm$ ,  $fJgnm$  og  $fJhnm$ , og summen af disse siger således noget om udviklingen i ADAMs tal for det samme,  $anenm \cdot fXnm$ . Et fastprisaggregat (kaldet "el/gas/varme") af satellitmodellens  $fJ$ er bliver<sup>55</sup>

$$\text{el/gas/varme} = fJenm + fJgnm + fJhnm \quad (2.6.1)$$

Udviklingen i  $nm$ -erhvervs input fra olieraffinaderier og import af raffinerede olieprodukter antages at svare til udviklingen i satellitmodellens transport- og olie-forbrug,  $qJtnm$  hhv.  $qJfnm$ . Disse opgøres også i faste 1980-priser, således at

$$\text{olieprodukter} = fJtnm + fJfnm \quad (2.6.2)$$

Det gælder nu, at  $anenm \cdot fXnm$  skal følge tallet i (2.6.1), mens  $angnm \cdot fXnm$  og  $am3qnm \cdot fXnm$  skal følge tallet i tabel (2.6.2). Det giver følgende sammenhænge for i-o-koefficienterne (hvor  $D\log(x) = \log(x) - \log(x_{-1})$ ):

$$D\log(angnm) = D\log\left(\frac{fJtnm + fJfnm}{fXnm}\right) \quad (2.6.3)$$

$$D\log(anenm) = D\log\left(\frac{fJenm + fJgnm + fJhnm}{fXnm}\right) \quad (2.6.4)$$

$$D\log(am3qnm) = D\log\left(\frac{fJtnm + fJfnm}{fXnm}\right) \quad (2.6.5)$$

I ADAM hedder energiforbruget i transporterhvervene  $fVeqt$  (transport eksklusive søtransport) og  $fVeqs$  (søtransport). Som nævnt i kapitel 2.4 bestemmer satellitmodellen produktion og energiforbrug i en række underopdelte transporterhverv. Summeres energiforbruget i disse underopdelte energierhverv, fås størrelserne  $fJzqt1$  og  $fJzqs1$ , som er satellitmodellens bud på energiforbruget i ADAMs  $qt$ - og  $qs$ -erhverv. Der sikres overensstemmelse mellem de to systemer ved at lade væksten i ADAM-variablerne følge væksten i satellitmodelvariablerne:

<sup>55</sup> I satellitmodellen følger alle  $fJ_{ij}$ -variablerne de respektive variabler i TJ,  $qJ_{ij}$ .

$$\text{Dlog}(fVeqt) = \text{Dlog}(fJzqt1) \quad (2.6.6)$$

$$\text{Dlog}(fVeqs) = \text{Dlog}(fJzqs1) \quad (2.6.7)$$

### Forsyningserhvervet

I forsyningsmodellen (ADAMs *ne*-erhverv) skal det også sikres, at ADAMs i-o-koefficienter kommer til at afspejle brændselsforbruget i forsyningsmodellen.

Dette gøres ved at lade *angne* og *am3qne* (leverancer fra olieraffinaderier og importerede olieprodukter) følge fuel-forbruget, mens *am3kne* (kulimport) følger kulforbruget, og *aene* (leverancer fra Nordsøen) følger gasforbruget. Desuden følger *aane* (leverancer fra landbruget) biomasseforbruget.

$$\text{Dlog}(aene) = \text{Dlog}\left(\frac{fJgne}{fXne}\right) \quad (2.6.8)$$

$$\text{Dlog}(angne) = \text{Dlog}\left(\frac{fJfne}{fXne}\right) \quad (2.6.9)$$

$$\text{Dlog}(am3qne) = \text{Dlog}\left(\frac{fJfne}{fXne}\right) \quad (2.6.10)$$

$$\text{Dlog}(am3kne) = \text{Dlog}\left(\frac{fJsne}{fXne}\right) \quad (2.6.11)$$

$$\text{Dlog}(aane) = \text{Dlog}\left(\frac{qJbne}{fXne}\right) \quad (2.6.12)$$

### Husholdninger

Hvad husholdningernes energiforbrug angår, er der en del tilbagevirkninger til ADAM. I husholdningsmodellen bestemmes både bilernes brændstofforbrug (husholdningsmodellens *qJtc*, som i ADAM hedder *fCg*) og el- og varmemforbruget (husholdningsmodellens *qJec+qJgc+qJhc+qJsc+qJfc*, som i ADAM hedder *fCe*). ADAMs *fCg* og *fCe* og de tilhørende i-o-koefficienter bringes i overensstemmelse med satellitmodellens bud på det samme – det sidste målt i faste 1980-priser, dvs. *fJ<sub>i</sub>c*:

$$\text{Dlog}(fCg) = \text{Dlog}(fJtc) \quad (2.6.13)$$

$$\text{Dlog}(fCe) = \text{Dlog}(fJec + fJgc + fJhc + fJsc + fJfc) \quad (2.6.14)$$

Beregningen af i-o-koefficienterne foretages efter samme principper som erhvervene:



$$\text{Dlog}(angce) = \text{Dlog}\left(\frac{fJfc}{fCe}\right) \quad (2.6.15)$$

$$\text{Dlog}(anece) = \text{Dlog}\left(\frac{fJec + fJgc + fJhc}{fCe}\right) \quad (2.6.16)$$

$$\text{Dlog}(am3kce) = \text{Dlog}\left(\frac{fJsc}{fCe}\right) \quad (2.6.17)$$

$$\text{Dlog}(am3qce) = \text{Dlog}\left(\frac{fJfc}{fCe}\right) \quad (2.6.18)$$

Disse koefficienter proportionaljusteres herefter, så de summer op til  $(1-aqhne-asvne)$ . I-o-koefficienterne for leverancerne til  $fCg$  laves på samme måde, hvilket reducerer til, at  $angcg$  og  $am3qcg$  skrives uændret frem (dette skyldes, at satellitmodellen ikke siger noget om fordelingen af  $fCg$  på olieraffinaderier og import).

### Mængdemæssige koblinger inden for de enkelte satellitmodeller

Ud over de ovenfor gennemgåede tilbagespil til ADAM, er der den ekstra kobling, at erhvervenes og husholdningernes samlede efterspørgsel efter el, gas og varme ( $qJedk$ ,  $qJgdk$  og  $qJhdk$ ) bruges som input i forsyningssektoren. Der er ikke andre mængdemæssige sammenhænge mellem satellitmodellerne indbyrdes.

### 2.6.2. Energipriser og -afgifter

I ADAM-satellitmodellen er energipriserne såkaldte "køberpriser", dvs. det, som erhvervene eller husholdningerne rent faktisk betaler for energien. Med andre ord er satellitmodellens energipriser inklusive handelsavancer og punktafgifter.<sup>56</sup>

For at komme fra de grundlæggende basispriser på energi til satellitmodellens køberpriser er det således nødvendigt at tillægge handelsavancer og punktafgifter. Satellitmodellen siger imidlertid ikke noget om udviklingen i energiavancesatserne, og derfor er systemet lavet, så satellitmodellens energipriser i stedet for at tage udgangspunkt i nogle basisenergipriser tager udgangspunkt i nogle såkaldte "nettopriser". Disse såkaldte nettopriser er således – som i ADAM – basispriser tillagt handelsavancer (eller, om man vil, køberpriser fratrukket punktafgifter).<sup>57</sup>

<sup>56</sup> Men i øvrigt eksklusive moms, jf. fodnote 4 nedenfor. Den ikke-refunderbare moms på energiinputs i erhvervene er imidlertid meget beskedent. Momsen spiller således kun en rolle for husholdningernes energipriser, jf. senere.

<sup>57</sup> For at opsummere begreberne: *basispriser* er "rå" priser af producent. Hvis basispriserne tillægges handelsavancer, fås de såkaldte *nettopriser* (disse er et ADAM-begreb ■ nationalregnskabet opererer ikke med nettopriser). Tillægges nettopriserne afgifter – eller tillægges basispriserne avancer og afgifter – fås *køberpriserne*. Normalt tillægges også moms for at få køberpriserne, men køberpriserne i nationalregnskabets energimatricer er eksklusive moms.

I modellen er der fem af disse grundlæggende nettopriser, og de ligger alle med værdien 1 i databanken. Ideen med disse er således blot, at de fungerer som eksogene "håndtag", således at brugeren selv kan sætte, hvorledes nettopriserne skal udvikle sig i en fremskrivning. I satellitmodellen vil energipriserne så komme til at følge udviklingen i nettopriserne tillagt udviklingen i energifgiftssatserne.

De fem grundlæggende nettoenergipriser er følgende:

- |     |                       |         |                           |
|-----|-----------------------|---------|---------------------------|
| (a) | Pris på olieprodukter | $pnoli$ | bestemmer type $t$ og $f$ |
| (b) | Pris på el            | $pnele$ | bestemmer type $e$        |
| (c) | Pris på gas           | $pngas$ | bestemmer type $g$        |
| (d) | Pris på fjernvarme    | $pnfjv$ | bestemmer type $h$        |
| (e) | Pris på kul           | $pnkul$ | bestemmer type $s$        |

Disse nettoenergipriser,  $pnoli$ ,  $pnele$ ,  $pngas$ ,  $pnfjv$  og  $pnkul$ , bliver så bestemmende for alle andre energipriser i satellitmodellerne ( $pnoli$  er bestemmende for prisen på både transportenergi, type  $t$ , og andet flydende brændstof, type  $f$ ).<sup>58</sup> Dette foregår som vist i det følgende (her for  $nm$ -erhvervet).

$$pqjtnm = (pqjtnm_{-1} - tqjtnm_{-1}) \frac{pnoli}{pnoli_{-1}} + tqjtnm \quad (2.6.19)$$

$$pqjenm = (pqjenm_{-1} - tqjenm_{-1}) \frac{pnele}{pnele_{-1}} + tqjenm \quad (2.6.20)$$

$$pqjgnm = (pqjgnm_{-1} - tqjgnm_{-1}) \frac{pngas}{pngas_{-1}} + tqjgnm \quad (2.6.21)$$

$$pqjhnsm = (pqjhnsm_{-1} - tqjhnsm_{-1}) \frac{pnfjv}{pnfjv_{-1}} + tqjhnsm \quad (2.6.22)$$

$$pqjsnm = (pqjsnm_{-1} - tqjsnm_{-1}) \frac{pnkul}{pnkul_{-1}} + tqjsnm \quad (2.6.23)$$

$$pqjfnm = (pqjfnm_{-1} - tqjfnm_{-1}) \frac{pnoli}{pnoli_{-1}} + tqjfnm \quad (2.6.24)$$

Ideen i ligning (2.6.19) er først at udregne nettoprisen i året før. Dette gøres ved at trække punktafgiftssatsen,  $tqjtnm_{-1}$ , fra køberprisen,  $pqjtnm_{-1}$ , således at man får indholdet i parentes. Parentesen udtrykker altså den laggede nettopris, og denne multipliceres med udviklingen i den relevante overordnede "nettopris", her  $pnoli$  (nettoprisen på

<sup>58</sup> Af disse bestemmes  $pnele$  i fremskrivninger af forsyningsmodellens elpris, og  $pnfjv$  er sat til at følge  $pnele$ . De andre nettopriser er eksogene og kan sættes af brugeren.

olieprodukter). Efter tillæg af afgifter,  $tqjtnm$ , fås køberprisen i indeværende år. Den implicitte antagelse i dette er, at der – som i ADAM – er fuld overvæltning af afgifter på energipriserne.<sup>59</sup>

Ovenstående gøres for alle sektorerne, inklusive husholdninger. I husholdningerne betales dog megen moms på energiforbruget, hvilket der er taget højde for i satellitmodellen, idet de energipriser, som bruges i husholdningsmodellen og som der er estimeret på ( $pqjtc1$ ,  $pqjec1$ ,  $pqjgc1$ ,  $pqjhc1$ ,  $pqjsc1$  og  $pqjfc1$ , jf. evt. kapitel 2.2.3) er *inklusive* moms.

Energiafgifterne er punktafgifter, som måles i mio. kr/TJ og vil – hvis de ikke ændres – fungere som "dødvægt" i energipriserne. Eksempelvis er  $pqjtc$  (prisen på husholdningernes transportenergiforbrug) lig 0.125 i 1992, mens afgiftssatsen,  $tqjtc$ , er på 0.073. Det vil sige, at der er en ret stor afgiftsdødvægt i husholdningernes transportenergiforbrug, af størrelsesordenen  $0.073/0.125 \cdot 60\%$ . Således vil forbruger-benzinprisen kun stige med omkring 0.4 %, hvis (netto)prisen på olieprodukter,  $pnoli$ , stiger med 1 %.

### Energiafgifter

Størrelsen af energiafgifterne i 1992 kan ses i tabel 2.6.1 nedenfor (hvor transport-erhvervene er aggregeret).

Afgifterne modelleres som en afgiftssats målt i mio. kr. pr. TJ:

$$Siqjtnm = tqjtnm \cdot qjtnm \quad (2.6.25)$$

( $Siqjtnm$  er en tabelvariabel og indgår ikke eksplicit i satellitmodellen. Den er derfor ikke at finde i variabellisten). Her er det benzin/diesel-afgiften i  $nm$ -erhvervet, men energiafgifterne i alle de andre erhverv og for alle de andre energityper er formuleret på samme måde.

<sup>59</sup> Ligningen er måske nemmere at forstå, hvis  $tqjtnm$  flyttes over på venstresiden. Derved ses det tydeligt, at væksten i [ $pqjtnm - tqjtnm$ ] bliver lig væksten i  $pnoli$ . Altså: først renses der for afgifter, så skrives det rensede udtryk frem med nettoprisen, og til sidst lægges der afgifter på igen.

**Tabel 2.6.1. Energiavgifter i satellitmodellen, mio. kr, 1992**

Erhverv	Sum	Transp.- energi <i>t</i>	El <i>e</i>	Gas <i>g</i>	Fjern- varme <i>h</i>	Kul <i>s</i>	Olie <i>f</i>
Sum	15992.3	6293.8	4940.9	0.0	0.0	767.4	3990.1
Landbrug mv. <i>a</i>	76.0	81.8	-5.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Råolie m.m. <i>e</i>	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Olieraffinaderier <i>ng</i>	-0.7	0.0	-0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
El, gas og fjernvarme <i>ne</i>	907.4	9.3	-0.7	0.0	0.0	754.4	144.4
Næringsmidler <i>nf</i>	14.4	20.3	-5.9	0.0	0.0	0.0	0.0
Nydelsesmidler <i>nm</i>	2.3	3.0	-0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
Lev. til byggeri <i>nb</i>	12.3	14.6	-2.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Jern- og metal <i>nm</i>	50.0	55.7	-5.7	0.0	0.0	0.0	0.0
Transp.middelindustri <i>nt</i>	4.1	4.9	-0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Kemisk <i>nk</i>	13.9	18.6	-4.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Anden fremstilling <i>nq</i>	30.1	33.3	-3.3	0.0	0.0	0.0	0.0
Bygge- og anlæg <i>b</i>	204.0	204.9	-0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
Handel <i>qh</i>	459.1	465.6	-6.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Søtransport <i>qs</i>	1.3	1.3	-0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Anden transport mv. <i>qt</i>	543.3	477.6	65.1	0.0	0.0	0.0	0.6
Finansiel virksomhed <i>qf</i>	291.3	7.7	217.6	0.0	0.0	0.0	66.0
Andre tjenesteydende <i>qq</i>	511.9	183.4	327.3	0.0	0.0	0.0	1.2
Boligbenyttelse <i>h</i>	15.4	4.7	9.9	0.0	0.0	0.0	0.8
Offentlige tjenester <i>o</i>	1754.4	130.8	1097.7	0.0	0.0	0.0	525.8
Husholdninger <i>c</i>	11101.7	4576.0	3261.4	0.0	0.0	13.0	3251.3

Mange af energimatricens energiavgifter er nul (f.eks. er der ingen afgifter på gas og fjernvarme), men det vælges alligevel at have afgiftssatser på disse (afgiftssatserne bliver så lig nul), for at "fremtidssikre" systemet.

### Koblinger til ADAM

Når *nm*-erhvervets (køber)priser på energityperne *t*, *e*, *g*, *h*, *s* og *f* er bestemt ud fra ovenstående ligninger, kan de samlede energiudgifter beregnes ved at gange energimængderne på priserne. Og divideres denne udgift med ADAMs *fVenm* fås prisen på energiinputs i ADAMs *nm*-erhverv, *pvenm*:

$$p_{venm} = \frac{\sum_{i=t,e,g,h,s,f} p_{j_i nm} \cdot q_{j_i nm}}{kv_{jnm} \cdot f_{Venm}} \quad (2.6.26)$$

Korrektionsfaktoren *kvjnm* er tæt på én og skyldes, at ADAMs energiudgifter og energimatricernes tal for det samme afviger noget fra hinanden. Energi priserne i de andre erhverv og for husholdningerne laves på samme måde.

ADAMs andre energipriser laves som følger:

$$Dlog( pxng ) = Dlog( pnoli ) \quad (2.6.27)$$

$$Dlog( pm3q ) = Dlog( pnoli ) \quad (2.6.28)$$

$$Dlog(pm3k) = Dlog(pnkul) \quad (2.6.29)$$

$$Dlog(pm3r) = Dlog(pnoli) \quad (2.6.30)$$

$$Dlog(pxe) = Dlog(pnoli) \quad (2.6.31)$$

Prisen på energieksporten,  $pe3$ , bestemmes som hidtil i ADAM. Prisen på el, gas og fjernvarme,  $pxne$ , bestemmes ud fra forsyningsmodellens priser på disse:

$$Dlog( pxne ) = Dlog \left( \frac{qXnee\_pqxe}{360} + \frac{qXneg\_pqxg}{1000} + \frac{qXneh\_pqxeh}{1000} \right) \quad (2.6.32)$$

$$\frac{qXnee + qXneg + qXneh}{}$$

Endelig skal ADAMs energiafgifter ( $Sip_j$  for erhvervene og  $Sipe + Sipe$  for husholdningerne) passe med satellitmodellens tal for det samme, hvilket for  $nm$ -erhvervet gøres ved at sætte energiafgiftssatsen til

$$tvenm = \frac{\sum_{i=e,g,h,s,f} tqj_{i, nm} \cdot qJ_{i, nm}}{fVenm} \quad (2.6.33)$$

Derved kommer ADAMs energiafgiftsprovenu,  $Sipvenm = tvenm \cdot fVenm$ , til at stemme med satellitmodellens, således at afgiftsprovenuet påvirker det offentlige budget korrekt.<sup>60</sup> For husholdninger kommer afgiftssatserne til at se ud som følger:

$$tpe = \frac{\sum_{i=e,g,h,s,f} tqj_{i, c} \cdot qJ_{i, c}}{fCe} \quad (2.6.34)$$

$$tpg = \frac{tqjtc \cdot qJtc}{fCg} \quad (2.6.35)$$

<sup>60</sup> Det blev bemærket ovenfor, at der er en (mindre) diskrepans mellem ADAMs energiudgifter og satellitmodellens energiudgifter, som i  $nm$ -erhvervet blev samlet op af korrektionsfaktoren  $kvjnm$ . Hvad energiafgifterne angår, er disse imidlertid identisk ens i ADAM og i satellitmodellen;  $Sipvenm = Siqjnm + Siqjenm + Siqjgnm + Siqjhnm + Siqjsnm + Siqjfnm$  (venstresidevariablen er fra ADAM, og højresidevariablerne er (tabelvariabler) fra satellitmodellen).

I det ovenstående er det beskrevet, hvorledes en række ADAM-variabler skal sættes, for at der er (næsten) konsistens mellem ADAM og satellitmodellen. Slutteligen skal det nævnes, at en række af disse variabler er endogene i ADAM, hvorfor de rent teknisk skal "eksogeniseres". Denne eksogenisering vil ikke blive gennemgået her, da den er meget ADAM-teknisk.

### 3. Emissionsmodeller

Dette kapitel gennemgår tre satellitmodeller til beregning af CO<sub>2</sub>-, SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissioner fra den økonomiske aktivitet, primært fra energiforbruget og energiforsyningen, men da CO<sub>2</sub>-emissionerne fra energiforsyningen er gennemgået i kapitel 2.5, skal disse blot for helhedens skyld nævnes i dette kapitel. CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> er luftarter, der spredes med vinden, og som Danmark har indgået internationale aftaler om at begrænse emissionerne af. CO<sub>2</sub> er en drivhusgas, der formentlig bidrager til den globale opvarmning og forårsager klimaforandringer. SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> er forsurende gasser, der forårsager skader på skove og søer.

#### 3.1. Overordnede karakteristika

Grundlæggende beregnes emissionerne ud fra definitionen af en emissionskoefficient som

$$\text{emissioner} = \text{aktivitet} \cdot \text{emissionskoefficient}$$

hvor aktiviteten er en variabel (typisk et energiforbrug) i ADAM eller satellitmodellerne. Emissionskoefficienterne er teknisk bestemte variabler, der defineres eksogent, og er uafhængige af niveauet for den givne aktivitet, dvs. ændres niveauet for en aktivitet ændres emissionerne fra denne aktivitet proportionalt.

Emissionskoefficienterne for de enkelte aktiviteter i modellen beregnes ud fra forholdsvis detaljerede opgørelser, f.eks. dieselforbruget anvendt af store eller små lastbiler, da det er på dette niveau, der findes tekniske oplysninger. For at komme fra dette detaljerede niveau til niveauet for variabler, der bestemmes i modellen, foretages en vægtet aggregering. Ændres sammensætningen af en modelvariabel, og dermed vægtingen af underkomponenter i denne, burde emissionskoefficienten ændres. Da vi i fremskrivninger imidlertid ikke kender ændringen, f.eks. flere store og færre små lastbiler, forudsættes ved fremskrivning af aggregerede emissionskoefficienter en uændret vægtning af underkomponenterne.

Over tid ændres emissionskoefficienterne som følge af tekniske ændringer. En del af disse tekniske ændringer kendes (f.eks. ændrede normer for lastbiler) og er implementeret ved fremskrivninger af emissionskoefficienterne.

Emissionskoefficienterne for de tre stoffer er principielt forskellige.

Emissionskoefficienterne for CO<sub>2</sub> er knyttet til kulstofindholdet i de enkelte brændsler og er således forskellige for de enkelte brændsler, men uafhængig af brændslets anvendelse og konstant over tid.

Emissionskoefficienterne for SO<sub>2</sub> er knyttet til brændslernes svovlindhold og varierer således imellem de enkelte brændsler. Det tilladte svovlindhold i de enkelte brændsler er forskelligt for forskellige anvendelser og ændres over tiden.

NO<sub>x</sub>-emissionskoefficienterne afhænger af forbrændingsbetingelserne og er således forskellige for de enkelte brændsler og anvendelser og ændres over tid som følge af ændrede normer for forbrændingsbetingelserne.

Også reguleringsmæssigt er de tre stoffer forskellige. Mens det for SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> er muligt at rense røggasserne, at reducere svovlindholdet i de enkelte brændsler samt at ændre forbrændingsbetingelserne, kræver en reduktion af CO<sub>2</sub>-emissionerne enten energibesparelser eller brændselsomlægninger.

De totale emissioners fordeling på husholdninger og erhverv er for 1991 vist i tabel 3.1.

**Tabel 3.1. Energiforbrug og emissioner i 1991**

Kilde	Direkte energiforbrug <sup>1</sup>	CO <sub>2</sub> -emissioner <sup>2</sup>		SO <sub>2</sub> -emissioner <sup>2</sup>		NO <sub>x</sub> -emissioner <sup>2</sup>	
	TJ	1000 ton CO <sub>2</sub>	%	ton SO <sub>2</sub>	%	ton NO <sub>x</sub>	%
Husholdninger	225727	8932	14	4864	2	49156	15
Landbrug	42089	2597	4	9442	4	31668	10
Energikonvertering	356163	32701	52	179800	74	129239	40
Industri	132494	7291	12	27974	11	17927	5
Byggeri og anlæg	13701	924	1	1485	1	9963	3
Handel	30012	1351	2	1257	1	13728	4
Transporterhverv	89338	6229	10	15540	6	62755	19
Privat service	35097	765	1	861	0	4204	1
Offentlige tjenester	36038	1041	2	1278	1	2524	1
Bio-brændsler	45840	0	0	5351	2	5074	2
Ikke-energi-relaterede emissioner	-	1199	2	-5060	-2	-67	0
I alt	-	63032	100	242792	100	326171	100

<sup>1</sup> Kilde: Danmarks Statistiks energibalancer, bio-brændsler er hentet fra Energistyrelsens energistatistik.

<sup>2</sup> Emissionskoefficienter er baseret på CORINAIR-opgørelserne, der er officielle opgørelser og som indberettes til EU.

CO<sub>2</sub>-emissionerne følger i grove træk energiforbruget, og det ses, at godt 50% kommer fra energikonverteringen, hvoraf hovedparten kommer fra kulforbruget på kraftværkerne. Emissionerne fra elproduktionen kan fordeles proportionalt på efterspørgerne af el, svarende til, at emissionskoefficienten (ton CO<sub>2</sub> pr. TJ elanvendelse) er ens for samtlige kilder. Det bemærkes, at CO<sub>2</sub>-emissionerne fra bio-brændsler er sat til nul, hvilket skyldes, at der regnes netto. Det kulstof, der indeholdes i bio-brændslerne og som frigives ved forbrænding, er optaget fra luftens CO<sub>2</sub>-indhold og frigives ved alternativ anvendelse af bio-brændsler, f.eks. forrådnelse. Netto bidrager emissionerne fra bio-brændslerne således ikke til den globale opvarmning. De ikke-energi-relaterede emissioner er små og kommer primært fra cementproduktionen, hvor der emitteres CO<sub>2</sub> ved forbrænding af kalksten.

SO<sub>2</sub>-emissionerne kommer primært fra kraftværkerne og dieselolie anvendt til søtransport. Fremskrivningsmæssigt skal det bemærkes, at kraftværkernes SO<sub>2</sub>-emissioner reguleres ved en kvote, og at denne reduceres med ca. 60 % frem til år 2000. Emissionerne fra bio-brændsler er minimale, men inkluderes i de totale emissioner, da de bidrager til forsyningen. At de ikke-energi-relaterede emissioner er negative skyldes cementproduktionen, hvor en del af brændslernes svovlindhold bindes i cementen.<sup>61</sup>

<sup>61</sup> I opgørelsen af de energi-relaterede emissioner regnes med, at hele svovlindholdet i de brændsler, der



Af NO<sub>x</sub>-emissionerne kommer ca. 40 % fra kraftværkerne og ca. 50 % fra transporten. I tabellen er emissionerne fra transporten fordelt på de enkelte kilder, der anvender transportenergi. Emissionerne fra andre kilder er minimale. Med hensyn til frem-skrivninger skal det bemærkes, at kraftværkernes emissioner reguleres ved en kvote, der reduceres med ca. 50 % frem til år 2000, at alle nye benzin-biler skal have katalysatorer, der reducerer NO<sub>x</sub>-emissionskoefficienten til ca. 1/10, og at der er indført normer for nye dieselmotorer, der afhængigt af bilens størrelse reducerer emissionskoefficienten for disse med 30-55 %.

## 3.2. Konstruktion af emissionskoefficienter

### 3.2.1. CO<sub>2</sub>-emissioner

CO<sub>2</sub>-emissioner fra forbrænding af brændsler afhænger af brændslernes beskaffenhed og er uafhængige af selve forbrændingsprocessen, dvs. for et givet brændsel vil emissionskoefficienten være ens for samtlige energimæssige anvendelser og konstant over tiden. Forudsættes en fuldstændig forbrænding af brændslernes kulstofindhold kan emissionskoefficienten målt i ton CO<sub>2</sub>/TJ beregnes som:

$$C_i = \frac{c_i \cdot M_{CO_2} \cdot 10}{B_i \cdot M_C} = \frac{c_i}{B_i} \cdot 36.6 \text{ tCO}_2/\text{TJ} \quad (3.1)$$

$C_i$	CO <sub>2</sub> -emissionskoefficient for brændsel $i$ målt i ton CO <sub>2</sub> /TJ
$c_i$	Brændsel $i$ 's kulstofprocent
$M_{CO_2}$	Molvægt for CO <sub>2</sub> (44 g/mol)
$M_C$	Molvægt for C (12 g/mol)
$B_i$	Brændslets nedre brændværdi i GJ/ton.

dvs. emissionskoefficienten afhænger af brændslets kulstofindhold og brændværdi. Forudsætningen om en fuldstændig forbrænding af brændslernes kulstofindhold er strengt taget ikke helt korrekt, da der altid vil være små mængder kulstof i asken og uforbrændt kulilte og kulbrinte i røgen. For alle praktiske formål er det dog en rimelig forudsætning.

Kulstofprocent, brændværdi og de beregnede emissionskoefficienter for de enkelte energityper i Danmarks Statistiks energibalancer er vist appendiks A.3 tabel A1. Det bemærkes, at emissionskoefficienterne for de konverterede energityper el og fjernvarme er nul. Emissionerne relateres til anvendelsen af fossile brændsler, dvs. til de brændsler, der anvendes til produktionen af el og fjernvarme.<sup>62</sup> Emissionskoefficienten for brænde er nul, da brænde er et bio-brændsel, og det forudsættes, at CO<sub>2</sub>-emissionerne for bio-brændsler

---

anvendes, emitteres som SO<sub>2</sub>. Når en del af svovlet bindes i cementen er emissionerne tilsvarende mindre. Man kan så vælge enten at anvende reducerede emissionskoefficienter for brændsler anvendt i cementproduktionen eller, som her, efterfølgende at korrigere for bindingen af svovl i cementen.

<sup>62</sup>Når emissionerne tilskrives de fossile brændsler, der anvendes til produktionen af el og fjernvarme, bliver emissionerne fra erhvervet El, gas og fjernvarme meget store. Ønskes et udtryk for de emissioner husholdningerne og de enkelte brancher giver anledning til, kan emissionerne fra branchen El, gas og fjernvarme (evt. korrigeret for netto-import af el) fordeles i forhold til husholdningernes og de enkelte branchers anvendelse af el og fjernvarme, der bestemmes som særskilte energiarter i modellen.

recirkulerer. Ellers bemærkes, at emissionskoefficienterne for faste brændsler er højest og koefficienterne for gasformige brændsler lavest.

For at komme fra de detaljerede emissionskoefficienter i tabel A1 til de 6 energityper, der bestemmes i modellen (fast brændsel, transportenergi, flydende brændsel, naturgas, el og fjernvarme), foretages en vægtet aggregering. De emissionskoefficienter, der anvendes i modellen, beregnes i periode  $t$  således som:

$$bc_{g,j}^t = \frac{\sum_{i \in g} E_{i,j}^t \cdot C_i}{\sum_{i \in g} E_{i,j}^t} \quad (3.2)$$

$g$	Refererer til den aggregerede energitype, der bestemmes i modellen
$i$	Refererer til energityperne i energibalancerne
$j$	Refererer til ADAM's erhverv samt husholdningernes forbrug
$bc_{g,j}^t$	Aggregeret CO <sub>2</sub> -emissionskoefficient vist for 1991 i tabel 3.2
$C_i$	Detaljeret CO <sub>2</sub> -emissionskoefficient vist i tabel A1
$E_{i,j}^t$	Energiforbrug i TJ.

CO<sub>2</sub>-emissionerne fra det enkelte erhverv beregnes som:

$$CO_{2j}^t = \sum_g E_{g,j}^t \cdot bc_{g,j}^t \quad (3.3)$$

$CO_{2j}^t$	CO <sub>2</sub> -emissioner fra erhverv $j$
$E_{g,j}^t$	Energiforbrug af energitype $g$ i modellen
$bc_{g,j}^t$	Aggregeret CO <sub>2</sub> -emissionskoefficient vist for 1991 i tabel 3.2 (i fremskrivninger forudsættes $bc_{g,j}^t$ konstant).

Emissionskoefficienter for fire af de aggregerede energityper og de enkelte anvendelser i modellen er vist i tabel 3.2. Koefficienterne for el og fjernvarme er nul for samtlige anvendelser, og er derfor ikke vist i tabellen. Bortset fra koefficienterne for faste brændsler bemærkes koefficienterne generelt at være forholdsvis ens for de forskellige anvendelser. Når koefficienten for faste brændsler varierer, skyldes det, at anvendelsen af brænde med en emissionskoefficient på nul varierer. I praksis er variationen af mindre betydning, da erhverv med en lille koefficient kun anvender små mængder faste brændsler. Hovedparten af de faste brændsler anvendes i erhverv, der anvender kul med en emissionskoefficient på 95.00 ton CO<sub>2</sub>/TJ.

**Tabel 3.2. CO<sub>2</sub>-koefficienter for aggregerede energityper i 1991, ton CO<sub>2</sub>/TJ**

CO <sub>2</sub> -emissionskoefficient for	Variabel	Fast brændsel	Transport-energi	Flydende brændsel	Naturgas
Privat forbrug	<i>bc<sub>c</sub></i>	28.54	73.02	73.37	56.90
Landbrug m.v.	<i>bc<sub>a</sub></i>	95.38	73.93	74.31	56.90
Energiudvinding	<i>bc<sub>e</sub></i>	-	73.02	76.92	56.90
Olieraffinaderier	<i>bc<sub>ng</sub></i>	-	73.11	74.61	56.90
El, gas og fjernvarme	<i>bc<sub>ne</sub></i>	95.00	73.57	77.94	56.90
Næringsmiddelindustri	<i>bc<sub>nf</sub></i>	95.30	73.76	76.48	56.90
Nydelsesmiddelindustri	<i>bc<sub>nn</sub></i>	95.00	73.85	76.99	56.90
Leverandører til byggeri	<i>bc<sub>nb</sub></i>	80.60	73.57	75.15	56.90
Jern- og metalindustri	<i>bc<sub>nm</sub></i>	78.13	73.42	73.70	56.90
Transportmiddelindustri	<i>bc<sub>nt</sub></i>	84.42	73.40	74.39	56.90
Kemisk industri m.v.	<i>bc<sub>nk</sub></i>	82.65	73.55	76.33	56.90
Anden fremstillingsvirksomhed	<i>bc<sub>nq</sub></i>	61.74	73.50	75.67	56.90
Bygge- og anlægsvirksomhed	<i>bc<sub>b</sub></i>	-	73.76	74.19	56.90
Handel	<i>bc<sub>qh</sub></i>	-	73.65	73.94	56.90
Søtransport	<i>bc<sub>qs</sub></i>	-	73.98	76.95	56.90
Anden transport	<i>bc<sub>qt</sub></i>	-	73.31	76.04	56.90
heraf: jernbaner	<i>bc<sub>t1j</sub>*</i>	-	74.00	70.39	56.90
busser	<i>bc<sub>t1b</sub>*</i>	-	73.99	73.87	56.90
færger	<i>bc<sub>t1f</sub>*</i>	-	74.00	77.87	56.90
turistbusser	<i>bc<sub>t2b</sub>*</i>	-	73.95	66.03	56.90
taxi	<i>bc<sub>t2t</sub>*</i>	-	73.76	65.34	56.90
vognmænd	<i>bc<sub>t2v</sub>*</i>	-	73.92	69.66	56.90
lufttransport	<i>bc<sub>t3</sub></i>	-	72.16	71.91	56.90
post og tele.	<i>bc<sub>t4</sub></i>	-	73.68	73.64	56.90
transportservice	<i>bc<sub>t5</sub></i>	-	73.53	73.25	56.90
Finansiell virksomhed	<i>bc<sub>qf</sub></i>	-	73.13	74.25	56.90
Andre tjenesteydende erhverv	<i>bc<sub>qq</sub></i>	-	73.63	73.96	56.90
Boligbenyttelse	<i>bc<sub>h</sub></i>	-	-	74.26	56.90
Offentlige tjenester	<i>bc<sub>o</sub></i>	-	72.70	74.08	56.90

\* Tal for 1990, disaggregerede energidata for 1991 eksisterer ikke.

