

## Opdatering af EMMA's trend mm. baseret på teknologiscenarier fra tekniske modeller

### Resumé:

*I papiret gøres rede for hvorledes en sammenhæng mellem trend i EMMA og udvikling i teknologisk effektivitet i tekniske modeller kan fortolkes. Der beskrives interfaces til opdatering af EMMA's trend med data fra tekniske modeller for transport, energiforbrug og energiforsyning. Derudover beskrives et interface til ekstern opdatering af brændselspriser.*

---

KK18902.doc

Nøgleord: EMMA, Scenarier fra tekniske modeller, opdatering af EMMA's trend, interface mellem EMMA og tekniske modeller

*Modelgruppepapirer er interne arbejdsrapporter. De konklusioner, der drages i papirerne, er ikke endelige og kan være ændret inden opstillingen af nye modelversioner. Det henstilles derfor, at der kun citeres fra modelgruppepapirerne efter aftale med Danmarks Statistik.*

## **ADAM-EMMA og tekniske modeller (med SESAM som eksempel)**

Dette arbejdsrapport er med enkelte rettelser en gengivelse af dele af kapitel 8 i phd.-afhandlingen "Modeller i Energiplanlægning med Henblik på Bæredygtig Udvikling", der offentliggøres november 2002 [Karlsson, K. (2002)].

Dette papir beskriver et system til sammenkobling af det makroøkonomiske modelsystem bestående af ADAM og EMMA med tekniske modeller. Allerefter beskrives formålet med at opbygge et sådant system, og derefter gennemgås de teoretiske implikationer ved sammenkoblingen. Hvorledes sammenkoblingen rent praktisk og modelteknisk er etableret mellem ADAM-EMMA og SESAM-modellen<sup>1</sup> er beskrevet som fire interfaces dækkende forskellige dele af energisystemet (Energiforsyning, Energiforbrug, Transport og Brændselspriser). Til slut beskrives, hvorledes systemet skal kalibreres, før det kan anvendes til gennemregning af sammenhængende scenarier.

Papiret er andet trin i rækken af tekstafsnit, der giver en samlet beskrivelse af et brugervenligt analyseværktøj på først og fremmest energi- og miljøområdet for Danmark. Første trin var beskrivelsen af koblingen mellem ADAM og EMMA (arbejdsrapport KKA17602) og tredje trin præsenteres i arbejdsrapport JAN15802 og handler om en let tilgængelig brugerflade til systemet.

Resten af indledningen diskuterer, hvilke krav, der skal stilles til et modelsystem, som kan anvendes til at analysere, hvorledes Danmark kan nærme sig en bæredygtig udvikling.

Et planlægningsværktøj til fremme af en bæredygtig udvikling skal kunne fungere som en løbende opfølgning af samfundets situation i forhold til den ønskede udvikling og målsætning. Desuden skal det kunne bruges til planlægning på lang, mellemlangt og kort sigt. Modelsystemet skal kunne levere information om landets økonomiske tilstand, om miljømæssige forhold samt ressourceforbrug. Modelforsøgene (scenarier) skal kunne reproducere, og der skal kunne køres mange scenarier gennem systemet på relativ kort tid. Det er vigtigt, at systemet er bredt anerkendt og offentligt tilgængeligt.

Det vil kræve uforholdsmæssigt store ressourcer at opbygge en ny model, der kan honorere de krav, som stilles. Det største problem er ressourcer til opretning af datagrundlag, og ikke mindst kravet om at systemet skal vedligeholdes fremover. Det har derfor været nærliggende at anvende veletablerede og veldokumenterede eksisterende modeller, der med lidt bearbejdning har kunne opfylde kravene.

Det er ikke en ny idé at forsøge at kombinere en makroøkonomisk model med tekniske modeller, specielt ikke på energiforsynings- og miljøområdet. Grundlaget for EMMA-modellen, der jo er et energi- og miljømodul til ADAM, er en detaljeret teknisk beskrivelse af forbrugs- og forsyningsiden,

---

<sup>1</sup> SESAM – Sustainable Energy Systems Analysis Model. Model udviklet af Klaus Illum, som i den her anvendte version dækker hele det danske energisystem bestående af energiforbrugssiden, transport og energiforsyning.

der så er aggregeret til et passende niveau, hvortil der er estimeret adfærdsrelationer.

Henrik Jakobsen har med sin HYBRIS model [Jakobsen, H. K. et al., 1996] og [Jakobsen, H. K., 2000] i 1996 opbygget et system til ADAM-modellen bestående af en teknisk apparatmodel samt en forsyningsmodel, der kunne køres iterativt med ADAM år for år. Beregningerne var imidlertid relativt tunge og systemet er ikke længere køreklart.

Opbygningen af EMMA-modellen er i vid udstrækning baseret på HYBRIS-arbejdet, og der blev gjort meget ud af at få EMMA's ligninger til at afspejle sammenhænge i disse modeller. Grundet manglende opdatering af input fra de tekniske modeller til estimationen af EMMA, blev de tekniske energiintensiteter senere flyttet fra at indgå som forklarende variabler i estimationen til at indgå i et eksogent trend-led (effektivitetsled). Denne flytning har gjort fortolkningen af sammenhængen mellem EMMA's energiefterspørgselsligninger og tekniske modelresultater sværere. Et af formålene med dette papir er derfor at vise, hvorledes forbindelsen mellem EMMA og de tekniske modeller kan genetableres, således at EMMA løbende og fleksibelt kan opdateres med input fra disse modeller.

Det endelige koncept, der præsenteres i papiret, er præget af afvejsninger mellem hvad, der skal styres fra de tekniske modeller, og hvad der skal styres fra den makroøkonomiske model. Resultatet af disse afvejsninger er til dels inspireret af AMOR-centrets<sup>2</sup> model portefølje, HYBRIS-modellen samt brugen af modeller i Energistyrelsen. Energistyrelsen baserer netop efterspørgsel efter el, fjernvarme og brændsler på beregninger foretaget i EMMA-modellen. De opdaterer EMMA med resultater fra tekniske modeller på forbrugssiden, mens de helt har sat EMMA's forsyningsmodel ud af kraft. Al beregning af el- og fjernvarmeproduktion foretages i den tekniske energisystemmodel RAMSES<sup>3</sup>. Energistyrelsens system mangler dog muligheden for let at kunne konstruere konsistente scenarier og for at kunne køre mange forskellige scenarier til at afdække fremtidens muligheder. Selvom det konsistente modelsystem, der præsenteres i dette papir, er baseret på den tekniske SESAM-model, så vil systemet let kunne tilpasses andre tekniske modeller som f.eks. de af Energistyrelsen anvendte.

Det grundlæggende i det præsenterede koncept til at kombinere tekniske og makroøkonomiske modeller er fortolkningen af, hvad det er, som binder de to forskellige modeltilgange sammen. Ved at anvende begrebet "energitjenester" kan det vises, at de tekniske modeller ikke behøver at erstatte endogene sammenhænge i de makroøkonomiske modeller, men primært skal opdatere parametre og variabler, som i forvejen er eksogene.

---

<sup>2</sup> AMOR – Center for Analyser, Modeller Og Regnskaber under Det Strategiske Miljøforskningsprogram (SMP). Arbejdet er bl.a. dokumenteret i bogen "Bæredygtighed, økonomi og velfærd" [Andersen et al. 2001], samt rapporten "Environmental satellite Models for ADAM" [Andersen, F. M. 2001].

<sup>3</sup> RAMSES – Energistyrelsens energiforsyningsmodel.

## 1. Formålet med at kombinere ADAM-EMMA med tekniske modeller

Formålet med opbygningen af et system, hvor ADAM-EMMA kan ”kobles” med detaljerede tekniske modeller, er at udvikle et planlægnings- og beslutningsstøtteværktøj, der dækker de væsentlige områder inden for landets økonomiske udvikling samt miljøbelastninger. Det sammenkoblede system giver mulighed for et bredere spektrum af analyser til f.eks. opfyldelse af miljø- og samfundsøkonomiske målsætninger. Til indfrielse af målsætninger for emission f.eks. af drivhusgasser, bliver det således muligt at finde den ”bedste” fordeling af reduktioner mellem de forskellige sektorer. Hvor meget skal industri, elproduktion og landbrug osv. f.eks. bidrage med til reduktion af Danmarks samlede GWP (Global Warming Potential).

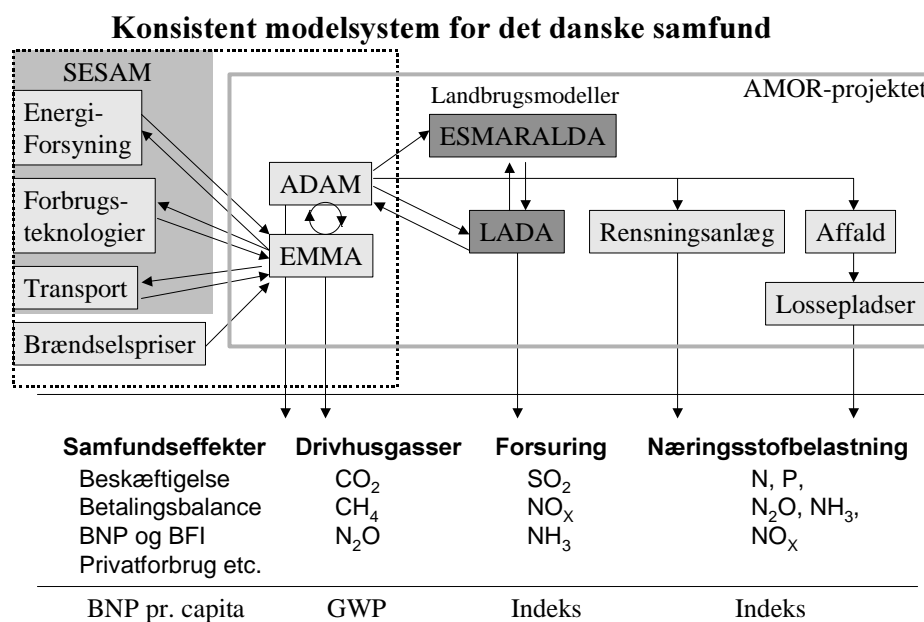
Målet med et sådant system er at kunne vurdere, hvordan der kan opretholdes et velfungerende samfund, samtidig med at reduktioner i ressourceforbrug og miljøbelastninger gennemføres.