Bio-brændsler behandles modelmæssigt noget forskelligt afhængigt af brændslet og hvor det anvendes. I el- og fjernvarmeforsyningen inkluderes bio-brændsler som specifikke energityper. I husholdningerne og de øvrige erhverv inkluderes brænde i forbruget af fast brændsel, men den anvendte mængde af de øvrige bio-brændsler fastsættes eksogent. Det drejer sig om træaffald, halm og biogas udenfor energiforsyningserhvervet. CO<sub>2</sub>-emissionerne fra bio-brændsler er som nævnt nul, men da bio-brændsler erstatter andre brændsler, er det i fremskrivninger nødvendigt at korrigere emissionerne for den antagede udvikling i anvendelsen af de eksogene bio-brændsler. Med udgangspunkt i 1992-forbruget foretages følgende korrektion af CO<sub>2</sub>-emissionerne:

$$CO2cor_k^t = (E_k^{92} - E_k^t) \cdot C_j^t \quad (3.4)$$

$E_k^{92}$  Forbruget af bio-brændsel  $k$  udenfor energikonverteringen i 1992  
 $E_k^t$  Forbruget af bio-brændsel  $k$  udenfor energikonverteringen i år  $t$   
 $C_j^t$  Emissionskoefficienten for det brændsel der substitueres.

Forbruget af de nævnte bio-brændsler i 1992 samt emissionskoefficienten for det brændsel, der forventes substitueret, er vist i tabel 3.3. Træaffald og biogas anvendes overvejende af industrien og forventes at substituere fuelolie. Halm anvendes primært til opvarmning på landbrugsejendomme og forventes at substituere fyringsgasolie.

**Tabel 3.3. Forbruget af eksogene bio-brændsler samt emissionskoefficienter for de brændsler der substitueres**

Brænde	Forbrug i 1992 $E_k^{92}$	Emissionskoefficient for brændsel der substitueres
Træaffald	5.08	78.0
Halm	8.48	74.0
Biogas	1.54	78.0

De ikke-energirelaterede CO<sub>2</sub>-emissioner kommer dels fra produktionen af cement, brændt kalk og gule mursten i erhvervet leverandører til byggeri og dels fra svovlrensningen på kraftværkerne. Produktionen i leverandører til byggeri samt de ikke-energirelaterede CO<sub>2</sub>-emissioner er vist i tabel 3.4. Som det ses, er emissionen ikke en konstant andel af erhvervets produktion, bl.a. fordi produktionen af cement, brændt kalk og gule mursten ikke udgør en konstant andel af erhvervets produktion. I mangel af bedre kan man i fremskrivninger anvende koefficienten for det seneste år.

**Tabel 3.4. Produktion og ikke-energirelaterede emissioner for leverandører til byggeri**

År	Produktion		CO <sub>2</sub> -emissioner i 1000 t.			CO <sub>2</sub> -emissions- koefficient
	Mill. 1980-kr	Cement	Mursten	Brændt kalk	Total	ton CO <sub>2</sub> /mill 1980-kr
1988	14109	755	33	106	894	63.36
1989	13868	898	33	96	1028	74.13
1990	13505	826	28	118	972	71.97
1991	14186	1008	28	87	1123	79.16
1992	14155	1034	29	99	1162	82.09

Til svovlrensning på kraftværkerne anvendes tre forskellige metoder: en våd proces, hvor der produceres gips, en tør proces, hvor der produceres et affaldsprodukt samt en proces, hvor der produceres svovlsyre. I tør-processen anvendes brændt kalk, der for øjeblikket primært importeres. Tabel 3.5 viser anvendelsen og CO<sub>2</sub>-emissionerne for de tre processer i 1992.<sup>63</sup>

<sup>63</sup>For en nærmere gennemgang af, hvordan de ikke-energirelaterede emissioner fra leverandører til byggeri samt fra svovlrensningen på kraftværkerne er beregnet, henvises til Andersen, F.M. og Trier, P. (1995) p. 160-162.

**Tabel 3.5. Svovlrensning og CO<sub>2</sub>-emissioner på kraftværkerne, 1992**

Proces	Produktion 1000 t	CO <sub>2</sub> -emissioner 1000 ton CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> fjernet 1000 ton SO <sub>2</sub>	Emissions- koefficient
Våd proces	94	30	44	0.688
Tør proces	141	46	50	0.911
Svovlsyreprodukt-	21	0	14	0.000

De ikke-energirelaterede CO<sub>2</sub>-emissioner beregnes således som

$$CO2_{proces}^t = fXnb^t \cdot Ckn_{proces} + \sum_p SO2_p^t \cdot Ck_{SO2,p} \cdot (1 - IMP_{SO2,p}^t) \quad (3.5)$$

$CO2_{proces}^t$	Ikke-energirelaterede emissioner
$fXnb^t$	Produktionen i leverandører til byggeri
$Ckn_{proces}$	CO <sub>2</sub> -emissionskoefficienten givet i tabel 3.4
$SO2_p^t$	ton SO <sub>2</sub> renses vha. proces $p$ (eksogene variabler)
$Ck_{SO2,p}$	CO <sub>2</sub> -emissionskoefficienten for rensning vha. proces $p$ (givet i tabel 3.5)
$IMP_{SO2,p}^t$	Importandelen for brændt kalk anvendt i tørprocessen. Nul for de andre processer.

### 3.2.2. SO<sub>2</sub>-emissioner

SO<sub>2</sub>-emissionerne beregnes ud fra svovlindholdet i de enkelte brændsler. For flydende og gasformige brændsler forudsættes alt svovl forbrændt til SO<sub>2</sub> og emitteret med røggasserne. For faste brændsler vil en del af svovlindholdet forblive i asken. Emissionskoefficienten for de enkelte brændsler (kg SO<sub>2</sub>/TJ) beregnes i periode  $t$  som

$$S_{ij}^t = \frac{s_{ij}^t \cdot M_{SO_2} \cdot 10^4 \cdot f_i}{M_S \cdot B_i} = \frac{s_{ij}^t}{B_i} \cdot f_i \cdot \frac{64}{32} \cdot 10^4 \text{ kgSO}_2/\text{TJ} \quad (3.6)$$

$S_{ij}^t$	SO <sub>2</sub> -emissionskoefficient for brændsel $i$ anvendelse $j$ målt i kg SO <sub>2</sub> /TJ
$s_{ij}^t$	Svovlindhold for brændsel $i$ anvendelse $j$ målt i vægtprocent
$M_{SO_2}$	Molvægt for SO <sub>2</sub> (64 g/mol)
$M_S$	Molvægt for S (32 g/mol)
$f_i$	Andel af svovlindholdet der emitteres med røggasserne
$B_i$	Brændslets nedre brændværdi i GJ/ton.

Da svovlindholdet ( $s_{ij}^t$ ) i de enkelte brændsler varierer over tid, og det tilladte svovlindhold i et brændsel afhænger af brændslets anvendelse, varierer emissionskoefficienterne over tid og med anvendelsen. For perioden 1966-93 er svovlindhold og emissionskoefficienter for de enkelte brændsler og anvendelser vist i appendiks A.3 tabel A2. Som det ses, er svovlindhold og emissionskoefficienter primært høje for fast brændsel og tunge olieprodukter, og reduktioner i svovlindholdet har siden midten af 1980'erne været koncentreret om disse brændsler. Desuden bemærkes, at svovlindholdet i kul anvendt på kraftværkerne ikke er kendt. Til gengæld haves målinger af kraftværkernes SO<sub>2</sub>-emissioner og disse reguleres ved en årlig kvote. I fremskrivninger

forudsættes kraftværkerne at opfylde kvoten. Kraftværkernes energiforbrug, SO<sub>2</sub>-emissioner og SO<sub>2</sub>-kvote er vist i tabel 3.6.

Emissionskoefficienterne for de 6 aggregerede energityper, der anvendes i modellen, beregnes analogt til koefficienterne for CO<sub>2</sub> som

$$bs_{g,j}^t = \frac{\sum_{i \in g} E_{i,j}^t \cdot S_{i,j}^t}{\sum_{i \in g} E_{i,j}^t} \quad (3.7)$$

<i>g</i>	Refererer til den aggregerede energitype, der bestemmes i modellen
<i>i</i>	Refererer til energityperne i energibalancerne
<i>j</i>	Refererer til ADAM's erhverv samt husholdningernes forbrug
$bs_{g,j}^t$	Aggregeret SO <sub>2</sub> -emissionskoefficient vist for 1991 i tabel 3.7
$S_{i,j}^t$	Detaljeret SO <sub>2</sub> -emissionskoefficient vist i tabel A2.
$E_{i,j}^t$	Energiforbrug i TJ.

Emissionskoefficienterne er vist i tabel 3.7. For el og fjernvarme er koefficienten nul. Som det ses, er emissionskoefficienterne for faste og flydende brændsler generelt høje, mens koefficienterne for naturgas og transportenergi generelt er små. En væsentlig undtagelse er forbruget af transportenergi anvendt på skibe, hvor det tilladte svovlindhold er relativt højt. Ses på de enkelte erhverv, er emissionskoefficienterne generelt højere for industrien end for husholdninger og serviceerhverv. Ses på den historiske udvikling, er de totale SO<sub>2</sub>-emissioner reduceret med ca 45% i perioden 1966-91, og den gennemsnitlige emissionskoefficient er mere end halveret.

**Tabel 3.6. Energiforbrug og SO<sub>2</sub>-emissioner på kraftværker**

År	Energiforbrug på kraftværker PJ	Faktiske SO <sub>2</sub> -emissioner <sup>1</sup> 1000 ton SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> -kvote 1000 ton SO <sub>2</sub>
1980	274.27	215.91	212.00
1985	288.22	167.00	200.00
1986	297.11	167.00	195.00
1987	287.26	150.00	200.00
1988	274.09	157.00	205.00
1989	225.75	127.00	205.00
1990	246.71	119.00	195.00
1991	339.34	178.00	175.00
1992	286.01	130.00	163.00
1993			129.00
1994			123.00
1995			116.00
1996			108.00
1997			90.00
1998			82.00
1999			77.00
2000			73.00

<sup>1</sup> Kilde: Inventory of emissions to the air from Danish sources. J.Fenhann og N.A.Kilde, Research Center Risø, januar 1994, og Elforsyningens tiårsoversigt.

**Tabel 3.7. SO<sub>2</sub>-koefficienter for aggregerede energityper i 1991, kg SO<sub>2</sub>/TJ**

SO <sub>2</sub> -emissionskoefficient for	Variabel	Fast brændsel	Transport-energi	Flydende brændsel	Naturgas
Privat forbrug	<i>bs;c</i>	163.1	6.0	86.7	0.3
Landbrug m.v.	<i>bs;a</i>	599.9	251.5	267.7	0.3
Energiudvinding	<i>bs;e</i>	-	6.0	386.2	0.3
Olieraffinaderier	<i>bs;ng</i>	-	14.0	159.5	0.3
El, gas og fjernvarme	<i>bs;ne</i>	543.4	55.0	435.9	0.3
Næringsmiddelindustri	<i>bs;nf</i>	582.3	72.5	364.4	0.3
Nydelsesmiddelindustri	<i>bs;nn</i>	585.7	80.6	438.6	0.3
Leverandører til byggeri	<i>bs;nb</i>	500.6	55.8	277.0	0.3
Jern- og metalindustri	<i>bs;nm</i>	393.7	42.0	186.0	0.3
Transportmiddelindustri	<i>bs;nt</i>	518.1	40.0	185.6	0.3
Kemisk industri m.v.	<i>bs;nk</i>	509.5	53.2	348.7	0.3
Anden fremstillingsvirksomhed	<i>bs;nq</i>	380.5	49.4	343.1	0.3
Bygge- og anlægsvirksomhed	<i>bs;b</i>	-	72.6	292.0	0.3
Handel	<i>bs;qh</i>	-	62.6	115.2	0.3
Søtransport	<i>bs;qs</i>	-	437.6	1301.6	0.3
Anden transport	<i>bs;qt</i>	-	70.4	357.7	0.3
heraf: jernbaner	<i>bs;t1j*</i>	-	93.6	74.6	0.3
busser	<i>bs;t1b*</i>	-	93.0	122.8	0.3
færger	<i>bs;t1f*</i>	-	467.9	489.1	0.3
turistbusser	<i>bs;t2b*</i>	-	88.8	14.3	0.3
taxi	<i>bs;t2t*</i>	-	72.6	4.7	0.3
vognmænd	<i>bs;t2v*</i>	-	86.1	64.5	0.3
lufttransport	<i>bs;t3</i>	-	4.7	89.0	0.3
post og tele.	<i>bs;t4</i>	-	64.7	111.3	0.3
transportservice	<i>bs;t5</i>	-	51.6	106.3	0.3
Finansiell virksomhed	<i>bs;qf</i>	-	16.5	119.2	0.3
Andre tjenesteydende erhverv	<i>bs;qq</i>	-	60.6	116.3	0.3
Boligbenyttelse	<i>bs;h</i>	-	-	119.3	0.3
Offentlige tjenester	<i>bs;o</i>	-	81.9	117.6	0.3

\* Tal for 1990, disaggregerede energidata for 1991 eksisterer ikke.

For SO<sub>2</sub> inkluderes emissionerne fra bio-brændsler i de totale emissioner. Det eksogent fastsatte forbrug af bio-brændsler og emissionskoefficienterne for disse er vist i tabel 3.8. Ved ændringer i forbruget af bio-brændsler korrigeres SO<sub>2</sub>-emissionerne for, at bio-brændslerne erstatter andre brændsler med andre emissionskoefficienter.

**Tabel 3.8. Forbruget af eksogene bio-brændsler, SO<sub>2</sub>-emissionskoefficienter samt emissionskoefficienter for de brændsler der substitueres**

Brænde	Forbrug i 1992 $E_k^{92}$	Emissionskoefficient	Emissionskoefficient for brændsel der substitueres
Træaffald	5.08	130.0	316.0
Halm	8.48	130.0	94.0
Biogas	1.54	0.0	316.0

De ikke-energi-relaterede emissioner er små og kommer fra produktionen af gule mursten og svovlsyre. Emissionerne fra produktionen af gule mursten relateres til produktionen i erhvervet "leverandører til byggeri" og emissionerne fra svovlsyreproduktionen relateres til produktionen i den kemiske industri. Ved produktionen af cement bindes en del af brændslernes svovlindhold i cementen. I modellen er det valgt at betragte dette som en ikke-energi-relateret negativ emission relateret til forbruget af fast og flydende brændsel i erhvervet "leverandører til byggeri". Emissioner, emissionsreduktioner og emissionskoefficienter er vist i tabel 3.9.<sup>64</sup>

**Tabel 3.9. Ikke-energi-relaterede emissioner og emissionskoefficienter**

Kilde	SO <sub>2</sub> -emissioner ton SO <sub>2</sub>	Aktivitets- variabel	Emissionskoefficient
Produktion af gule mursten	166	$fX_{nb}$	0.0114
Svovlsyreproduktion	76	$fX_{nk}$	0.0028
Cementproduktion:			
-forbrug af fast brændsel	-4543		-0.485
-forbrug af flydende brændsel	- 759		-0.372

### 3.2.3. NO<sub>x</sub>-emissioner

Under forbrænding af brændsler dannes der NO<sub>x</sub> primært ud fra luftens indhold af kvælstof. Jo højere temperatur og jo mere luft der tilføres, jo mere NO<sub>x</sub> dannes og emitteres der med røggasserne. NO<sub>x</sub>-emissionskoefficienter kan således ikke beregnes ud fra karakteristika ved de enkelte brændsler, men varierer afhængigt af, hvad brændslet anvendes til. Da vi ikke kender den præcise anvendelse af brændslerne, anvendes i modellen vurderede emissionskoefficienter for typiske anvendelser af de enkelte brændsler. Emissionskoefficienter for de enkelte brændsler og anvendelser er vist i appendiks A.3 tabel A3 og svarer til de koefficienter, der anvendes i CORINAIR. Som det ses af tabel A3, er der foruden erhvervsspecifikke emissionskoefficienter anvendelsesspecifikke koefficienter for brændslerne benzin, autogasolie og LPG.

For benzin regnes i modellen med et vægtet gennemsnit af koefficienterne for biler med og uden katalysatorer, og i fremskrivninger bør der tages højde for, at alle nye benziner skal have katalysatorer. Dette gøres i modellen ved eksogent at ændre andelen af biler med katalysator. Under den foresimplede antagelse, at gamle biler uden katalysator udskiftes med nye biler med katalysator, kan denne andel (så længe den er mindre end 1) fremskrives som

$$\text{Andel med katalysator}_t = \frac{\sum_{h=91}^t \text{køb af nye biler i } \ddot{U}r h}{\text{bilbestand i } \ddot{U}r t} + 0.02 \quad (3.8)$$

hvor de 0.02 er andelen af biler med katalysatorer i 1990.

For autogasolie haves en fordeling af forbruget i de enkelte nationalregnskabserhverv på de 7 anvendelseskategorier, der er vist i tabel A3, og der regnes i modellen med en vægtet gennemsnitlig emissionskoefficient for hvert erhverv. Da der, som det fremgår af indledningen til dette kapitel, er vedtaget ændrede normer for nye dieslbiler,

<sup>64</sup> For en nærmere gennemgang af beregningen af de ikke-energi-relaterede emissioner henvises til Andersen, F.M. og Trier, P. (1995) p. 174-176.



fremskrives emissionskoefficienterne i tabel A3 med udskiftningen, men forbrugets fordeling på de 7 anvendelser forudsættes uændret. Ved fremskrivning af emissionskoefficienterne i tabel A3 er det forudsat, at 1/5 af bilerne udskiftes pr. år.

For LPG haves ligeledes en fordeling af forbruget i de enkelte nationalregnskabserhverv på transport og proces, og der regnes i modellen med en vægtet gennemsnitlig emissionskoefficient for det enkelte erhverv. I fremskrivninger forudsættes denne koefficient uændret.<sup>65</sup>

Af tabel A3 bemærkes endelig, at NO<sub>x</sub>-emissionskoefficienterne primært er høje for energiforbruget til transport, samt at der (som for SO<sub>2</sub>-emissionerne) ikke haves en emissionskoefficient for kul anvendt på kraftværker. Kraftværkernes totale NO<sub>x</sub>-emissioner måles og reguleres ved en kvote, og er vist i tabel 3.10. Emissionskoefficienterne for de aggregerede energityper, der anvendes i modellen, er vist i tabel 3.11, og beregnes analogt til koefficienterne for SO<sub>2</sub> som

$$bn_{g,j}^t = \frac{\sum_{i \in g} E_{i,j}^t \cdot N_{i,j}^t}{\sum_{i \in g} E_{i,j}^t} \quad (3.9)$$

- g* Refererer til den aggregerede energitype, der bestemmes i modellen  
*i* Refererer til energityperne i energibalancerne  
*j* Refererer til ADAM's erhverv samt husholdningernes forbrug  
*bn<sub>g,j</sub><sup>t</sup>* Aggregeret NO<sub>x</sub>-emissionskoefficient vist for 1991 i tabel 3.11  
*N<sub>i,j</sub><sup>t</sup>* Detaljeret NO<sub>x</sub>-emissionskoefficient vist i tabel A3  
*E<sub>i,j</sub><sup>t</sup>* Energiforbrug i TJ.

**Tabel 3.10. Energiforbrug og NO<sub>x</sub>-emissioner på kraftværker**

År	Energiforbrug på kraftværker PJ	Faktiske NO <sub>x</sub> -emissioner <sup>1</sup> 1000 ton NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> -kvote 1000 ton NO <sub>x</sub>
1980	274.27	101.99	115.00
1985	288.22	119.00	135.00
1986	297.11	122.00	140.00
1987	287.26	118.00	145.00
1988	274.09	110.00	140.00
1989	225.75	89.00	135.00
1990	246.71	83.00	130.00
1991	339.34	124.00	125.00
1992	286.01	82.00	106.00
1993			92.00
1994			89.00
1995			85.00
1996			84.00
1997			77.00
1998			71.00
1999			61.00
2000			61.00

<sup>1</sup> Kilde: Inventory of emissions to the air from Danish sources. J.Fenhann og N.A.Kilde, Research Center Risø, januar 1994, og Elforsyningsens tiårsoversigt.

<sup>65</sup> For en nærmere gennemgang af hvordan de nævnte energiforbrug fordeles på anvendelser samt hvordan emissionskoefficienterne beregnes henvises til Andersen, F.M. og Trier, P. (1995) p. 182-185.

**Tabel 3.11. NO<sub>x</sub>-koefficienter for aggregerede energityper i 1991, kg NO<sub>x</sub>/TJ**

NO <sub>x</sub> -emissionskoefficient for	Variabel	Fast brændsel	Transport- brændsel	Flydende brændsel	Naturgas
Privat forbrug	<i>bn<sub>j</sub>c</i>	48.1	795.8	52.3	50.0
Landbrug m.v.	<i>bn<sub>j</sub>a</i>	197.4	1232.2	161.6	100.0
Energiudvinding	<i>bn<sub>j</sub>e</i>	-	760.6	136.5	100.0
Olieraffinaderier	<i>bn<sub>j</sub>ng</i>	-	726.2	48.6	100.0
El, gas og fjernvarme	<i>bn<sub>j</sub>ne</i>	383.4	829.7	221.1	159.0
Næringsmiddelindustri	<i>bn<sub>j</sub>nf</i>	199.6	907.4	134.9	100.0
Nydelsesmiddelindustri	<i>bn<sub>j</sub>nn</i>	200.0	974.1	143.8	100.0
Leverandører til byggeri	<i>bn<sub>j</sub>nb</i>	165.2	858.2	123.3	100.0
Jern- og metalindustri	<i>bn<sub>j</sub>nm</i>	146.6	802.0	114.1	100.0
Transportmiddelindustri	<i>bn<sub>j</sub>nt</i>	178.1	833.2	112.4	100.0
Kemisk industri m.v.	<i>bn<sub>j</sub>nk</i>	174.0	838.0	126.7	100.0
Anden fremstillingsvirksomhed	<i>bn<sub>j</sub>nq</i>	130.0	828.1	132.5	100.0
Bygge- og anlægsvirksomhed	<i>bn<sub>j</sub>b</i>	-	986.0	124.7	50.0
Handel	<i>bn<sub>j</sub>qh</i>	-	900.7	69.4	50.0
Søtransport	<i>bn<sub>j</sub>qs</i>	-	1362.1	1319.0	50.0
Anden transport	<i>bn<sub>j</sub>qt</i>	-	723.4	151.8	50.0
heraf: jernbaner	<i>bn<sub>j</sub>t1<sup>*</sup></i>	-	1033.0	76.4	50.0
busser	<i>bn<sub>j</sub>t1b<sup>*</sup></i>	-	1054.0	102.4	50.0
færger	<i>bn<sub>j</sub>t1f<sup>*</sup></i>	-	1382.0	156.2	50.0
turistbusser	<i>bn<sub>j</sub>t2b<sup>*</sup></i>	-	1041.2	805.7	50.0
taxi	<i>bn<sub>j</sub>t2i<sup>*</sup></i>	-	396.1	867.6	50.0
vognmænd	<i>bn<sub>j</sub>t2v<sup>*</sup></i>	-	1008.9	480.1	50.0
lufttransport	<i>bn<sub>j</sub>t3</i>	-	209.9	68.9	50.0
post og tele.	<i>bn<sub>j</sub>t4</i>	-	852.2	67.4	50.0
transportservice	<i>bn<sub>j</sub>t5</i>	-	824.7	66.3	50.0
Finansiell virksomhed	<i>bn<sub>j</sub>qf</i>	-	715.8	56.4	50.0
Andre tjenesteydende erhverv	<i>bn<sub>j</sub>qq</i>	-	906.3	65.1	50.0
Boligbenyttelse	<i>bn<sub>j</sub>h</i>	-	-	56.4	50.0
Offentlige tjenester	<i>bn<sub>j</sub>o</i>	-	514.5	56.9	50.0

\* Tal for 1990, disaggregerede energidata for 1991 eksisterer ikke.

For  $\text{NO}_x$  inkluderes emissionerne fra bio-brændsler i de totale emissioner. Forbruget af eksogene bio-brændsler, emissionskoefficienter for disse samt emissionskoefficienter for de brændsler, der forventes substitueret, er vist i tabel 3.12. Træaffald og biogas anvendes overvejende af industrien og forventes at substituere fuelolie. Halm anvendes primært til opvarmning i landbruget og forventes at substituere fyringsgasolie.

**Tabel 3.12. Forbruget af eksogene bio-brændsler,  $\text{NO}_x$ -emissionskoefficienter samt emissionskoefficienter for de brændsler der substitueres**

Brænde	Forbrug i 1992 $E_k^{92}$	Emissionskoefficient	Emissionskoefficient for brændsel der substitueres
Træaffald	5.08	50.0	150.0
Halm	8.48	50.0	100.0
Biogas	1.54	150.0	150.0

De ikke-energirelaterede emissioner kommer fra produktionen af salpetersyre, hvor der afbrændes ammoniak, og herved emitteres der  $\text{NO}_x$ . Disse emissioner relateres til produktionen i den kemiske industri og er vist i tabel 3.13. Desuden er det valgt at betragte anvendelsen af lav- $\text{NO}_x$  forbrændingsteknik som en negativ ikke-energirelateret emission.<sup>66</sup> Lav- $\text{NO}_x$  forbrændingsteknik anvendes ved produktionen af cement og isoleringsmaterialer, der er en del af produktionen i erhvervet "leverandører til byggeri", og emissionsreduktionerne er relateret til emissionerne fra de brændsler, der afbrændes ved anvendelse af lav- $\text{NO}_x$  teknikken. Emissionsreduktioner og koefficienter er vist i tabel 3.13.<sup>67</sup>

**Tabel 3.13. Ikke-energirelaterede emissioner og emissionskoefficienter**

Kilde	$\text{NO}_x$ -emissioner ton $\text{NO}_x$	Aktivitets- variabel	Emissionskoefficient
Produktion af salpetersyre	548	$fX_{nk}$	0.0200
Produktion af cement og isoleringmaterialer:			
-forbrug af fast brændsel	-512		0.167

### 3.3. Sammenligning med Energistyrelsens emissionsberegninger

Som udgangspunkt anvender Energistyrelsen samme metode og emissionskoefficienter, som der anvendes i satellitmodellen. Både satellitmodellen og Energistyrelsen tager udgangspunkt i de emissionskoefficienter, der anvendes i CORINAIR opgørelserne, og  $\text{SO}_2$ - og  $\text{NO}_x$ - emissionerne fra kraftværkerne sættes eksogent lig kvoterne for disse.

Da der imidlertid anvendes forskellige opgørelser og aggregeringer af energiforbruget, er der mindre forskelle i de anvendte emissionskoefficienter for  $\text{SO}_2$  og  $\text{NO}_x$ .

<sup>66</sup> Alternativt kunne man have anvendt en lavere energirelateret  $\text{NO}_x$ -emissionskoefficient for de brændsler, der forbrændes ved anvendelse af lav- $\text{NO}_x$  forbrændingsteknik.

<sup>67</sup> For en nærmere gennemgang af beregningen af de ikke-energirelaterede emissioner henvises til Andersen, F.M. og Trier, P. (1995) p. 191-192.

Emissionskoefficienterne for CO<sub>2</sub> er uproblematisk, da de er konstante og ikke afhænger af brændslernes anvendelse, og er ens i de to modeller.

For SO<sub>2</sub> er der den generelle forskel, at satellitmodellen anvender specielle koefficienter for energiforbrug anvendt på skibe, mens Energistyrelsen anvender den samme emissionskoefficient for et brændsel uanset, hvor det anvendes (bortset fra kraftværkerne der emitterer ifølge kvoten). For de enkelte emissionskoefficienter er forskellene vist i tabel 3.14.

**Tabel 3.14. SO<sub>2</sub>-emissionskoefficienter i satellitmodellen og Energistyrelsen**

Energitype	År	Satellitmodel	Energistyrelsen
Kul	1995-2010	584	454
Træ og halm	1995-2010	130	25

For kul anvender Energistyrelsen en svovlprocent på 0,7, hvor der i satellitmodellen regnes med den tilladte svovlprocent på 0,9. For træ og halm regner Energistyrelsen med, at en del af svovlindholdet recirkulerer. I satellitmodellen regnes med, at hele svovlindholdet bidrager til de totale SO<sub>2</sub>-emissioner.

For NO<sub>x</sub> er der som for SO<sub>2</sub> den generelle forskel, at satellitmodellen regner med specifikke emissionskoefficienter for skibe, mens Energistyrelsen implicit regner disse som store lastbiler. Ellers regner Energistyrelsen med de samme emissionskoefficienter som givet i tabel A3. Fremskrivningsmæssigt kan forskelle imellem de to modeller imidlertid forekomme som følge af forskelle i vægtningen af og udskiftnings-hastigheden for de enkelte transportmidler.

## 4. Multiplikatoranalyser

I de foregående kapitler er de enkelte dele af modellen blevet gennemgået isoleret. I dette kapitel beskrives de samlede egenskaber i modellen gennem multiplikatoreksperimenter.<sup>68</sup> Derved får læseren et overblik over de samlede egenskaber i husholdnings-, erhvervs-, transport- og forsyningsmodellen. Vægten i kapitlet ligger på de væsentligste effekter, som modellen skal fange, nemlig hvordan energiefterspørgslen og dens fordeling afhænger af den samlede økonomiske aktivitet og priserne på energiarter. Dette er vist gennem følgende eksperimenter:

- Stød til erhvervenes produktion, værditilvækst og til husholdningernes private forbrug, bilbeholdning og boligbestand ("aktivitetsvariabler") med 1%.
- Stød til prisen på transportenergi og flydende brændsel med 1%. Eksperimentet er tænkt som en analyse af effekten af en stigning i verdensmarkedsprisen på råolie, som slår igennem på prisen på alle olieprodukter.
- Stød til kulprisen med 1%.

### Elprisen – en teknisk bemærkning

De enkelte satellitmodeller hænger indbyrdes sammen bl.a. gennem dannelsen af elprisen i forsyningsmodellen. En lidt teknisk bemærkning er i denne henseende nødvendig: Som beskrevet i kapitel 2.5 afhænger elprisen især af brændselsudgifterne og udgifterne til henlæggelser til finansiering af bygning af kraftvarmeværker. I kapitel 2.5 blev beskrevet, hvordan elprisen stiger meget kraftigt lige omkring de år, hvor bygningen af nye værker foregår, og det blev også bemærket, at skønt dette til dels er realistisk, så er mekanismen nok lovlig kraftig i modellen. Derfor er denne effekt dæmpet i multiplikatoreksperimenterne. Elprisen afhænger stadig af henlæggelserne, men disse er nu – ligesom elværkskapaciteten – antaget proportionale med elproduktionen. Modifikationen er selvfølgelig ad-hoc, men kan tolkes som om, at udgifterne til finansiering af nye elværker spredes ud over en længere årrække end beskrevet i kapitel 2.5.

### 4.1. Stigning i økonomisk aktivitet

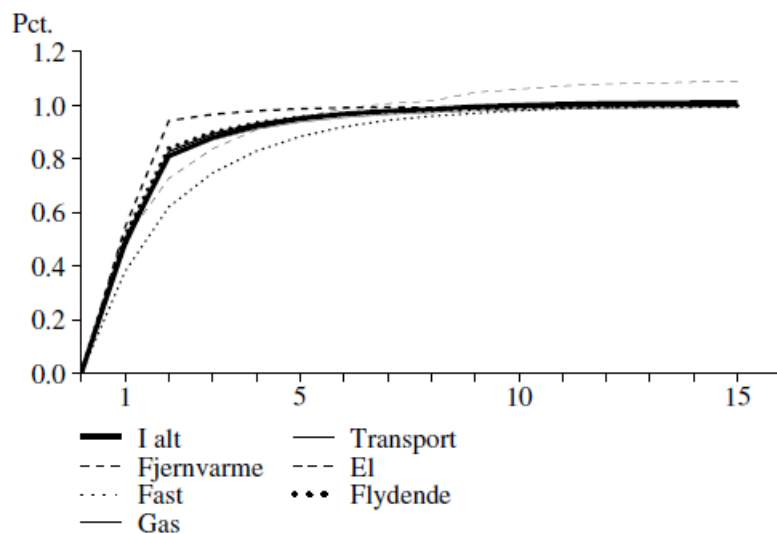
Eksperimentet er lavet ved fra et givet tidspunkt hæve, hvad i mangel af bedre kan kaldes aktivitetsvariabler, nemlig produktionsværdi og værditilvækst i samtlige ADAM-erhverv med 1%, hvilket øger erhvervenes behov for input af bl.a. energi. Ligeledes er husholdningernes private forbrug, bilbestanden og boligmassen øget med 1%.<sup>69</sup>

Figur 4.1 viser, at den samlede anvendelse af de seks energiarter og energianvendelsen i alt gradvist vokser til omtrent 1% på langt sigt.

<sup>68</sup> Multiplikatoreksperimenter laves ved at lave to forløb eller fremskrivninger med modellen, og derefter se på forskellen mellem disse. I *grundforløbet* er modellen simuleret (løst) for et sæt antagelser om udviklingen i de eksogene variabler – dvs. de variabler, der ikke er bestemt i modellen, f.eks. skatter eller verdensmarkedspriser. I *alternativforløbet* ændres forudsætningen om udviklingen i nogle af disse variabler, og modellen simuleres på ny.

<sup>69</sup> Med notationen i modelsystemet drejer det sig om ADAM-variablerne  $Kh$ ,  $Kcb(+1)$ ,  $Cp4$ ,  $fCk$ ,  $fCs$ ,  $fE$ ,  $Et$ ,  $fX<j>$  hvor  $j=a,b,e,h,nb,ne,nf,ng,nk,nm,nn,nq,nt,o,qf,qh,qs,qt$  og  $fY<i>$  hvor  $i=a,b,nb,nf,nk,nm,nn,nq,nt,o,qf,qh,qt$ . Eksperimentet er, som de følgende, lavet ved at hæve de eksogene fra og med 1997.

**Figur 4.1. Effekten af 1 % stigning i aktivitetsvariabler, hele økonomien**



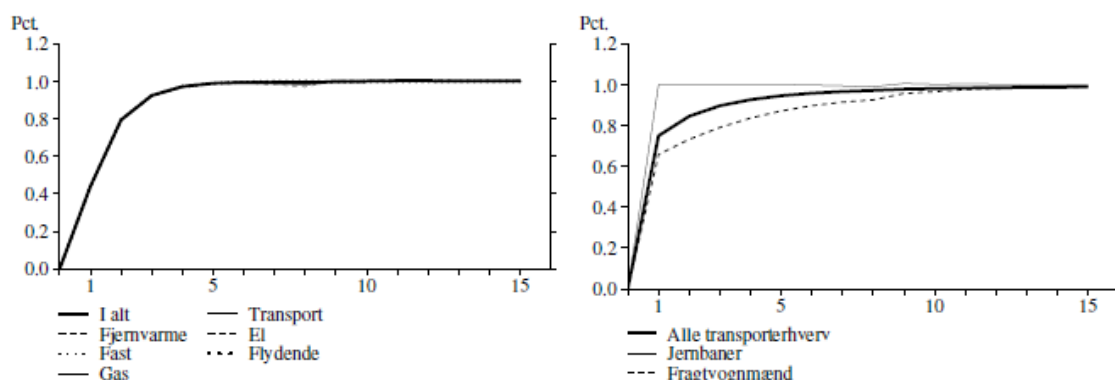
Anm. Figuren viser ændringen i det direkte energiforbrug i Joule

Selv om tilpasningen er gradvis, er energianvendelsen dog allerede efter to år steget 0.8 %. En fortolkning af den gradvise tilpasning af energianvendelsen i erhvervene er, at energianvendelsen er snævert knyttet til maskinkapitalen. Ved stigning i produktionen kan maskinkapitalen ikke øges hurtigt, så på kort sigt varetages produktionen i høj grad ved hjælp af andre produktionsfaktorer, f.eks. arbejdskraft og materialer. At tilpasningen ikke sker lige hurtigt for alle energiarter, skyldes især, at figuren viser de sammensatte effekter for alle erhverv og husholdninger. For et enkelt erhverv er billedet enklere at fortolke. Figur 4.2 viser effekten for de seks energiarter i jern- og metalindustrien og den samlede energianvendelse i udvalgte transporterhverv.

**Figur 4.2. Effekten af 1 % stigning i aktivitetsvariabler**

a. Energiarter i jern- og metalindustri

b. Energi i alt i udvalgte transporterhverv



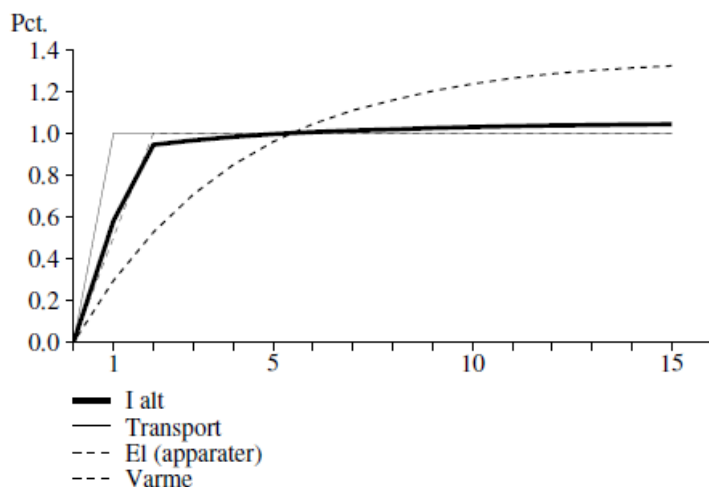
16 15

Anm. Figurene viser ændringen i det direkte energiforbrug i Joule

Figur a viser, at inden for det enkelte erhverv stiger alle energiarter lige hurtigt og på langt sigt med 1 %. Tilpasningshastighederne er imidlertid forskellig for forskellige erhverv, hvilket eksemplificeres i transporterhvervene i figur b. Når energiarterne i figur 4.1 tilpasser sig med forskellig hastighed, skyldes det således især, at der er summeret over forskellige erhverv og husholdningerne.

Af figur 4.1 ses også, at energianvendelsen ikke stiger eksakt 1 % på langt sigt. Det skyldes, at husholdningernes elanvendelse stiger med mere end 1 %.

**Figur 4.3. Effekten af en stigning i aktivitetsvariabler, husholdningerne**



Anm. Figuren viser ændringen i det direkte energiforbrug i Joule

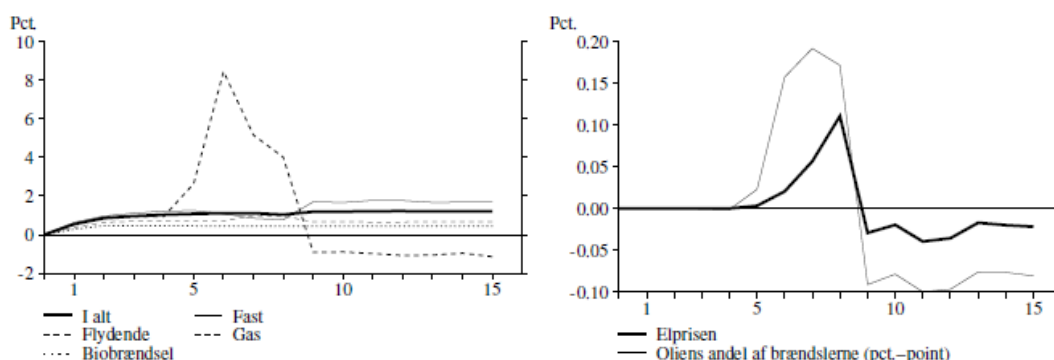
Forbruget af el til husholdningsapparater er en del af det samlede private forbrug. Når det samlede forbrug stiger, øges dette elforbrug forholdsvis mere, fordi indkomstelasticiteten for antallet af elapparaterne og/eller den intensitet, hvormed man bruger dem, er større end 1.

I forsyningserhvervet, der leverer fjernvarme, gas og el til resten af økonomien, er resultatet af eksperimentet vanskeligere at analysere. Som det ses af figur 4.1 stiger den indenlandske efterspørgsel af disse energiarter med omtrent 1% på langt sigt, og denne større produktion skal varetages af forsyningserhvervet ved anvendelse af flere brændsler.

**Figur 4.4. Effekten af en stigning i aktivitetsvariabler, forsyningserhvervet**

a. Brændselsanvendelse (Joule)

b. Elpris



18 17

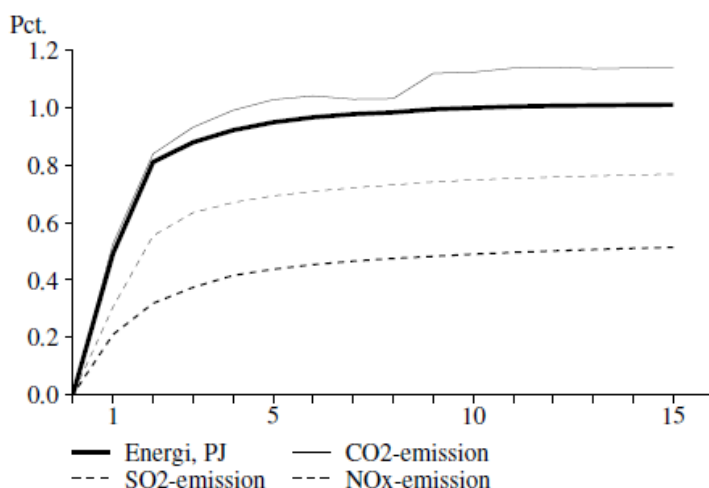
Den samlede anvendelse af brændsler stiger imidlertid en anelse mere end den indenlandske efterspørgsel efter de tre energiarter (jf. figur 4.4.a), fordi den el, der produceres af vindkraft, antages at være bestemt ud fra kapaciteten af vindmøller og er uafhængig af efterspørgslen.

Mest iøjnefaldende er udviklingen i anvendelsen af olie, der stiger meget kraftigt efter 6-8 år, for derefter at falde på langt sigt. I kraftvarmeproduktionen vælges brændsler efter det princip, at der først fyres så meget som muligt med det billigste brændsel. Hvis kapaciteten ikke er stor nok til at dække efterspørgslen med det billigste brændsel, tages det næstbilligste i brug. Og så videre. Kul er antaget at være det billigste brændsel, men netop omkring 6.-8. år er der i modellen mangel på kapacitet på værker, der kan fyre med kul, så der bliver også anvendt olie. Når elproduktionen så stiger, må en stor del af denne stigning varetages af olieværkerne, da kulværkerne jo allerede er "optaget". På længere sigt betyder den større efterspørgsel, at der bygges flere kraftvarmewærker, end der ellers ville være gjort, og det er antaget, at disse værker kan fyre med kul. De nybyggede kulværker erstatter til dels gamle olieværker, og derfor bruges mindre olie på langt sigt.<sup>70</sup>

Elprisen påvirkes af den brændselssammensætning, der er vist i figur 4.4. Når olie er dyrere end kul, vil elprisen stige i de perioder, hvor der må anvendes meget olie. Elprisen stiger derfor efter 6-8 år, men falder på længere sigt, da olie fortrænges pga. de nybyggede kulværker.

Emissionerne af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> ændres ikke som – man måske umiddelbart skulle tro – med omtrent 1%. Det skyldes især "dødvægts-fænomener" fra bl.a. vindkraften og kvotereguleringen i forsyningssektoren.

**Figur 4.5. Effekt på emissioner af 1 % stigning i aktivitetsvariabler**



På langt sigt stiger emissionerne af SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> kun med hhv. 0.5 % og knap 0.8 %. Årsagen er, at emissionerne fra de centrale værker, er underlagt kvoter, og at det ganske enkelt antages, at de centrale værker netop emitterer så meget, som kvoterne tillader. Større el- og varmeproduktion øger altså kravet til f.eks. svovlrensning eller køb af mindre svovlholdige brændsler. Emissionen af CO<sub>2</sub>, der ikke er kvotereguleret, stiger lidt mere end 1 %. Den ekstra produktion produceres udelukkende på de centrale værker, mens produktionen fra vindkraft og decentrale værker er uændret. Da vindkraft jo ikke giver anledning til emissioner, og da de decentrale værker bruger mindre CO<sub>2</sub>-emitterende brændsler end de centrale værker, betyder forskydningen af el- og varmeproduktionen, at CO<sub>2</sub>-emissionerne stiger mere end produktionen. År 6-8 er stigningen i CO<sub>2</sub>-emissionen forholdsvis lille. Det skyldes de forskydninger i brændselssammensætningen på centrale

<sup>70</sup> At de nye værker kan fyre med kul er ikke en modelforudsigelse, men eksogent fastlagt uden for modellen. Kraftværkernes brændselsmuligheder kan i modellen altså tolkes som politiske instrumenter.



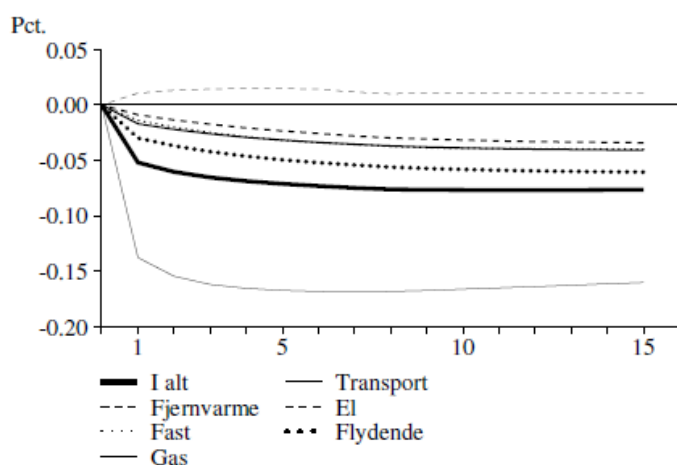
værker fra kul mod olie og gas, der er forklaret ovenfor, og at olie og gas emitterer mindre CO<sub>2</sub> end kul.

## 4.2. Stigning i prisen på olieprodukter

Eksperimentet består i at lade prisen på aggregaterne flydende energi og transportenergi stige med 1%.<sup>71</sup> Det er således råolien og alle de energiarter, der produceres af olie, der stiger i pris, så eksperimentet kan ses som en simpel analyse af stigende verdensmarkedspris på råolie – dog så simpel, at der ikke er taget hensyn til afledte effekter på f.eks. kul- og gaspris.

De væsentligste effekter i modellen består i, at producenterne vil erstatte noget af anvendelsen af olieprodukter med andre energiarter og reducere den aggregerede energiefterspørgsel. Husholdningerne vil spare på benzinen og på energien til opvarmning. For energiforsyningserhvervet vil olieprisstigningen betyde en stigning i prisen på el, men denne prisstigning vil kun være lille, da erhvervet i de fleste år kun bruger lidt olie.

**Figur 4.6. Effekten på anvendelsen af energiarter af en stigning i prisen på olieprodukter på 1 %**



Anm. Figuren viser ændringen i det direkte energiforbrug i Joule

Figur 4.6 viser bl.a., at anvendelsen flydende energi og transportenergi falder, mens anvendelsen af el stiger. For transportenergi og flydende energi skyldes faldet dels substitutionen bort fra olieprodukterne og dels substitutionen bort fra energi generelt. For el trækker substitutionen fra olieprodukter mod el i retning af større anvendelse, men stigningen dæmpes af, at energi generelt bliver dyrere, så den samlede energianvendelse reduceres.

Ligesom elanvendelsen stiger, ville det være rimeligt også at forvente en substitution mod gas, fjernvarme og kul. Når modellen derimod viser et fald i husholdningernes og ikke-energi erhvervenes anvendelse af disse energiarter, skyldes det aggregeringsniveauet i modellen, jf. afsnit 2.2.1 og 2.3.2. For ikke-energi erhverv er de tre arter slået sammen med

<sup>71</sup> I modellsystemets notation drejer det sig om variablene *pqfne*, *pcg*, *pnoli* og *Et*. Det skal nævnes, at bilparken i eksperimentet er eksogen. I den egentlige ADAM afhænger bilparken bl.a. af benzinen, så efterspørgslen efter transportenergi ville falde lidt mere, hvis bilparken havde været endogen i eksperimentet.

olie i aggregatet øvrig energi, og for husholdningerne i energi til opvarmning. Når prisen på olie stiger, påvirker det i modellen disse fire arter lige kraftigt. (Forskellene for de fire arter i figur 4.6 skyldes, at energianvendelsen for forskellige erhverv og for husholdningerne er lagt sammen.) Man kan selvfølgelig sagtens forestille sig, at husholdningerne vil skifte oliefyret ud med et gasfyr som følge af olieprisstigningen, så sammensætningen af husholdningernes energi til varme bliver ændret. Men vurderingen af størrelsesordenen af denne effekt må altså laves som et supplement til modellen.

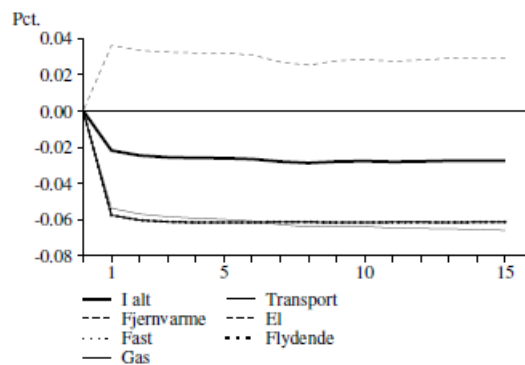
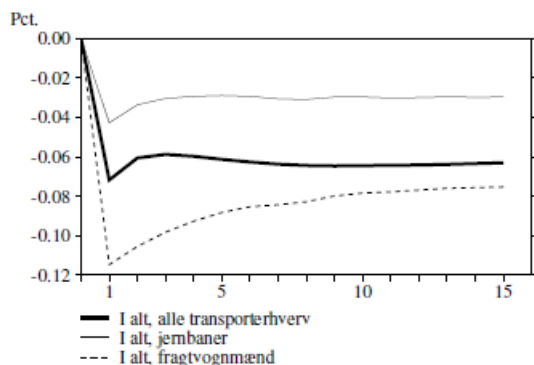
Tilpasningen mod den nye sammensætning af energianvendelsen sker gradvist. Når husholdninger og producenter bruger nogen tid på omlægningen, kan det skyldes, at omlægningen medfører forskellige typer omkostninger, og at disse omkostninger med fordel kan spredes ud over nogle år. Årsagen til den træge tilpasning kan også skyldes, at der er usikkerhed om, hvorvidt prisstigningen er vedvarende.

Resultatet i et par erhverv og husholdningerne kan supplere det ovenstående, jf. figur 4.7. Stigningen i prisen på transportenergi bevirker, at transporterhvervene leverer transportydelser til resten af økonomien med en mindre anvendelse af energi. For jern- og metalindustrien ses, at elanvendelsen stiger, og at energiarterne i aggregatet øvrig energi bevæger sig ens. For husholdningerne ses, at energiforbruget til varme og transport falder. Forbruget af el til elapparater er uændret. Det skal nævnes, at der i aggregatet varmeenergi også indgår den el, der bruges til elradiatorer.

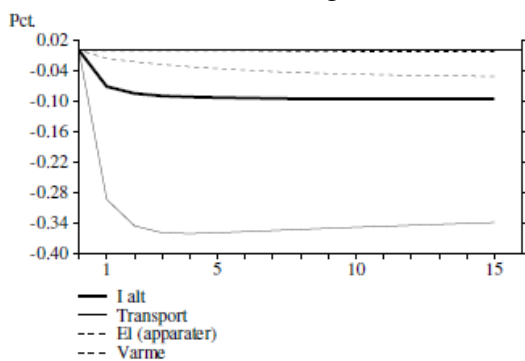
**Figur 4.7. Effekten på anvendelsen af energiarter af en stigning i prisen på olieprodukter på 1 %**

a. Udvalgte transporterhverv, energi i alt

b. *nm*-erhvervet (jern og metal)



c. Husholdningerne



20 19

21

Anm. Figurene viser ændringen i det direkte energiforbrug i Joule

Forsyningserhvervet (ikke vist) påvirkes direkte af olieprisstigningen og indirekte af, at den indenlandske elefterspørgsel stiger, mens fjernvarme- og gasefterspørgslen falder, jf. figur 4.6. Den samlede energianvendelse i de tre delerhverv falder en smule. Som i foregående eksperiment påvirkes brændselssammensætningen i erhvervet, fordi der i nogle år ikke er tilstrækkelig kapacitet på elværker, der kan fyre med kul. Stigningen i elproduktionen må derfor i disse år i høj grad baseres på olie.

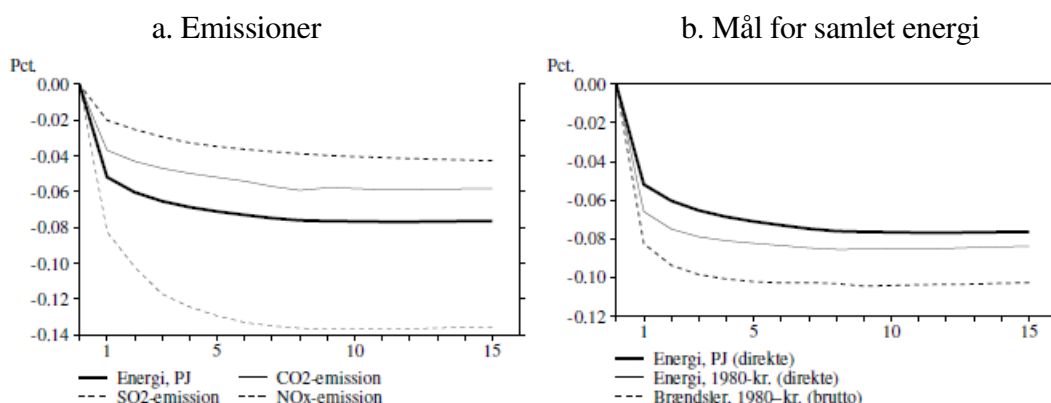
Ved stød til de relative energipriser ændres som vist i figur 4.6 sammensætningen af energi. Da de forskellige energiarter frigiver forskellige mængder af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>, ændres emissionen af disse gasarter i forhold til den samlede energianvendelse.

Det bliver også relevant, hvordan den samlede energianvendelse opgøres, jf. diskussionen i afsnit 2.1.3. I faste priser sondres mellem anvendelsen af de *energiarter*, som husholdningerne og producenterne bruger direkte, heriblandt specielt de konverterede energiarter el og fjernvarme (*direkte energi i faste priser*), og anvendelsen af *brændsler*, som adskiller sig fra det første mål, ved at el og fjernvarme ikke er direkte med, men erstattet af de brændsler, som produktionen er baseret på (*bruttoenergi i faste priser*). Anvendelsen af energiarter i faste priser er større end anvendelsen af brændsler i faste priser, fordi den værditilvækst, som sker i forsyningserhvervet, medregnes i det første begreb. Elektriciteten fylder så at sige mere, når den er målt direkte i efterspørgslen efter energiarter, end når den er målt indirekte (gennem den kul, der går til elproduktionen) i efterspørgslen efter brændsler.

I figur 4.8 er ændringen i den samlede direkte energianvendelse opgjort i Joule sammenholdt dels med ændringen i emissionerne og dels med den samlede anvendelse af energi målt i faste priser.

Der er betydelig forskel på ændringen i emissionen af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub>. Transportenergi emitterer relativt meget NO<sub>x</sub>, og da prisen på transportenergi stiger, og anvendelsen af transportenergi dermed falder kraftigt (jf. figur 4.6), medfører det, at NO<sub>x</sub>-emissionerne falder meget. Det relativt lille fald i emissionerne af CO<sub>2</sub> og SO<sub>2</sub> kan forklares med, at emissionerne fra forsyningserhvervet, der er "ansvarlig" for en stor andel af udledningen af disse gasser, ikke falder. Udledningen af CO<sub>2</sub> fra forsyningserhvervet stiger en lille smule som følge af den svagt stigende elproduktion, og SO<sub>2</sub>-udledningen er bestemt af kvotereguleringen i erhvervet.

**Figur 4.8. Effekt på emissioner og mål for samlet energianvendelse ved stigning i prisen på olieprodukter på 1 %**



23 22

Anm. Figur 4.8.b viser ændringen i den direkte energianvendelse i Joule, den direkte energianvendelse i faste priser (Energi 1980-kr.) og bruttoenergianvendelsen i faste priser (Brændsler 1980-kr.)

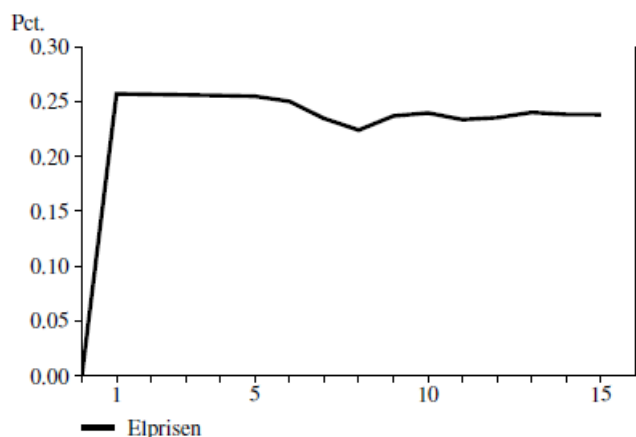
Set fra efterspørgernes synspunkt måles anvendelsen af energiarterne bedre ved at lægge energi- eller brændselsarterne sammen i faste priser end ved at lægge Joule-indholdet sammen. Som det ses af figur 4.8.b er der i hvert fald nogen forskel på udviklingen målt i faste priser og i Joule. Når dette er tilfældet, er det fordi, der er forskel på prisen (i kr. pr. Joule) på de forskellige energiarter, og fordi effekten på de forskellige energiarterne ikke er ens. At anvendelsen af energiarter i faste priser (direkte energi) falder mere end anvendelsen af energi i Joule, er resultatet af to modsatrettede effekter. På den ene side falder efterspørgslen af den relativt dyre transportenergi relativt meget (jf. figur 4.6), og dette trækker i retning af, at energianvendelsen faste priser falder mere end energianvendelsen i Joule. I modsat retning trækker, at efterspørgslen efter den ligeledes relativt dyre el stiger en anelse.

Som det ses falder efterspørgslen efter brændsler målt i faste priser (bruttoenergi) mere end efterspørgslen efter energiarter målt i faste priser (direkte energi). Forklaringen er, at el "fylder mere" i den direkte energi i faste priser end i bruttoenergi i faste priser, fordi 1 Joule el koster langt mere end den kul, den er baseret på. Den lille stigning i efterspørgslen får derfor større betydning i den direkte energi end i bruttoenergimålet. Endelig skal det siges, at også forskydninger i de brændsler, som elektriciteten og fjernvarmen er baseret på, kan spille en rolle.

### 4.3. Stigning i prisen på fast brændsel<sup>72</sup>

Størstedelen af den samlede anvendelse af fast brændsel er kul, der bruges i kraftvarme-produktionen. Den væsentligste effekt af stigningen i kulprisen går derfor gennem større omkostninger for forsyningserhvervet og dermed højere elpris, der mindsker erhvervenes og husholdningernes efterspørgsel. Stigningen i kulprisen er langt fra stort nok til at få elproducenterne til at skifte til olie eller gas.

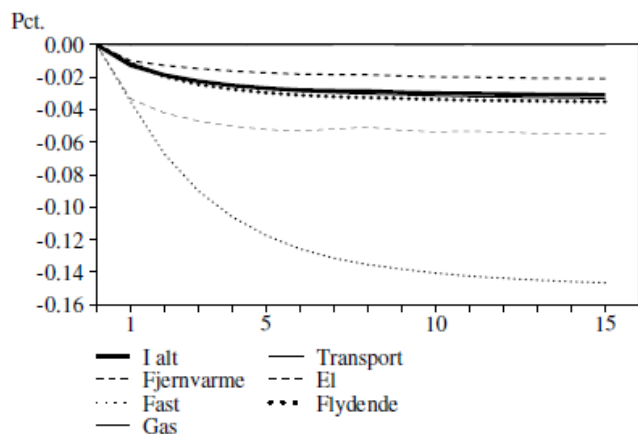
<sup>72</sup> I modelsystemets notation er det *pqsne*, *pnkul*, der er sat op med 1 %.

**Figur 4.9. Effekt på elprisen af en stigning i kulprisen på 1 %**

24

Elprisen stiger med 25-30 % af den ene procent, som kulprisen stiger, og denne andel svarer omtrentligt til den andel som udgifterne til kul udgør af de centrale elværkers samlede udgifter. Efter 8 år er elprisstigningen lidt mindre. I disse år er der som nævnt ovenfor knaphed på elværker, der kan fyre med den stadig forholdsvis billige kul. Olie udgør derfor en lille andel af den samlede brændselsinput, og elprisen stiger følgelig mindre i disse år, da olien jo ikke stiger i pris.

Figur 4.10 viser den samlede effekt på hele økonomien.

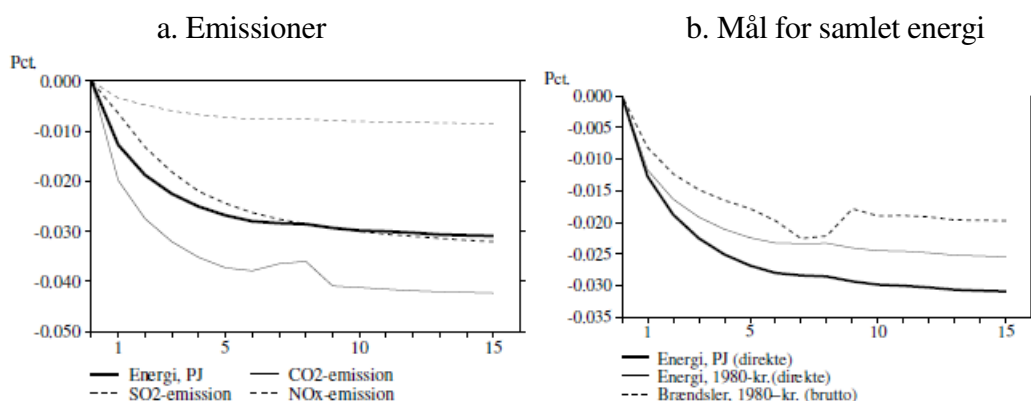
**Figur 4.10. Effekt på anvendelsen af energiarter af en stigning i kulprisen på 1 %, hele økonomien**

25

Anm. Figuren viser ændringen i det direkte energiforbrug i Joule

Den samlede direkte energianvendelse falder kun med omtrent 0.03% på langt sigt. Faldet skyldes især stigningen i elprisen, der dæmper efterspørgslen med godt 0.05% på langt sigt. Kulprisstigningen betyder også en reduktion af ikke-energi erhvervenes anvendelse af kul, men dette påvirker kun den samlede energianvendelse lidt, fordi der bruges forholdsvis lidt kul uden for energiforsynings erhvervene. Da el er steget i pris i forhold til f.eks. olie, sker der en substitution bort fra el mod erhvervenes olieefterspørgsel, hvilket dæmper faldet i energianvendelsen.

**Figur 4.11. Effekt på emissioner og mål for samlet energianvendelse ved stigning i kulprisen på 1 %**



27 26

Anm.Se anmærkningen til figur 4.8.b.

Emissionen af CO<sub>2</sub> falder meget, fordi de brændsler, der indeholder relativt meget heraf, falder relativt meget. Det gælder specielt kulanvendelsen, der i forsyningserhvervet falder som følge af den mindre elefeterspørgsel, og i den øvrige økonomi som følge af lavere kulpris. Faldet i emissionerne af SO<sub>2</sub> og NO<sub>x</sub> dæmpes af, at de centrale værkers emission er uændret pga. kvotereguleringen. Det forholdsvis lille fald i CO<sub>2</sub>-emissionen i år 6-8 skyldes ændret brændselssammensætning på de centrale værker i disse år (jf. første eksperiment).

Den direkte energianvendelse i faste priser (energi, 1980-priser) falder mindre end energianvendelsen målt i Joule. Det er (som i foregående eksperiment) resultatet af to modsatte effekter. På den ene side falder anvendelsen af den relativt dyre el (i kr. pr. Joule) meget, hvilket trækker i retning af, at energien målt i faste priser falder mere end energien målt i Joule. På den anden side er der næsten ingen påvirkning af anvendelsen af transportenergi, der ligeledes er forholdsvis dyr, og dette er altså større betydning. Bruttoenergianvendelsen i faste priser (brændsler, 1980-priser) falder mindre end den direkte energianvendelse i faste priser. Det skyldes, at elektriciteten i den direkte energi vejer mere end brændslerne til elektriciteten gør i bruttoenergien, fordi elektriciteten er dyrere end de brændsler, der går til dens produktion. Når elanvendelsen falder trækker det derfor mere ned i den direkte energi målt i faste priser end i bruttoenergien målt i faste priser.

Brændselefterspørgslen i faste priser ses også at være påvirket af, at der i visse år er knaphed på kraftvarmeværker, der kan fyre med kul, så værkerne i stedet må bruge den dyrere olie.

## 5. Sammenligning med Energistyrelsens modelsystem

### 5.1. Indledning

I det følgende beskrives det modelsystem, som Energistyrelsen har anvendt ved udarbejdelsen af den seneste energihandlingsplan, Energi 21. Resultaterne fra den såkaldte referencefremskrivning i Energi 21 er efterfølgende kort resumeret, og der er foretaget en sammenligning med resultaterne fra ADAM-systemet idet ADAM-kørslen er baseret på de samme hovedforudsætninger som Energi 21-referencen. Endelig er de identificerede forskelle kommenteret.

### 5.2. Energistyrelsens modelsystem

#### 5.2.1. Indledning

I forbindelse med udarbejdelsen af debatoplægget Danmarks Energifremtider og energiplanen Energi 21 er der i Energistyrelsen blevet udviklet et sæt af modeller til beskrivelse af det danske energisystem. Modelsystemet omfatter:

- En *energiforbrugsmodel*, der beskriver udviklingen i husholdningernes og erhvervenes energieferspørgsel afhængigt af den samfundsmæssige udvikling, herunder udviklingen i økonomiske og befolkningsmæssige faktorer. Energiforbrugsmodellen kan bl.a. anvendes til analyser af forskellige udviklinger i behovet for energitjenester, samt til belysning af konsekvenserne ved forskellige teknologianvendelser og lokale forsyningsmuligheder, herunder udbredelsen af mini- og industriel kraftvarme.
- En *model for lokal forsyning*, der med input fra energiforbrugsmodellen samt et teknologikatalog beregner investeringer, drift- og brændselsudgifter i forsyningsanlæg hos brugerne (eksklusive el- og fjernvarme, der beregnes i energiforsyningsmodellen).
- En *energiforsyningsmodel* for el- og fjernvarmeforsyningen, der for given el- og varmeefterspørgsel beregner det samlede brændselsforbrug, emissioner og investeringer i anlæg.
- En *transportmodel*, der primært er baseret på Trafikministeriets Referencemodel.
- En *energibalancemodel*, der sammenfatter resultaterne fra energiforbrugs-, transport- og energiforsyningsmodellerne, samt opstiller samlede energibalancer for det danske energisystem.
- En *emissionsmodel*, der ud fra bruttoenergiforbruget opdelt på hovedkategorier, teknologier og år, beregner emissioner af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O og NMVOC i energisystemet. Emissionsmodellen modtager input fra energibalancemodellen, samt, for el- og fjernvarmesektorens vedkommende, fra energiforsyningsmodellen.

Herudover er der udarbejdet beregninger, der angiver eventuelle merinvesteringer i forbindelse med indførelse af energibesparende tiltag, eksempelvis ekstraomkostninger ved indførelse af mere energieffektive apparater.

I det følgende vil Energistyrelsens modelsystem kort blive beskrevet med hovedvægt på de dele af systemet, der er mest relevante ved sammenligning med den udvidede ADAM-model. Således vil Energiforbrugsmodellen blive beskrevet ret grundigt. Modeller, der

anvendes som formodeller til Energistyrelsens system, vil ligeledes kort blive beskrevet – dette gælder i særdeleshed Danske Elværkers Forenings Udredningsafdelings (DEFU) husholdningsmodel, ELMODEL-bolig, og Trafikministeriets model for transportområdet, Referencemodellen.

### 5.2.2. Energiforbrugsmodellen

I energiforbrugsmodellen er efterspørgslen efter energi opsplittet på tre hovedkategorier:

- Husholdninger, herunder en eksplicit opdeling på anvendelse af el til apparater o.l. samt forbruget af anden energi til rumopvarmning.
- Erhvervene, herunder landbrug, industri, handel samt privat service.
- Offentlig service, opsplittet i offentlig forsyningsvirksomhed<sup>73</sup> og offentlig administration.

I det følgende vil først de generelle aspekter af energiforbrugsmodellen blive beskrevet, hvorefter den specifikke behandling af henholdsvis husholdningernes og erhvervenes energiforbrug vil blive behandlet.

#### Energiforbrugsmodellens generelle karakteristika

Energiforbrugsmodellen opererer med en meget detaljeret opdeling på erhverv, energityper, slutanvendelser, forsyningsområde, teknologier og år. Alt i alt indgår der således seks dimensioner i modellen. I det følgende vil de enkelte dimensioner kort blive beskrevet:

*Erhverv.* Energiforbrugsmodellen er opsplittet på følgende 10 erhverv samt husholdninger:

- Landbrug, skovbrug, fiskeri og gartneri
- Jern- og metalindustrien
- Kemisk industri
- Nærings- og nydelsesmiddelindustrien
- Leverandør til byggeriet
- Anden industri
- Bygge og anlægsvirksomhed
- Privat handel og service
- Husholdninger
- Offentlig administration, service og uddannelse
- Offentlig forsyning

Med undtagelse af det offentlige er disse erhverv defineret så de så vidt muligt er overensstemmende med erhvervene i ADAM. Hvad angår det offentlige er denne – ud over ovennævnte opsplitning på offentlig forsyningsvirksomhed og offentlig administration m.v. – yderligere opsplittet i en række kategorier, som omfatter administration, sundhedsvæsen, undervisning, kultur og sport, samt andre institutioner inkl. forsvar. Den

---

<sup>73</sup> Denne omfatter vand-, varme-, el- og gasforsyningen. For el- og varmforsyningen er der ikke inkluderet brændselsforbruget til den specifikke produktion af el og varme, men det ikke-produktionsafhængige elforbrug, eksempelvis til administration, er inkluderet. Elforbruget til rensningsanlæg, cirkulation af fjernvarme samt pumpning af naturgas og vand udgør størstedelen af energiforbruget i dette erhverv.



offentlige forsyning er yderligere opdelt på kategorierne vandforsyning, varmforsyning og rensningsanlæg. Endelig er husholdningerne yderligere opsplittet på enfamilieboliger og lejligheder – hvor den eksisterende boligmasse og nybyggeriet behandles separat – samt på fritidshuse.