Figur 1 illustrerer et system af modeller omkring ADAM, som vil kunne analysere problemerne. I rapporten ”Environmental Satellite Models for ADAM” [Andersen, F. M. 2001] findes dokumentation for landbrugsmodellen ESMARALDA og ”oversættelsesmodul LADA og for modellering af rensningsanlæg og affaldshåndtering. Næste skridt er at få disse satellitmodeller koblet med ADAM og EMMA. Dette papir omfatter det, som er markeret med en stiplede kasse i figur 1, og som først og fremmest indbefatter forbrugsteknologier, transportteknologier, energiforsyning samt miljøafgifter.

For at undgå misforståelser i resten af papiret, gives herunder en definition på de forskellige modelsystemer, der henvises til undervejs. Der er tre niveauer af modelsystemer, som fremgår af figur 1. Først er der det system, som inkluderer alle modeller vist i figuren. Så er der modelsystemet, der omkranses af en grå fuldt optrukket linie, som er de modeller, der indgik i AMOR-centrets modelportefølje. Der er modelsystemet, som afgrænses af den stiplede linie (fokus for denne afhandling) og endelig systemet bestående af ADAM og EMMA. Derudover er der de enkelte modeller, men de vil blive kaldt ved eget navn.

Beskrivelse af modelsystemets omfang	Anvendt akronym for modelsystem
<b>Konsistent <u>M</u>odelsystem for det <u>D</u>anske <u>S</u>amfund</b> Inkluderer alle modeller i figur 8-2.	<i>MDSamfund</i>
<b>AMOR-centrets model portefølje</b> Inkluderer modellerne inden for den fuldt optrukne grå linie i figur 8-2.	<i>AMOR-modeller</i>
<b>Konsistent <u>M</u>odelsystem for det <u>D</u>anske <u>E</u>nergisystem</b> Inkluderer modellerne inden for det stiplede rektangel i figur 8-2.	<i>MDEnergi</i>
<b><u>ADAM-EMMA</u> modelsystemet</b> Inkluderer ADAM og EMMA modellerne.	<i>ADAM-EMMA</i>

En vigtig del af konceptet er, at modellerne ikke skal bygges sammen rent fysisk i det samme programmel. Koblinger eller interfaces mellem *ADAM-EMMA* og andre modeller skal derimod opbygges, så der kan anvendes forskellige satellitmodeller inden for forskellige områder. F.eks. skal *ADAM-EMMA* ikke bindes op på en bestemt teknisk energiforsyningsmodel, men skal kunne arbejde sammen med flere forskellige modeller og ligeså på andre områder. Dette er også en fremgangsmåde, der sikrer, at *ADAM-EMMA*'s vedligehold ikke bliver afhængig af en lang række andre modeller. Desuden giver det brugeren frihed til at bruge forskellige tekniske modeller, der ønskes, og for at få resultaterne kørt igennem *ADAM-EMMA*.



### Indikatorer for bæredygtig udvikling

**Figur 1**

Figuren viser et konsistent modelsystem for Danmark til analyse af økonomiske, miljø- og energimæssige forhold. Systemet består af en række tekniske modeller i tilknytning til *ADAM*-modellen. Modellering af områderne placeret på grå baggrund kan dækkes af *SESAM*-modellen. Resultaterne fra dette system af modeller, vil kunne omsættes til en lang række indikatorer, blandt andet til vurdering af om udviklingen går mod et bæredygtigt samfund. Pilene angiver informationsflow mellem modellerne, det er kun mellem *ADAM* og *EMMA* at der foretages en egentlig iteration. Modeller, som er indrammet af den stiplede kasse indgår i denne afhandling, resten er behandlet i anden litteratur [Andersen F. M., 2001]

Logikken i at koble *ADAM-EMMA* med de tekniske modeller er, at *ADAM-EMMA* er afhængig af en beskrivelse af den teknologiske udvikling (se afsnit om "Tjenester" og "Trende"), samtidig med at de fleste tekniske modeller er afhængige af en eller form for makroøkonomisk input. Ved at køre modellerne under samme ramme kan der sikres konsistens i beregningsforudsætningerne og dermed i beregningerne.

I resten af kapitlet anvendes SESAM-modellen som eksempel på en teknisk model, der kan bruges til at forbedre *ADAM-EMMA*'s beskrivelse af energiforsyning, teknologisk udvikling på forbrugssiden samt transport. Fordelen ved SESAM er, at den sikrer konsistens mellem de områder den beskriver (energiforbrug, energiforsyning og transport), og dermed er der færre modeller imellem hvilke, der manuelt skal sikres konsistente sammenhænge og forudsætninger.

## **2. Hvordan kan *ADAM-EMMA* kobles med tekniske modeller?**

Med henblik på hvordan *ADAM-EMMA* kan arbejde sammen med tekniske modeller, skal der dels argumenteres for, hvorledes en sammenkobling kan forsvares rent teoretisk, og dels beskrives, hvordan det rent praktisk/modelteknisk kan lade sig gøre at indarbejde koblingerne i *ADAM-EMMA*. Med hensyn til det teoretiske fundament, så gælder det om at beskrive, hvor der er overlap mellem makroøkonomiske og tekniske modeller, således at dele af ligningssystemet i den makroøkonomiske model kan erstattes med en beskrivelse fra en teknisk model og dermed skabe konsistens mellem detaljerede forudsætninger og aggregerede beregninger.

I det følgende diskuteres dels teoretiske argumenter for, hvordan modellerne kan kobles og dels hvordan strukturen i en sammenkobling kan se ud.

Energikonverteringen, dvs. produktion af elektricitet og fjernvarme, er i *ADAM-EMMA* bestemt rent eksogent og er baseret på tekniske relationer, se mere herom i afsnittet "Interface til Energiforsyningsmodeller". Derfor er der ikke teoretiske problemer ved opdatering af EMMA på dette område. De følgende afsnit beskæftiger sig derfor med modellering af efterspørgsel efter energi, hvor det påvises, at der er et overlap mellem de to modeltilgange.

### **2.1 Struktur i en sammenkobling**

Den makroøkonomiske model er et naturligt toppunkt i gruppen af modeller, som indgår i dette arbejde, da den dækker alle samfundets (registrerede) økonomiske sektorer. Alle andre modeller (tekniske eller økonomiske) kan betragtes som delmængder af samfundsøkonomien, der kan fungere som input til den makroøkonomiske model.

Den struktur, der er arbejdet efter i denne afhandling med hensyn til at få makroøkonomiske modeller til at arbejde sammen med tekniske modeller, kan kort listes op i en række punkter. Virkeligheden er selvfølgelig mere kompliceret end punkterne herunder umiddelbart giver udtryk af, da alene kalibreringen af modellerne er et stort arbejde.

1. *ADAM-EMMA* opdateres med aggregerede detaljerede data fra de tekniske modeller, og de tekniske modeller opdateres med relevante makroøkonomiske input.
2. Modellerne kalibreres, og der oprettes et indbyrdes konsistent grundforløb for alle modellerne ("nul ekstra omkostningsforløb" eller "naturlig udvikling").
3. Scenarier for den teknologiske udvikling simuleres i de tekniske modeller, og aggregerede resultater overføres til *ADAM-EMMA*.
4. Indgreb i økonomien analyseres i *ADAM-EMMA*. Hvis indgrebene har væsentlige effekter på økonomiske nøgletal, der anvendes i de tekniske modeller, så startes fra punkt 3 igen.
5. Den makroøkonomiske model kan dermed præstere resultater, som er et resultat af makroøkonomiske effekter (typisk priseffekter), samt de effekter af teknologisk karakter, der er blevet introduceret via de tekniske modeller.
6. Makroøkonomiske parametre fra kørslen føres tilbage til de tekniske modeller og økonomiske eftermodeller, hvis der ønskes en detaljeret dokumentation af scenarioberegningerne.

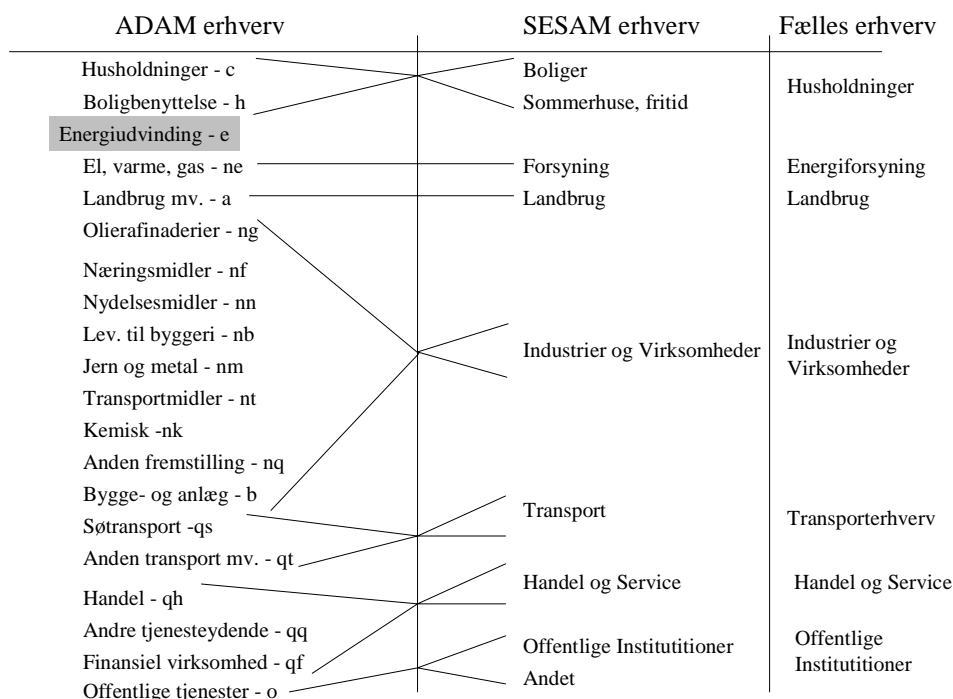
I princippet skal koblingen mellem tekniske og makroøkonomiske modeller være en iterativ proces, ligesom mellem ADAM og EMMA. Men i langt de fleste tilfælde er en enkelt gennemgang af den præsenterede struktur tilstrækkelig (ikke mindst i forhold til de usikkerheder, der ligger på beregningsforudsætninger i fremskrivninger). Anvendelse af flere modeller i sammenhæng kræver dog altid, at brugeren også manuelt tjekker, om nogle af de anvendte antagelser kan føre til inkonsistens. Det er altid brugeren af modellerne, der er ansvarlig for at de sammenhænge, som beskrives og om de resultater, der opnås, er relevante og konsistente.