Med undtagelse af husholdningerne og det offentlige er erhvervenes energiforbrug koblet til udviklingen i bruttofaktoriindkomsten (BFI i faste priser) i de tilsvarende ADAM-brancher. Kategorierne for det offentlige er primært modelleret ved hjælp af fysiske og demografiske variabler. Udviklingen i husholdningerne er knyttet op på modeller, der ligger uden for forbrugsmodellen. Anvendelsen af disse eksterne modeller samt erhvervenes aktivitetsmæssige tilknytning til ADAM er nærmere beskrevet senere i dette kapitel.

*Energityper.* Energiarterne omfatter i alt 13 typer, hvoraf 6 er knyttet til vedvarende energikilder (træ, halm, biogas etc.). Opsplitningen på energityper er som udgangspunkt baseret på 1994-fordelingen. I modelkørslerne ændres denne fordeling primært gennem omlægninger i energiforsyningen, herunder ved omlægninger til kraftvarme. I fremskrivningen af erhvervenes energiforbrug er det kun opsplitningen på el og anden energi, der bliver modelbestemt.

*Slutanvendelser.* For erhvervene opsplittes energiforbruget i modellen på i alt 12 slutanvendelser, heraf 9 knyttet specielt til elektricitet (belysning, elektronik, køling, motorer etc.). For hvert erhverv er denne opdeling som udgangspunkt konstant og lig med 1994-fordelingen. I fremskrivningerne påvirkes fordelingen af forskellige udviklinger i effektivitets- og adfærdsparametre, som bestemmes eksogent til modellen for hvert erhvervs slutanvendelser.

*Forsyningsområder.* Modellen opererer med i alt 3 forsyningsområder, herunder fjernvarmeområde, naturgas og det såkaldte "Område IV", hvor der hverken er fjernvarme eller naturgas. Disse tre områder dækker langt hovedparten, men ikke alt. Denne dimension har primært betydning for substitutions- og omlægningsmuligheder.

*Teknologier.* For alle de indgående teknologier er der i modellen specificeret virkningsgrader, som anvendes ved omregning fra nyttiggjort energi til direkte- eller bruttoenergi.<sup>74</sup> Disse virkningsgrader er ligeledes væsentlige ved vurdering af omlægninger af brændselsforsyningen. Omlægninger fra eksempelvis fuelolie til naturgas kræver, at virkningsgrader o.l. er specificeret såvel før som efter omlægningen.

*Tidsdimension.* Beregningerne foretages for årene 1994, 2005, 2020 og 2030. Der er indbygget en vis dynamik mellem disse år, men generelt må modellen betragtes som værende statisk.

Beregningsgangen i energiforbrugsmodellen kan opsplittes på en række efter hinanden følgende trin:

1. Med udgangspunkt i statusåret (1994) beregnes energiforbruget i de enkelte år på grundlag af udviklingen i aktivitetsparametrene, bl.a. fra ADAM (BFI).

---

<sup>74</sup> I denne rapport anvendes Danmarks Statistiks terminologi på energiområdet. Dette betyder, at Energistyrelsens "endelige energiforbrug" (hvor fjernvarme og elektricitet ikke er konverteret, men øvrige energityper er) her betegnes "det direkte energiforbrug". I Energistyrelsens terminologi anvendes udtrykket "nettoenergi" om, hvad vi her kalder "nyttiggjort energi".

2. Det fremskrevne aktivitetsbestemte energiforbrug modificeres af eksogent bestemte effektivitets- og adfærdsparametre ■ herved fremkommer det fremtidige energiforbrug.
3. Omlægninger, eksempelvis substitution fra gasoliekedler til naturgasbaseret kraftvarme, indlægges eksogent i modellen.
4. Ved hjælp af virkningsgrader for eksempelvis kedler bestemmes det direkte energiforbrug. Fjernvarme og el omregnes ikke i energiforbrugsmodellen ■ konverteringen af disse energityper foregår i energiforsyningsmodellen (se herom senere). De øvrige energityper omregnes med en virkningsgrad.

Det samlede udkomme af beregningerne i forbrugsmodellen er således det direkte energiforbrug opdelt på hovedkategorier (brancher), energityper og slutanvendelser for hvert af årene 1994, 2005, 2020 og 2030. For de konverterede brændsler (el og fjernvarme) går disse resultater videre til forsyningsmodellen, hvor produktionen af kraftvarme og fjernvarme simuleres og bruttoenergiforbruget beregnes.

### Anvendelsen af energi i husholdningerne

Til bestemmelse af en reference for *husholdningernes elforbrug til apparater o.l.* anvendes ELMODEL-bolig, som er udviklet af Danske Elværkers Forenings Udredningsafdeling (DEFU). ELMODEL-bolig er en disaggregeret årgangsbestandsmodel, der beskriver elforbruget til husholdningernes apparater med udgangspunkt i fysiske bestande af og energiforbruget til disse apparater. Følgende karakteristika kan nævnes for modellen:

- Den er opsplittet i et antal specifikke apparater, eksempelvis køleskabe, fryser, vaskemaskiner o.l. De mest energiforbrugende apparater er behandlet eksplicit mens småapparater er slået sammen til en restkategori.
- For hver apparattype bestemmes bestanden af apparatet (antallet), idet apparatet følges fra det bliver solgt ("født") til det bliver skrottet ("dør"). Heraf navnet årgangsbestandsmodel.
- Anvendelsen af apparatet specificeres eksogent, eller er afhængigt af udviklingen i privatforbruget gennem en elasticitet.
- Apparaternes energieffektivitet specificeres eksogent ud fra produktoplysninger for hver enkelt årgang.

Bestanden af apparater bestemmes ved hjælp af forskellige typer indtrængningsfunktioner, der beregner dækningsprocenten (dvs. den procentuelle andel af husstandene, der har det pågældende apparat). Typisk anvendes en såkaldt Gompertz-funktion med en eksogent specificeret mætning (dvs. den maksimale andel af husstandene, der kan forventes at komme til at besidde det pågældende apparat). Der er således ikke nogen sammenhæng mellem den økonomiske vækst i samfundet og udviklingen i bestanden af apparater.

Udviklingen i bestanden af husstande bestemmes via Danmarks Statistiks RIMO-model. RIMO (Regional Iterativ Model) er primært en regional model, der bestemmer en geografisk fordelt udvikling i boligbyggeriet og bestanden af boliger, idet modellen inkluderer nedrivning, renovering og byfornyelse. De væsentligste input til RIMO er demografiske data, samt udviklingen i boligbyggeriet fra ADAM.

I alt indgår der ca. 25 apparater i ELMODEL-bolig. Beregningerne kan opsplittes på en række boligkategorier, eksempelvis enfamilieboliger, lejligheder og fritidshuse, som så igen kan opdeles på geografisk område for øst (Sjælland m.v.) og vest (Jylland og Fyn).

Resultaterne fra ELMODEL-bolig omfatter en samlet fremskrivning for elforbruget i husholdninger (eventuelt geografisk opdelt). Modellen er specielt velegnet til at beregne konsekvenserne af tiltag, der ændrer udviklingen i energieffektiviteten for apparater, eksempelvis gennem en introduktion af normer.

Referencen for udviklingen i *husholdningernes energiforbrug til rumopvarmning* er bestemt udenfor energiforbrugsmodellen. Med udgangspunkt i den detaljerede varmeplanlægning er der i Energistyrelsen udviklet en model til beregning af energiforbruget til rumopvarmning i boligerne. Startpunktet for denne model er antallet af m<sup>2</sup> såvel for den eksisterende boligbestand som for nybyggeriet, som ganges med et enhedsenergiforbrug (energiforbruget pr. m<sup>2</sup>), hvorved det samlede nyttiggjorte energiforbrug fremkommer. Rumopvarmningsmodellen har følgende karakteristika:

- Ligesom BBR er modellen opdelt i en række boligtyper (enfamiliehuse, rækkehuse, lejligheder osv.) som igen er opdelt i alderskategorier.
- Den geografiske dimension er et vigtigt element i modellen. Geografisk kan såvel bestanden som nytilvæksten i boligerne opsplittes på forskellige varmedistrikter, herunder områder med fjernvarme og naturgas.
- Udviklingen i nybyggeriet og den samlede bestand af boliger bestemmes i RIMO (jf. ovenstående).
- Enhedsforbruget af energi er opsplittet på de enkelte boligtyper og alderskategorier. Udviklingen i disse enhedsforbrug er baseret på en detaljeret bygningsmodel udviklet på DTI.

Bygningsmodellen på DTI omfatter i alt 90.000 bygninger, der er opsplittet i et antal kategorier. Ud fra denne gruppering analyseres en række energibesparende tiltag (isolering, lavenergivinduer o.l.), og der opstilles en sammenhæng mellem investering og energibesparelse. Afhængigt af det valgte investeringsomfang bestemmes således enhedsforbruget af energi.

Efter at referencen er bestemt, giver energiforbrugsmodellen mulighed for at beregne udviklingen i det samlede direkte energiforbrug, samt hvordan forbrugsændringer kan være fordelt på forsyningsområder, eksempelvis hvordan fjernvarmeefterspørgslen kan ændres i et bestemt geografisk område. Herved fremkommer et samspil med forsynings-systemet, idet beregningerne giver grundlag for at vurdere, hvor det er nødvendigt at udbygge eksempelvis fjernvarmeforsyningen. Herudover beregnes de nødvendige investeringer for at opnå de ønskede varmebesparelser.

### **Anvendelse af energi i erhvervene.**

Som nævnt er energiforbrugsmodellens behandling af erhvervene tæt knyttet til ADAM, idet de enkelte erhverv så vidt muligt er defineret i overensstemmelse med erhvervene i ADAM, hvorefter de aktivitetsmæssigt er koblet til udviklingen i bruttofaktoriindkomsten (BFI) i de enkelte erhverv. Undtagelsen herfra er det offentlige, hvor de enkelte underkategorier modelmæssigt er baseret på relationer med koblinger bl.a. til den demografiske udvikling. I det følgende gennemgås kort de specifikke karakteristika for, hvorledes erhvervene knyttet til ADAM behandles i modellen.

Som grundlag for aktivitetsfremskrivningerne opsplittes energi i to hovedtyper i energiforbrugsmodellen:

- Anvendelsen af el
- Anvendelse af anden energi, dvs. olie, naturgas, kul, fjernvarme, vedvarende energi o.l.

Som startpunkt er der i forbrugsmodellen fastlagt en udvikling i det totale energiforbrug på erhvervsniveau. Energiindholdet, dvs. forholdet mellem det samlede energiforbrug og BFI, er defineret for året 1994, og derefter fastholdt i fremskrivningsperioden. Dette betyder, at<sup>75</sup>

$$El_i = \frac{TE_i}{BFI_i} = \kappa \quad (5.1)$$

$El$	Energiindholdet
$TE$	Det totale energiforbrug
$i$	Tiden
$\kappa$	En konstant

Udviklingen i erhvervets samlede energiforbrug følger således udviklingen i erhvervets BFI med elasticiteten 1.

Erhvervets elforbrug er estimeret med erhvervets BFI som forklarende variabel:

$$El_i = \alpha + \beta \cdot BFI_i \quad (5.2)$$

$El$	Elforbruget
$\alpha, \beta$	Estimerede parametre

Energiforbruget af andet end el kan således findes som

$$\begin{aligned} Ae_i &= TE_i - El_i \\ &= \kappa \cdot BFI_i - \alpha - \beta \cdot BFI_i \\ &= -\alpha + (\kappa - \beta) \cdot BFI_i \end{aligned} \quad (5.3)$$

$Ae_i$  Forbruget af anden energi end el

I "Anden energi"-relationen bliver konstantledet således det i el-relationen bestemte konstantled med modsat fortegn, mens hældningen bestemmes af totalrelationens hældning minus elrelationens hældning.

---

<sup>75</sup> De i det følgende opstillede ligninger gælder for alle erhvervene, og burde således inkludere et fodtegn,  $j$ , for disse. For overskuelighedens skyld er disse fodtegn udeladt.

**Tabel 5.1. De estimerede parametre i Energistyrelsens energiforbrugsmodel**

Erhverv	ADAM-kategori	Elektricitet			Anden energi		
		konstant	hældning	Elasticitet	konstant	hældning	Elasticitet
Anden fremstilling	<i>NQ,NT</i>	5028055	305	0.47	-5028055	1049	1.48
Bygge og anlæg	<i>B</i>	57047	55	0.95	-57047	214	1.01
Handel og service	<i>QQ,QH,QF</i>	-1460703	123.6	1.11	0	0.5	0.77
Jern og metal	<i>NM</i>	-3765515	444	1.60	3765515	74	0.31
Kemisk industri	<i>NK</i>	-2232124	635	1.45	2232124	257	0.57
Landbrug mv.	<i>A</i>	3008907	144	0.55	-3008907	1021	1.13
Lev. Til byggeriet	<i>NB</i>	2042925	339.9	0.49	-2042925	3715	1.10
Nærings- og nydelse	<i>NN,NF</i>	-3304340	621	1.37	3304340	948	0.85

Anm. Elasticiteterne er beregnet over perioden 1994 til 2005.

Tabel 5.1 viser de estimerede parametre i Energistyrelsens forbrugsmodel. Relationerne er specificeret i totaler, og estimeret på data fra industristatistikken (tællingsår). Fremskrivningerne omfatter således energityperne el og anden energi opdelt på de nævnte erhverv.

Herefter opsplittes anden energi i forbrugsmodellen på energityperne fuelolie, gasolie, naturgas, kul og koks, fjernvarme, træ, halm, biogas og andet. Denne opsplitning foretages med konstante 1994-andele for hele fremskrivningsperioden. På tilsvarende vis opsplittes hver enkelt energitype (inklusive el) på slutanvendelser. Der indgår i alt 12 slutanvendelser i modellen for erhvervene, bl.a. omfattende en ret detaljeret opdeling for el (belysning, elektronik, køling, motorer, procesvarme o.l.), samt for anden energi primært på procesvarme og rumvarme. Opsplitningen på slutanvendelser foretages med udgangspunkt i 1994-andele, som holdes konstant i hele fremskrivningsperioden.

Som nævnt er det i modellen muligt at ændre det fremskrevne energiforbrug gennem fastlæggelse af:

- Ændring af den teknologiske effektivitet i slutanvendelserne (angives ved et teknologiindeks, der er 1 i 1994).
- Ændring i adfærden ved brugen af den pågældende slutanvendelse, f.eks. virkning af forhøjede afgifter, kampagner o.l. (angives ved et adfærdsindeks, der er 1 i 1994).
- Omlægning af energiforsyningen, f.eks. fra gasoliekedler til naturgasbaseret kraftvarme.

De pågældende ændringer håndteres på slutanvendelsesniveauet i modellen.

Herefter kommer relationerne i fremskrivningsperioden således til at se ud som følger:

$$\begin{aligned} El_k &= (\alpha + \beta \cdot BFI_t) \cdot Ti_k \cdot Ai_k \\ Ae_k &= (\alpha + \gamma \cdot BFI_t) \cdot Ti_k \cdot Ai_k \end{aligned} \quad (5.4)$$

$Ti$  Teknologiindekset  
 $Ai$  Adfærdsindekset  
 $k$  Slut anvendelsen.

Det aktivitetsbestemte energiforbrug modificeres således med to akkumulerende indeks, der i hvert tilfælde bestemmes eksogent.

Omlægning af energiforsyningen kan eksempelvis være substitution af oliefyr med naturgasfyrede kedler. Hvad sådanne omlægninger omfatter vurderes i hvert enkelt tilfælde ud fra mere detaljeret information og indlægges eksogent i modellen. Omlægning af energiforsyningen er ikke indikeret i ovenviste relationer.

Det bør bemærkes, at der for energiforbruget (jævnfør ovenstående) opereres med en 6 dimensional matrix, hvor dimensionerne udgøres af tid, erhverv (branche), energitype, slutanvendelse, geografi og teknologi. For såvel energitype som slutanvendelse er udgangspunktet for energiforbruget dog en opsplitning ud fra faste 94-koefficienter, hvorfor de enkelte elementers andele først ændres med udviklingen i teknologi- og adfærdsindeks.

På grundlag af ovennævnte beregnede energiforbrug foretages herefter en omregning til direkte energi<sup>76</sup> for de energityper, der ikke er konverterede, dvs. for alle energityper med undtagelse af el og fjernvarme, der omregnes i forsyningssektoren:

- Energiforbruget af olie, naturgas, fast brændsel og biobrændsler konverteres med kedelvirkningsgraden for de enkelte energityper og slutanvendelser. Ved eksempelvis omlægninger i energiforsyningen bliver der således taget højde for effektivitetsforskelle i brændslernes anvendelse, samtidigt med at der kan indlægges udviklinger i f.eks. kedelvirkningsgraderne.
- Der tages højde for erhvervenes egenproduktion af el og varme (kraftvarme), idet der anvendes såvel en Cm-værdi (forholdet mellem el og varmeproduktionen), en benyttelsestid som en totalvirkningsgrad. Anvendelsen af kraftvarme kan/vil ændre sig med tiden og påvirker således det samlede energiforbrug i erhvervet.

Slutresultaterne for erhvervene følger samme opdeling som nævnt i de generelle karakteristika for forbrugsmodellen. Resultaterne omfatter således det direkte energiforbrug opdelt på erhverv, energityper og slutanvendelser for de fire beregningsår 1994, 2005, 2020 og 2030.

### 5.2.3. Referencemodellen for transport

Energistyrelsens transportberegninger er baseret på Trafikministeriets Referencemodel. Referencemodellen er en dynamisk model, estimeret på årsdata. Modellen er opsplittet i en del for persontransporten og en del for godstransporten. Inden for hver af disse dele vil nogle få af de væsentligste relationer kort blive beskrevet her.<sup>77</sup>

*Persontransporten* bestemmes i tre trin:

- Bilparkens størrelse bestemmes som funktion af BNP i faste priser og realrenten.
- Personbilernes trafikarbejde (antal kørte km) bestemmes som funktion af bilparkens størrelse, BNP i faste priser, prisen på benzin og olie relativt til forbrugerprisindekset og prisen på kollektiv transport ligeledes relativt til forbrugerprisindekset.
- Forbruget af transportbrændsel bestemmes ved multiplikation af transportarbejdet med eksogene energieffektiviteter, der angiver det gennemsnitlige energiforbrug pr. kørt km.

Den estimerede relation for bilparkens størrelse har følgende form:

<sup>76</sup> Dette svarer til Energistyrelsens "endeligt energiforbrug".

<sup>77</sup> Beskrivelsen af Referencemodellen er baseret på (Referencemodellen), Trafikministeriet, 1995.

$$\log(BP) = 1.087 + 0.767 \cdot \log(BP_{-1}) + 0.178 \cdot \log(BNP) - 0.923 \cdot r \quad (5.5)$$

*BP* Bilparkens størrelse  
*BNP* Bruttonationalproduktet i faste priser  
*r* Realrenten.

Når langsigsrelationen løses for logaritmen af *BP* fås følgende:

$$\log(BP) = 4.675 + 0.765 \cdot \log(BNP) + 3.97 \cdot r \quad (5.6)$$

hvorfor elasticiteten til *BNP* er knap 0.8, og en 1%-points ændring i realrenten medfører en reduktion i bilparken på knap 4% på langt sigt. Kortsigsrelationen, som ikke er vist her, inkluderer den relative pris på benzin og olie i forhold til forbrugerprisindekset, men da denne ikke har haft nogen påviselig signifikant effekt i langsigsrelationen vil prisseffekten dø ud på langt sigt. Endelig er de konstaterede førsteårseffekter fra ændringer i bruttonationalproduktet og realrenten betydeligt mindre end på langt sigt.

Langsigsrelationen for trafikarbejdet for personbiler har følgende form:

$$\log(PTfA) = -2.69 + 0.419 \cdot \log(BP_{-1}) + 0.591 \cdot \log(BNP) - 0.411 \cdot \log(Pt) + 0.218 \cdot \log(Pk) \quad (5.7)$$

*PTfA* Personbilernes trafikarbejde  
*BP* Bilparkens størrelse  
*BNP* Bruttonationalproduktet  
*Pt* Prisen på benzin og olie i forhold til forbrugerprisindekset  
*Pk* Prisen på den kollektive transport i forhold til forbrugerprisindekset

Som det fremgår af relationen er elasticiteten til bilparkens størrelse ca. 0.4 – det er forventeligt, at denne er under een, idet det må formodes, at de der kører mest har anskaffet sig bil først. Den samlede indkomstelasticitet (fra såvel *BP* som *BNP*) kan opgøres til 0.91, altså svarende til at udviklingen i trafikarbejdet ikke helt følger indkomstudviklingen. Endelig er priselasticiteten for benzin og olie på -0.4, og krydspriselasticiteten for den kollektive trafik på godt 0.2.

Som nævnt fremkommer det samlede direkte energiforbrug til persontransporten ved multiplikation af bilparkens størrelse, personbilernes trafikarbejde og bilernes energieffektivitet. Sidstnævnte er givet eksogent til modellen. I referencekørslen forbedres energieffektiviteten typisk med 10-15 % indtil år 2010.

*Godstransporten* behandles i Referencemodellen i følgende fem trin:

- Det totale godstransportarbejde (målt som tonkm.) følger udviklingen i bruttofaktoriindkomsten (BFI) i de vareproducerende erhverv plus vareimporten, dvs. at der grundlæggende forudsættes en produktionselasticitet på een.
- Det totale godstransportarbejde fordeles på kategorierne godstog, fragtskibe, varebiler og lastbiler, og for hver af disse fastlægges en belægningsgrad (antal tons pr tur).

- Det samlede antal transportmiddelkm. beregnes som godstransportarbejde divideret med belægningsgrad.
- Transportmiddelkm. fordeles på drivmidler inden for hver enkelt af ovennævnte kategorier.
- Forudsat en eksogen givet udvikling i energieffektiviteten pr. transportmiddel og energitype, beregnes det samlede direkte energiforbrug til godstransporten som transportmiddelkm. gange energieffektivitet.

Relationen for godstransportarbejdet har følgende form:

$$\begin{aligned} \text{Dif}(GTA) &= 1.0 \cdot \text{Dlog}(BFI') && \text{indtil år 2005} && (5.8) \\ \text{Dif}(GTA) &= 0.75 \cdot \text{Dlog}(BFI') && \text{efter år 2005} && \end{aligned}$$

*GTA* Godstransportarbejdet eksklusiv varebiler

*BFI'* Bruttofaktorindkomsten i vareproducerende erhverv plus vareimporten

Koefficienten til *BFI'* kan fortolkes som en elasticitet, hvorfor udviklingen i godstransportarbejdet altså følger udviklingen i bruttofaktorindkomsten indtil år 2005, hvorefter væksten i godstransportarbejdet kun udgør 3/4 af væksten i *BFI'*.

I Energi 21 er jernbanernes udvikling baseret på en prognose fra DSB, busdriften fortsætter uændret på 1994-niveau og indenrigsflugtrafikken fremskrives med en BNP-elasticitet på 1.75. Færgerne fremskrives med samme vækst som personbiltransporten. Endelig er der på en del områder specifikt korrigeret for en række effekter som følge af Storebæltsbroen.

#### 5.2.4. Modellen for lokale forsyningsanlæg

Modellen benytter som input de omlægninger af lokale forsyningsteknologier og de reduktioner i resulterende levering af energiformer an bruger, der er beregnet i forbrugsmodellen, til, ved hjælp af et teknologikatalog over lokale forsyningsteknologier, at beregne de tilhørende omkostninger til investeringer, drift og brændsel. Modellen antager en lineær udvikling i markedsandele og energilevering mellem de i forbrugsmodellen benyttede modelår (1994, 2005, 2020 og 2030) og beregner herudfra nutidsværdier samt gennemsnitlige årlige omkostninger i perioderne 1995-2005, 2005-2020 og 2020-2030. Modellen omfatter ikke omkostninger til el og fjernvarme, bortset fra stikledninger, idet disse beregnes i energiforsyningsmodellen.

#### 5.2.5. Energiforsyningsmodellen

Energistyrelsens beregninger for el- og fjernvarmeforsyningen er foretaget med modellen RAMSES III. RAMSES er en energiplanlægningsmodel, der med udgangspunkt i givne data for el- og varmeefterspørgslen, beregner brændselsforbrug, den nødvendige el- og varmekapacitet, investeringer samt de ved energiproduktionen afledte emissioner.

RAMSES modellen er opbygget for et område med et sammenhængende elsystem koblet med et større antal sammenhængende varmeområder. Modellen foretager simuleringer af det samlede kraftvarmesystem på et meget disaggregeret niveau.

De nødvendige input-data til RAMSES omfatter:



- Elforbruget og udviklingen heri (fra forbrugsmodellen).
- Varmeforbruget opdelt på varmeområder, samt udviklingen i varmeforbruget på disse områder (fra forbrugsmodellen).
- Forudsætninger for eksport/import af el.
- Detaljerede oplysninger om kraftværkerne, herunder effektivitet, type af brændsel, emissionskoefficienter o.l.
- Anden produktion af kraftvarme, specielt minikraftvarme (blokkraftvarme) og industriel kraftvarme, der begge kommer fra energiforbrugsmodellen.

Modellen opererer på værksniveau, dvs. at alle nutidige og fremtidige værker i Danmark er repræsenteret. Metodisk er modellen opbygget over varighedskurver for både el- og varmesiden.

Beregningsgangen forløber i to trin:

1. Varmeproduktionen beregnes opsplittet på de enkelte varmeområder og inden for hvert område sorteres enhederne efter de marginale varmeproduktionsomkostninger. Produktionens fordeling på anlæg bestemmes vha. varmevarighedskurver.
2. Herefter prioriteres enhederne efter de marginale elproduktionsomkostninger, og elproduktionens fordeling bestemmes vha. en elvarighedskurve. I denne elvarighedskurve gives den bundne elproduktion, dvs. den der er tilknyttet varmeproduktionen, samt vindkraften den højeste prioritet.

Som nævnt antages i modellen et sammenhængende elsystem, idet det er antaget, at der etableres en elektrisk forbindelse over Storebælt. På varmesiden opererer modellen med i alt 27 større varmeområder, der beregnes individuelt, samt øvrige fjernvarmeområder, der er slået sammen og behandles i en gruppe.

Tidsmæssigt regner modellen på hvert år frem til 2030. De nødvendige inddata for el- og varmeforbrug findes ved interpolation ud fra forbrugsmodellens beregningsår 1994, 2005, 2020 og 2030. På basis heraf udregner modellen:

- Kraftvarmeproduktionens samlede brændselsforbrug samt dets fordeling på anlæg og energityper.
- Den samlede installerede el- og varmekapacitet.
- De af kraftvarmeproduktionen afledte emissioner i form af SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> samt støv.
- De med produktionen forbundne omkostninger til investeringer, drift og vedligeholdelse samt brændselsomkostninger.
- Evt. problemer i form af eloverløb eller elmangel i visse perioder.

En væsentlig del af modellen omfatter udbygningen med ny kapacitet. På basis af elforbruget (fra elforbrugsmodellen) beregnes den nødvendige installerede kapacitet for at tilfredsstille elbehovet. Hertil lægges 20 % til reservekapacitet og der fratrækkes den forventede skrotning af eksisterende kapacitet (givet fra elværkernes udbygningsplaner). Såfremt den tilbageværende elkapacitet er mindre end den således beregnede nødvendige kapacitet foretager modellen en udbygning med ny kapacitet, hvis størrelse og type på forhånd er specificeret i modellen.

### 5.2.6. Energibalancemodellen

De ovenfor angivne modeller omfatter ikke det samlede danske energiforbrug. Derfor er energibalancemodellen udviklet til at føre et "bogholderi" over den samlede danske energibalance. For perioden 1972-1994 er energibalancerne baseret på Energistyrelsens statistik, mens perioden 1995-2030 er baseret på input fra forbrugs- og forsyningsmodellerne suppleret på en række områder, bl.a. med hensyn til ikke-energimæssigt forbrug (asfalt, smøreolie, kemisk industri o.l.). Herudover omfatter energibalancemodellen også transportområdet.

Energibalancemodellen sammenfatter således:

- Anvendelsen af energi opsplittet på energiarter.
- Anvendelsen af energi opsplittet på hovedkategorier, herunder også konverteringssektorerne for el- og fjernvarme samt udvindingen af olie og gas i Nordsøen.
- Emissionerne af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O og NMVOC fra alle aktiviteter i Danmark, dvs. ud over energi også omfattende emissionerne fra industrielle processer, landbrug, lossepladser o.l.
- Investeringerne og øvrige omkostninger forbundet med energisystemet, idet de samlede omkostninger for forsyningssektoren samt meromkostninger i forbindelse med energibesparelser er indregnet.

Energibalancemodellen regner på hvert enkelt år frem til år 2030.

### 5.2.7. Emissionsmodellen

Emissionsmodellen beregner historiske og fremtidige emissioner af CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O og NMVOC, ud fra input fra energibalancemodellen og energiforsyningsmodellen. Modellen er en udbygning af en model udarbejdet af Risø, der benyttes til beregning af de danske historiske emissioner til brug for diverse internationale indberetninger (ECE-protokollen om grænseoverskridende forurening, EU's CO<sub>2</sub>-overvågningsmekanisme, Klimakonventionen mv).

SO<sub>2</sub>- og NO<sub>x</sub>-emissioner fra el og fjernvarme beregnes i energiforsyningsmodellen, men sammenholdes med kvoter for disse emissioner for elsektoren i emissionsmodellen. Emissioner af øvrige gasser og for de øvrige kategorier foretages i emissionsmodellen ud fra sektor-, teknologi- og årsopdelte energiforbrug, samt tidsafhængige emissionsfaktorer.

## 5.3. Fremskrivning af energiforbruget med Energistyrelsens modelsystem

I det følgende vil forudsætningerne og resultaterne fra Energistyrelsens Referenceplan i Energi 21 blive gennemgået. Referenceplanen er valgt som sammenligningsgrundlag med resultaterne fra ADAM, da denne i sit metodiske udgangspunkt ligger relativt tæt på den i ADAM anvendte metodik.

### 5.3.1. Forudsætninger

De væsentligste inputdata til Energistyrelsens beregninger omfatter makroøkonomiske forudsætninger, udviklingen i energipriserne samt antagelser angående den teknologiske udvikling, herunder udviklingen i virkningsgrader for kraftværker o.l.

I det følgende vil de vigtigste forudsætninger omkring makroøkonomi og energipriser blive kort resumeret for Energistyrelsens Referenceplan. Udviklingen i teknologiske data vil ikke blive behandlet, da dette kræver en detaljeringsgrad som ikke er hensigtsmæssig i denne rapport. Vedrørende de teknologiske antagelser henvises til Energistyrelsens bilags-rapporter til Energi 21.

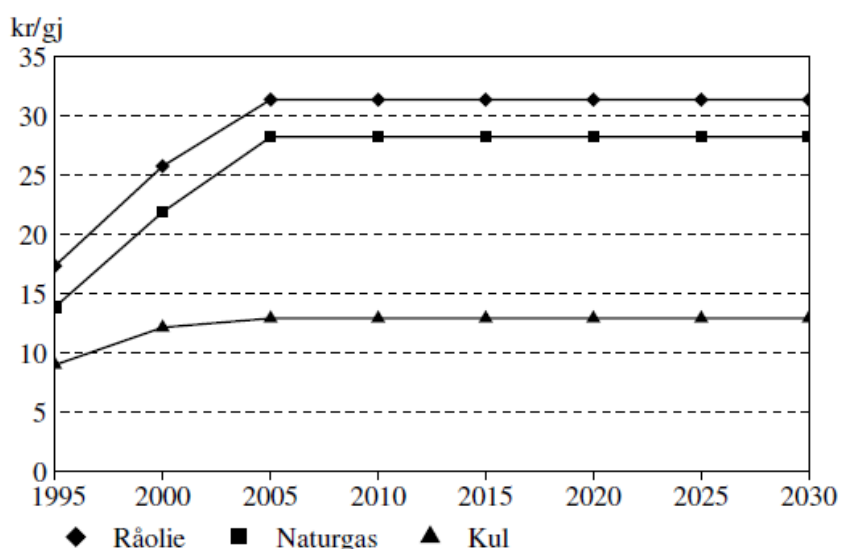
De *makroøkonomiske* forudsætninger er hentet fra Budgetdepartementets grundkørsel til Budgetredegerørelsen, som efterfølgende er forlænget til år 2030. Tabel 5.2 angiver nogle af de overordnede makroøkonomiske tendenser hentet fra denne ADAM-kørsel. Den samme ADAM-databank er anvendt i den ADAM-kørsel, som der sammenlignes med i afsnit 5.5.

**Tabel 5.2. Makroøkonomiske forudsætninger i Referenceplanen**

	1994 Mia.kr (1980-priser)	1995-2005	2006-2020 % p.a.	2021-2030
Bruttonationalproduktet	492	2.2	1.7	1.3
Privat konsum	266	2.6	2.3	1.8
Produktionsværdi	820	2.2	1.8	1.5
- heraf industrien	247	2.0	1.7	1.5

Udviklingen i *energipriserne* er illustreret i Figur 5.1 og Tabel 5.3.

**Figur 5.1. Udviklingen i realpriserne for importeret brændsel ■ C.I.F. (kr/GJ)**



Udviklingen i importpriserne for råolie, naturgas og kul er vist i figur 5.1. Priserne er opgivet realt, dvs. korrigeret for den generelle inflationsudvikling. Som det fremgår er der en ret kraftig stigning indtil år 2005, hvorefter priserne er antaget at være konstante frem til år 2030. Tabel 5.3 viser de samfundsøkonomiske energipriser ■ i forhold til figur 5.1 er der i tabel 5.3 tillagt raffineringssomkostninger for olieprodukter samt et generelt transporttillæg, afhængigt af brændsel og anvendelse.