*Det vigtigste princip, der sikrer konsistens i sammenkoblingen mellem ADAM-EMMA og diverse tekniske modeller er, at den makroøkonomiske model (ADAM) fungerer som hovedmodel, der modtager tekniske parametre (effektiviteter, virkningsgrader, brændselsfordelinger, drift- og vedligeholdelsesomkostninger) fra de tekniske modeller. Hovedmodellen kan så beregne konsekvenserne af de forskellige alternative scenarier for udvikling i de tekniske modeller, samt hvad der foretages af økonomiske indgreb i den makroøkonomiske model.*

## 2.2 Niveau for udveksling af data mellem ADAM-EMMA og tekniske modeller

ADAM-EMMA kan modtage data på det detaljeringsniveau, de selv arbejder på, dvs. syv energiarter og 19 erhverv samt husholdninger. Det er dog de færreste tekniske modeller, der arbejder på dette detaljeringsniveau med hensyn til brancher. Derimod har de ofte flere energiarter og en mere detaljeret beskrivelse af energiens anvendelse (f.eks. pumpning, ventilation, rumvarme, brændstof til køretøjer osv.). For at modellerne skal kunne fungere sammen, må data aggregeres på et fælles niveau, hvilket betyder den laveste fællesnævner for de to modeltyper. Input fra de tekniske modeller må derfor aggregeres på et niveau, som passer til ADAM-EMMA, og omvendt må ADAM-EMMA's erhverv aggregeres på et niveau, der passer til de tekniske modeller.

Den her anvendte tekniske model (SESAM) har en grovere opdeling af erhverv end ADAM-EMMA, hvilket fremgår af figur 2. Desuden har SESAM den begrænsning, at den kun kan levere resultater i fem valgfrie år (den gennemregner i princippet alle år i scenarierperioden). Fokus i dette arbejde er på det lange sigt og givet at den anvendte SESAM version har 1996 som basis år (historiske tal), så er det valgt at trække data fra SESAM i følgende år: 1996, 2000, 2010, 2020 og 2030.



**Figur 2**

*Forbruger kategorier i SESAM og ADAM-EMMA. Vinklerne og stregerne viser sammenhængen mellem forbruger kategorierne i de to modeller. Energiudvinding ("e"-erhvervet) er markeret specielt, da olie- og gasproduktionsplatforme ikke er indeholdt i SESAM-modellen. Yderst til højre vises de fælles kategorier som anvendes i sammenkoblingen mellem modellerne.*



Skal der anvendes andre tekniske modeller, kræver det på nuværende tidspunkt, at de leverer data på samme niveau som SESAM. I figur 2 er vist *ADAM-EMMA*'s erhverv samt de mere aggregerede SESAM-erhverv. Grunden til, at erhvervet "Energiudvinding" ikke har sin modpart i form af et SESAM-erhverv er, at den anvendte SESAM-model ikke har olie- og gasproduktionsplatforme med i sin beskrivelse af det danske energisystem.

### **2.3 "Tjenestebegrebet" som bindeled mellem tekniske- og makroøkonomiske modeller**

En "tjeneste" er en ønsket ydelse, som er resultatet af diverse anstrengelser for at frembringe denne ydelse. Anstrengelserne til frembringelse af ydelsen er i princippet ligegyldig for forbrugeren, som typisk kun er interesseret i selve ydelsen. Tænkes der i energitjenester, kan Jørgen Nørgårds "energikæde" [Nørgård, J. S., 2001] (se figur 3) bruges til at illustrere, at der ikke er en entydig måde at frembringe energitjenester på. Så selvom ydelsen er den samme, kan frembringelsen af ydelsen være baseret på vidt forskellige teknologier, råvarer osv. og dermed også påvirke miljøet og ressourcetrækket vidt forskelligt.

Når man analyserer og opbygger energisystemer, så er det vigtigt at fokusere på, hvad målet med energisystemet reelt er og ikke kun kigge på systemets enkeltdele. Det er her, "energikæden" er et godt værktøj til forstå de sammenhænge, der gør sig gældende. I det følgende gennemgås et eksempel på en energitjeneste og de sammenhænge, den indgår i.

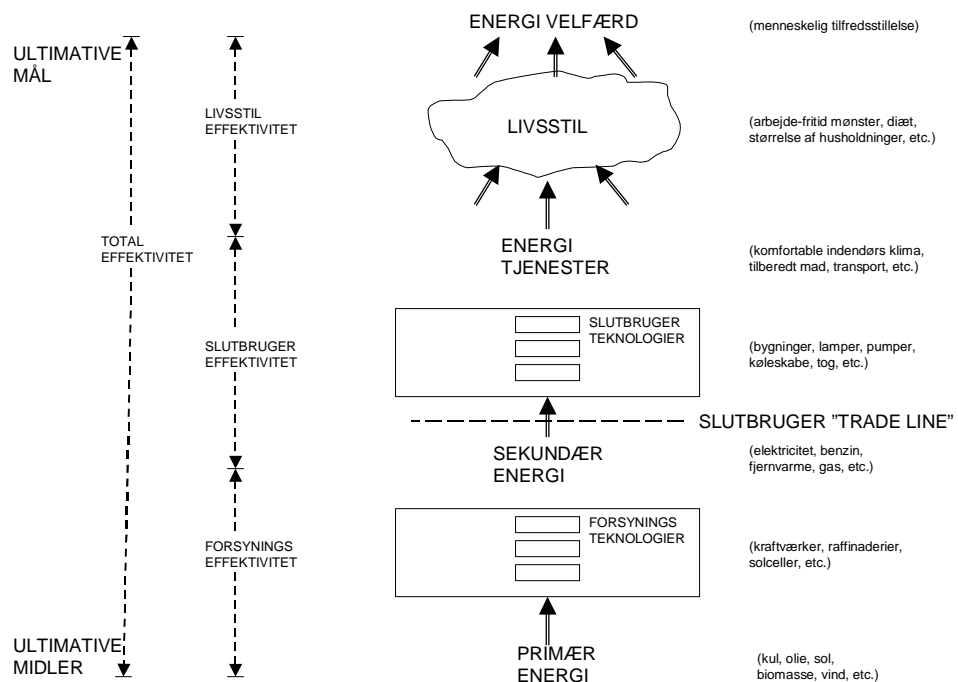
#### **Energitjenesten "lys i boliger"**

Den ydelse eller tjeneste forbrugeren efterspørger er passende belysning i deres boliger, når de er hjemme. Med energitjenesten "lys i boliger" skal her forstås det antal timer i døgnet, der ønskes lys i et vist antal rum i boligen – den fysiske enhed kan f.eks. være oplyste antal kvadratmeter gange antal timer i døgnet de ønskes oplyst ( $(m^2 \cdot \text{timer}) / \text{døgn}$ ). Hvad er passende belysning så? Det kan være svært at definere klart, og det er noget, som opfattes forskelligt fra person til person. Dette problem løses normalt ved at antage, at det gennemsnitlige niveau for belysning i udgangsåret for analysen repræsenterer udgangspunktet for efterspørgslen efter energitjenesten "lys i boliger". Ændringer i forhold til dette udgangspunkt repræsenterer alt andet lige henholdsvis en stigning eller et fald i efterspørgslen. Henført til "energikæden" i figur 3 kan sammenhængen mellem en efterspørgsel af energitjenester følges helt tilbage til et træk på primære ressourcer som kul, olie, biomasse etc. En reduktion i efterspørgslen efter energitjenester vil føre til en reduktion i trækket på primære ressourcer. Her er det vigtigt at slå fast, at en sænkelse af energitjenesteniveauet ikke nødvendigvis fører til en sænkelse af levestandarden eller den menneskelige velfærd. Med "lys i boliger" som eksempel kan det f.eks. tænkes, at en ændret adfærd, med hensyn til at slukke lyset når rum forlades osv., kan sænke efterspørgslen efter energitjenesten, uden at det har indflydelse på levestandarden eller velfærden.

Hvis vi bevæger os ned gennem "energikæden", så frembringes de efterspurgte energitjenester af slutbrugerteknologierne. For "lys i boliger" er slutbrugerteknologierne diverse lyskilder herunder først og fremmest elektriske lyskilder som lamper. Men "lys i boliger" kan også opfyldes eller suppleres med helt andre teknologier som f.eks. større vinduesarealer eller ovenlysvinduer. Dette er netop styrken ved "energikæden". Den fastlåser ikke analysen på bestemte teknologier. De elektriske lyskilder indeholder ligeledes muligheder for rent teknisk at sænke elforbruget ved at erstatte konventionelle glødepærer med lavenergipærer.

Næste trin i kæden er brændstoffet (kaldet "sekundær energi" i figur 3) til slutbrugerteknologierne. Er der tale om elektrisk belysning, er "brændstoffet" indlysende nok elektricitet. Til lige præcis dette trin i "energikæden" er rumopvarmning et mere interessant eksempel, da brændstoffet her kan vælges mellem gas, olie, kul, biomasse, elektricitet mm.

Forsyningsteknologierne producerer "brændstoffet" eller den "sekundære energi" til slutbrugerteknologierne og med hensyn til produktion af elektricitet, er det her de største direkte miljøpåvirkninger finder sted. Miljøpåvirkningerne er afhængige af hvilken teknologi, som anvendes, og hvor effektiv den er. Er elektriciteten produceret i samproduktion med fjernvarme eller på kraftværker uden udnyttet varmeproduktion, er det produceret på vindmøller eller anden vedvarende energikilde? Svaret på disse spørgsmål har stor indflydelse på trækket på de primære ressourcer, som er inputtet til forsyningsteknologierne.



**Figur 3**

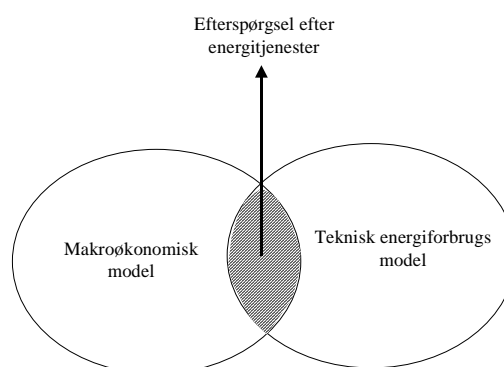
Figuren illustrerer en såkaldt energikæde, som viser sammenhængen mellem forbruget af brændsler, konvertering, forbrugsteknologier og de efterspurgte ydelser fra forbrugsteknologierne, de såkaldte "Energitjenester".

Figuren er gentegnet og oversat fra engelsk af Kenneth Karlsson. [Nørgård, J. S., 2001]

Hvert trin i en sådan "energikæde" medfører en eller anden form for tab af nyttig energi. Jo højere oppe i kæden der gøres en indsats for at sænke energiforbruget, jo mere forstærkes effekten i reduktion af trækket på de primære ressourcer.