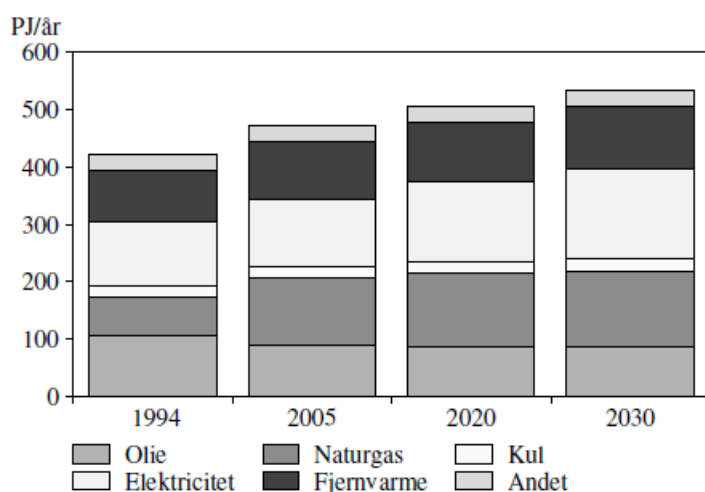
**Tabel 5.3. Udviklingen i de samfundsøkonomiske energipriser, kr/GJ (realt)**

	1995	2000	2005
Naturgas (ab net)	16.2	24.2	30.6
Kul (an Kraftværk)	10.2	13.3	14.1
Fuelolie (an værk)	16.6	23.6	29.1
Gasolie	33.5	43.7	50.1
Benzin	34.8	45.1	51.3
Træ (an værk)	13.5	12.9	12.3
Affald (an værk)	-20.0	-20.0	-20.0
Halm (an værk)	16.6	16.6	16.6
Energiafgrøder (an værk)	25.0	24.7	24.4

### 5.3.2. Udviklingen i energiforbruget

Figur 5.2 viser udviklingen i det direkte energiforbrug<sup>78</sup> i Energistyrelsens referenceplan for energianvendelsen i husholdningerne og i erhvervene, men eksklusiv transporten. I figur 5.2 er det direkte energiforbrug opdelt på de mest betydende energityper. Som det fremgår er der i referencen en støt stigning i det direkte energiforbrug svarende til ca. 0.7% p.a. for hele perioden. El forøger sin andel fra knap 27% i 1994 til godt 29% i 2030, en relativ moderat stigning, mens naturgas øges fra ca. 16% i 1994 til ca. 25% i år 2030, primært på bekostning af olie.

**Figur 5.2. Udviklingen i det direkte energiforbrug (eksklusiv transporten) opdelt på energityper, PJ/år**



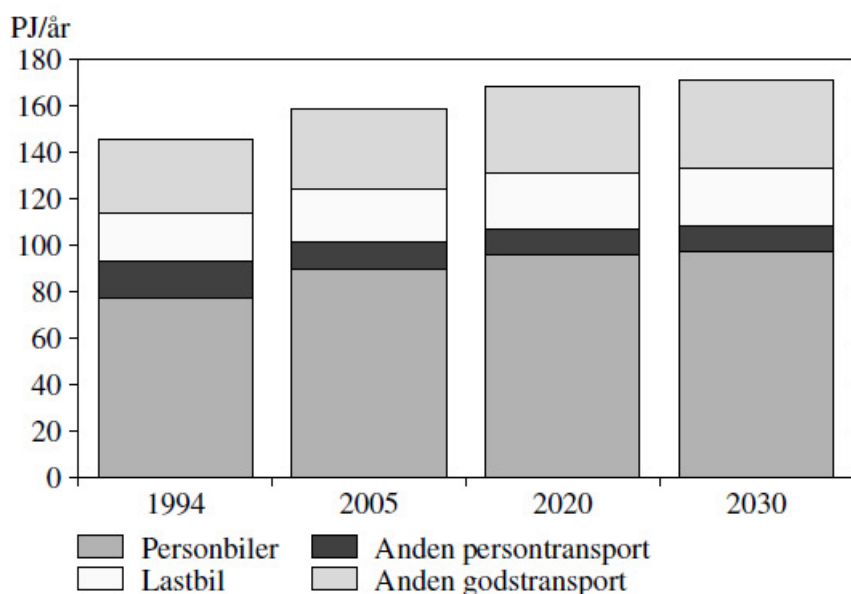
<sup>78</sup> Dette svarer til Energistyrelsens "endeligt energiforbrug".

Tabel 5.4 viser det direkte energiforbrug (eksklusiv transport) opsplittet på erhverv og husholdninger for årene 1994, 2005, 2020 og 2030. Som det fremgår er det primært erhvervene, specielt handel og service, der bidrager til væksten i energiforbruget. Det private energiforbrug i husholdningerne er – set bort fra en svag vækst i den første periode – stort set konstant frem til år 2030. Også det offentlige fremviser et stort set konstant direkte energiforbrug over hele perioden.

**Tabel 5.4. Det direkte energiforbrug (eksklusiv transport) opsplittet på erhverv, PJ/år**

	1994	2005	2020	2030
Landbrug mv.	35.5	42.7	45.4	49.2
Jern og metalind.	13.1	15.1	17.0	18.4
Kemisk industri	11.7	16.0	23.1	30.6
Nærings- og nyd.	36.8	46.4	53.8	58.7
Lev. til byggeriet	30.7	38.5	42.3	45.2
Anden industri	23.1	26.3	31.9	35.3
Bygge og anlæg	6.4	8.4	10.0	11.1
Handel og service	35.4	43.0	55.5	65.0
Husholdninger	180.9	191.0	181.9	174.5
Off. adm., und. mv.	42.1	40.7	40.6	40.5
Off. forsyning	5.2	5.5	5.9	6.2
I alt	420.9	473.6	507.4	534.7

**Figur 5.3. Det direkte energiforbrug til transportformål, PJ/år**

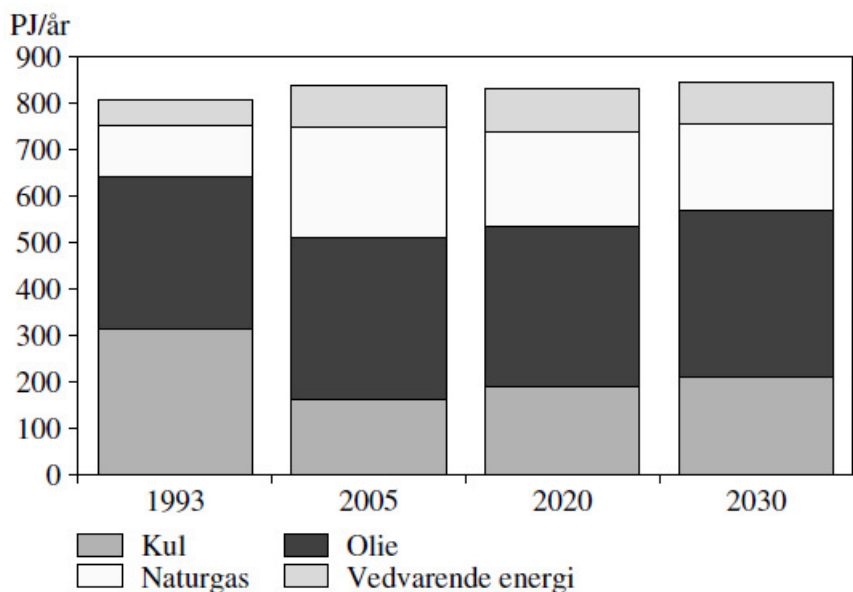


Det direkte energiforbrug til transporten er vist i figur 5.3 opsplittet på hovedtransportkategorier. Generelt er der en forholdsvis langsom vækst i det direkte energiforbrug til transport – i perioden frem til år 2030 vokser forbruget med knap 0.5 % p.a., dog er den højeste årlige vækst frem til år 2005 med ca. 0.8 % p.a. Personbilernes andel af det samlede transportenergiforbrug stiger svagt over perioden, fra godt 53 % i 2005 til knap 57

% i 2030 primært på bekostning af anden persontransport. Godstransporten har i 1994 en andel på ca. 36 %, og denne andel er stort set konstant frem til 2030.

I det direkte energiforbrug er der ikke medtaget forbruget til konvertering i forsyningssektoren (bortset fra raffinaderierne). I figur 5.4 er vist det samlede danske bruttoenergiforbrug (inklusive transport), der indeholder det samlede tab i konverteringssektorerne, også den del der flares på boreplatforme (naturgas) uden nogen energiudnyttelse. Bruttoenergiforbruget er svagt stigende med ca. 0.3 % p.a. frem til år 2005, hvorefter det stort set er konstant frem til år 2030.

**Figur 5.4. Udviklingen i det samlede bruttoenergiforbrug i Referenceplanen, PJ/år**



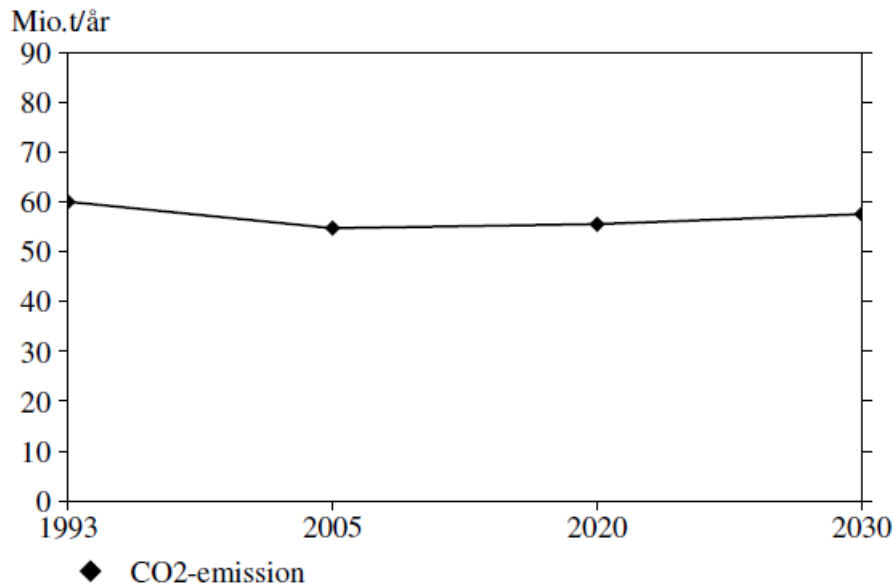
Som det fremgår af figuren kommer naturgas til at udgøre en stigende andel af bruttoenergiforbruget, primært på bekostning af kul. Naturgasandelen stiger fra knap 14 % i 1993 til godt 28 % i 2005 for herefter at være svagt faldende frem til år 2030. Tilsvarende bliver kulandelen halveret fra 1993 til 2005 (fra godt 38 % til godt 19 %), hvorefter den er svagt stigende, således at kul udgør godt 24% år 2030. Olieandelen er stort set konstant på godt 40 % over hele tidsperioden. Vedvarende energi stiger fra at udgøre godt 7 % til at udgøre knap 11 % i år 2005 for herefter stort set at være konstant.

At bruttoenergiforbruget stiger langsommere end det direkte energiforbrug skyldes stigende effektivitet i energiudnyttelsen på forsyningsssiden, herunder en stigende andel kraftvarme og en øget udnyttelse af vedvarende energi.

### 5.3.3. Udviklingen i emissioner

Figur 5.5 viser udviklingen i CO<sub>2</sub>-emissionen som følge af anvendelsen af energi i Referenceplanen. Efter et mindre fald i starten af perioden stiger udledningen af CO<sub>2</sub> støt, for stort set at være på niveau med startpunktet i år 2030.

**Figur 5.5.** Udviklingen i CO<sub>2</sub>-emissionen i Referenceplanen, Mio. t CO<sub>2</sub>/år



## 5.4. Sammenligning af fremskrivninger med satellitmodellen og Energistyrelsens modelsystem.

I dette kapitel beskrives, hvorledes ADAM-satellitsystemets trender og energieffektivitetsudviklinger skal sættes for at ramme grundtrækkene i det såkaldte referenceforløb i Energi 21.<sup>79</sup>

Kort fortalt går øvelsen i dette kapitel ud på at sætte et antal *mål* fra Energi 21-fremskrivningen (konkret: energiforbruget på forskellige typer og anvendelser) og ramme disse vha. et tilsvarende antal *midler* (konkret: trends og effektivitetsindeks). Mål-tallene er beregnet som relative ændringer over perioden 1996-2005 (som i øjeblikket er den periode, der fremskrives på med ADAM-satellitsystemet). Det edb-program, som foretager beregningen, udregner så, hvor meget de forskellige midler skal ændres med, for at ramme målene.<sup>80</sup>

I det følgende ses udelukkende på, hvorledes fremskrivningen med satellitmodellen kan bringes i overensstemmelse med Energi 21-referenceforløbet. Det skal dog fremhæves, at programmet er helt generelt og kan bruges til at "kalibrere" ADAM-satellitsystemet til at efterligne enhver anden energiprognose (f.eks. *planforløbet* i Energi 21 eller en ny energiplan fra Energistyrelsen). Og når først de omvendt beregnede trends og effektivitetsindeks er lavet på baggrund af en given energiprognose og ADAM-fremskrivning, kan ADAM-fremskrivningen nemt skiftes ud. Dette ville f.eks. gøre det muligt at få et hurtigt overslag over, hvad ændrede samfundsøkonomiske forudsætninger (f.eks. i form af en ny ADAM-fremskrivning fra Finansministeriet) ville betyde for den energiprognose, som trenderne er kalibreret efter (f.eks. Energi 21).

### 5.4.1. Lidt teori

For at give et meget simpelt eksempel på en mål-middelberegning kunne man forestille sig, at satellitmodellen kun beregnede to energistørrelser,  $E_1$  og  $E_2$ , som følger:

$$E = 1/dt \cdot Y \quad (5.9)$$

$$E_1 = b \cdot E \quad (5.10)$$

$$E_2 = E - E_1 \quad (5.11)$$

<sup>79</sup> Hvad angår emissioner, er der ikke her foretaget en beregning af, hvad ADAM-satellitsystemets emissionskoefficienter skal sættes til, for at ramme Energi 21-fremskrivningen. At finde ud af dette ville ikke kræve nogen egentlig "beregning", da man blot og uden videre komplikationer skal sætte satellitmodellens emissionskoefficienter til at følge de tilsvarende fra Energi 21-fremskrivningen.

<sup>80</sup> For eksempel stiger det samlede energiforbrug i jern- og metalindustrien (*nm-erhvervet*), *qJznm*, ifølge Energi 21 fra 13.110 TJ til 15.072 TJ fra 1994 til 2005 (= 14.97%), hvilket oversættes til 12.09% for den lidt kortere fremskrivningsperiode 1996-2005. Programmet regner så ud, at for at ramme dette tal, skal (bl.a.) den overordnede effektivitetsudvikling i *nm-erhvervets* energiforbrug, ADAM-variablen *dtfvenm*, sættes til at stige med ca. 0.40% årligt i perioden 1996-2005.



Dette skal forstås som, at det samlede energiforbrug,  $E (= E_1 + E_2)$ , følger produktionen,  $Y$ , dog korrigeret for en eksogen aggregeret energieffektivitet,  $dt$ . Stiger energieffektiviteten med 1 %, falder  $E$  (og  $E_1$  og  $E_2$ ) med 1 %. Opsplitningen på  $E_1$  og  $E_2$  sker vha. en eksogen andel,  $b$ .

Vi forestiller os nu, at  $Y$  stiger med i alt 30 % i perioden 1996-2005, mens  $E_1$  og  $E_2$  stiger med hhv. 25% og 10 %. Spørgsmålet er så, hvordan udviklingen i  $dt$  og  $b$  skal sættes, for at ramme udviklingen i  $E_1$  og  $E_2$ ?

Tre oplagte muligheder er:

- Hvis  $dt$  f.eks. er lig 1 i 1995, kunne man ændre  $dt$  én gang i året 1996 (f.eks. med 30%), således at serien for  $dt$  i perioden 1995-2005 bliver 1.000, 1.300, 1.300, ... , 1.300. Altså et niveauskift.
- For effektivitetsudviklinger er det imidlertid merre naturligt at forestille sig, at  $dt$  år for år i perioden 1996-2005 stiger med et bestemt antal procent, f.eks. 3%. På den måde bliver serien for  $dt$  i perioden 1995-2005 følgende: 1.000, 1.030, 1.061, 1.093, ... , 1.344.
- Endelig kunne man forestille sig, at  $dt$  ændrede sig med et absolut tal år for år, f.eks. 1.000, 1.030, 1.060, 1.090, ... , 1.300 for perioden 1995-2005. Dette ville svare til 3%-point årligt.

Effektiviteter vil man typisk skrive frem med samme årlige procentstigning i hele perioden (altså ovenstående punkt b), mens man ofte vil fremskrive andele og lignende "fordelingsnøgler" med samme årlige absolutte ændring (ovenstående punkt c).

I det ovenstående eksempel ville man skrive  $dt$  frem ifølge metode (b), mens  $b$  er en kvote og derfor skrives frem efter metode (c). Hvis  $Y$  i perioden 1996-2005 stiger med 30%,  $E_1$  med 25% og  $E_2$  med 10%, og hvis  $b$  antages at være lig 0.500 i udgangssituationen (svarende til, at  $E_1 = E_2$ ), så kan man regne ud, at  $dt$  i perioden 1996-2005 årligt skal stige med 1.02% (svarende til en samlet stigning i  $dt$  på 10.64%), mens  $b$  årligt skal stige med 0.00319 (=0.319%-point) ■ således at  $b$  over perioden stiger fra 0.500 til 0.5319.

Det program, som beregner ("kalibrerer") implicite trendudviklinger fungerer fuldstændigt som ovenstående eksempel illustrerer. Rent teknisk er det et PCIM/GAUSS-program, som er lavet til formålet. Det eneste, man skal gøre er (a) at angive værdier for sine  $n$  målvariabler, (b) udnævne sine  $n$  middelvarebler, og (c) for hvert af de  $n$  midler angive, om variabelen skal opdateres i absolutte eller relative årlige ændringer. Programmet er et generelt mål-middel-program, som ikke er begrænset til energispørgsmål.

### Omskrivning af visse ligninger

For at kunne foretage den omvendte trendberegning, er det nødvendigt, at der er lige så mange midler, som der er mål. Derfor er en række af trenderne i modellens ligninger omformuleret, så der i stedet for f.eks.

$$E_1 = \left( \beta_{11} + \beta_{12}(P_2/P_1)^{0.5} + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \alpha_3 D \right) Y \quad (5.12)$$

(hvor  $t$  er tiden og  $D$  en dummyvariabel) kommer til at stå:

$$E_1 = \left( \beta_{11} + \beta_{12}(P_2/P_1)^{0.5} + dt \right) Y, \quad (5.13)$$

hvor  $dt$  så er en "trendvariabel", med historiske værdier givet som

$$dt = \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \alpha_3 D \quad (5.14)$$

Konkret er en række af satellitmodellens ligninger omskrevet på denne måde, således at alt, hvad der kan fortolkes som en trendmæssig udvikling, er udskiftet med eksogene variable, som brugeren selv kan sætte. Dette er sket i de 13 erhverv, som beskrives i satellitmodellen, således at trends og dummies i  $bvjt_i w$  (transportenergiens langsigtede omkostningsandel) er samlet i variablene  $dtbvjt_i$ , mens trends og dummies i  $bvje_i w$  (elforbrugets langsigtede omkostningsandel) er samlet i  $dtbvje_i$ . (Trenden i den sidste,  $dtbvjo_i$ , følger implicit fra den definatoriske sammenhæng  $dtbvjt_i + dtbvje_i + dtbvjo_i = 0$ ). Trenderne i transporterhvervenes energiforbrug er omskrevet efter samme skitse. Desuden er trenden i  $fCg\_e$ -ligningen (satellitmodellens bud på ADAMs  $fCg$ ) lagt over i variabelen  $dtqjtc$ .<sup>81</sup> Endelig er der introduceret en samlet effektivitet i forsyningssektoren,  $dtforsyn$ , som ændrer effektiviteten af alle forsyningssektorens brændsler på én gang.

For et givet erhverv skal  $dtbvj$ 'erne opfattes som trends i energikvoten for  $t$  (transportenergi) og  $e$  (el) – og dermed også (implicit) for  $o$  (andet). Ændres  $dtbvjt_i$  med 0.01 svarer det til, at  $t$ 's andel af erhverv  $i$ 's samlede energiforbrug (målt i TJ) stiger med 1 procentpoint. Alle erhvervenes  $dtbvj$ 'er fremskrives i *absolutte* ændringer (idet de er af den type, som ses i formel (5.14) ovenfor – som er "født" til absolutte ændringer).

---

<sup>81</sup> Derved bliver der faktisk to trends i  $fCg\_e$ -ligningen, nemlig  $dtqjtc$  (ren tidstrend) samt  $bfcg$ , som er en benzineffektivitet, som der er historiske data for. Derfor vælges det rent teknisk kun at baglænsberegne den ene af disse variable ( $bfcg$ ), mens den anden ( $dtqjtc$ ) fastholdes.

## 5.4.2. Fremskrivningen

Som nævnt går øvelsen i dette kapitel ud på at ramme et antal mål (energiforbrug) med et tilsvarende antal midler (trends/effektiviteter). Nedenfor ses listen over mål og midler:

**Tabel 5.5. Mål**

---

1.	qJta	qJea	qJga	qJha	qJsa	qJfa
2.	qJtnf	qJenf	qJgnf	qJhnf	qJsnf	qJfnf
3.	qJtnn	qJenn	qJgnn	qJhnn	qJsnn	qJfnn
4.	qJtnb	qJenb	qJgnb	qJhnb	qJsnb	qJfnb
5.	qJtnm	qJenm	qJgnm	qJhnm	qJsnm	qJfmm
6.	qJtnt	qJent	qJgnt	qJhnt	qJsnt	qJfnt
7.	qJtnk	qJenk	qJgnk	qJhnk	qJsnk	qJfnk
8.	qJtnq	qJenq	qJgnq	qJhnq	qJsnq	qJfnq
9.	qJtb	qJeb	qJgb	qJhb		qJfb
10.	qJtqh	qJeqh	qJgqh	qJhqh		qJfqh
11.	qJtqf	qJeqf	qJgqf	qJhqf		qJfqf
12.	qJtqq	qJeqq	qJgqq	qJhqq		qJfqq
13.	qJto	qJeo	qJgo	qJho		qJfo
14.	qJtc	qJec	qJgc	qJhc	qJsc	qJfc
-----						
15.	qJzne					
16.	qJzt1j	qJet1j				
17.	qJzt1b					
18.	qJzt1f					
19.	qJzt2b					
20.	qJzt2t					
21.	qJzt2v					

---

**Tabel 5.6. Midler**

---

1.	dtbvjta	dtbvjea	bqga	bqha	bqsa	dtfvea
2.	dtbvjtnf	dtbvjenf	bqgnf	bqhnf	bqsnf	dtfvnf
3.	dtbvjtnn	dtbvjenn	bqgnn	bqhnn	bqsnn	dtfvnn
4.	dtbvjtnb	dtbvjenb	bqgnb	bqhnb	bqsnb	dtfvnb
5.	dtbvjtnm	dtbvjenm	bqgnm	bqhnm	bqsnm	dtfvnm
6.	dtbvjtnt	dtbvjent	bqgnt	bqhnt	bqsnt	dtfvnt
7.	dtbvjtnk	dtbvjenk	bqgnk	bqhnk	bqsnk	dtfvnk
8.	dtbvjtnq	dtbvjenq	bqgnq	bqhmq	bqsnq	dtfvnq
9.	dtbvjtb	dtbvjeb	bqgb	bqhb		dtfveb
10.	dtbvjtqh	dtbvjeqh	bqgqh	bqhqh		dtfveqh
11.	dtbvjtqf	dtbvjeqf	bqgqf	bqhqf		dtfveqf
12.	dtbvjtqq	dtbvjeqq	bqgqq	bqhqq		dtfveqq
13.	dtbvjto	dtbvjeo	bqgo	bqho		dtfveo
14.	bfcg	bqjexvc	bqjgcv	bqjhcv	bqjscv	bqjvc
-----						
15.	dtforsyn					
16.	dtfjt1j	bfjet1j				
17.	dtfjt1b					
18.	dtfjt1f					
19.	dtfjt2b					
20.	dtfjt2t					
21.	dtfjt2v					

---

Søjlerne (over den stiplede linje) er seks energityper  $t$ ,  $e$ ,  $g$ ,  $h$ ,  $s$  og  $f$ , og de første 14 rækker er ADAM-erhverv samt husholdninger. Række 15 er forsyningserhvervet, mens de sidste 6 rækker er transporterhverv. Midlerne er skrevet op i samme slags skema, men det skal understreges, at et middel ikke behøver at høre til et bestemt mål.<sup>82</sup>

For de enkelte erhverv er der seks midler,  $dtbvjt_j$ ,  $dtbvje_j$ ,  $bqg_j$ ,  $bqh_j$ ,  $bqs_j$  og  $dtfve_j$ . De første to variabler har allerede været nævnt, mens de tre  $bq$ 'er er eksogene kvoter/andele, som fordeler andet energiforbrug end  $t$  og  $e$  ud på energityperne  $g$ ,  $h$  og  $s$  (og dermed også implicit på den sjette og sidste,  $f$ ). Den sidste variabel, ADAM-variablen  $dtfve_j$ , er trenden i ADAMs (samlede) energiforbrug for det pågældende erhverv (se evt. kapitel 2.3.3, hvor ligningerne for  $nm$ -erhvervet er gengivet). Intuitivt kan man altså forestille sig, at  $dtfve_j$  sættes, så erhvervets samlede energianvendelse rammes, og de øvrige fem variabler sættes, så fordelingen på energityper rammes.

For husholdningerne opereres med midlerne  $bfcg$ ,  $bqjexvc$ ,  $bqjgcv$ ,  $bqjhcv$ ,  $bqjscv$  og  $bqjvc$ . Midlet  $bfcg$  er en (invers) benzineffektivitet,  $bqjexvc$  er den (inverse) effektivitet i husholdningernes elforbrug ekskl. elvarme, og  $bqjvc$  en (invers) effektivitet i husholdningernes varmeforbrug. Kvoterne  $bqjgcv$ ,  $bqjhcv$  og  $bqjscv$  fordeler varmeforbruget ud på underkomponenter (se evt. kapitel 2.2.3, hvor de relevante ligninger gengivet).

For energiforsyningserhvervet er det valgt ikke at forsøge at ramme den præcise brændselssammensætning i Energi 21-fremskrivningen, men i stedet forsøge at ramme det samlede brændselsforbrug målt i TJ.<sup>83</sup>

I transporterhvervene (række 16-21) rammes udviklingen i energiforbruget vha. de tilhørende trendvariabler,  $dtff_j$ . For jernbanerne,  $tlj$ , rammes både de samlede energiforbrug,  $qJztlj$ , og den del af det, som er el,  $qJetlj$ . Trendberegningen for transporterhvervene er ikke diskuteret i dette kapitel, da den er gennemgået i detaljer i appendiks A.2.4.<sup>84</sup>

Målvariablerne for husholdninger og erhverv (ekskl. forsyning og transport) er sat til det, de skal være i forhold til referenceforløbet i Energi 21. Disse tal ses nedenfor.

<sup>82</sup>Dette skyldes dels, at et middel godt kan have en direkte effekt på flere mål og dels, at satellitmodellen (via den endogene bestemmelse af elprisen) overordnet set er simultan.

<sup>83</sup>Dette skyldes bl.a., at forsyningsmodellen ifølge sin formulering foretager (diskrete/ikke-kontinuerte) "spring" i brændselssammensætningen, hvilket en mål-middelprocedure har svært ved at håndtere.

<sup>84</sup>Der gøres i øvrigt ikke forsøg på at ramme energiforbruget for lufttrafik ( $t3$ ), da Energi 21 kun beskriver energiforbruget for indenlandske flytrafik, mens satellitmodellens  $t3$  både indeholder indenlandsk og international flytrafik. Den sidste tegner sig for langt broderparten af det samlede energiforbrug til lufttrafik.

**Tabel 5.7. Målværdier i 2005, indeks 1994 = 1**

Erhverv	Transp.- energi <i>t</i>	El <i>e</i>	Gas <i>g</i>	Fjern- varme <i>h</i>	Kul <i>s</i>	Olie <i>f</i>	<i>Y</i>
Landbrug mv.	<i>a</i> 1.1892	0.9949	2.1893	1.1118	1.0481	1.0062	1.298
Næringsmidler	<i>nf</i> 1.1402	1.1798	2.4626	1.1981	0.7700	0.3460	1.219
Nydelsesmidler	<i>nm</i> 1.1402	1.1798	2.4626	1.1981	0.7700	0.3460	1.288
Lev. til byggeri	<i>nb</i> 1.1402	0.9708	3.8686	1.7000	0.8640	0.5626	1.253
Jern- og metal	<i>nm</i> 1.1402	1.2193	1.6178	1.3079	1.0000	0.4851	1.230
Transp.middelindust.	<i>nt</i> 1.1402	0.9720	1.9379	1.2155	0.7500	0.4885	1.152
Kemisk industri	<i>nk</i> 1.1402	1.4693	2.4120	1.1470	0.7162	0.6066	1.461
Anden fremstilling	<i>nq</i> 1.1402	0.9720	1.9379	1.2155	0.7500	0.4885	1.207
Bygge- og anlæg	<i>b</i> 1.1402	1.2253	1.6150	.	.	1.2758	1.376
Handel	<i>qh</i> 1.0925	1.1514	1.5001	1.2850	.	0.8988	1.350
Finansiel virks	<i>qf</i> 1.0925	1.1514	1.5001	1.2850	.	0.8988	0.979
Anden service	<i>qq</i> 1.0925	1.1514	1.5001	1.2850	.	0.8988	1.332
Offentlige tjenester	<i>o</i> 1.0925	0.9439	1.0386	1.0044	1.1188	0.6509	1.050
Husholdninger	<i>c</i> 1.1577	0.9827	1.3142	1.1242	0.9846	0.8673	1.343

Anm. Tallene i tabellen er lavet ud fra en tabel i bilaget til Energi 21. Tabellen hedder "Referenceforløb: Fremskrivning af bruttoenergiforbrug 1994-2030", i hvilken der opereres med 9 erhvervssektorer og en husholdningssektor (jf. tabel 5.4 i kapitel 5.3.2). Herudover er der for transportenergiforbrugets vedkommende brugt tal fra Trafikministeriet (jf. kapitel A.2.4).

Yderst til højre er udviklingen i en relevant "aktivitetsvariabel" angivet ■ for erhvervene  $fY_j$  (BFI i faste priser), og for husholdningerne  $Cp4/pcp4v$  (realt privatforbrug). For eksempel kan man se, at BFI i *nm*-erhvervet stiger med 23 % i perioden 1994-2005 i den fremskrivning, der bruges til Energi 21. Transportenergiforbruget i *nm*-erhvervet stiger med 14 % (ligesom i resten af fremstillingserhvervene), mens elforbruget stiger med 22 %. Udviklingen i de andre energityper er præget af en ret kraftig stigning i gasforbruget (62%), mens forbruget af olie falder med 51 %.<sup>85</sup>

For at kunne foretage den "omvendte" trendberegning, er det nødvendigt at fremskrive en række eksogene variabler (ud over de trender/effektiviteter, som beregnes baglæns) i satellitmodellen. En række af disse er ADAM-variabler og er således givet direkte fra den ADAM-fremskrivning, som ligger til grund for Energi 21. De vigtigste af de resterende eksogene variabler er energipriser og -afgifter:

- Priserne på de seks energityper (før afgifter) er skrevet frem ved at bruge de energipriser, som ses i tabel 5.3 i kapitel 5.2.6. Disse inflateres, hvorved der kan dannes nogle grundlæggende eksogene "netto-energi-priser", jf. kapitel 2.6.2.<sup>86</sup>

<sup>85</sup> Disse tal omregnes til perioden 1996-2005, før de bruges i mål-middelproceduren. De resterende tal er følgende (værdier i 2005 med indeks 1996 = 1):  $qJzne = 0.8305$ ,  $qJzt1j = 0.5479$ ,  $qJet1j = 1.3418$ ,  $qJzt1b = 0.9298$ ,  $qJzt1f = 0.4762$ ,  $qJzt2b = 1.1085$ ,  $qJzt2t = 1.1577$ ,  $qJzt2v = 1.1130$ . Fremskrivningen med transportdelmodellen er beskrevet i detaljer i appendiks A.2.4.

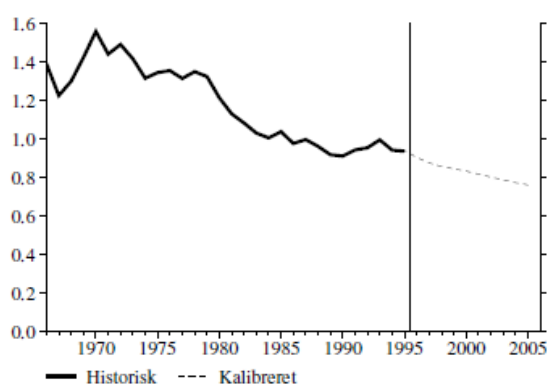
- Energiafgiftssatserne antages at følge energiafgiftssatserne i den ADAM-fremskrivning, som ligger til grund for Energi 21.

Ovennævnte energipriser har betydning for baglænsberegningen af trends og energieffektiviteter. Jo større prisstigningerne er, jo mere presser det alt andet lige energieferspørgslen ned i ADAM-satellit-systemet, og jo mindre skal væksten i f.eks. energieffektiviteterne være, hvis målene skal rammes.

### Resultater: Husholdningerne

Nedenfor vises udviklingen i husholdningernes energikvote historisk og i den fremskrivning, som er tvunget ("kalibreret") til at være i overensstemmelse med Energi 21.

**Figur 5.6. Energikvoten i husholdningernes privatforbrug, historisk og fremskrevet**



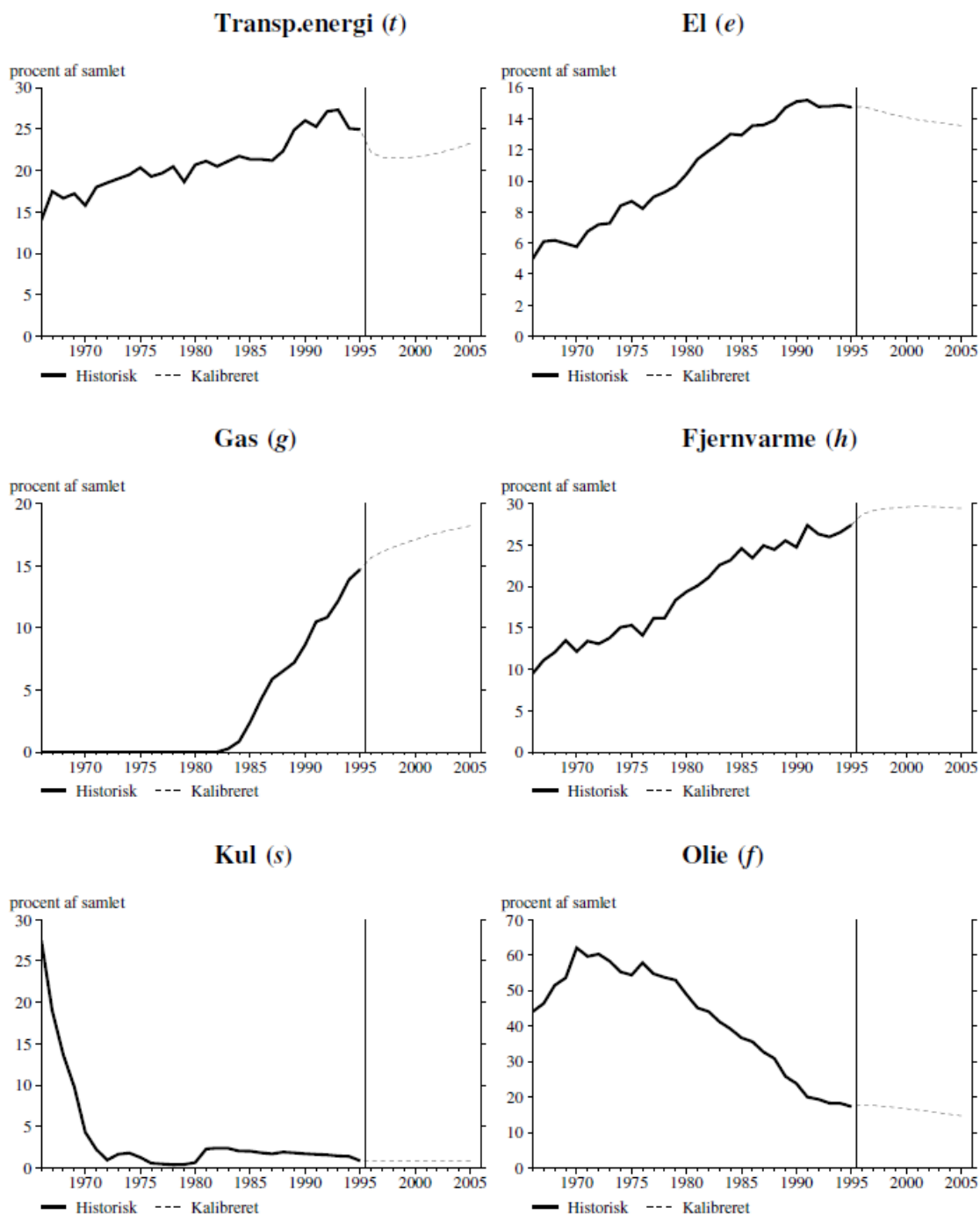
28

Anm. Figuren viser tallet  $qJzc/(Cp4/pcp4v)$ , dvs. husholdningernes samlede energiforbrug i TJ divideret med det samlede privatforbrug i mio. 1980-kr.