Figur 3 viser også, hvor vigtigt det er at understrege, hvad det er modellerne kan sige noget om, og måske endnu vigtigere, hvad de ikke kan. Over "Energitjeneste"-niveauet er der to yderligere niveauer, nemlig at den kombination vi vælger af energitjenester beskriver en form for livsstil, som igen resulterer i det rent modelmæssigt u håndgribelige begreb "energi velfærd". I de tekniske modeller operationaliseres "energitjenester" ved f.eks. at opgøre dem som antal m<sup>2</sup> opvarmet boligareal, antal oplyste rum eller oplyste m<sup>2</sup>, hvor mange kilometer vi bliver transporteret osv. I de makroøkonomiske modeller måles udviklingen i ydelser i faste priser (kan tolkes som "energitjenester"), som reelt er et effektivitetskorrigeret mængdemål. I ADAM-EMMA er efterspørgslen efter energi i faste priser ("energitjenester" i alt) ét samlet aggregat baseret på de tre energiaggregater "Elektricitet", "Øvrige brændsler" og "Transport" fra EMMA-modellen. I forhold til de tekniske modeller er EMMA-modellens repræsentation af efterspørgslen efter energitjenester dermed relativt kraftigt aggregeret.

Succeskriteriet i begge typer modeller bliver ofte mængden af energitjenester i forhold til energiforbruget og ikke det, som egentligt er vigtigt, nemlig om menneskene har det godt i det samfund, de lever i, og som bedre beskrives ved begreberne højere oppe i kæden, nemlig "Livsstil" og "Energi Velfærd", i forhold til energiforbruget. Disse øverste led i kæden er som nævnt vanskelige at måle eller beregne, hvorfor de ikke egner sig til modellering.



**Figur 4**

*Makroøkonomiske og tekniske modeller har ved modellering af efterspørgsel efter energi et klart overlap, der kan udnyttes, når de to modeltyper skal arbejde sammen. Det, som binder dem sammen er efterspørgslen efter energitjenester, der er drivkraften i de tekniske modeller, men et resultat fra de makroøkonomiske model.*

Begge modeltyper interesserer sig altså for "ydelsen" eller "energitjenesten", men fra forskellige retninger. De tekniske modeller skal bruge en ønsket udvikling i "energitjenesteniveauet", før de kan modellere den teknologiske sammensætning og dermed efterspørgslen efter energi. De makroøkonomiske modeller beregner derimod en mulig ydelse ("energitjenesteniveau") under de økonomiske bindinger og den teknologiske udvikling samfundet er underlagt. Det er her de to modeltilgange overlapper hinanden og efterspørgslen efter

”energitjenester” bliver netop det bindeled mellem de to modeltyper, der er efterspurgt (se figur 4).

Den makroøkonomiske model skal bruge input om udviklingen i effektivitet for erhvervenes produktion og forbrug for at kunne beregne efterspørgslen efter ydelser og tjenester. Disse efterspurgte effektiviteter kan beregnes i de tekniske modeller på baggrund af en efterspørgsel efter ydelser (”energitjenester”). Dermed har vi en traditionel ”hønen eller ægget” konflikt, som dog ikke er værre, end at det med fornuftige udgangsskøn kan løses iterativt.

## 2.4 ”Trende” som det operationelle bindeled

I forrige afsnit blev det konkluderet generelt at bindeledet mellem tekniske- og makroøkonomiske modeller er efterspørgslen efter energitjenester. I dette afsnit vil denne konklusion operationaliseres i *ADAM-EMMA*. Langt de fleste beskrivelser vil dog gælde generelt for kobling af makroøkonomiske- og tekniske modeller.

Som nævnt tidligere må en sammenkobling af tekniske- og makroøkonomiske modeller baseres på hvilke dele af den makroøkonomiske model, som teoretisk konsistent kan erstattes med de tekniske modeller. I *ADAM-EMMA* er det de såkaldte ”trende” som er vejen ind for de tekniske modeller.

Efterspørgslen efter energi i EMMA er en funktion af prisen på energi, en trend og af en forklarende aktivitet. Den forklarende aktivitet kan være et erhvervs produktionsværdi eller husholdningernes privatforbrug og beregnes i ADAM.

$$E_i^* = f\left(\frac{1}{p_i}, \frac{1}{T_i}, Y_i\right) \quad \text{Ligning 1}$$

$E_i^*$	Langsigts energiefterspørgsel i år $i$ , f.eks. husholdningernes elforbrug.
$p_i$	Prisen på den efterspurgte energiart (”el”, ”øvrig energi” eller ”transport) i år $i$ .
$T_i$	Trendeffekt i år $i$ .
$Y_i$	Niveau for den forklarende økonomiske aktivitet i år $i$ . F.eks. husholdningernes privatforbrug.

For historiske data er trendene i *ADAM-EMMA* approksimeret med et polynomium med tiden som eneste forklarende variabel, men i fremskrivninger er trendene derimod eksogene og netop beregnet til at blive opdateret med resultater fra tekniske modeller. Denne mulighed for at inddrage tekniske modeller til at opdatere *ADAM-EMMA* har dog ikke været særlig anvendt, hvilket nok først og fremmest skyldes vanskeligheder ved at tolke sammenhænge mellem teknologisk udvikling og udvikling i trende. Den fortolkning, der ligger til grund for forståelsen af trende i EMMA’s energiligninger i dette papir er følgende:

Hvis trendene i en fremskrivning med EMMA fastfryses på niveauet i det sidste historiske år før fremskrivningsperioden, så kan udviklingen i EMMA's efterspørgsel efter energi i fremskrivningsperioden tolkes som udviklingen i efterspørgsel efter energitjenester. Dette er, hvad der ofte kaldes, en "frozen efficiency" fremskrivning i tekniske modeller.

## 2.5 Fra effektivitetsfaktorer i tekniske modeller til trende i *ADAM-EMMA*

I tekniske modeller er energiefterspørgslen en funktion af energiforbrugende aktiviteter og deres tilhørende energiintensitet. De energiforbrugende aktiviteter i de tekniske modeller opgøres typisk på niveau med de enkelte anvendte apparater f.eks. vaskemaskiner, komfurer eller for industri og virksomheder f.eks. ventilation, belysning etc. Disse detaljerede beskrevne energiforbrug til energitjenester kan så aggregeres til niveauer, der passer til den makroøkonomiske model som f.eks. husholdningernes samlede elforbrug.

$$E_i = \sum_j E_{ij} = \sum_j g(S_{ij}, I_{ij}) \quad \text{Ligning 2}$$

$E_i$	Energiefterspørgsel i år $i$ , der kan sammenlignes med den makroøkonomiske model, f.eks. husholdningernes elforbrug.
$E_{ij}$	Energiefterspørgsel for energitjeneste $j$ i år $i$ , f.eks. "lys i boliger".
$S_{ij}$	Mængde af energitjeneste $j$ i år $i$ .
$I_{ij}$	Energiintensiteten for energitjeneste $S_j$ i år $i$ .

Et "frozen efficiency" scenario med de tekniske modeller svarer til, at energiintensiteten for de enkelte energitjenester bliver holdt konstant i fremskrivningen.

Omdrejningspunktet mellem tekniske- og makroøkonomiske modeller er dermed, hvorledes sammenhængen mellem de forklarende aktiviteter  $Y$  i den makroøkonomiske model og de specifikke energitjenester  $S$  i den tekniske model kan forklares. Oftest vælges det i de tekniske modeller at antage, at der er en lineær sammenhæng mellem efterspørgslen efter energitjenester og den forklarende aktivitet. Dvs. husholdningernes efterspørgsel efter energitjenester baseret på el (eltjenester) er lineært afhængig af privatforbruget fundet i den makroøkonomiske model. Dermed er udviklingen i energiintensitet i den tekniske model omvendt proportional med udviklingen i trenden i den makroøkonomiske model.

$$\frac{I_i}{I_0} = \frac{T_0}{T_i}$$

hvor

Ligning 3

$$I_i = G(I_{ij}) \quad \text{og} \quad I_0 = G(I_{0j})$$

$I_i$  Gennemsnitlig energiintensitet i år  $i$  for  $j$  energitjenester.

$I_0$  Gennemsnitlig energiintensitet i år 0 for  $j$  energitjenester.

$T_i$  Trend i år  $i$ .

$T_0$  Trend i år 0.

De tekniske modeller kan dermed, på baggrund af en fremskrivning af den forklarende økonomiske aktivitet fra den makroøkonomiske model, producere fremskrivninger for trendene til brug i fremskrivninger i de makroøkonomiske modeller.

På baggrund af udviklingen i de aggregerede energiintensiteter beregner SESAM-modellen såkaldte effektivitetsfaktorer ( $Eff_i$ ) for de grupperinger af erhverv, der anvendes i sammenkoblingen (grupperingerne er vist i figur 2).

$$Eff_i = \frac{I_i}{I_0}$$

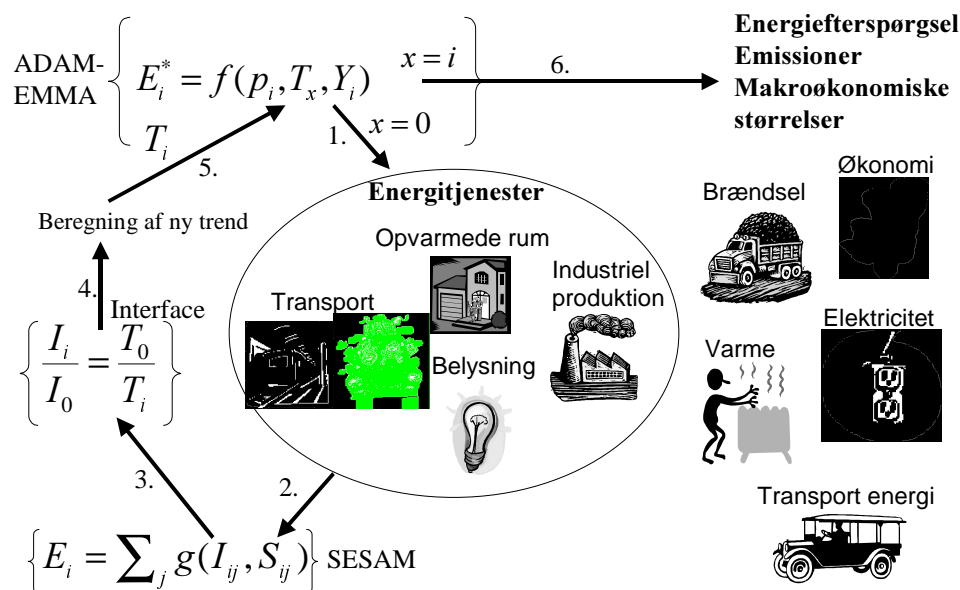
Ligning 4

Det er disse effektivitetsfaktorer, som bruges til at opdatere trendene i *ADAM-EMMA*. Figur 5 forsøger grafisk at illustrere de netop beskrevne sammenhænge og antagelser.