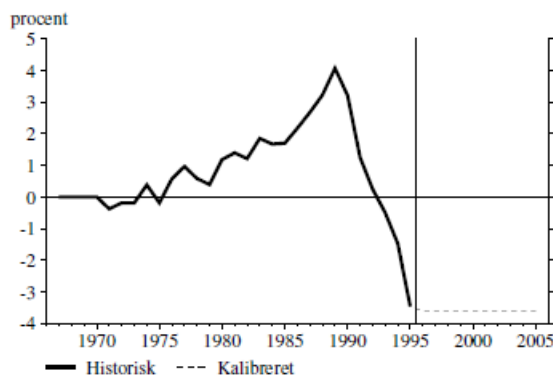
Af figuren ses det, at energikvoten har været faldende over den historiske periode, hvilket fortsætter i fremskrivningen, når denne tvinges til at efterligne Energi 21-referenceforløbet. Nedenfor ses hvordan husholdningernes samlede energiforbrug,  $qJzc$ , fordeler sig på de seks forskellige energityper.

<sup>86</sup> Konkret er  $pnoli$  (prisen på olieprodukter før afgifter) sat til at stige med 7.53 % årligt,  $pngas$  (gasprisen før afgifter) med 10.57 % årligt og  $pnkul$  (kulprisen før afgifter) med 7.66 % årligt. I satellitmodellen er  $pnele$  (elprisen før afgifter) endogen, og  $pnfjv$  (fjernvarmeprisen før afgifter) er sat til at følge elprisen.

**Figur 5.7. Husholdningerne: De enkelte energitypers andel af det samlede energiforbrug (i TJ)**

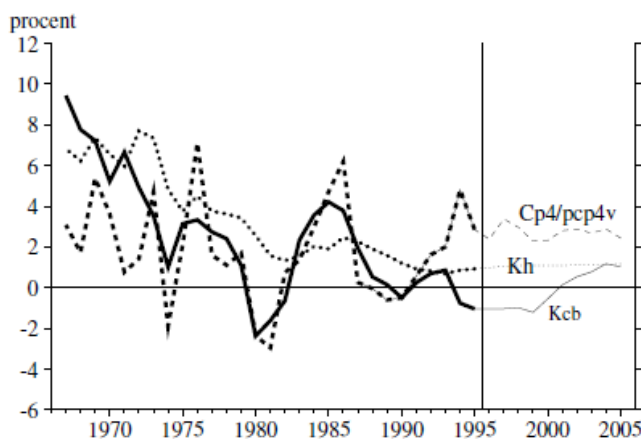


Det ses bl.a. af figurene, at den historiske trend i husholdningernes el- og fjernvarmeandel antages at ophøre. For elforbrugets vedkommende begynder andelen ligefrem at falde i fremskrivningsperioden, hvilket imidlertid ikke kan siges at være i direkte modstrid med tendensen i de sidste historiske år. I de nedenstående kommentarer er der gjort brug af kapitel 2.2.4 og 6.2.2, hvor satellitmodellens husholdnings-delmodel sammenlignes med Energistyrelsens modelsystem.

**Figur 5.8. Udviklingen i husholdningernes benzineffektivitet,  $1/bfcg$** 

31

Historisk har benzineffektiviteten,  $1/bfcg$ , været stigende ■ op til ca. 3-4 % årligt i 1990. I de sidste par år har den dog været kraftigt faldende ■ i 1995 med over 3 %. (Dette skyldes dog muligvis, at der er tale om foreløbige tal). Transportenergiforbruget i satellitmodellen følger grundlæggende ADAMs bilpark,  $Kcb$ , som i ADAM bestemmes ud fra bl.a. husholdningernes realindkomst. Nedenfor ses, hvorledes  $Kcb$  udvikler sig i fremskrivningen.

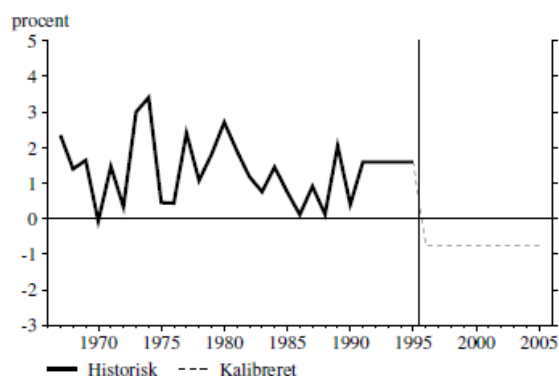
**Figur 5.9. Forløbet af bilparken ( $Kcb$ ), privatforbruget ( $Cp4/pcp4v$ ) og boligbeholdningen ( $Kh$ ) i ADAM-fremskrivningen**

32

I starten af fremskrivningsperioden falder  $Kcb$  med ca. 1 % årligt, hvilket dog vender til en 1 % årlig stigning i den sidste halvdel af fremskrivningsperioden. For at ramme Energi 21 må faldet i benzineffektiviteten antages at være ved i fremskrivningsperioden. Hvis der i Energi 21 regnes med en kraftigere vækst i bilbeholdningen end i ADAM-fremskrivningen, trækker dette ned i den beregnede benzineffektivitet.<sup>87</sup>

<sup>87</sup>Det skal dog nævnes, at benzineffektiviteten kun slår igennem med ca. halv virkning på satellitmodellens transportenergiforbrug (jf. evt. tabel 2.2.10 i kapitel 2.2.4), idet det i satellitmodellen antages, at en faldende benzineffektivitet vil give en substitution (via stigende effektiv benzinpris) bort fra transportenergiforbrug i det hele taget. Energistyrelsens modelsystem indeholder ikke en sådan substitutionsvirkning, og faldet på 3.7% årligt i benzineffektiviteten ville således kunne "oversættes" til ca. 1.8 % i Energistyrelsens modelsystem.



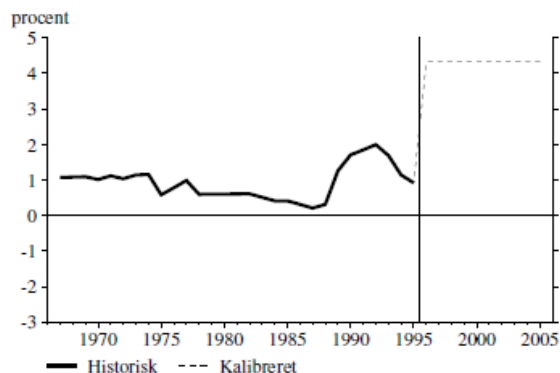
**Figur 5.10. Udviklingen i husholdningernes varmeeffektivitet,  $1/bqjvc$** 

33

Varmeeffektiviteten,  $1/bqjvc$ , har været stigende i den historiske periode (ca. 1-3 % årligt), men denne stigning må i satellitmodel-fremskrivningen antages at vende, så varmeeffektiviteten i perioden 1996-2005 ligefrem bliver svagt faldende (ca. -0.8 % årligt). Dette kan have at gøre med, at varmeforbruget i satellitmodellen (via boligarealet) følger ADAMs boligbeholdning,  $Kh$ . Denne stiger med ca. 1 % årligt i fremskrivningsperioden (se figur 5.9 ovenfor), og hvis der i Energi 21 er antaget en større stigning i boligarealet, vil dette give sig udslag i, at satellitmodellens varmeeffektivitet stiger mindre, end den ellers ville have gjort.

Varmeeffektiviteten er desuden afhængig af sammensætningen af de energityper, som "leverer" varmen. Den historiske stigning i effektiviteten er således i høj grad betinget af indfasningen af energieffektive energityper som (natur)gas og fjernvarme. Faldet i den fremskrevne energieffektivitet kunne således forklares, hvis gassens og fjernvarmens andel af varmeforbruget var faldende i Energi 21-fremskrivningen. Imidlertid gør det modsatte sig gældende (jf. figur 5.7), hvilket i sig selv skulle *hæve* varmeeffektiviteten. Alt dette kunne tyde på, at der er en betydeligt større stigning i boligarealet i Energi 21, end i ADAM-fremskrivningen.<sup>88</sup>

<sup>88</sup> Som bruger skal man huske, at sammensætningen af varmeforbruget har betydning for varmeeffektiviteten (dvs. at de eksogene  $bqjgc$ ,  $bqjhcv$  og  $bqjvc$  kan have betydning for den eksogene  $bqjvc$ ). I ADAM-fremskrivningen er der abstraheret fra dette. Det skal endvidere nævnes, at der heller ikke for varmeforbrugets vedkommende er fuldt gennemslag af energieffektiviteten på varmeforbruget. Falder varmeeffektiviteten således med 1%, giver det kun en stigning i varmeforbruget på 0.38% og ikke på 1% som i Energistyrelsens modelsystem (jf. evt. tabel 2.2.9 i kapitel 2.2.4). Faldet på 0.8% årligt i varmeeffektiviteten ville således kunne "oversættes" til ca. 0.3% i Energistyrelsens modelsystem.

**Figur 5.11. Udviklingen i husholdningernes el-effektivitet,  $1/bqjexvc$** 

34

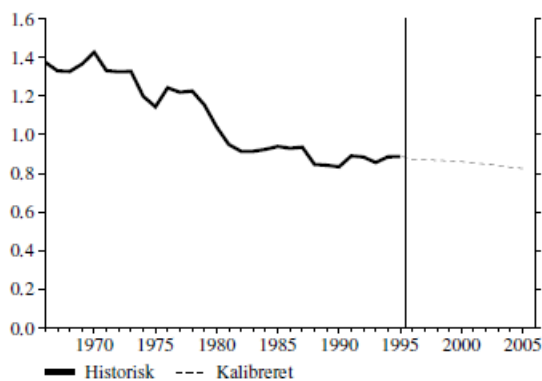
Effektivitetsvæksten for husholdningernes elforbrug (ekskl. elvarme) har ligget på ca. 0.5-2 % historisk. For at ramme Energi 21-forløbet er det nødvendigt at antage, at denne effektivitet stiger ret kraftigt med 4.1 % i fremskrivningsperioden. Dette har at gøre med, at satellitmodellens elforbrug følger ADAMs privatforbrug,  $Cp4/pcp4v$ , som i fremskrivningsperioden stiger med 2-3 % årligt (jf. figur 5.9 ovenfor) – mens husholdningernes elforbrug i Energi 21-referenceforløbet er stort set uforandret (jf. tabel 5.7 ovenfor). Oven i dette kommer så, at elforbruget i satellitmodellen har en elasticitet på 1.35 mht. ADAMs privatforbrug, således at elforbruget vil stige 1.35 gange kraftigere end privatforbruget. I Energistyrelsens modeller er husholdningernes elforbrug fremskrevet vha. apparateffektiviteter suppleret med antallet af boliger. Hvis antallet af boliger i Energi 21 stiger mindre end det reale privatforbrug i ADAM-fremskrivningen opjusteret med elasticiteten på 1.35 (dvs. i alt ca. 3-4 % årligt), vil dette i sig selv tvinge el-effektiviteten op i den omvendte trendberegning.<sup>89</sup>

<sup>89</sup> Også her skal det (jf. tabel 2.2.9 i kapitel 2.2.4) bemærkes, at energieffektiviteten ikke har fuldt gennemslag på energiforbruget. Stiger eleffektiviteten med 1%, giver det således kun et fald i elforbruget på 0.7% (da der substitueres over mod den nu effektivt set billigere el). Effektivitetsvæksten på 4.1% i fremskrivningsperioden ville således kunne "oversættes" til ca. 2.9% i Energistyrelsens modelsystem.

**Resultater: Erhvervene**

Erhvervene (her eksklusive transporterhvervene og energiforsyning) har historisk udvist en svagt faldende energikvote. I Energi 21 antages denne at fortsætte med at falde en smule.

**Figur 5.12. Udviklingen i erhvervenes energikvote, aggregeret**

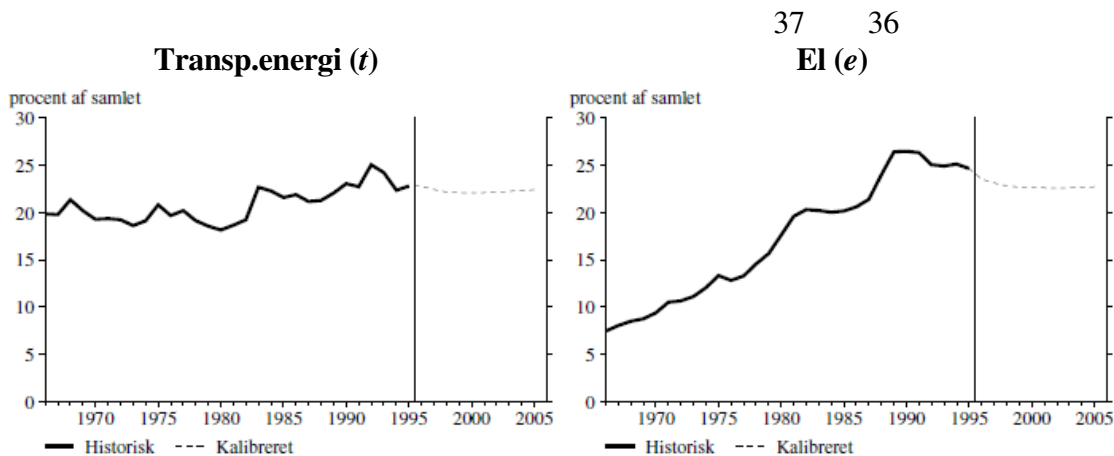


35

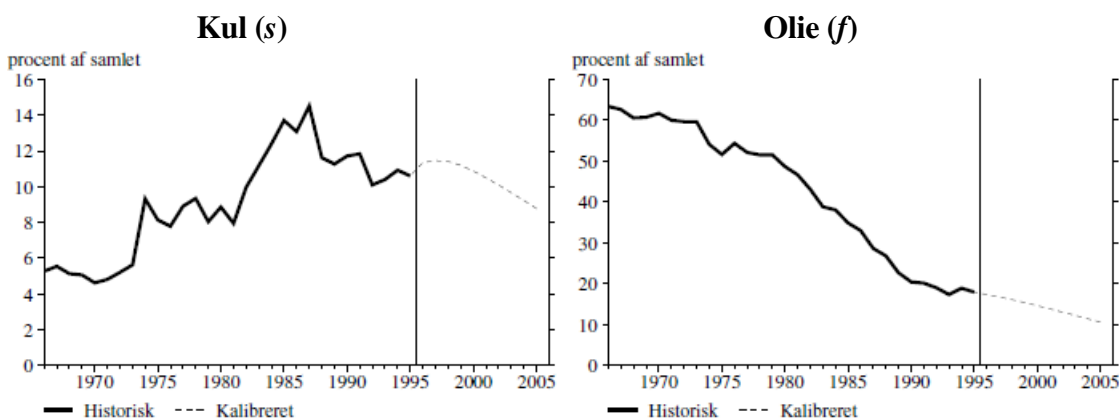
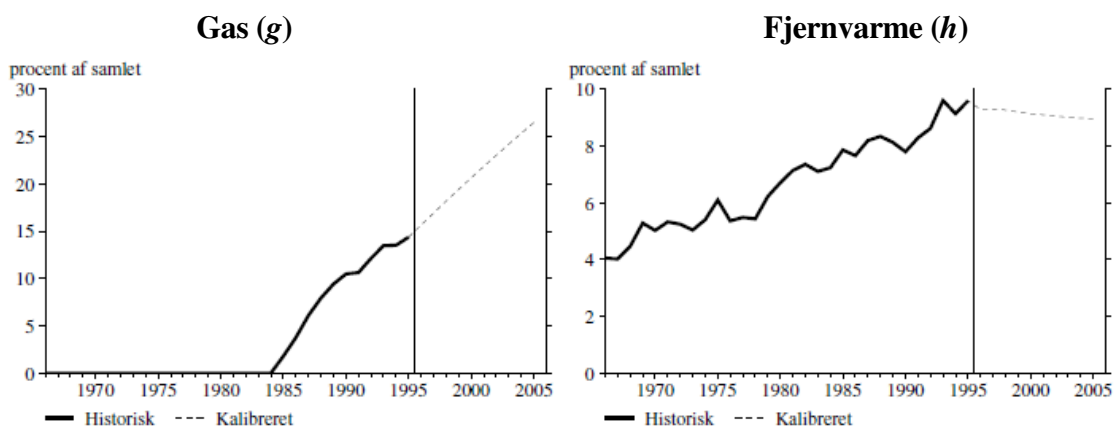
Anm. Opgjort som  $\sum q_j z_i / \sum f_j f_j$ , hvor  $j$  er erhvervene (dvs. som TJ pr. BFI-enhed)

Forbruget af de enkelte energityper ses nedenfor:

**Figur 5.13. Erhvervene (ekskl. transport): De enkelte energitypers andel af det samlede energiforbrug (i TJ)**

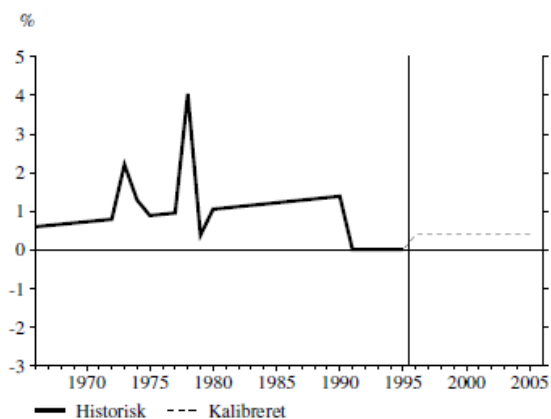


37 36  
El (e)



Vedrørende underopdelingen på energityper falder det i øjnene, at den positive trend i fjernvarmens del af det samlede energiforbrug antages at ophøre (og ligefrem vende). Dette er ligeledes tilfældet for elforbruget, hvor der dog er tegn på faldende el-kvote i de sidste historiske år. Den vedvarende kraftige stigning i gas-andelen er måske også værd at bemærke.

**Figur 5.12. Udviklingen i erhvervenes estimerede energieffektivitet, aggregeret**



Det fremgår af figuren ovenfor, at væksten i den i ADAM estimerede energieffektivitet har ligget på omkring 0.5-1.5 % årligt i den historiske periode, og at den skal fremskrives med lidt under 0.5 % årligt for at ramme Energi 21-energiforbruget.

Med hensyn til erhvervenes energiforbrug (ekskl. transporterhverv) gælder der, at det samlede energiforbrug i både Energistyrelsens modelsystem og ADAM-satellitmodellerne følger BFI ( $fYf_j$ ) med en elasticitet på én (jf. kapitel 2.3.4 og 6.2.2 ovenfor). Derfor kan satellitmodellens baglæns beregnede effektivitetsindeks næsten uden videre oversættes til et aggregeret ditto i Energistyrelsens energiforbrugsmodel, hvor effektiviteten altså i gennemsnit stiger med lidt under 0.5 % i fremskrivningsperioden.<sup>90</sup>

### Sammenfattende om fremskrivningen

Ovenfor er det blevet vist, at det er muligt at ramme Energi 21-referencefremskrivningen ved at baglænsberegne et antal trends og effektivitetsindeks i ADAM-satellitsystemet. Den konkrete beregning tyder ikke på, at der er uovervindelige problemer forbundet med at "omplante" Energi 21-fremskrivningen i ADAM-satellitsystemet, og der synes f.eks. heller ikke at være tale om, at Energi 21-referenceforløbet – set med ADAM-satellitsystemets briller – er specielt "overoptimistisk" mht. energieffektiviteter.

Det skal dog siges, at det kræver noget håndarbejde at oversætte f.eks. Energi 21 til de relevante variabler i ADAM-satellitmodellen. Dette skyldes bl.a. forskelle i variabelafgrænsninger og aggregeringsniveauer, og "oversættelsen" af Energi 21 kan derfor kun opfattes som et forsøg på at efterligne *hovedtendenserne* i denne. Til gengæld vil det så herefter – som nævnt tidligere – være nemt at give et tentativt bud på, hvad ændrede samfundsmæssige forudsætninger (f.eks. i form af en ny ADAM-fremskrivning fra Finansministeriet) ville betyde for Energi 21-referenceforløbet.

---

<sup>90</sup>Det skal dog nævnes, at effektiviteten i Energistyrelsens model både udgøres af et "teknologiindeks" og et "adfærdsindeks". Hvis "adfærden" i meget høj grad er styret af prisudviklingen, kan man sige, at Energistyrelsens adfærdsindeks er indbygget i ADAM-satellitmodellens energirelationer via deres prisfølsomhed. I så fald kan de beregnede trender fortolkes som rene teknologiindeks.

## Appendiks A.2.1. Mere om aggregerings- og indeksproblemer

I kapitel 2.1 blev der givet en kort gennemgang af problemet med at aggregere forskellige energityper. I dette afsnit bliver problemerne uddybet ud fra en teoretisk synsvinkel, med det formål at kunne sige noget om, *hvordan* man bedst aggregerer forskellige energityper, og herunder *om* det overhovedet giver mening at gøre dette.<sup>91</sup>

I analysen ses der udelukkende på aggregering af faktorinputs i *virksomheder*, men resultaterne kan overføres direkte til problemstillingen vedrørende aggregering af *husholdningers* forbrugsgoder.

Det skal også nævnes, at der i dette appendiks antages følgende:

- At der er konstant skalaafkast i de produktionsfunktioner
- At tekniske fremskridt er såkaldt *faktorudvidende*, dvs. fungerer som effektivitetsindeks knyttet til de enkelte faktorer. Se evt. Danmarks Statistik (1996) s. 116-117 for detaljer om disse.

### 1. Problemstillingen

Problemstillingen kan anskueliggøres vha. følgende eksempel. Antag at der findes en virksomhed, som udelukkende bruger to typer energi ( $E_1$  og  $E_2$ ) og kapital ( $K$ ). Virksomhedens produktionsfunktion er da givet som

$$Y = F(E_1, E_2, K, t) \quad (1)$$

hvor  $Y$  er produktionen og  $t$  er et indeks, som fanger teknologiske fremskridt eller andre eksogene faktorer. Minimering af de samlede omkostninger,  $C = P_{E1}E_1 + P_{E2}E_2 + P_KK$ , givet produktionsfunktionen, giver følgende faktorefterspørgselsfunktioner:

$$Y = F(E_1, E_2, K, t) \quad (2)$$

$$Y = F(E_1, E_2, K, t) \quad (3)$$

$$K = K(Y, P_{E1}, P_{E2}, P_K, t) \quad (4)$$

<sup>91</sup>Det skal dog siges, at afsnittet har generel relevans i forbindelse med aggregering af virksomheders inputs (produktionsfaktorer) – og det vil f.eks. også være relevant for problemstillingen om, hvorledes man aggregerer forskellige typer arbejdskraft (arbejdere, funktionærer osv.) eller forskellige typer kapital (bygninger, anlæg, maskiner, transportmidler osv.).

Det skal også understreges, at det ikke forsøges at sige noget om eventuelle målefejl i f.eks. nationalregnskabet opgørelser. Det er klart, at det kan være vanskeligt at få målt kvalitetsforbedringer rigtigt (standardeksemplet: de nye hurtige computere), således at nationalregnskabet (og andre) sikkert vil have en tendens til at undervurdere de sande udviklinger i de mængder, der måles. Så det antages i det følgende, at der i produktionsprocessen bruges nogle ensartede "dimser", med hvilke man producerer nogle ligeså ensartede "dimser". Dimserne antages at have én og kun én kvalitet, og man måler således mængdeudviklingerne ved simpelthen at tælle dem.

Endelig skal det nævnes, at der i dette appendiks kun ses på mængdeindeks. Teorien for prisindeks er dog parallel (dual) hertil. Der henvises i øvrigt til Diewert (1993).

Problemstillingen er nu den, at vi ikke er interesserede i at estimere så mange ligninger, f.eks. pga. mangel på observationer eller fordi vi simpelthen ikke kan overskue et så stort system. For eksempel ville nok de færreste drømme om at estimere faktorefterspørgsel med alle nationalregnskabets 25 energityper inde som selvstændige produktionsfaktorer.<sup>92</sup>

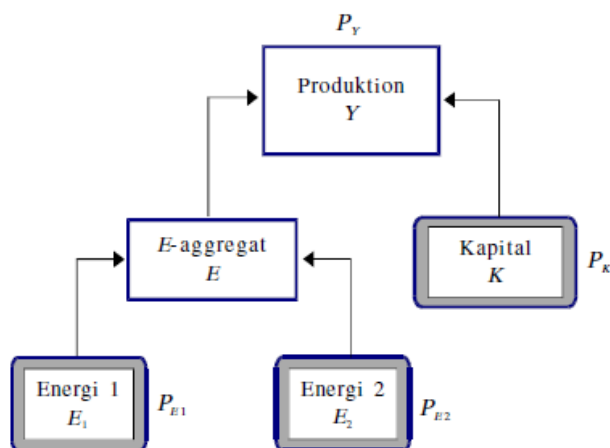
Løsningen på dette problem er at lægge nogle af produktionsfaktorerne – f.eks.  $E_1$  og  $E_2$  – sammen på forhånd, dvs. *aggregere*. For overhovedet at kunne gøre dette, må det teoretisk set kræves, at  $E_1$  og  $E_2$  indgår på en bestemt måde i virksomhedernes produktionsproces. Det kræves nærmere bestemt, at produktionsfunktionen  $F(\cdot)$  er *separabel*, dvs. kan skrives op som følger:

$$Y = F( E, K, t ), \quad E = G( E_1, E_2, t ) \tag{5}$$

Denne produktionsfunktion kan opfattes som værende i to trin, som den nedenstående figur illustrerer:

**Figur 1. Illustration af en separabel produktionsfunktion**

41



I figuren ”produceres” (vha. under-produktionsfunktionen  $G(\cdot)$ ) først et mellemprodukt (energiaggregat),  $E$ , som så sidenhen sammen med  $K$  danner produktionen,  $Y$ , ved hjælp af over-produktionsfunktionen  $F(\cdot)$ . Hvis man på forhånd kendte funktionsformen  $G(\cdot)$ , kunne man nemt danne energiaggregatet ved hjælp af ligningen  $E = G(E_1, E_2, t)$ . Og prisen på det ville kunne fås som  $P_E = (P_{E1}E_1 + P_{E2}E_2)/E$ , hvorefter man kunne estimere følgende simple faktorefterspørgselssystem:

$$E = E( Y, P_E, P_K, t ) \tag{6}$$

$$K = K( Y, P_E, P_K, t ) \tag{7}$$

Men problemet er naturligvis, at vi ikke kender den sande aggregeringsfunktion,  $E = G(E_1, E_2, t)$ , hvorfor vi på en eller anden måde må forsøge at approksimere den. Hvis  $E_1$  og  $E_2$

<sup>92</sup> Med én type kapital, pålagt konstant skalaafkast og fravær af tekniske fremskridt ville dette i en fleksibel funktionsform med konstant skalaafkast og fravær af tekniske fremskridt indebære estimation af  $(26+1)26/2 = 351$  parametre. Dette antal kan reduceres, hvis man pålægger separabilitet, men systemet ville alligevel blive prohibitivt stort.

f.eks. begge måles i Joule, ville en mulighed være at sige, at  $\bar{E} = E_1 + E_2$ , hvor  $\bar{E}$  er et approksimativt mål for det "sande" aggregerede energiforbrug,  $E$ . Dette kunne muligvis være en rimelig antagelse, hvis  $E_1$  og  $E_2$  var kul hhv. olie og kapitalapparatet,  $K$ , var en ovn, hvor man både kunne fyre med kul og olie.

Man kan imidlertid sagtens forestille sig, at 1 J kul ikke i økonomisk forstand "yder" lige så meget i produktionsprocessen (ovnen), som 1 J olie, f.eks. fordi kullet sviner og fylder og vejer mere end olien pr. J. Vi kunne derfor godt forestille os, at en bedre aggregeringsfunktion var noget i retning af  $= 0.90 \cdot E_1 + E_2$ , svarende til, at 1 J kul kun "yder" 90% af, hvad 1 J olie yder. Derved ville det marginale substitutionsforhold mellem kul og olie blive  $-dE_2/dE_1 = 0.90$ . Vi kender ikke på forhånd dette marginale substitutionsforhold, men estimerede man (2)-(4) ville disse ligninger give et bud på det ("afsløre" det).<sup>93</sup>

Der er imidlertid en anden måde at få det afsløret på, nemlig vha. forholdet mellem prisen på  $E_1$  og  $E_2$ . For en nødvendig betingelse for, at virksomheden minimerer omkostningerne,  $C = P_{E1}E_1 + P_{E2}E_2 + P_KK$ , er, at  $-dE_2/dE_1 = P_{E1}/P_{E2}$  for givet  $E$ . Således får vi det marginale substitutionsforhold afsløret af prisforholdet mellem de to energityper. Hvis prisen på 1 J kul,  $P_{E1}$ , historisk har været ca. 90 % af prisen på 1 J olie,  $P_{E2}$ , svarer dette til, at vi ved hjælp af de relative energipriser har fået afsløret det marginale substitutionsforhold mellem 1 J kul og 1 J olie til at være omkring 0.90.

### Hvorfor opstår indeksproblemet?

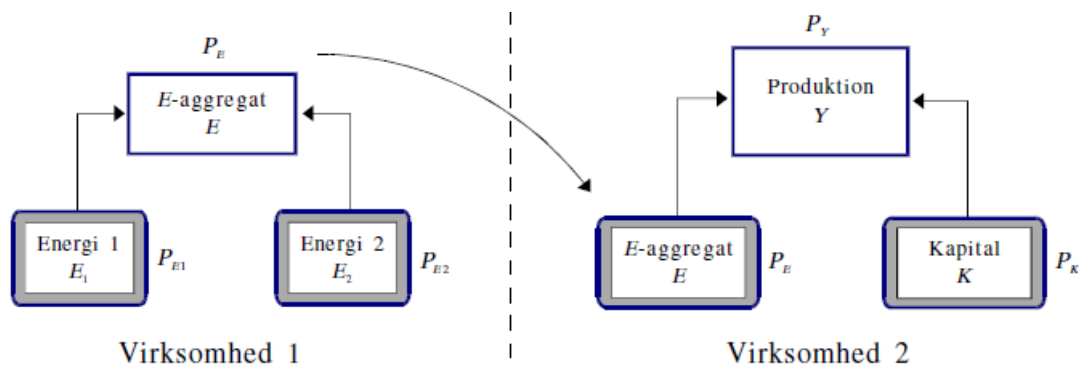
Som vist ovenfor kan der være mange gode (estimationsmæssige) grunde til, at man ønsker at aggregere f.eks. 25 energityper til et mindre antal. For at gøre dette, er man nødt til at antage, at produktionsprocessen er separabel (foregår trinvist som i figur 1), og dette kan ofte være en noget problematisk – men altså nødvendig – antagelse.

Men lad os alternativt forestille os, at virksomheden i figur 1 blev opdelt i to selvstændige virksomheder. Den ene producerer et energiaggregat (dvs. blander kul og olie sammen til et nyt "energiprodukt"), mens den anden producerer keramik vha. nogle ovne, som bruger energiaggregatet som brændsel.

I dette tilfælde ville det være nemt at opgøre størrelsen af energiaggregatet, for dette ville blot svare til at opgøre størrelsen af produktionen i den første virksomhed (underleverandøren). Og prisen på aggregatet ville kunne fås som markedsprisen på dette, dvs. det, som den anden virksomhed betaler for det. Hvis vi forudsætter, at underleverandøren ikke har nogen "ren profit", vil denne pris være  $P_E = (P_{E1}E_1 + P_{E2}E_2)/E$ .

<sup>93</sup> I virkeligheden er det marginale substitutionsforhold ikke konstant, så vi antager her, at det er næsten konstant.



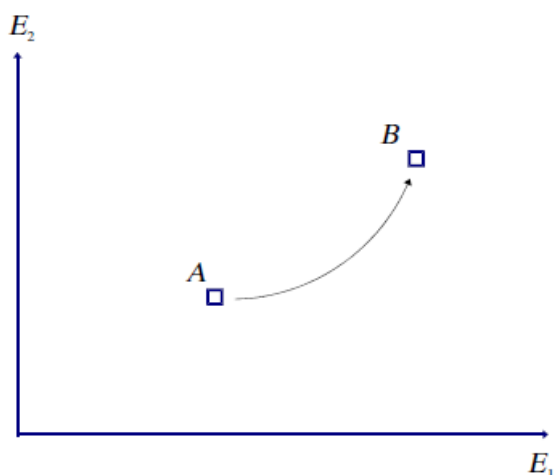
**Figur 2. Produktionsprocessen delt i to selvstændige virksomheder**

42

I en sådan opdelt verden ville der derfor ikke være grund til at bekymre sig om indeksteori. Verden er imidlertid ikke opdelt på den måde, da de aggregater, vi er interesserede i at opgøre, for det meste "produceres" internt i de enkelte virksomheder, i stedet for at blive solgt på et marked.

### Indeksteoriens grundidé

Som vist ovenfor må vi forestille os, at der internt i en virksomheds produktionsproces "produceres" aggregater af forskellige inputs. For eksempel kunne man forestille sig, at kul og olie ( $E_1$  og  $E_2$ ) blev "blandet sammen" til et energiaggregat internt i en virksomhed, og det er denne under-produktionsproces ■ dvs. aggregeringsfunktionen  $G(\bullet)$  ■ vi vil se på i det følgende. Hvorledes sammenvejes  $E_1$  og  $E_2$  til et energiaggregat,  $E$ ? Lad os først forestille os, at både  $E_1$  og  $E_2$  stiger (i figuren: fordobles):

**Figur 3. Fordobling af  $E_1$  og  $E_2$** 

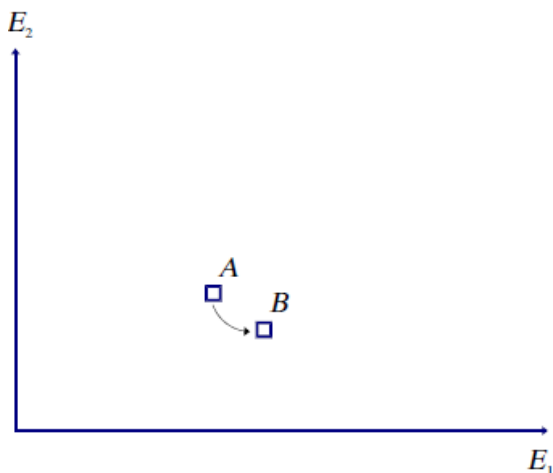
43

Hvad sker der nu med energiaggregatet,  $E$ , når vi går fra A til B? Det falder lige for at sige, at det nok også fordobles, og dette er da også tilfældet, hvis der er konstant skalaafkast i under-produktionsfunktionen  $G(\cdot)$ , hvilket vi forudsætter i dette appendiks. Forudsat dette er der ingen problemer med rene *skalaeffekter*. Stiger begge inputs med  $x$  %, stiger

aggregatet også med  $x\%$ .<sup>94</sup>

Det er straks værre, når der sker ændringer i *sammensætningen* af  $E_1$  og  $E_2$ , som det ses nedenfor:

**Figur 4. En stigning i  $E_1$  og et fald i  $E_2$**



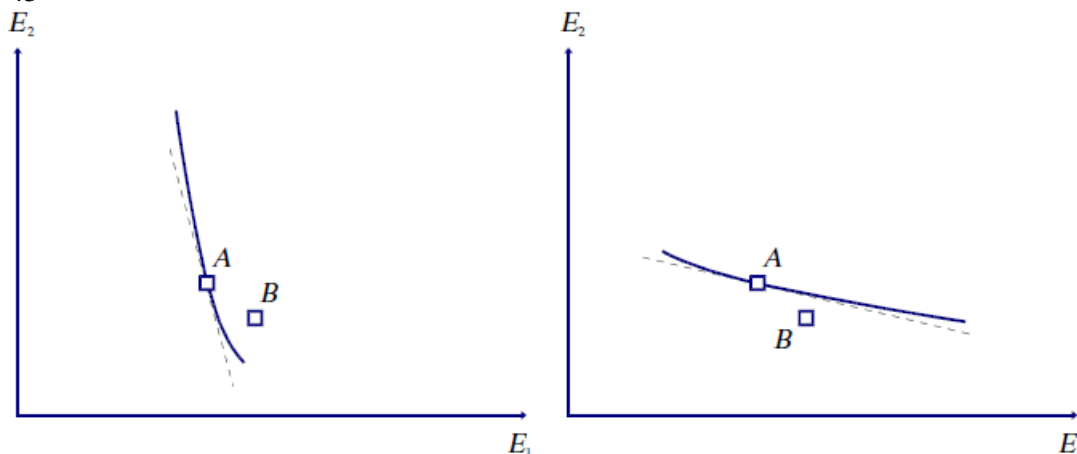
44

Hér er der ikke noget oplagt svar på, hvad der sker med energiaggregatet, når vi går fra A til B. Der bruges mere  $E_1$  og mindre  $E_2$ , og energiaggregatet vil kun stige, hvis faldet i  $E_2$  mere end opvejes af stigningen i  $E_1$ . Om dette er tilfældet, kan kun besvares, hvis vi kender substitutionsforholdet mellem  $E_1$  og  $E_2$ ; dvs. hvor meget  $E_2$  der skal til for at kompensere for en enhed  $E_1$ .

Hvis  $E_1$  er meget vanskeligt at erstatte, svarende til, at der skal mange enheder  $E_2$  til for at erstatte en enhed  $E_1$ , fås en isokvant som i den venstre figur nedenfor:

**Figur 5. Forskellige substitutionsforhold mellem  $E_1$  og  $E_2$**

45



<sup>94</sup> Man kan vise, at skalaeffekter i subproduktionsfunktionen er uproblematisk, givet at denne er *homotetisk*, dvs. at der gælder følgende:  $E = G(E_1, E_2, t) \Psi G(\lambda E_1, \lambda E_2, t) = H(\lambda) \cdot E$ . I en sådan produktionsfunktion forvrider forholdet mellem  $E_1$  og  $E_2$  ikke af størrelsen af produktionen,  $E$ , således at den såkaldte ekspansionsvej er lineær. Der gælder specielt, at der er konstant skalaafkast, hvis  $H(\lambda) = \lambda$ .

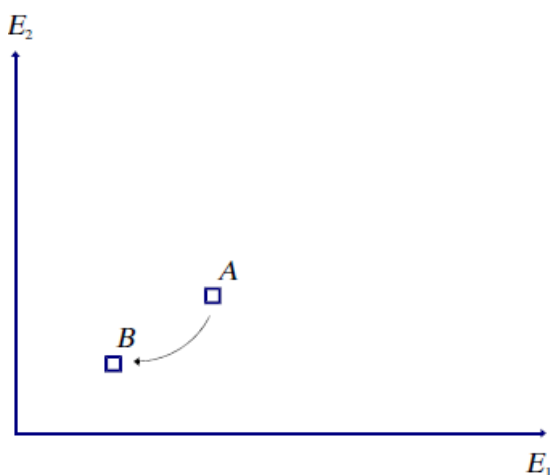
46

I den højre figur er det  $E_2$ , som er vanskeligt at erstatte, og det ses af figureerne, at i den første situation stiger energiaggregatet,  $E$ , ved at gå fra A til B, mens  $E$  falder i den anden situation. Dette følger af, at B i den venstre figur ligger over den isokvant, som går igennem A, mens B i den højre figur ligger under.

Det afgørende for at vurdere, om  $E$  stiger eller falder ved bevægelsen fra A til B, er således substitutionsforholdet mellem  $E_1$  og  $E_2$ , og heldigvis er det sådan, at dette substitutionsforhold (i producentens optimum) er lig forholdet mellem priserne på  $E_1$  og  $E_2$ , idet isokostkurvens (den stiplede linje) hældning i punktet A er den samme som isokvanten. Hvis punkterne A og B således ikke ligger for langt fra hinanden, kan man ■ når man vil sige noget om, hvorvidt  $E$  er steget eller faldet ■ næsten lige så godt se på, om B ligger over eller under isokostkurven, som at se på, om B ligger over eller under isokvanten.

Endelig er der problemet om, hvad man gør, hvis der er tekniske fremskridt i under-produktionsfunktionen  $G(E_1, E_2, t)$ ? Vi kunne f.eks. forestille os et teknisk gennembrud, som gjorde, at man kunne producere aggregatet  $E$  med kun den halve brug af  $E_1$  og  $E_2$ . Et sådant teknisk fremskridt ville svare til, at punktet B flytter indad, som det ses i den følgende figur:

**Figur 6. Tekniske fremskridt**



47

I punktet B bruges der kun halvt så meget  $E_1$  og  $E_2$  som i A, mens produktionen af energiaggregatet,  $E$ , er uforandret. Umiddelbart ser dette ud til at være et problem, for hvis forbruget af begge produktionsfaktorer halveres, vil der i alle gængse indeksformler ske det, at indekset for det aggregerede energiforbrug,  $\bar{E}$ , også halveres. Dette er jo også, hvad der ville ske i medfør af figur 3, og kommer således ikke til at afspejle den "sande" størrelse,  $E$ , hvis der er tekniske fremskridt i under-produktionsprocessen.

Imidlertid er dette ikke noget problem, hvis de tekniske fremskridt i under-produktionsfunktionen ikke er faktorforvridende, svarende til, at de ikke ændrer *forholdet* mellem  $E_1$  og  $E_2$ . Sådanne (Hicks-neutrale) tekniske fremskridt "fanges" i stedet i den overordnede produktionsfunktion,  $Y = F(E, K, t)$ , hvor  $t$  jo også optræder. Mere om dette senere.

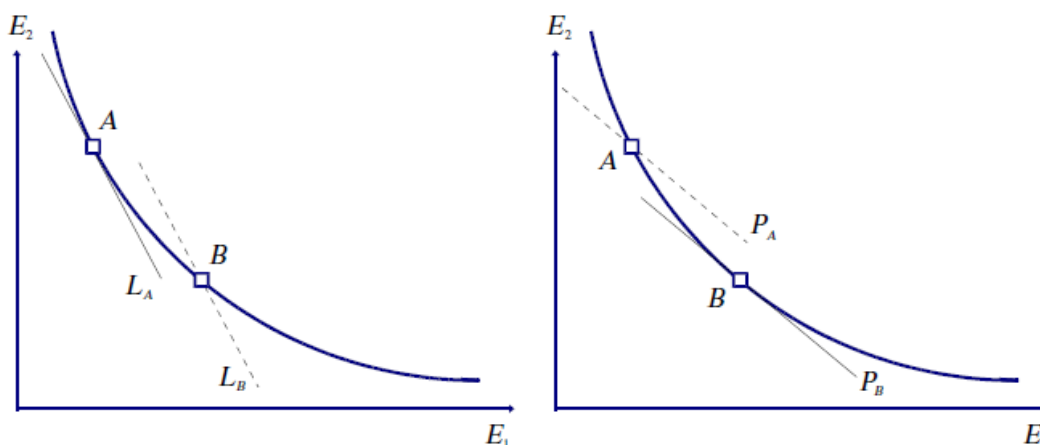
## 2. Mere konkret om forskellige måder at indeksere på

Ovenfor blev indeksteoriens grundproblemer opridset, og det blev vist, at det som skaber aggregeringsproblemerne er *sammensætningsforskydninger* i de disaggregerede produktionsfaktorer. Virkninger af ændringer i forholdene mellem de disaggregerede produktionsfaktorer kan imidlertid approksimeres ved at vægte med priserne på disse, idet faktorpriserne afslører, hvor meget produktionsfaktorerne "yder" i produktionsprocessen.

Der er mange måder at udnytte denne grundlæggende ide på, og de historisk hyppigst anvendte måder at gøre dette på har været at benytte enten et *Laspeyres-* eller *Paasche-*mængdeindeks. I Laspeyres-indekset udnævnes et år til at være basis, og størrelsen af alle indgående produktionsfaktorer vægtes derefter med priserne på disse i det pågældende år. Alternativt kan man bruge et Paasche-indeks, hvor man i stedet bruger priserne i det sidst observerede år.<sup>95</sup>

Vi kan forestille os successive perioder, *A* og *B*, hvor der produceres den samme mængde, *E*, men hvor forskellige relative priser har medført, at der i situation *A* bruges mere *E*<sub>2</sub> end i situation *B*.

**Figur 7. Indeksberegning, Laspeyres hhv. Paasche**



4849

Traditionelt aggregeres *E*<sub>1</sub> og *E*<sub>2</sub> til et "*E*-aggregat", , vha. enten (a) et Laspeyres-indeks, hvor priserne i *A* bruges som vægte, når mængdeudviklingerne skal vejes sammen, eller (b) et Paasche-indeks, hvor priserne i *B* bruges som vægte.

$$\tilde{E}_{\text{Laspeyres}}^B = \frac{P_{E1}^A E_1^B + P_{E2}^A E_2^B}{P_{E1}^A E_1^A + P_{E2}^A E_2^A} \quad (8)$$

$$\tilde{E}_{\text{Paasche}}^B = \frac{P_{E1}^B E_1^B + P_{E2}^B E_2^B}{P_{E1}^B E_1^A + P_{E2}^B E_2^A} \quad (9)$$

Linjerne i de to figurer angiver kombinationer af *E*<sub>1</sub> og *E*<sub>2</sub>, hvorom det gælder, at

<sup>95</sup> Det skal her fremhæves, at der tales om *mængdeindeks*. For at gøre forvirringen optimal, hedder det til et Laspeyres-mængdeindeks svarende (duale) prisindeks et Paasche-prisindeks og vice versa.

Laspeyres- hhv. Paasche-indekset ikke ændrer sig (en slags "iso-indeks-kurver"). Af figuren ses det, at et Laspeyres-indeks vil indebære, at -indekset er større i  $B$  end i  $A$ , idet linjen  $L_B$  ligger over linjen  $L_A$ . Og Paasche-indekset vil være faldet fra situation  $A$  til  $B$ , idet  $P_B$  ligger lavere end  $P_A$ .

Begge mængdeindeks giver noget forkert, da det, de skulle måle -  $E$  - ikke er ændret fra situation  $A$  til  $B$ . Med et Laspeyres-indeks bliver betydningen af stigningen i  $E_1$  overvurderet, og betydningen af faldet i  $E_2$  undervurderet, fordi  $E_1$  og  $E_2$  vægtes med en hhv. for stor og for lille pris - nemlig priserne i udgangssituationen. Implicit antages det nemlig, at marginalprodukterne af  $E_1$  og  $E_2$  er uændrede, og dette er jo netop ikke tilfældet, når der substitueres fra den ene faktor til den anden. I "bevægelsen" fra  $A$  til  $B$  bliver  $E_1$ 's marginalprodukt f.eks. mindre og mindre, efterhånden som der bruges mere og mere  $E_1$ , og dette fald i marginalproduktet tager Laspeyres-formlen ikke hensyn til. Det samme - blot med modsat fortegn - kunne siges om Paasche-formlen, som bruger priserne i slutperioden som vægte. Ingen af disse metoder giver det korrekte: nemlig at  $E$ -aggregatet ikke ændres ved at gå fra  $A$  til  $B$ .

Sandheden ligger altså midt imellem Laspeyres-indeksets overvurdering og Paasche-indeksets undervurdering, og faktisk kan man vise, at det sande indeks altid vil ligge mellem de to førnævnte indeks.<sup>96</sup> Problemet opstår altså, fordi de vægte, man vægter med - nemlig priserne i enten start- eller slutsituationen - kun afspejler det marginale substitutionsforhold i netop start- eller slutsituationen. For så snart man begynder at bruge mere af én faktor relativt til en anden, bliver afkastet af denne faktor ifølge standard-neoklassisk teori mindre og mindre. Dette ville ikke være noget særligt problem, hvis punkterne  $A$  og  $B$  lå meget tæt på hinanden, for så ville den fejl, man begik ved at bruge et af de to indeks være forsvindende. Men når  $A$  og  $B$  ligger langt fra hinanden, svarende til, at de relative priser i  $A$  og  $B$  er meget forskellige, får vi store problemer med de to indeksformler.

Det falder derfor lige for at foreslå et eller andet gennemsnit af de to formler, og et sådant gennemsnit er da også præcis, hvad et *Fisher*-indeks er (hvor der tages et geometrisk gennemsnit af de to indeks):

$$\tilde{E}_{\text{Fisher}}^B = \left[ \tilde{E}_{\text{Laspeyres}}^B \tilde{E}_{\text{Paasche}}^B \right]^{0.5} \tag{10}$$

Man kan vise, at dette indeks giver eksakt det rigtige resultat, hvis isokvanten er givet ved produktionsfunktionen  $E = (XNAX)^{0.5}$ , hvor  $X$  er en vektor af produktionsfaktorer og  $A$  er en symmetrisk matrix med parametre. En sådan produktionsfunktion ■ med konstant skalaafkast og uden tekniske fremskridt ■ er fleksibel i den forstand, at den i et givet punkt kan efterligne en hvilken som helst produktionsfunktion, hvad sidstnævntes første- og andenafledede angår.

Et andet populært indeks er Törnqvist-indekset, som er givet ved

$$\tilde{E}_{\text{Törnqvist}}^B = C^B / C^A - \prod_{i=1}^n \left( \frac{P_i^A}{P_i^B} \right)^{\frac{s_i^A + s_i^B}{2}} \tag{11}$$

<sup>96</sup>Givet konstant skalaafkast og fravær af tekniske fremskridt i under-produktionsfunktionen  $G(\cdot)$ .

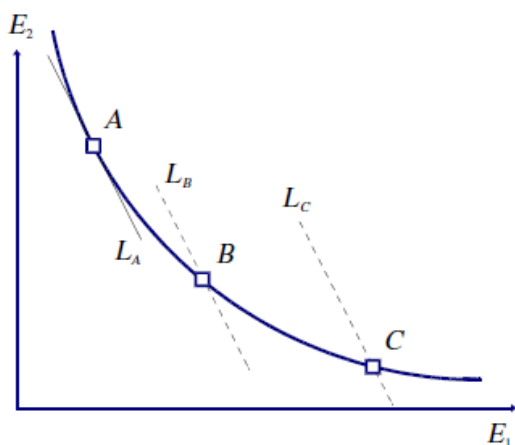
hvor  $C^A$  og  $C^B$  er de samlede omkostninger i situation  $A$  og  $B$ , og  $s_i^A$  og  $s_i^B$  er omkostningsandele for faktor  $i$  i de to situationer. Man kan vise, at dette indeks er eksakt, hvis isokvanten er givet ved en translog-omkostningsfunktion med konstant skalaafkast og uden tekniske fremskridt. Translogfunktionen er ligeledes fleksibel i ovennævnte forstand.

Både Fisher- og Törnqvist-indeksene kaldes "superlative", da de begge har den nævnte approksimationsegenskab. Man bemærker om alle de viste indeks, at de indebærer konstant skalaafkast, da mængdeindekset fordobles, hvis de indgående mængder fordobles i forhold til udgangssituationen. Desuden ■ og væsentligt ■ bemærkes det, at det kun er de *relative* priser, som betyder noget for sammenvejningen. Ganger man alle priser i situation  $A$  og  $B$  med 2, fås præcis det samme mængdeindeks som før. Dette skyldes, at det kun er *hældningen* på isokvanten (det marginale substitutionsforhold) i to situationer, som bruges til noget.

### Kædeindeks?

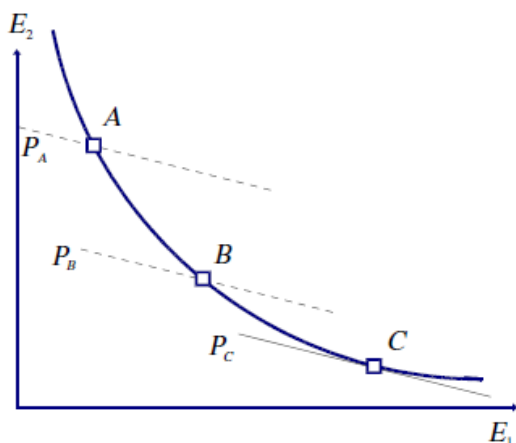
I virkelighedens verden er der naturligvis mere end to observationer at sammenligne. Med et Laspeyres fastbasisindeks og tre observationer,  $A$ ,  $B$  og  $C$ , får man så følgende:

**Figur 8. Almindeligt Laspeyres-indeks**



50

Ikke overraskende ses det, at der i punktet  $C$  - hvor vi antager, at faktorpriserne har ændret sig endnu mere end fra  $A$  til  $B$  - er endnu større problemer med Laspeyres-formlen end i punktet  $B$ . Dette skyldes, at der med Laspeyres-formlen bruges  $A$ -priser til at sammenveje  $E_1$  og  $E_2$ . Ligervis giver Paasche-indekset problemer:

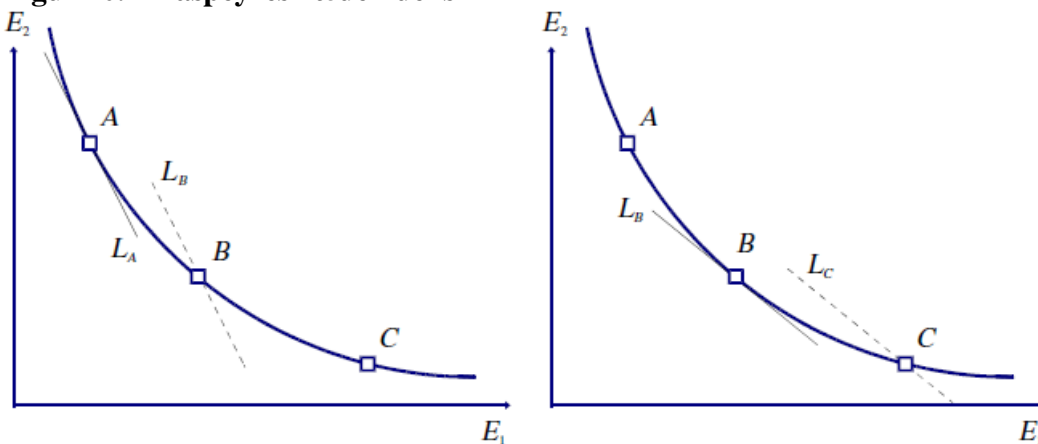
**Figur 9. Almindeligt Paasche-indeks**

51

Nu bruges der *C*-priser til at sammenveje  $E_1$  og  $E_2$  med, og af figuren ses det, at  $E$ -aggregatet ifølge Paasche-formlen er *meget* mindre i  $C$ , end i  $A$ , mens forskellen på Paasche-indeksene i  $C$  og  $B$  er en hel del mindre. Altså et lige så stort problem, blot med modsat fortegn.

Problemerne med disse formler skyldes, at der i begge tilfælde bruges vægte, som markerer yderpositionerne,  $A$  og  $C$ . (Hvis man i stedet brugte  $B$ -vægte, ville det se knapt så slemt ud). Endvidere er der det problem med Paasche-indekset, at vægtene hele tiden skifter, når der kommer en ny observation til, således at man - som det hedder i indekslitteraturen - hele tiden ville skulle skrive den økonomiske historie om. Med  $C$ -vægte (figur 9) er der således meget større forskel på -indekset i  $A$  og  $B$ , end med  $B$ -vægte (højre del af figur 7). Med løbende vægte (Paasche - svarende til, at man hele tiden bruger priserne i det *seneste* observerede år som vægte) vil det historiske fald i -indekset fra  $A$  til  $B$  blive større, når det opgøres i periode 3 (hvor punktet  $C$  kommer til), end da det blev opgørt i periode 2 (hvor punktet  $B$  kommer til). Derfor skal den økonomiske historie hele tiden skrives om, hvis der bruges løbende (Paasche) vægte.

Oplagt er det derfor at lave et *kædeindeks*. I et kædeindeks opgør man ændringen i  $E$  successivt ved først at sammenligne  $A$  med  $B$ , og så  $B$  med  $C$  osv. - i stedet for at sammenligne  $A$  med  $B$  og  $A$  med  $C$  (Laspeyres) eller  $A$  med  $C$  og  $B$  med  $C$  (Paasche). Nedenfor er der vist et Laspeyres-kædeindeks, hvor der altså bruges priserne i *startsituationen* i hver af de parvise (successive) sammenligninger.

**Figur 10. Laspeyres kædeindeks**

52

I den venstre figur får vi den tidligere viste overvurdering af størrelsen af  $E$ -aggregatet i  $B$  i forhold til i  $A$ . Og i den højre figur får vi også en overvurdering af størrelsen af  $E$ -aggregatet i  $C$  i forhold til i  $B$ . Punktet  $C$  i forhold til  $A$  bliver så produktet af de to overvurderinger, men dette er *meget bedre* end overvurderingen i figur 8. Og hvis man forestillede sig, at der var uendeligt mange observationer mellem  $A$  og  $C$ , ville overvurderingen faktisk forsvinde. (Man kunne lave en tilsvarende figur for et Paasche-kædeindeks.)

Der er mindst to fordele ved kædeindeks:

- Hvis man forestiller sig, at de relative priser udvikler sig trægt, vil der være en tendens til, at to tidsligt efterfølgende observationer vil ligge tæt på hinanden på isokvanten. Og dermed bliver aggregeringsfejlen mindre, end med de traditionelle indeks med fast basisår (f.eks. traditionel Laspeyres, figur 8) eller løbende vægte (f.eks. traditionel Paasche, figur 9).
- Brug af kædeindeks betyder *ikke*, at den økonomiske historie hele tiden skal skrives om. De historiske vægte er, som de er og ændres ikke ved, at der kommer nye observationer til (dette gælder også et Paasche-kædeindeks).

Ulempen ved kædeindeksene er bl.a., at de måske er lidt vanskeligere at forstå, og desuden har de været kritiseret for, at en bevægelse fra  $A$  til  $B$  og så tilbage igen til  $A$  ikke ville resultere i, at -indekset fik den samme værdi, som i udgangssituationen. (Det gør det med et traditionelt Laspeyres-indeks, men i øvrigt heller ikke med et traditionelt Paasche-indeks).

## Konklusion

Ved aggregering af produktionsfaktorer opstår indeksproblemet fordi det, som skal aggregeres, bliver aggregeret internt i virksomhedernes produktionsproces (jf. figur 1), således at størrelsen af energiaggregatet ikke kan måles. Dette ville være tilfældet, hvis energiaggregatet blev solgt på et marked (jf. figur 2).

Givet at der er konstant skalaafkast og fravær af tekniske fremskridt i den del-proces (under-produktionsfunktion), som producerer energiaggregatet internt i virksomheden, vil det sande energiaggregat,  $E$ , kunne approksimeres udmærket vha. f.eks. et Fisher- eller Törnqvist-kædeindeks. Helt generelt virker det som om, at kædeindeks i praksis må være at foretrække for ikke-kædede indeks, uanset om man vælger et Fisher-, Törnqvist-, eller et helt tredje kædeindeks (det kunne være et Laspeyres- eller Paasche-kædeindeks for den sags skyld).<sup>97</sup>

Hvis der er tekniske fremskridt, f.eks. svarende til, at både  $E_1$  og  $E_2$  blev 1% mere effektive hvert år, ville det give under-produktionsfunktionen:

<sup>97</sup>Hvis der ikke er konstant skalaafkast, bliver selve indekset, , forkert i den forstand, at det ikke vil være det, man kunne observere på et marked, hvis virksomheden blev delt op i to. Men givet at under-produktionsfunktionen,  $G(\cdot)$ , er homotetisk, vil dette - som i tilfældet med Hicks-neutrale tekniske fremskridt - blive "fanget" i det overordnede produktionsfunktion,  $F(\cdot)$ . Hvis der således var stigende skalaafkast i  $G(\cdot)$ , f.eks. svarende til, at et fordoblet input af  $E_1$  og  $E_2$  gav en firedoblet produktion af  $E$ , ville dette blot modsvares af, at ville blive "korrigeret" for dette i over-produktionsfunktionen  $F(\cdot)$ :  $Y = F(K^2, K, t)$ .



$$E = G(1.01^t E_1, 1.01^t E_2) = 1.01^t \cdot G(E_1, E_2) \quad (12)$$

givet at der er konstant skalaafkast. Dette ville så blot kunne oversættes til følgende overproduktionsfunktion:

$$Y = F(1.01^t \tilde{E}, K) \quad (13)$$

hvor der her er antaget, at der ikke er tekniske fremskridt i  $K$ . De Hicks-neutrale tekniske fremskridt i underproduktionsfunktionen "fanges" altså i overproduktionsfunktionen.

Problemer med at bruge indeks:

- For det første er der spørgsmålet om, hvorvidt det overhovedet giver mening at antage, at de pågældende faktorinputs er separable. Forskellige energityper bruges typisk i forskellige maskiner, hvilket ikke stiller separabilitetsantagelsen i noget særligt gunstigt lys.
- For det andet kræver brugen af indeks, at de tekniske fremskridt i underproduktionsfunktionen er ikke-faktorforvridende (svarende til, at effektiviteterne i underenergityperne udvikler sig ens). Dette er heller ikke nogen rar antagelse.<sup>98</sup>
- For det tredje kræver anvendelsen af de forskellige indeksformler, at producenterne har valgt den faktorsammensætning, der minimerer deres omkostninger. Dette kan der være mange grunde til, at de ikke har, f.eks. som følge af usikkerhed, kapitaltilpasningsomkostninger, markedsimperfektioner, rationering osv.

Hvis der bruges indeks, er Fisher/Törnqvistindeks bedre end Laspeyres/Paasche-indeks, men mere udviklede. Kædeindeks er i praksis bedre end indeks med faste vægte (Laspeyres) eller løbende vægte (Paasche). Hvis man alligevel vælger et traditionelt Laspeyres-indeks, bør man vælge et basisår, hvor de relative faktorpriser er så "gennemsnitlige" som muligt. I energimæssig sammenhæng er det ikke så heldigt at bruge 1980 som basisår, da de relative energipriser i 1980 ikke var særligt repræsentative for perioden 1966-95 som helhed. Af figur 1.3.a i kapitel 1 ses, at 1980 faktisk var det år, hvor forholdet mellem olie- og kulpris var størst i hele perioden.

<sup>98</sup> Og ud over dette kræves der, at underproduktionsfunktionen er homotetisk. Dette er opfyldt med vores stærkere antagelse om, at der er konstant skalaafkast (i øvrigt både i både  $G(\cdot)$  og  $F(\cdot)$ ). Denne antagelse er nok mindre problematisk end, at de tekniske fremskridt skulle være ikke-forvridende.

### 3. Teoretisk uddybning af indeksproblemet

I det følgende ses på konkrete ligninger for et forholdsvis simpelt eksempel: en trefaktor nestet CES-produktionsfunktion med konstant skalaafkast og faktorudvidende tekniske fremskridt. Lad produktionen,  $Y$ , være givet som funktion af produktionsfaktorerne  $E_1$ ,  $E_2$  og  $K$  og effektivitetsindeksene  $e_{E1}$ ,  $e_{E2}$  og  $e_K$ , på følgende måde:

$$E = \left[ \delta_1 (e_{E1} E_1)^{\frac{\sigma_1-1}{\sigma_1}} + (1-\delta_1) (e_{E2} E_2)^{\frac{\sigma_1-1}{\sigma_1}} \right]^{\frac{\sigma_1}{\sigma_1-1}}, \quad \sigma_1 > 0, 0 < \delta_1 < 1, \quad (14)$$

$$Y = \kappa_2 \left[ \delta_2 E^{\frac{\sigma_2-1}{\sigma_2}} + (1-\delta_2) (e_K K)^{\frac{\sigma_2-1}{\sigma_2}} \right]^{\frac{\sigma_2}{\sigma_2-1}}, \quad \sigma_2 > 0, 0 < \delta_2 < 1. \quad (15)$$

Her er  $\sigma$ 'erne substitutionselasticiteter, mens  $\delta$ 'er ofte kaldes "fordelingsparametre". De faktorudvidende tekniske fremskridt,  $e_{E1}$ ,  $e_{E2}$  og  $e_K$ , vil typisk afhænge af tiden,  $t$ , f.eks. på følgende måde:

$$e_i = \exp(\omega_i t), \quad i = E1, E2, K \quad (16)$$

For nemheds skyld kunne man antage, at  $t$  var lig 0 i f.eks. 1980, da effektivitetsindeksene derved alle bliver lig 1 i dette år (*niveauet* for effektivitetsindeksene er ligegyldigt). Man kunne også tilføje  $t^2$  eller andre ting til effektivitetsindeksene, men for dette formål er det fuldt tilstrækkeligt at antage, at trenderne er "lineære".

Det bemærkes, at produktionsfunktionen er svagt separabel i  $K$  og resten, da der først "produceres" mellemproduktet  $E$  (et " $E$ -aggregat", som er en rent teknisk hjælpevariabel), som så derefter kombineres med  $K$  for at danne produktionen,  $Y$ . Dette kunne man kalde en " $(E_1 E_2)K$ -nestningsstruktur". En sådan produktionsfunktion giver følgende faktorefterspørgsler:

$$E_1 = \frac{E}{e_{E1}} - \delta_1^{\frac{\sigma_1}{1-\sigma_1}} \left[ \left( \frac{P_{E2} / e_{E2}}{P_{E1} / e_{E1}} \right)^{1-\sigma_1} \left( \frac{1-\delta_1}{\delta_1} \right)^{\sigma_1} + 1 \right]^{\frac{\sigma_1}{1-\sigma_1}} \quad (17)$$

$$E_2 = \frac{E}{e_{E2}} (1-\delta_1)^{\frac{\sigma_1}{1-\sigma_1}} \left[ \left( \frac{P_{E1} / e_{E1}}{P_{E2} / e_{E2}} \right)^{1-\sigma_1} \left( \frac{\delta_1}{1-\delta_1} \right)^{\sigma_1} + 1 \right]^{\frac{\sigma_1}{1-\sigma_1}} \quad (18)$$

$$K = \frac{1}{e_K} \frac{Y}{\kappa_2} (1-\delta_2)^{\frac{\sigma_2}{1-\sigma_2}} \left[ \left( \frac{P_E}{P_K / e_K} \right)^{1-\sigma_2} \left( \frac{\delta_2}{1-\delta_2} \right)^{\sigma_2} + 1 \right]^{\frac{\sigma_2}{1-\sigma_2}} \quad (19)$$

med

$$E = \frac{Y}{\kappa_2} - \delta_2^{\frac{\sigma_2}{1-\sigma_2}} \left[ \left( \frac{P_K / e_K}{P_E} \right)^{1-\sigma_2} \left( \frac{1-\delta_2}{\delta_2} \right)^{\sigma_2} + 1 \right]^{\frac{\sigma_2}{1-\sigma_2}} \quad (20)$$

$$P_E = \left[ \delta_1^{\sigma_1} \left( \frac{P_{E1}}{e_{E1}} \right)^{1-\sigma_1} + (1-\delta_1)^{\sigma_1} \left( \frac{P_{E2}}{e_{E2}} \right)^{1-\sigma_1} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_1}} \quad (21)$$

Produktionsfunktionen givet ved (1)-(2) er den "sande" produktionsfunktion, som genererer vores data for  $E_1$ ,  $E_2$  og  $K$  givet faktorpriserne  $P_{E1}$ ,  $P_{E2}$  og  $P_K$ , produktionen,  $Y$ , og de otte parametre i CES-funktionerne,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $\delta_1$ ,  $\delta_2$ ,  $\kappa_2$ ,  $\omega_{E1}$ ,  $\omega_{E2}$  og  $\omega_K$ . Disse parametre ville man kunne estimere vha. de tre ligninger (17)-(19) med (20)-(21) indsat.

Problemet opstår, når man vil forsøge at lægge nogle af produktionsfaktorerne sammen på forhånd (dvs. aggregere) for at reducere antallet af variabler og parametre. Vedrørende det ovenstående eksempel er det nemt nok at estimere et tre-faktor CES-faktorefterspørgselssystem, men lad os nu for eksemplets skyld antage, at det er for uoverskueligt, og at man derfor gerne vil slå  $E_1$  og  $E_2$  sammen til en ny variabel ved navn  $\tilde{E}$ , således at man først kunne estimere substitutionen mellem  $\tilde{E}$  og  $K$ , og så senere underopdele  $\tilde{E}$  i  $E_1$  og  $E_2$ .