Det skal for en god ordens skyld nævnes, at modelleringen af energiintensiteten i de tekniske modeller ofte er baseret på detaljerede apparat-årgangsmodeller. Dvs. modeller, der holder øje med kombinationen af forskellige årgange af f.eks. vaskemaskiner i et givet år, historisk og i fremskrivningen. De forskellige årgange af apparater har tilknyttet forskellige enheds-energiforbrug og benyttelsestider. Udskiftning af apparater er styret af deres levetid samt nogle funktioner, som beskriver de nye teknologiers indtrængning på markedet. Desuden indeholder energiintensiteten også en beskrivelse af brugeradfærd i forhold til teknologien.

SESAM har en sådan modellering af energiforbrugende apparater. SESAM's apparatmodel har desuden mange fælles træk med den af DEFU udviklede Elmodel Bolig, som bl.a. anvendes af Energistyrelsen.

## Link mellem makroøkonomiske og tekniske modeller



**Figur 5**

Figuren viser, hvordan der i en kobling mellem ADAM-EMMA og tekniske modeller kan sikres konsistente beregninger. Først køres ADAM-EMMA med trende SESAM's grundscenario (Pil 1). Resultatet herfra tolkes som samfundets ændring i efterspørgsel efter energitjenester. Energitefterspørgslen imødekommes i den tekniske model med scenarier for den teknologiske udvikling (Pil 2). Herfra kan beregnes en aggregeret energiintensitet i den tekniske model. Ændringen i denne intensitet tolkes som en tilsvarende ændring i trenden i ADAM-EMMA (Pil 3). På grundlag heraf beregnes en ny trend (Pil 4) og den nye trend indsættes i ligningerne i ADAM-EMMA (Pil 5). Hermed kan den makroøkonomiske model på et aggregeret niveau give resultater, hvor der er konsistens mellem makroøkonomiske og tekniske variable (Pil 6). ADAM-EMMA kan dermed reelt beregne forbruget af fjernvarme, el, diverse brændsler og transportenergi samt tilhørende luftemissioner.

## 2.6 Omregning fra effektivitetsfaktorer til trende

Som en simplificering af koblingen mellem ADAM-EMMA og tekniske modeller opdateres trende på niveau med opdelingen af erhvervene i den anvendte SESAM model. Dvs. alle ADAM-EMMA-erhverv i samme kategori får opdateret deres trende med samme faktor. Hvis opdateringen skulle foregå individuelt på samtlige ADAM-EMMA-erhverv, så ville det betyde at den tekniske model skulle køre med samme detaljerede opdeling på erhverv. I SESAM-modellen vil det faktisk være muligt at tilføje flere erhverv, men det er ikke udnyttet i forbindelse med dette papir, idet en sådan detaljeringsgrad ikke er nødvendig for projektets formål.

Grupperingen af trendene inden for de aggregerede sektorer, det er valgt at arbejde med, kan ses i tabel 4-7 i afsnittet ”Kalibrering af ADAM-EMMA og SESAM”.

Ved opdatering af trende benyttes nogle regneoperationer i PCIM-sproget. Da der fra den anvendte SESAM model kun er data for 5 år (1996, 2000, 2010, 2020 og 2030), så skal der interpoleres i de mellemliggende år. I PCIM er det enklest at opdatere variabler med en procentvis tilvækst per år og derfor er det valgt at opdatere trende på følgende vis:

$$T_i = T_{i-1} \cdot (1 + r) \quad \text{Ligning 5}$$

Vækstraten ” $r$ ” beregnes som den gennemsnitlige vækstrate i hver periode (mellem f.eks. 2010 og 2020). Dette betyder at trenden kommer til at bestå af kontinuerte stykvise eksponentialfunktioner. Udsvingene bliver dog så små, at liniestykkerne tilnærmelsesvis er lineære.

Fra den tekniske model leveres en effektivitetsfaktor for hver erhvervskategori og hvert aggregerede energiforbrug (el, opvarmning (betegnes i *ADAM-EMMA* som ”øvrige energi”) og transport). Effektivitetsfaktoren er her defineret som den procentandel af energiforbruget i basisåret, der skal til for at levere den samme mængde energitjenester i det givne år. Hvis f.eks. el-apparaterne i ”Industri og Virksomheder” er blevet 10 % mere effektive i 2000 i forhold til udgangsåret 1996, så er effektivitetsfaktoren 90 % i år 2000. Herunder vises et eksempel på omregning af en effektivitetsfaktor til en vækstrate til opdatering af en trend. Givet det nævnte eksempel, så beregnes vækstraten til opdatering af trenden i perioden 1996 til 2000 på følgende måde:

$$r = \left( \frac{100 \%}{90 \%} \right)^{\left( \frac{1}{(2000-1996)^{-1}} \right)} = 0,924 \% \text{ pa} \quad \text{Ligning 6}$$

## 2.7 Samarbejde mellem ADAM-EMMA og SESAM

Der er en række områder, hvor man er nødt til at vælge én fælles fortolkning af fænomenet for de to modeltyper for at kunne gennemføre konsistente beregninger. Herunder diskuteres fire områder, hvor det specifikt har været nødvendigt at vedtage en fortolkning for at kunne føre ADAM-EMMA og SESAM sammen til konsistente analyser. Diskussionen viser, at det er nødvendigt at indgå en række kompromisser for at sikre konsistens.

De fire områder, der diskuteres, er forbrugsmætning, effektivitetskorrigeret energiefterspørgsel (eller direkte ”Rebound Effect”), transaktionsomkostninger i tekniske modeller samt implementering af eksogent beregnede investeringer i ADAM-EMMA.



### 2.7.1 Mætningsproblematikken

En væsentlig forskel mellem makroøkonomiske og tekniske modeller er behandlingen af mætningstendenser. I en teknisk model vil der ofte antages mætning og indsættes mætningsniveauer for de enkelte husholdningsapparater. Det antages måske, at husholdningerne max vil have 4 fjernsyn, 2 køleskabe osv. En teknisk model benytter ikke bare en fast vækstrate for hvert apparat. Det er meningsløst at påstå, at hver husstand skal have f.eks. 20 fjernsyn en gang i fremtiden. Makroøkonomiske modeller indeholder typisk ikke en mekanisk mætning i efterspørgslen. Øges indkomsten, så øges efterspørgslen også. Så i princippet er der ikke et øvre loft for husholdningernes efterspørgsel efter energitjenester, og i den makroøkonomiske model tages ikke hensyn til hvilken type apparater, der skal opfylde den øgede mængde af energitjenester. Det antages implicit, at der vil komme nye og flere apparater i samme takt som økonomien øges. Den makroøkonomiske argumentation går på, at så længe økonomien vokser, kommer der nye energiforbrugende apparater til. Vi kan ikke nødvendigvis forudsige, hvad der kommer, og en stadig vækst i energiforbrugende apparater kan godt dække over en mætning på nogle områder, mens andre og nye områder stiger, således at det samlet set giver en nettotilvækst.

I sammenkoblingen af ADAM-EMMA og tekniske modeller (SESAM), der er beskrevet i dette kapitel, bliver energitjenesteniveauet bundet op på udviklingen i de forklarende økonomiske aktiviteter fra ADAM-EMMA, og *MDEnergi* (modelsystemet bestående af ADAM-EMMA og SESAM) har derfor ikke indbygget en mekanisk mætning, givet af den tekniske model. Rent teknisk er problemet løst, ved at SESAM's dækningsgrader for de enkelte elapparater er hævet tilsvarende den fra ADAM-EMMA givne forklarende økonomiske aktivitet. Grundlaget for dette valg er, at det ikke hænger sammen at påstå, at økonomien kan vokse, uden at der produceres mere. Hvad der produceres skal også aftages, hvilket medfører en vækst i antallet af apparater og dermed energitjenesteniveauet.

## 2.8 Effektivitetskorrigeret energiefterspørgsel

I ADAM-EMMA er ligningerne for energiefterspørgsel effektivitetskorrigeret. Dette betyder, at det antages, at forbrugerne kigger på den totale omkostning til energi, når de vælger, hvor meget energi, de vil bruge. Så dels er efterspørgslen afhængig af den aktuelle pris på energi per enhed, men forbrugerne er også opmærksomme på om en eventuel højere energipris modsvares af en øget energieffektivitet. Det ligger altså direkte i ADAM-EMMA's energiligninger, at en øget effektivitet giver en øget efterspørgsel efter energitjenester. Effektivitetsforbedringerne er i energiligningerne i ADAM-EMMA vægtet med én minus priselasticiteten for energi. Dette betyder, at for energivarer med høj priselasticitet (tæt på én) er korrektionen for effektivitet lille (dvs. den øgede effektivitet fører til et øget forbrug, der næsten opvejer gevinsten ved effektivitetsforbedringen) og omvendt giver en lav priselasticitet en stor korrektion for effektivitet (dvs. energibesparelsen slår næsten fuldt igennem).

Energibesparelser i en teknisk model, herunder SESAM, slår fuldt igennem. Givet en efterspørgsel efter energitjenester, fra f.eks. en makroøkonomisk model, kan man i den tekniske model opbygge forskellige scenarier for, hvorledes energitjenesterne kan leveres og med hvilket energiforbrug.

Denne korrektion af energiefterspørgslen, som reaktion på ændret energieffektivitet, kan kaldes en direkte "Rebound effect" eller på dansk "Bagslagseffekt". "Bagslagseffekten" beskriver det forhold at hvis forbrugerne sparer penge på at spare energi (rentable energibesparelser), så vil de frigjorte midler anvendes til forbrug, der direkte (ekstra forbrug af energivarer) og indirekte (ekstra forbrug af andre varer) vil øge forbruget af energitjenester og dermed energi. Resultatet bliver at den rentable energibesparelse ikke slår fuldt igennem, da den er med til at generere en ny efterspørgsel efter energi. I rapporten "*Does Energy Efficiency Save Energy: The Economist Debate*" [Herring, H., 1998] er der lavet en oversigt over den internationale diskussion, der har været i forbindelse med "Rebound effect". Jørgen Nørgård diskuterer også effekten af rentable energibesparelser, dels i forhold til samfundsøkonomi og dels i forhold til energiefterspørgsel. Han skriver bl.a. "*Forøger man ikke specielt sit forbrug af energitjenester, men i stedet sit generelle forbrug for de penge, man har sparet på sit direkte energiforbrug, - og dette kommer nok nærmest virkeligheden – da vil det give anledning til et vist indirekte energiforbrug til tilvejebringelse af disse forbrugsgoder, men man vil dog opnå en væsentlig reduktion i energiforbruget.*" [Nørgård, J. S., (2000, 2)].

Der kan argumenteres både for og imod at korrigerer efterspørgslen efter energitjenester i forhold til ændring i effektivitet. Lad os kigge på et par eksempler:

### 2.8.1 Bilkørsel

Hvad har betydning for, hvor meget forbrugerne vælger at køre i deres bil. Er det benzinprisen alene, er det de samlede omkostninger til transporten, eller er det et transportbehov, som skal opfyldes uanset omkostningerne? Til dette spørgsmål svarer *ADAM-EMMA*, at forbrugerne kigger på de samlede omkostninger, og hvis deres biler kan køre længere på literen, så vil de også køre én minus priselasticiteten gange mere (øge efterspørgslen efter transporttjenester). I *SESAM* er transporttjenesteniveauet eksogent og derfor er det op til brugeren at vurdere om mere effektive køretøjer fører til en øget efterspørgsel efter transportarbejde.

### 2.8.2 Varmeforbrug i boliger

Hvis forbrugerne får efterisoleret huset og får nye vinduer, betyder det så, at de vil øge varmebehovet i form af energitjenester? Ifølge *ADAM-EMMA* vil forbrugerne øge efterspørgslen af energitjenesten "varme i boliger" og dermed efter "Øvrig energi"<sup>4</sup>. *ADAM-EMMA* tager ikke stilling til hvordan varmemeforbruget øges, det sker bare. I *SESAM* er det op til brugeren at vurdere

<sup>4</sup> "Øvrig energi" dækker i *EMMA* fjernvarme, kul, olie, naturgas og biomasse.

om efterisolering af boligerne fører til en ændret indetemperatur og luftskifte i boligerne.

### 2.8.3. Elforbrug

Med henblik på elforbrug kan f.eks. en mere effektiv vaskemaskine reducere en husstands samlede elforbrug ved fastholdt energitjenesteniveau. Men her siger ADAM-EMMA så, at forbrugerne kigger på deres samlede omkostning og øger elforbruget, enten i form af øget eller mindre effektiv brug af vaskemaskinen eller ved investering i nye elapparater. I SESAM-modellen er det op til brugeren at vurdere, om dækningsgraden af vaskemaskiner (eller andre elapparater) skal øges ved indførelse mere effektive vaskemaskiner.

Der er ikke tvivl om, at spares der penge ved energibesparelser, så vil pengene forbruges et andet sted i økonomien. Dermed vil ”økonomisk rentable” energibesparelser altid indirekte medføre en afledt ekstra efterspørgsel efter energitjenester. Hvorvidt der er en konstant direkte afledt effekt af øget effektivitet på efterspørgslen efter energi, som det er tilfældet i EMMA’s ligninger, kan diskuteres. Men en effekt er der sandsynligvis, hvilket underbygges af at EMMA’s ligninger er estimeret på statistiske data.

Det vælges i dette papir at bibeholde ADAM-EMMA’s effektivitetskorrigerede energiligninger, og dermed implicit antagelsen om at forbrugerne kigger på de samlede omkostninger, når de sammensætter forbruget, og ikke kun enhedsprisen.

## 2.9 Transaktionsomkostninger

Transaktionsomkostninger er et begreb, som dækker indirekte udgifter i forbindelse med drift og ændringer af systemer. Disse omkostninger er ikke direkte målbare, men er indeholdt i ADAM-EMMA’s beregninger af omkostninger til fastsættelse af de enkelte erhvervs output pris (den pris de andre erhverv kan købe ydelser fra det pågældende erhverv til), da ligningerne er estimeret på historiske data fra nationalregnskabet og dermed inkluderer alle omkostninger.

Transaktionsomkostninger omfatter administrative ekstraomkostninger og omkostninger i forbindelse med myndighedsbehandling osv., der normalt ikke direkte kan spores tilbage til den pågældende aktivitet eller erhverv. Derfor vil disse omkostninger typisk ikke indgå i tekniske modeller, da disse fokuserer på hvilke omkostninger, der direkte kan relateres til den aktivitet de beskriver.

Et billede på transaktionsomkostninger kan være at forestille sig et modelsystem af den danske økonomi, hvor hvert erhverv er modelleret individuelt, og hvor der ikke er en overordnet systematisering, som sikrer, at al produktion og forbrug summer op til Nationalregnskabet. Den difference, som opstår mellem aggregeringen af modelresultaterne og Nationalregnskabet, vil

til dels bestå af disse transaktionsomkostninger, som er svære at tillægge bestemte erhverv.

I mangel på bedre data antages det i dette papir, at ADAM-EMMA's beregning af transaktionsomkostninger er dækkende for alle typer af scenarier, selv om mange indgreb f.eks. i opbygningen af energisystemet kan forestilles at have effekt på disse omkostninger. Deregulering af energimarkederne og en øget satsning på mindre energiproducerende enheder kan antages at give øgede administrative omkostninger. Den samlede effekt for samfundet er det dog endnu sværere at få et klart billede af, da øgede transaktionsomkostninger et sted i samfundet kan tænkes at give sænkede ditto andetsteds. Et eksempel på dette kan være et samfund, hvor energiforsyningen er baseret på lokale vedvarende ressourcer. Dette giver muligvis mere administration lokalt, samt en øget regulering af det overordnede elnet. Samtidig vil en sådant system i langt mindre grad være afhængig af olie og kul. Derfor vil administration og andre udgifter i forbindelse med import og udvinding af disse produkter formentligt sænkes.

Der er ikke nogen samlende konklusion på dette punkt, og derfor er det valgt at bruge ADAM-EMMA's ligninger uden korrektion for ændringer i transaktionsomkostninger, da ADAM-EMMA's beregninger om ikke andet så er bestemt ud fra, hvorledes de samlede omkostninger har fordelt sig historisk.

## **2.10 Ekstraomkostninger i en makroøkonomisk model**

Et af de traditionelle problemer vedrørende sammenkørsel af makroøkonomiske og tekniske modeller er, hvorledes de omkostninger de tekniske modeller beregner for et givent indgreb kan overføres og fortolkes i en makroøkonomisk model.

Den makroøkonomiske model indeholder per definition alle udgifter og sammenhænge i det økonomiske system. Det kan ikke udledes specifikt, hvor store omkostningerne (forstået som en ekstraudgift for samfundet målt i kroner) har været som følge af bestemte indgreb i økonomien (f.eks. en øget satsning på energibesparelser), men blot konstateres, hvad effekten har været på makroøkonomiske faktorer som BNP, beskæftigelse og nu med det præsenterede system også en lang række miljøparametre. Problemet med sammenhængen til de tekniske modeller opstår, når effekten af tekniske indgreb overstiger historisk kendte effekter. Hvis den makroøkonomiske model f.eks. tvinges til at indregne teknologiske effektivitetsforbedringer, hvis udgifter overstiger de historisk kendte, så kommer disse ekstra effektivitetsforbedringer med i beregningerne med en forkert pris (for "billigt"). I makroøkonomiske modeller er erhvervenes investeringer beregnet i endogene relationer, hvorfor ekstraordinære påtvungne investeringer ikke er så enkle at få med i beregningerne.

### 2.10.1 Implementering af ekstra investeringer i ADAM

Indførsel af eksogene investeringer i ADAM er nærmere behandlet i arbejdsrapporten JAN25702.

Implementeringen af ekstrainvesteringer er håndteret forskelligt blandt de erhvervskategorier, der arbejdes med her i afhandlingen. Der arbejdes med to grupper af ekstrainvesteringer: Den ene omfatter investeringer i energibesparende apparater, hvilket inkluderer el-apparater, lokale opvarmningsteknologier og for industriens vedkommende procesanlæg. Den anden gruppe dækker investeringer, der er knyttet til bygningskapitalen såsom efterisolering af huse, krav til nybygning osv. og for el- og fjernvarmeforsyningen ligger investeringen i nye anlæg også i denne kategori.

#### **”Husholdninger”**

Ekstrainvesteringer i elbesparelser og lokalt opvarmningssystem håndteres ved ADAM’s udtryk for ”Husholdningernes” investering i ”varige varer”. Her kan ekstrainvesteringer blot adderes til udtrykket via justeringsleddet ”jfcv”. Dette medfører at husholdningerne har færre penge til rådighed til øvrigt forbrug.

Ekstrainvesteringer i husenes varmetabsmæssige stand kan i ”Husholdningerne” håndteres i ADAM’s udtryk for ”boligbenyttelse”, hvor ekstrainvesteringer ligeledes kan adderes direkte til udtrykket via j-leddet ”jdfch”.

#### **”Offentlige Institutioner”**

Offentlige investeringer i ”maskiner” (”fimo”) og ”bygninger” (”fibo”) er rent eksogene i ADAM, da det er politikvariabler. Derfor kan ekstrainvesteringer blot adderes til niveauet i den valgte basiskørsel (”Naturlige udvikling”).

#### **”Erhvervene”**

Denne beskrivelse omfatter ”Industri og Virksomheder”, ”Handel og Service”, ”Landbrug” samt ”Energiforsyning”.

En metode til i ADAM at påtvinge erhvervene ekstra investeringer er at sænke effektiviteten af kapitalapparatet (eksogene variabler i ADAM), hvorved erhvervenes efterspørgsel efter kapital stiger, hvilket igen medfører øgede investeringer. Størrelsesordenen af de øgede investeringer afhænger af estimerede parametre og erhvervenes afskrivninger på kapital, derfor bestemmes de ved simulering med ADAM.

Ved at sænke effektiviteten med 1% fra år 1 og frem ses det, hvilke investeringer (og tidsprofilen) dette genererer i modellen. Eksperimentet udføres isoleret fra resten af ADAM, således at det kun er den direkte effekt fra en ændring i effektiviteten på investeringen, der beregnes. I figur 8-7 og 8-8 ses effekten på henholdsvis maskin- og bygnings/anlægs-investeringer ved at sænke effektiviteten med 1%. Arealet under kurven angiver ekstra investeringer (målt i mio. 1995-kr.) de næste 30 år affødt af effektivitetsfaldet. Her ud fra er det så beregnet, hvor meget effektiviteten skal sænkes for at generere en ekstra investering på f.eks. 1 mia. 1995 kr., jf. tabel 8-1.