Indtil videre siger vi ikke noget om, hvordan  $\tilde{E}$  fremkommer, men antager blot at den bliver genereret på en eller anden måde ud fra  $E_1$  og  $E_2$  og priserne på disse. Ved brug af den nye reduceres problemet til et to-faktor-problem, og vi kan skrive en CES-produktionsfunktion for  $K$  op som følger:

$$Y = \kappa_2 \left[ \delta_2 (e_{\tilde{E}} \tilde{E})^{\frac{\sigma_2-1}{\sigma_2}} + (1-\delta_2) (e_K K)^{\frac{\sigma_2-1}{\sigma_2}} \right]^{\frac{\sigma_2}{\sigma_2-1}}, \quad \sigma_2 > 0, \quad 0 < \delta_2 < 1. \quad (22)$$

hvor  $e$  er et effektivitetsindeks knyttet til  $\tilde{E}$ . Det giver følgende faktorefterspørgselsligninger:

$$\tilde{E} = \frac{1}{e_{\tilde{E}}} \frac{Y}{\kappa_2} - \delta_2^{\frac{\sigma_2}{1-\sigma_2}} \left[ \left( \frac{P_K / e_K}{P_{\tilde{E}} / e_{\tilde{E}}} \right)^{1-\sigma_2} \left( \frac{1-\delta_2}{\delta_2} \right)^{\sigma_2} + 1 \right]^{\frac{\sigma_2}{1-\sigma_2}} \quad (23)$$

$$K = \frac{1}{e_K} \frac{Y}{\kappa_2} (1-\delta_2)^{\frac{\sigma_2}{1-\sigma_2}} \left[ \left( \frac{P_{\tilde{E}} / e_{\tilde{E}}}{P_K / e_K} \right)^{1-\sigma_2} \left( \frac{\delta_2}{1-\delta_2} \right)^{\sigma_2} + 1 \right]^{\frac{\sigma_2}{1-\sigma_2}} \quad (24)$$

Hvis estimation af de to ovenstående ligninger skal give de "sande" parametre ( $\sigma_2$ ,  $\delta_2$ ,  $\kappa_2$  og  $\omega_K$ ), kræver det at  $\tilde{E} \cdot e = E$  og  $P_{\tilde{E}} / e_{\tilde{E}} = P_E$ . Dette ses ved at sammenholde (23)-(24) med (19)-(20). Disse to betingelser er i øvrigt ækvivalente: er den ene opfyldt, følger den anden automatisk.

For at kunne sige noget mere konkret, antager vi nu, at  $P$  og  $\bar{E}$  er lavet i god national-regnskabsånd, dvs. at opgøres ved at vægte  $E_1$  og  $E_2$  med deres 1980-priser (svarende til et traditionelt Laspeyres-mængdeindeks):

$$\tilde{E} = P_{E1}^{1980} E_1 + P_{E2}^{1980} E_2, \quad (25)$$

Formlen for det sande  $E$ -aggregat er som vist tidligere følgende:

$$E = \left[ \delta_1 (e_{E1} E_1)^{\frac{\sigma_1-1}{\sigma_1}} + (1-\delta_1) (e_{E2} E_2)^{\frac{\sigma_1-1}{\sigma_1}} \right]^{\frac{\sigma_1}{\sigma_1-1}}, \quad (26)$$

Hvis der gælder, at  $e_{E1} = e_{E2}$  (eller for at være helt præcis:  $e_{E1}$  og  $e_{E2}$  behøver ikke at være lig hinanden, men skal blot være proportionale), vil (26) kunne skrives om til

$$E = e_E \left[ \delta_1 E_1^{\frac{\sigma_1-1}{\sigma_1}} + (1-\delta_1) E_2^{\frac{\sigma_1-1}{\sigma_1}} \right]^{\frac{\sigma_1}{\sigma_1-1}}, \quad (27)$$

hvor  $e_E$  er det fælles effektivitetsindeks. Der vil gælde, at indholdet i den kantede parentes i (27) vil være approksimativt lig med (25) (eller for at være helt præcis: approksimativt proportionalt med (25)), hvis priserne på  $E_1$  og  $E_2$  ikke har ændret sig for meget over perioden. Derfor kan vi skrive:

$$E \approx e_E \cdot \tilde{E} \quad (28)$$

Hvis vi erstatter  $E$  med  $e_E \cdot \bar{E}$  i "over-produktionsfunktionen", får vi:

$$Y \approx \kappa_2 \left[ \delta_2 (e_E \tilde{E})^{\frac{\sigma_2-1}{\sigma_2}} + (1-\delta_2) (e_K K)^{\frac{\sigma_2-1}{\sigma_2}} \right]^{\frac{\sigma_2}{\sigma_2-1}}, \quad \sigma_2 > 0, \quad 0 < \delta_2 < 1. \quad (29)$$

Hvis faktorpriserne ikke har ændret sig ret meget, holder lighedstegnet i (29) næsten, og dermed får man estimeret noget, som er tæt på den rigtige  $\sigma_2$  og de rigtige parametre i de to effektivitetsindeks,  $\omega_E$  og  $\omega_K$ .<sup>99</sup>

Således kan man estimere den nastede CES som en to-faktor CES, givet at effektivitetsudviklingen i to disaggregerede energytyper antages at være ens. Hvis dette er tilfældet, kan energieffektiviteten fanges i "over-produktionsfunktionen", således at man estimerer på et "råt" (Laspeyres-) energiaggregat uden effektivitetskorrektion og derefter effektivitets-korrigerer aggregatet i næste trin.

Når man laver et aggregeret energiindeks,  $\bar{E}$ , skal man altså huske, at dette er at opfatte som et mål for det sande *ikke-effektivitetskorrigerede* energiaggregat.

<sup>99</sup> Angående  $\kappa_2$  og  $\delta_2$ , er disse mindre interessante skalaparametre, som bl.a. ville fange, hvis man opgjorde  $K$  i mia. kr i stedet for mio. kr (svarende til at dividere  $K$  med 1000 og gange  $P_K$  med 1000).

## Appendiks A.2.4. Sammenligning af Energi 21-fremskrivningen for transport og kørsler med satellitmodellen

I det følgende sammenlignes alternative fremskrivninger med satellitmodellen erhverv for erhverv med fremskrivningen i Energi 21. Til sammenligningen er der på basis af den ADAM-fremskrivning, der ligger til grund for Energi 21, gennemført to kørsler med satellitmodellen:

- én hvor trenden i energieffektiviteten er baseret på de historisk estimerede trends, der dog er revideret for forhold, der åbenlyst ikke kan forventes at fortsætte,
- én hvor trenden i energieffektiviteterne i satellitmodellen sættes lig med de tilsvarende energitekniske effektiviteter i Energi 21.

Da aggregeringerne i de to modeller er forskellige, er niveauet på de enkelte energiforbrug ikke umiddelbart sammenlignelige, men udviklingen i de sammenlignede energiforbrug kan nogenlunde sammenlignes.

### Jernbaner

**Tabel 1. Fremskrivning for jernbanetransport, Energi 21**

År	Godstransport		Persontransport		Energiforbrug PJ godstog		Energiforbrug PJ persontog		Energiforbrug i alt	
	tonkm.	vognkm.	person-km.	vogn-km.	diesel	el	diesel	el	diesel	el
1995	655	5.90	4857	75.0	0.58	0.04	2.64	0.84	3.22	0.88
2000	506	3.00	4976	83.8	0.18	0.06	2.09	0.89	2.27	0.95
2005	506	3.00	5629	91.0	0.09	0.09	1.56	1.13	1.65	1.22
2010	506	3.00	5629	84.1	0.07	0.09	0.94	1.27	1.01	1.36

Som det fremgår af tabel 1 er godstransporten en relativt lille del af jernbanernes transport, og transportmængden holdes konstant, bortset fra en omlægning, der er foretaget som følge af Storebæltsbroen. Persontransporten stiger både målt i personkm. og vognkm. og belægningsgraden (personkm./vognkm.) falder svagt frem til år 2000, hvorefter den stiger svagt frem til år 2010. De væsentligste ændringer for jernbanerne er en betydelig omlægning fra diesel til el-drift, hvilket giver en betydelig reduktion det direkte energiforbrug. Regnes konverteringstabet på elværkerne med, reduceres energiforbruget med ca. 18% i perioden 1995-2010. Da der imidlertid er tale om en stigning i transportarbejdet, afspejler det faldende energiforbrug en betydelig energieffektivisering primært i persontransportarbejdet. I perioden 1995-2010 falder energiforbruget pr. vognkm. i persontransporten med ca. 30%. Dette afspejler primært indførelse af de nye IR4-tog samt nye S-tog, der er lettere og mere energieffektive end de gamle tog. Godstogenes energieffektivitet ændres ikke synderligt.

I satellitmodellen skelnes ikke imellem gods- og persontransport, men jernbanernes samlede produktion og energiforbrug fordelt på typer bestemmes. Effekten af Storebæltsbroen er introduceret som en 4%'s reduktion i produktionen efter 1998, og fordelingen på el og dieseldrift er kopieret fra Energi 21. Energieffektiviteten i Energi 21

(30%'s reduktion) er omregnet til en trend i energikoefficienten på -1.9% p.a. Den historisk estimerede trend er 1.1% p.a.

Ved sammenligning af de to kørsler med satellitmodellen, bemærkes en fortsættelse af den historisk estimerede trend at give et betydeligt højere energiforbrug, end hvis der tages udgangspunkt i de energieffektiviseringer, der er inkluderet i Energi 21. I betragtning af de effektiviseringer, der planlægges i DSB, må man sige, at den historisk estimerede trend ikke kan forventes at fortsætte, og at effektiviseringerne i Energi 21 nok er et bedre udtryk for den forventede udvikling. Sammenlignes denne udvikling (dvs. den højre del af tabel 2) med, hvad der forventes i Energi 21 (tabel 1), bemærkes satellitmodellen at give en betydeligt kraftigere udvikling i energiforbruget end Energi 21. Den væsentligste årsag til denne forskel er, at der i den ADAM-fremskrivning, der ligger til grund for Energi 21, forventes en ca. fordobling af husholdningernes forbrug af kollektiv transport, og dermed en kraftig stigning i jernbanernes produktion (72% fra 1995 til 2010), mens der i Energi 21 regnes med en beskedne vækst på 16% i persontransportarbejdet med jernbaner.

**Tabel 2. Fremskrivning for jernbanetransport, Satellitmodel**

År	Produktion 1980- priser mio.kr.	Historisk trend i energieffektivitet				Energi 21-trend i energieffektivitet			
		energikoefficient TJ/produktion		energiforbrug TJ		energikoefficient TJ/produktion		energiforbrug TJ	
		diesel	el	diesel	el	diesel	el	diesel	el
1995	2604	1.710	0.498	4452	1308	1.710	0.498	4452	1308
2000	3487	1.490	0.650	5196	2267	1.300	0.567	4534	1978
2005	4093	1.211	0.868	4956	3553	0.907	0.651	3714	2663
2010	4466	0.851	1.133	3810	5061	0.550	0.730	2455	3261

### Busdrift

I Energi 21 regnes for busdriften med konstant transportarbejde målt i personkm., uændret belægningsfaktor samt en moderat stigning i energieffektiviteten med ca. 10%, dvs. det totale energiforbrug til busdrift reduceres med ca. 10%.

**Tabel 3. Fremskrivning for busdrift: Energi 21**

År	Personkm. mio.	Vognkm. mio.	MJ/vognkm.	Energiforbrug PJ
1995	9689	520	12.852	6.69
2000	9689	520	12.350	6.43
2005	9689	520	11.851	6.17
2010	9689	520	11.495	5.98

I satellitmodellen er den historisk baserede trend i energikoefficienten sat til 0. Den estimerede trend er bl.a. pga. stigende subsidier meget høj, og det er vurderet, at denne udvikling ikke vil fortsætte. Sammenlignes satellitmodellens fremskrivning med Energi 21

fremskrivningen, er den væsentligste forskel (som for jernbanerne), at ADAM-fremskrivningen forventer en kraftig stigning i husholdningernes forbrug af kollektiv transport og dermed en ca. fordobling af produktionen, mens Energi 21 forudsætter uændret persontransportarbejdet målt i personkm.

**Tabel 4. Fremskrivning for busdrift: Satellitmodel**

År	Produktion 1980- priser mio.kr.	Trend i energieffektivitet sat til 0%		Energi 21-trend i energieffektivitet	
		Transportenergi- koefficient TJ/produktion	Energiforbrug TJ	Transportenergi- koefficient TJ/produktion	Energiforbrug TJ
1995	1150	8.182	9490	8.182	9490
2000	1501	8.714	13080	8.524	12794
2005	1998	7.964	15912	7.547	15079
2010	2148	8.117	17435	7.445	15991

### Færger

I Energi 21 fremskrives persontransporten med færger med udviklingen i personbilernes transportarbejde, dvs. alt andet lige vokser persontransporten med færger ca. 33% fra 1995 til 2010. Storebæltsbroen betyder imidlertid en betydelig reduktion i færgetransporten, som reduceres med ca. 60% i 1998. Belægningsfaktoren for færgerne forudsættes uændret og energimæssigt forøges færgernes energieffektivitet med ca. 8 % i perioden, dvs. eksklusiv korrektionen for Storebæltsbroen vil færgernes totale energiforbrug stige ca. 25%. Korrektionen for Storebæltsbroen betyder en reduktion i energiforbruget med ca. 60% i år 1998, så energiforbruget i 2010 bliver ca 45% af forbruget i 1995.

**Tabel 5. Fremskrivning for færger: Energi 21**

År	Personkm. mio.	Vognkm. mio.	MJ/vognkm.	Energiforbrug PJ
1995	595	4.248	1110.24	4.72
2000	242	1.762	1081.77	1.91
2005	271	1.970	1053.31	2.07
2010	287	2.090	1021.71	2.14

I satellitmodellen er den historiske trend estimeret til 0, hvor der i Energi 21 forventes en beskedent forøgelse af energieffektiviteten med 0.6% p.a. De to fremskrivninger med satellitmodellen giver således stort set ens resultater. Ellers bemærkes det væsentlige i fremskrivningen at være effekten af Storebæltsbroen, der er indregnet som en 60%'s reduktion i færgernes produktion fra 1998. Sammenlignes med Energi 21 bemærkes igen en større vækst i satellitmodellen, der primært skyldes forskelle i forventninger til produktionsudviklingen.

**Tabel 6. Fremskrivning for færger: Satellitmodel**

År	Produktion 1980- priser mio.kr.	Historisk trend i energieffektivitet		Energi 21-trend i energieffektivitet	
		Transportenergi- koefficient TJ/produktion	Energiforbrug TJ	Transportenergi- koefficient TJ/produktion	Energiforbrug TJ
1995	577	8.688	5013	8.688	5013
2000	320	10.800	3456	10.594	3390
2005	437	8.142	3558	7.762	3392
2010	529	8.049	4258	7.448	3940

### Turistbusser

I Energi 21 indgår turistbusser som en del af persontransporten med busser, og fremskrives således ikke særskilt. Tabel 7 viser fremskrivningen med satellitmodellen, hvor det bemærkes, at den historisk estimerede stigning i energikoefficienten er noget højere end, hvad der forudsættes i Energi 21, samt at produktionen forventes ca. fordoblet over perioden.

**Tabel 7. Fremskrivning for turistbusser: Satellitmodel**

År	Produktion 1980- priser mio.kr.	Historisk trend i energieffektivitet		Energi 21-trend i energieffektivitet	
		Transportenergi- koefficient TJ/produktion	Energiforbrug TJ	Transportenergi- koefficient TJ/produktion	Energiforbrug TJ
1995	1098	3.949	4336	3.949	4336
2000	1588	3.824	6072	3.732	5926
2005	1858	4.238	7874	3.914	7273
2010	2001	4.875	9755	4.176	8357

### Fragtvognmænd

I Energi 21 fremskrives den nationale godstransport, og der skelnes mellem transport med vare- og lastbiler. I satellitmodellen skelnes mellem erhvervet fragtvognmænd og de øvrige erhvervs transport med egne biler. I satellitmodellen tages der således udgangspunkt i fragtvognmændenes produktion, hvad enten de kører nationalt eller internationalt, og i den energimængde, der er solgt i Danmark. De to modeller er således ikke umiddelbart sammenlignelige. Satellitmodellen beskriver dels forskydninger fra egentransport i virksomheder (firmakørsel) til køb af transportydelser fra vognmandsvirksomheder, og dels indeholder satellitmodellen eksportvognmændene og det energiforbrug, der sælges i Danmark, hvilket Energi 21-modellen ikke gør (implicit antages danske lastbilers køb af



diesel i udlandet at svare til udenlandske lastbilers køb i Danmark). Da eksportvognmændenes andel af trafikarbejdet er stigende, og der er en substitution fra firma- til vognmandskørsel forudsiger satellitmodellen, at transporterhvervets energiforbrug stiger mere end lastbilernes energiforbrug i Energi 21. Dette modsvares dog delvist af en svagere stigning i de øvrige erhvervs transportenergiforbrug (firmakørsel).

De primære erhvervs transportenergiforbrug (landbrug og fiskeri) betragtes i Energi 21-sammenhæng som procesenergiforbrug og ikke som transport.

Fremskrivningen i Energi 21 er grundlæggende baseret på, at transportarbejdet med vare- og lastbiler stiger med en BNP-elasticitet på 1 frem til år 2005, og derefter med en elasticitet på 0.75. Da transportarbejdet med lastbiler imidlertid residualbestemmes, og der forventes en omlægning fra andre transportmidler til lastbiler, stiger transportarbejdet med lastbiler 42% fra 1995 til 2010. I samme periode stiger BNP 36%. For perioden 1995 til 2005 er den "implicitte" BNP-elasticitet for lastbiler således 1.14 heri ikke indregnet omlægninger fra tog til lastbiler som følge af Storebæltsbroen. Efter 2005 forventes ingen yderligere omlægninger, hvorfor BNP-elasticiteten er 0.75.

For at komme fra transportarbejdet til energiforbruget indregnes i Energi 21 dels en udvikling i belægningsfaktoren (tonkm./vognkm.) og dels en udvikling i energieffektiviteten.

For *lastbiler* forventes fra 1995 til 2010 en stigning i belægningsfaktoren på 13% og et fald i energiforbruget pr. vognkm. med 13%. I fysiske termer betyder dette, at en lastbil lastet med 8.25 tons i år 2010 skal køre 13% længere på en liter diesel end en lastbil lastet med 7.33 tons gør i 1995. Da en lastbil med 8.25 tons selvfølgelig bruger mere diesel end en lastbil med 7.33 tons, betyder forudsætningen om en større belægningsfaktor, at energieffektiviteten reelt stiger mere end stigningen i kørte km. pr. liter diesel. Stigningen i den reelle energieffektivitet afhænger desuden af udviklingen i størrelsen af lastbilerne og i kapacitetsudnyttelsen. Forudsættes hele stigningen i belægningsfaktoren at skyldes en stigning i kapacitetsudnyttelsesgraden for lastbiler af uændret størrelse, betyder stigningen i belægningsfaktoren en implicit stigning i energieffektiviteten på ca. 3%.<sup>100</sup> Forudsættes stigningen i belægningsfaktoren at betyde en større gennemsnitlig lastbil og uændret kapacitetsudnyttelse, er der en implicit stigning i energieffektiviteten på ca 8%. For en lastbil med uændret last forudsættes energieffektiviteten således at stige imellem 16% og 21% fra 1995 til 2010. Som det ses af tabel 8, medfører forudsætningerne i Energi 21 en samlet stigning i lastbilernes energiforbrug med 13%.

**Tabel 8. Fremskrivning for lastbiler: Energi 21**

År	Tonkm. mio.	Vognkm. mio.	MJ/vognkm.	Energiforbrug PJ
1995	9853	1.343	15.581	20.43
2000	11606	1.519	14.611	22.20
2005	13039	1.640	14.037	23.01
2010	14027	1.699	13.606	23.12

<sup>100</sup>Beregnet v.hj.a. Trafikministeriets TEMA-model udviklet af COWI consult.

Varebiler fremskrives i Energi 21 med uændret belægningsfaktor og en stigning i energieffektiviteten på 0.7% p.a. Som det ses, giver dette en stigning i energiforbruget på 12% over perioden 1995 til 2010.

**Tabel 9. Fremskrivning for varebiler: Energi 21**

År	Tonkm. mio.	Vognkm. mio.	MJ/vognkm. <sup>1</sup>	Energiforbrug PJ
1995	518	5.407	5.691	30.77
2000	580	6.049	5.135	31.06
2005	643	6.711	4.928	33.07
2010	690	7.199	4.780	34.41

<sup>1</sup> Der skelnes i Energi 21 imellem benzin- og dieseldrevne varebiler, men vægtning ændres ikke og energieffektiviteten udvikler sig ens.

I satellitmodellen fremskrives *fragtvognmændenes* produktion til at stige 56% i perioden 1995 til 2010. Dette er noget mere end produktionen generelt og skyldes, at de erhverv der trækker på fragtvognmændene vokser mere end gennemsnittet. (Der forudsættes konstante i-o-koefficienter. Historisk har disse specielt i 1970'erne været faldende, hvorfor produktionsstigningen måske overvurderes noget.)

Energimæssigt er der for fragtvognmændene gennemført tre alternative fremskrivninger:

- én hvor den historisk estimerede trend i energikoefficienten er reduceret til 1/3,
- én hvor energikoefficienten reduceres med samme procent som energiforbruget pr vognkm. i Energi 21,
- én hvor energikoefficienten reduceres som energiforbruget pr. tonkm. i Energi 21, dvs. incl. stigningen i belægningsfaktoren.

I alle tre fremskrivninger er omlægningen fra tog til lastbiler som følge af Storebæltsbroen indregnet som en stigning i produktionsværdien på 1.4% i år 1998.

For *fragtvognmænd* er der estimeret en historisk positiv trend i energikoefficienten. Dette afspejler dels en udvikling mod større og større lastbiler og dermed en substitution fra arbejdskraft til større og mere energiforbrugende lastbiler og dels et fald i kapacitetsudnyttelsen. Da denne udvikling ikke nødvendigvis kan forventes at fortsætte, må trenden i fremskrivninger betragtes som eksogen, og det er rimeligt at reducere trenden i en fremskrivning. Som et regneeksempel er det for fragtvognmænd valgt at reducere trenden til 1.3% p.a. Introduktion af energieffektiviteter fra Energi 21 betyder, at trenden i energikoefficienten for fragtvognmænd ændres til hhv. -0.8% p.a. og -1.4% p.a. Dette må siges, at være en betydelig ændring i forhold til den historiske udvikling, og giver som det ses af tabellen en betydeligt langsommere vækst i energiforbruget. Det skal i denne forbindelse mindes om, at Energi 21 omfatter den nationale godstransport, mens satellitmodellens energirelationer for fragtvognmænd ikke inkluderer firmakørsel i de andre erhverv, men til gengæld inkluderer eksportvognmænd.

De *øvrige erhvervs energiforbrug til egentransport* antages at stige med i alt 18% over perioden 1995 til 2010. Denne del af fremskrivningen dækker over en forholdsvis beskeden udvikling i energieffektiviteten for serviceerhvervene, og en væsentlig stigning i produktionen i de øvrige erhverv generelt.

Tabel 10 viser udviklingen for summen af transportenergianvendelsen for fragtvognmænd og firmakørsel i satellitmodellen for de tre forskellige antagelser for udviklingen i energikoefficienten for erhvervet fragtvognmænd. For de øvrige erhvervs firmakørsel er regnet med en historisk baseret trend.<sup>101</sup>

**Tabel 10. Samlet fremskrivning for fragtvognmænd og egentransport: Satellitmodel**

År	Produktion 1980-priser mia. kr.	Trend i energieffektivitet baseret på historisk trend		Energi 21-trend i energiforbrug/vognkm (-0.8% p.a.)		Energi 21-trend i energiforbrug/tonkm. (-1.4% p.a.)	
		Transportenergi-koefficient TJ/produktion <sup>1</sup>	Energiforbrug TJ	Transportenergi-koefficient TJ/produktion <sup>1</sup>	Energiforbrug TJ	Transportenergi-koefficient TJ/produktion <sup>1</sup>	Energiforbrug TJ
1995	616.6	0.100	61689	0.100	61689	0.100	61689
2000	680.5	0.109	73922	0.104	70875	0.103	69942
2005	758.1	0.112	85212	0.102	77523	0.099	75333
2010	840.0	0.115	96469	0.099	82756	0.094	79125

<sup>1</sup> Koefficienterne dækker over meget større koefficienter for erhvervet fragtvognmænd, og meget mindre koefficienter for øvrige erhverv.

I tabel 11 kan energiefterspørgslen opsummeret for de to fremskrivninger.

**Tabel 11. Samlet fremskrivning for vare- og lastbiler**

År	Energi 21 energiforbrug TJ	Satellitmodel		
		Historisk baserede trends	Energi 21-trend i energiforbrug/vognkm.	Energi 21-trend i energiforbrug/tonkm.
1995	51.2	61.7	61.7	61.7
2000	53.3	73.9	70.9	69.9
2005	56.1	85.2	77.5	75.3
2010	57.3	96.5	82.8	79.1

Som det ses stiger energiefterspørgslen i satellitmodellens fremskrivning med mellem 28% og 56%, altså væsentligt mere end de 13%, der regnes med i Energi 21. Ved sammenligning af de to fremskrivninger skal det fremhæves, at de to modeller som nævnt ovenfor ikke omfatter nøjagtigt de samme transportaktiviteter. Alligevel kan der peges på de væsentligste årsager til forskellene på de to fremskrivninger. Den mængdemæssige udvikling i satellitmodellen er kraftigere end i Energi 21. I Energi 21 stiger BNP med 36%, mens produktionen for fragtvognmænd stiger med 56% i satellitmodellen. Yderligere antages i Energi 21, at belægningsfaktoren stiger, således at det samlede transportarbejde (der er relateret til BNP) kan varetages med en forholdsvis lille stigning i antallet af kørte km. Endelig stiger energieffektiviteten i Energi 21 betydeligt, mens der i Satellitmodellen

<sup>101</sup> En mere detaljeret sammenligning af fremskrivninger for fragtvognmænd med de to modeller kan fås ved henvendelse til Danmarks Statistik. I den detaljerede sammenligning er satellitmodellens transportenergianvendelse forsøgt splittet ud på lastbiler og varebiler.

---

kun forventes en moderat stigning i energieffektiviteten for egentransporten i ikke-transporterhverv.

## Luftfart

For lufttransport inkluderer Energi 21 kun den indenlandske flytrafik, der energimæssigt er en beskedent del af det totale energiforbrug til luftfart. Relationen i satellitmodellen inkludere det totale energiforbrug til luftfart, dvs. både indenrigs- og udenrigstrafikken. De to modeller er således ikke umiddelbart sammenlignelige, men skal dog kort gennemgås.

I Energi 21 fremskrives den indenlandske flytrafik med en BNP-elasticitet på 1.75, og der regnes med en stigning i flyenes energieffektivitet på 0.7% p.a. over perioden 1995 til 2010. Belægningsgraden holdes konstant i perioden. Storebæltsbroen forventes at betyde en reduktion i flytrafikken med 35%, der overflyttes til biler og tog. Som det ses af tabel 12 medfører dette et fald i energiforbruget frem til år 2000, og derefter en pæn stigning i energiforbruget.

**Tabel 12. Fremskrivning for fly (indenrigsfly): Energi 21**

År	Personkm. mio.	Flykm. mio.	MJ/flykm.	Energiforbrug PJ
1995	579	12.27	83.592	1.03
2000	458	9.70	80.335	0.78
2005	549	11.64	77.078	0.90
2010	647	13.71	74.765	1.02

I satellitmodellen forventes en betydelig stigning i produktionsværdien, der efter år 2000 (hvor Storebæltsbroen er bygget) dog procentvist er mindre end i Energi 21, der jo kun inkluderer indenrigstrafikken. Storebæltsbroen er indregnet som et fald i erhvervsproduktion på 1.4% i år 1998.

Fortsættes den historisk estimerede trend i energikoefficienten (■1.6% p.a.) giver dette en stigning i energiforbruget på 12% over perioden 2000 til 2010. I Energi 21 er stigningen i energiforbruget for indenrigstrafikken over denne periode 31%. Den historisk estimerede stigning i energieffektiviteten i satellitmodellen er således større end, hvad der i Energi 21 regnes med for indenrigstrafikken.

**Tabel 13. Fremskrivning for fly, (indenrigs- og udenrigsfly): Satellitmodel**

År	Produktion 1980- priser mio.kr.	Historisk trend i energieffektivitet	
		Transportenergi- koefficient TJ/produktion	Energiforbrug TJ
1995	7038	3.731	26262
2000	9148	3.388	30994
2005	10791	3.100	33456
2010	12141	2.865	34778

### Appendiks A.2.5. Brændselssubstitution på centrale værker

Tag udgangspunkt i de 6 typer af elværker beskrevet i tabel 2.5.2. Notationen ændres en anelse, så  $K_{bi}$  er kapaciteten for type  $i$ ,  $i \in \{1, \dots, 6\}$ , og  $b_i$  er mængden af brændsler, der kan vælges mellem på værkstype  $i$ . Hvis type 1 er de værker, der kan fyre med kul eller olie (og ikke andet), er  $b_i = \{kul, olie\}$ . Lad  $K$  være vektoren for kapaciteten af de seks typer.

Lad  $A$  være en  $4 \times 6$  matrix, der beskriver henregningen af kapaciteten for værkstyper på brændsler afhængigt af de relative brændselspriser. Dimensionerne af  $A$  skyldes, at der er seks værkstyper og fire brændsler,  $j \in \{kul, olie, gas, bio\}$ . Elementerne i  $A$  er enten 0 eller 1. Hvis det  $(j, i)$ 'te element i  $A$  kaldes  $a_{j,i}$ , og hvis  $p_j$  er prisen pr. energienhed af brændsel  $j$ , gives

$$a_{j,i} = \begin{cases} 1 & \text{hvis } p_j < p_h, \text{ for alle } h \in b_i \\ 0 & \text{ellers} \end{cases} \quad (1)$$

$a_{j,i}$  er altså 1, hvis brændsel  $j$  er det billigste af de brændsler, der kan fyres med på værkstype  $i$ .

Den værkskapacitet, der er henregnet til brændsel  $j$  betegnes  $Kl_j$ . Vektoren af disse fire kapacitetsmål betegnes  $Kl$ . Den svarer til tredje søjle i tabel 2.5.3. Vektoren  $Kl$  bestemmes da som

$$Kl = A K \quad (2)$$

Matricen  $A$  fører altså kapaciteterne for de faktiske værkstyper over i kapaciteter på værker, hvor det bedst kan betale sig at fyre med kul, olie, gas eller biobrændsler afhængigt af de relative priser.

Kapaciteterne  $Kl$  sorteres nu efter rangordning af priser. Lad  $W$  denne omordning af  $Kl$ , dvs. de "brændsels-henregnede" kapaciteter for billigste, næstbilligste, tredjebilligste og dyreste brændsel. Omregningen sker ved matricen  $B$  være af dimension  $4 \times 4$ , hvor  $(i, j)$ -elementet,  $b_{i,j}$ , er lig 1 hvis brændsel  $j$  er det  $i$ 'te billigste, dvs.

$$b_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{hvis } |\{h: p_h < p_j\}| = i-1 \\ 0 & \text{ellers} \end{cases} \quad (3)$$

$W$  er altså

$$W = B Kl \quad (4)$$

Lad  $WT_i$  være kapaciteten på de  $i$  billigste brændsler tilsammen ( $WT_4$  er den totale kapacitet). Denne er

$$WT = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} W \quad (5)$$

Betegn en normeret varighedskurve med  $f(t)$ ,  $t \in [0, t_{max}]$  ( $t_{max}$  = årets timer). Den faktiske varighedskurve er da  $D \cong f$ , hvis  $D$  er elproduktionen på centrale værker. Produktionen baseret på de  $i$  billigste værker tilsammen kaldes nu  $PT_i$ . Denne findes ved

$$PT_i = \int_0^{t_{max}} \min\{D \cdot f(t), WT_i\} dt \quad (6)$$

Produktionen netop med det  $i$ 'te billigste brændsel er

$$P_i = \begin{cases} PT_i & \text{hvis } i=1 \\ PT_i - PT_{i-1} & i > 1 \end{cases} \quad (7)$$

Endelig skal der føres tilbage fra kapaciteterne rangordnet efter priser til de faktiske brændsler. Elproduktionen på de centrale værker baseret på brændsel  $j$ ,  $X_{e,j}^{cen}$ , findes ved

$$\begin{pmatrix} X_{e,kul}^{cen} \\ X_{e,olie}^{cen} \\ X_{e,gas}^{cen} \\ X_{e,bio}^{cen} \end{pmatrix} = B^{-1} \begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{pmatrix} \quad (8)$$

Appendix A.3

### Appendiks A.3. Emissionskoefficienter for energityperne i Danmarks Statistiks energibalancer

Tabel A1. CO<sub>2</sub>-emissionskoefficienter for energityper i Danmarks Statistiks energibalancer

Lb.nr.	Energitype	Kulstofprocent C <sub>i</sub>	Brændværdi B <sub>i</sub> GJ/ton	Emissions- koefficient
1	Gasværksgas	77	48.0	59.0
2	Fjernvarme	-	-	0.0 <sup>1</sup>
3	Kul	68	26.2	95.0
4	Brunkul	48	18.2	97.0
5	Brunkulsbriketter	48	18.2	97.0
6	Koks	85	28.8	108.0
7	Råolie	-	-	- <sup>2</sup>
8	Jetpetroleum	86	43.8	72.0
9	Jetbenzin	86	43.5	72.0
10	Motorbenzin (afgiftspligtig)	87	43.5	73.0
11	Motorbenzin (afgiftsfri)	87	43.5	73.0
12	Anden benzin (nafta)	87	43.5	73.0
13	Petroleum (eks. jetpetroleum)	86	43.8	72.0
14	Autogasolie	87	42.7	74.0
15	Fyringsgasolie	87	42.7	74.0
16	Marinedieselolie	87	42.7	74.0
17	Fuelolie	86	40.4	78.0
18	Olieprod. til videreforarb.	-	-	-
19	LPG	82	46.2	65.0
20	Anden gas (raffinaderigas)	82	46.2	65.0
21	Naturgas fra Nordsøen	-	-	-
22	Elektricitet	-	-	0.0 <sup>1</sup>
23	Brænde	-	-	0.0 <sup>3</sup>
24	Jordoliekoks/petroleumskoks	87	31.4	102.0
25	Naturgas til forbrugere	75	48.5	56.9

<sup>1</sup> Konverteret brændsel, emissionerne relateres til de brændsler der er anvendt til konverteringen

<sup>2</sup> Anvendes ikke direkte som energiforbrug

<sup>3</sup> Et bio-brændsel hvor CO<sub>2</sub>-emissionerne forudsættes at recirkulere





**Tabel A3. NO<sub>x</sub>-emissionskoefficienter for fossile brændsler**

Lb.nr	Energitype	Erhverv/anvendelser NR. branche nr.	NO <sub>x</sub> -emissionskoefficient kg NO <sub>x</sub> /GJ
1	Gasværksgas	1-95 96-122	0.100 0.050
3	Kul	91 andre	beregnes 0.200
4-5	Brunkul/briketter	1-122	0.050
6	Koks	1-122	0.200
8	Jetpetroleum	1-122	0.196
9	Jetbenzin	1-122	0.196
10	Benzin afgiftpligtig	med katalysator uden katalysator 103 (jp1+4)	0.088 0.884 0.196
11	Benzin afgiftsfri	1-122	0.884
12	Anden benzin	1-122	0
13	Petroleum	1-95 96-122	0.100 0.050
14	Autogasolie	personbiler varebiler små lastbiler store lastbiler off roader skibe jernbaner	0.250 0.373 0.908 1.058 1.171 1.382 1.033
15	Fyringsgasolie	1-95 96-122	0.100 0.050
16	Marinediesel	1-122	1.382
17	Fuelolie	6 91 93 101 andre	1.460 0.240 0.150 1.770 0.150
19	LPG	transport proces	0.898 0.100
20	Anden gas	1-122	0.000
24	Jordolie/petro.koks	1-122	0.200
25	Naturgas forbrugere	91 93 andre 1-95 96-122	0.240 0.150 0.100 0.050
23	Brænde	1-95	0.130
26	Halm	96-122	0.050
27	Affald	93	0.150

<sup>1</sup> Kilde: Forskningscenter Risø, CORINAIR-database.