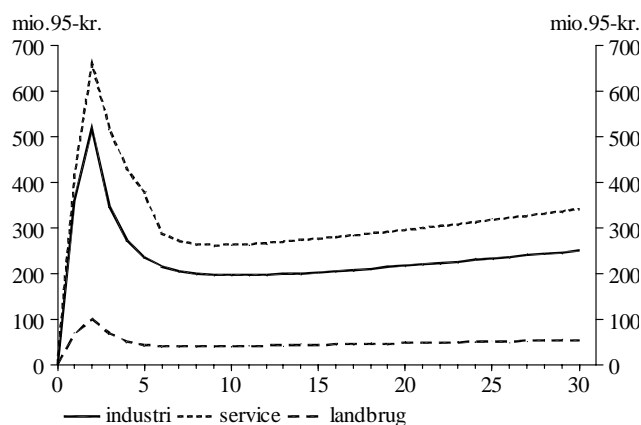
Erhvervenes investeringer i bygningskapital og maskinkapital indgår i de enkelte erhvervs faktorblok. Dette betyder, at ved øgning af investeringerne i en eller to af faktorblokkens produktionsfaktorer, begrænses erhvervets mulighed for at trække på de øvrige produktionsfaktorer i faktorblokken. På denne måde kommer den makroøkonomiske effekt af ekstrainvesteringer i f.eks. energibesparende teknologier med i beregningerne i ADAM.

Ekstrainvesteringerne fra de tekniske modeller i milliarder 1995 kr. omregnes dermed til ændringer i effektivitetsfaktorer i ADAM, der angiver hvor meget effektiviteten på henholdsvis maskin- og bygningsinvesteringer falder ved de ønskede investeringer.

Ved beregning af disse effektivitetsændringer antages en lineær sammenhæng mellem effektiviteten af maskin- og bygningskapital og øgede investeringer i ditto.

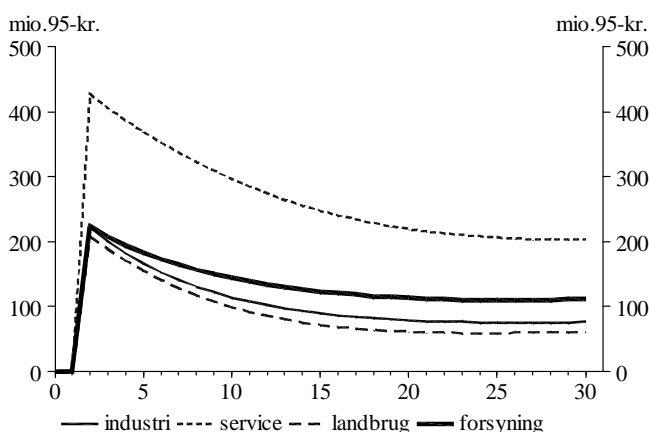
Opdateringen af de nævnte investeringseffektiviteter i ADAM foregår via trendled til ligningerne for erhvervenes investeringer.

Herunder er der i ligning 7 vist princippet i beregning af de nye trende korrigeret for ekstra investeringer. De i afhandlingen anvendte korrektionsfaktorer på investeringerne (betegnet som  $K$  i ligning 8-7) er desuden listet op i tabel 8.



**Figur 6**

Figuren viser de i ADAM genererede ekstra investeringer i produktionsfaktoren "maskiner" ved sænkelse af effektiviteten på investeringerne på 1% i hele perioden for de tre erhvervskategorier "Industri og Virksomheder" (industri), "Handel og Service" (service) og "Landbrug" (landbrug).



**Figur 7**

Ekstra investeringer i produktionsfaktoren "bygninger" ved sænkelse af effektiviteten på investeringerne på 1% i hele perioden for de fire erhvervskategorier "Industri og Virksomheder" (industri), "Handel og Service" (service),

$$Trend_{b, Virk, ny} = Trend_{b, Virk} \cdot (1 - K) \cdot Invest \quad \text{Ligning 7}$$

$Trend_{b, Virk, ny}$	Ny effektivitetskorrigeret trend til bygningsinvesteringer
$Trend_{b, Virk}$	Oprindelig trend på bygningsinvesteringer
$K$	Beregnet korrektionsfaktor
$Invest$	Ekstra investeringer i mia. 1995 kr.

Erhvervskategori	Type af ekstrainvesteringer	Trend variabel	Korrektionsfaktor $K$
Industri og Virksomheder	El- og procesenergibesparelser	#dtfkmin	0,0013449
Industri og Virksomheder	Efterisolering, nye vinduer	#dtfkbin	0,0028076
Handel og Service	Elbesparelser	#dtfkmhs	0,0010957
Handel og Service	Efterisolering, nye vinduer	#dtfkchs	0,0013604
Landbrug	Elbesparelser, ændret opvarmningsteknologi	dtfkma	0,0055006
Landbrug	Efterisolering, nye vinduer	dtfkba	0,0036956
Energiforsyning	Nye anlæg	dtfkane	0,0024324

**Tabel 1**

Oversigt over trendvariabler, der opdateres i forbindelse med ekstrainvesteringer i erhvervene som følge af energibesparelser eller ny teknologi. Tabellen angiver trendvariablen samt den fundne korrektionsfaktor.

Modelsystemet MDEnergi kan på nuværende tidspunkt ikke håndtere ekstra investeringer i transportsektoren, men det er en oplagt udbygningsmulighed.

### 3. Konklusion på sammenkobling af ADAM-EMMA med tekniske modeller

På dette tidspunkt er det teoretiske grundlag på plads for sammenkoblingen af ADAM-EMMA og tekniske modeller, her repræsenteret ved SESAM-modellen. De steder, hvor teorien stadig kan vakle eller ikke kan tolkes entydigt, er der gjort rede for hvilken tolkning, der ligger til grund for det videre arbejde med sammenkoblingen.

#### Kort resumé:

Ved sammenkobling af ADAM-EMMA med tekniske modeller er det efterspørgslen efter energitjenester, som er bindeleddet. Dette kan fortolkes således, at effektivitetsfaktorer fra tekniske modeller kan anvendes til at fremskrive trende i ADAM-EMMA's energiligninger. På fire punkter er der brug for yderligere teoretiske fortolkninger og antagelser for at sikre et konsistent system:

1. Mætningsproblematikken.
2. ADAM-EMMA's effektivitetskorrigerede energifterspørgsel.
3. Transaktionsomkostninger.
4. Overførsel af investeringer fra tekniske modeller til ADAM-EMMA.

Ad 1. Der argumenteres for, at økonomisk vækst nødvendigvis må hænge sammen med øget forbrug. Derfor vil en mætning i forbrug hænge sammen med en opbremsning i den økonomiske vækst. Scenarier med økonomisk vækst vil derfor afstedkomme et øget forbrug, også af energiforbrugende apparater. I dette papir er det derfor valgt at den makroøkonomiske model bestemmer efterspørgslen efter energitjenester, mens den tekniske model beskriver teknologisammensætningen. Der antages i scenarierne derfor ikke et entydigt mætningsniveau/dækningsgrad for de enkelte energiforbrugende apparater.

Ad 2. I det videre forløb fastholdes effektivitetskorrigeringen i ADAM-EMMA's energiligninger.

Ad 3. ADAM-EMMA bestemmer transaktionsomkostninger via endogene relationer, da der ikke haves noget bedre bud på disse omkostninger.

Ad 4. Ekstra investeringer i energibesparelser og energiproduktionsteknologier kan overføres til ADAM-modellen via effektivitet i maskin- og bygningsinvesteringer.

Den følgende del beskriver, hvordan sammenkoblingen er foretaget i praksis, på grundlag af det etablerede teoretiske fundament fra første halvdel af papiret. "Fladerne", hvor modellerne "støder" sammen og udveksler data, kaldes i det følgende for "interfaces", og omfatter de oversættelsesmekanismer, der skal til, for at data kan udveksles mellem modellerne i praksis. Der er her etableret tre interfaces til tekniske modeller og et til beskrivelse af eksogene brændselspriser. De tre typer tekniske modeller, der er etableret sammenkoblingsinterface til, er: Energiforsyningsmodeller, energiforbrugsmodeller samt transportmodeller.

## 4 Interface til energiforsyningsmodeller

Dette interface dækker el- og fjernvarmeproduktion i Danmark (inkl. eksport/import). Interfacet beskriver udveksling af data mellem ADAM-EMMA og en teknisk energiforsyningsmodel her repræsenteret ved SESAM-modellen. Alle indgreb, undtaget håndtering af ekstra investeringer, foretages i EMMA-modellen, og derfor refereres der direkte til EMMA-modellen i beskrivelserne herunder. En oversigt over de filer, der nævnes i gennemgangen findes i bilag 1 i arbejdsrapporten KKA18902.

Via filen "forsyn.cmd" kan EMMA's forsyningsystem opdateres ud fra kørsler med en mere detaljeret teknisk energisystemmodel. Opdateringen af forsyningssektoren sker direkte via fysiske faktorer som virkningsgrader,



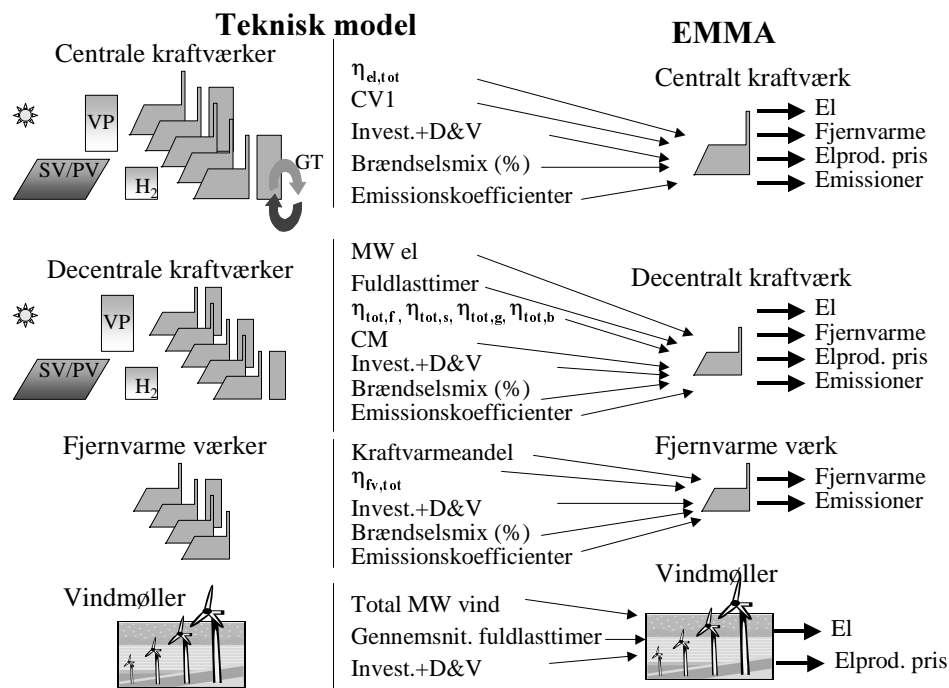
brændselsfordelinger, installeret kapacitet osv. Der anvendes ikke trende til at korrigere EMMA-ligningerne vedrørende el- og fjernvarmeproduktion.

EMMA har en simpel og stort set eksogen forsyningsmodel, der i princippet består af ét centralt kraftvarmeværk, ét decentralt kraftvarmeværk, ét fjernvarmeværk samt én vindmølle. En så simpel model kan risikere at give en utilfredsstillende beskrivelse af energisystemet grundet manglende hensyntagen til sæson- og døgnvariationer i el- og fjernvarmeefterspørgslen og i el- og fjernvarmeproduktionen. Dette gør sig især gældende i scenarier med stor andel af fluktuerende energikilder (f.eks. vindkraft) i el-produktionen. De nødvendige anlægskapaciteter for centrale og decentrale kraftværker risikerer dermed at blive undervurderet. Desuden indgår der i EMMA heller ikke en lang række andre relevante forsynings- og reguleringsteknologier som f.eks. elektrolyseanlæg, brændselceller, varmepumper, geotermiske anlæg, solvarmeanlæg og solcelleanlæg. Disse mangler i EMMA's forsyningsmodel betyder, at den ikke er velegnet til at beregne forbrug af fossile brændsler og emissioner fra el- og fjernvarmeproduktion i scenarier, hvor en stor omstilling af energisystemet ønskes analyseret.

Det centrale spørgsmål er derfor: Hvordan kan detaljerede beregningsforudsætninger fra en teknisk energiforsyningsmodel overføres til EMMA, således at EMMA kan give relevante resultater med hensyn til brug af fossile ressourcer og emissioner for energiforsyningsområdet?

Svaret er: Der køres simuleringer i den tekniske model ud fra hvilke, aggregerede komponenter, der passer på EMMA-niveau, kan dannes.

Figur 8 herunder illustrerer, hvorledes det i praksis kan lade sig gøre. Simuleringerne i den tekniske model inkluderer typisk langt flere teknologier, end EMMA's forsyningsmodel giver mulighed for. Dvs. uanset hvilke teknologier, der indgår i den tekniske model, skal de aggregeres til de muligheder, der er i EMMA. I den tekniske model (her i afhandlingen SESAM) indgår der dels flere brændselstyper end i EMMA og dels et større antal fysiske anlægskombinationer. Nogle decentrale kraftvarmeværker kører på biomasse, nogle på gas. Nogle har tilknyttet en varmepumpe eller et elektrolyseanlæg, andre solfangeranlæg og nogle har døgnvarmelager. Alt dette aggregeres til ét gennemsnitligt decentralt kraftvarmeværk, hvor de faktorer, der indgår i EMMA, dækker over alle disse kombinationer i hvert forsyningsscenario.



**Figur 8**

Illustration af hvorledes aggregeringen foretages fra en teknisk energisystemmodel til EMMA's forsyningsmodel. Alle detaljer i den tekniske model vedrørende centrale kraftværker skal f.eks. aggregeres til de 5 parametre, der er angivet med pile ind til EMMA's forsyningsmodel. Tilsvarende for de andre anlægstyper.

**Forklaringsliste til figur:**

$\eta_{el,tot}$	Total elvirkningsgrad
CV1	Ekstra brændselsforbrug ved produktion af fjernvarme
Invest. D&V	Investeringer + Drift + Vedligehold (kr/kWh)
Brændselsmix	Andel af forskellige brændsler anvendt i anlægstypen
MWel	Driftsklar el-effekt
Fuldlasttimer	Antal timer årligt anlægget kører med den angivne effekt
$\eta_{el,x}$	Elvirkningsgrad ved forskellige brændsler "x" (s=kul, f=olie, g=gas, b=biomasse)
Total MW vind	MW installeret vindkraft i alt
Emissionskoefficienter	Emissionskoefficienter for CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> og SO <sub>2</sub> for de anvendte brændsler
VP	Varmepumpe
H2	Elektrolyseanlæg
GT	Geotermisk anlæg
SV/PV	Solvarme og Solceller (Photo Voltaics)

Ud over de i figuren viste faktorer skal ADAM opdateres med de samlede ekstrainvesteringer i forsyningssektoren i forhold til basisforløbet (er ikke anført på figuren) til beregning af forsyningsserhvervets (ADAM-betegnelse "ne") bygningsinvesteringer, se nærmere om dette i det tidligere afsnit "Ekstraomkostninger i en makroøkonomisk model".

() Decentrale kraftvarmeværker, Dec.KV. - driftstid, timer	
UPD qtiddec 1996 1996 =	4048.0000
TIME 1997 2000	
GENR qtiddec = qtiddec(-1) + 69 \$	
TIME 2001 2010	
GENR qtiddec = qtiddec(-1) + 0 \$	
TIME 2011 2020	
GENR qtiddec = qtiddec(-1) + 0 \$	
TIME 2021 2030	
GENR qtiddec = qtiddec(-1) + 0 \$	
() Decentrale kraftvarmeværker, Dec.KV. - El-kapacitet, MW	
UPD qkdec 1996 1996 =	1611.0000
TIME 1997 2000	
GENR qkdec = qkdec(-1) + 167.75 \$	
TIME 2001 2010	
GENR qkdec = qkdec(-1) + 99.9 \$	
TIME 2011 2020	
GENR qkdec = qkdec(-1) + 0.1 \$	
TIME 2021 2030	
GENR qkdec = qkdec(-1) + 0 \$	
() Decentrale kraftvarmeværker, Dec.KV. - Brændsel - kulandel	
UPD bsdec 1996 1996 =	0.0400
TIME 1997 2000	
GENR bsdec = bsdec(-1) + -0.00425 \$	
TIME 2001 2010	
GENR bsdec = bsdec(-1) + 0.001 \$	
TIME 2011 2020	
GENR bsdec = bsdec(-1) + 0 \$	
TIME 2021 2030	
GENR bsdec = bsdec(-1) + 0 \$	

**Figur 9**

*Uddrag af filen "forsyn.cmd", der bruges til at opdatere EMMA's forsyningssektor med data fra en teknisk energiforsyningsmodel. De her viste variable er decentrale kraftvarmeværkers driftstid "qtiddec", deres installerede el-kapacitet "qkdec" samt andelen af indfyret brændsel, der er kul "bsdec".*

I figur 9 er et uddrag af "forsyn.cmd" filen, hvor alle input til EMMA's forsyningssektor håndteres. Filen er skrevet i PCIM-kode og viser som eksempel udviklingen i decentrale kraftvarmeværkers driftstid, kapacitetsudbygning samt hvor stor en del af det indfyrede brændsel, der er kul.

#### **Lidt hjælp til fortolkning af filen "forsyn.cmd"**

Variablerne opdateres i intervaller, derfor "TIME" kommandoerne. Hvert interval er omsluttet af to input-værdier fra den tekniske model. "GENR" kommandoen medfører i dette tilfælde, at der til variabelen, for hvert år i intervallerne, bliver adderet en størrelse svarende til, at der foretages en lineær interpolation mellem de angivne værdier fra den tekniske model. F.eks. medfører den forventede udvikling i installeret effekt for decentrale kraftvarmeværker i den tekniske model, at den installerede effekt øges med knapt 168 MW om året i perioden 1997 til 2000 og med knapt 100 MW om året i perioden 2001 til 2010 og så fremdeles.

#### 4.1 El- og fjernvarmepris

I EMMA versionen april 2002 er el-prisen bundet til brændselspriserne, og fjernvarmeprisen er bundet til el-prisen. Der indgår ikke anlægsinvesteringer, drift og vedligehold i ligningen for elprisen. Denne modellering af elprisen giver en rimelig forklaring på historiske variabler og vil også gøre det, hvis der ikke bliver ændret synderligt i energisystemets sammensætning fremover. Men dette projekt handler netop om, hvorledes modellerne kan understøtte markante ændringer i forsyningssektoren. Og den nuværende beregning af elprisen i EMMA ikke egnet til den slags analyser. Derfor bliver der i interfacet til energiforsyningsmodeller beregnet en ny elpris, baseret på oplysninger om kraftværkernes produktionspriser.

Det kunne umiddelbart være nærliggende at lade en teknisk model modellere elprisen og brændselsforbruget i forsyningssektoren. Men brændselsforbrug, brændselspris, elpris og emissioner skal på en eller anden måde indgå i EMMA, for at resultaterne kører videre i ADAM's makroøkonomiske sammenhænge.

Dette problem er løst ved, at EMMA får en "teknisk" el-pris fra den tekniske model, og derefter lægges brændselsudgifterne oveni i EMMA-modellen. Med "teknisk" el-pris skal forstås investeringsomkostninger, net- og transmissionsomkostninger samt drift og vedligehold (ikke brændselsudgifter!) alt sammen beregnet per kWh el for det mix af anlæg, der indgår i de aggregerede EMMA-forsyningsanlæg.

For at danne en eksogen elpris i EMMA eksogeniseres den endogene elpris "pqxe" ved at sætte dummien "dpqxe" lig med 1. Herved kommer den nye el-pris til at hedde "zpqxe". Derefter formuleres den nye el-pris baseret på input til EMMA's forsyningssektor fra en teknisk model. Den "tekniske" el-pris skal desuden inflateres i forhold til udgangspunktet, da priserne fra den tekniske model i nedenstående ligning antages at være i faste 1995-priser. Dermed kan et udtryk for en ny el-pris formuleres på følgende vis:

$$\begin{aligned}
 pqxesys = & [(nettrans + ptekvind) \cdot qXvind \\
 & + qXcene \cdot ((nettrans + ptekcene) \\
 & + (vJzcene \cdot 360) / qXcene) \\
 & + qXdece \cdot ((nettrans + ptekdece) + \\
 & (vJzdece \cdot 360) / qXdece)] \cdot \frac{1}{qXnee}
 \end{aligned}$$

Ligning 8

$$zpqxe = \frac{pcp4v}{pcp4v(1995)} \cdot pqxesys$$

Ligning 9

pqxesys	Elpris i faste 1995 øre/kWh
zpqxe	Elpris i løbende priser (øre/kWh)
pcp4v	Prisindeks for privatforbrug (Cp4)
pcp4v(1995)	Prisindeks i 1995 for privatforbrug (Cp4(1995))
ptekvnd	Drift og vedligehold samt investeringsomkostninger for vindkraft beregnet pr. kWh (beregnes i teknisk model) (1995 øre/kWh).
ptekcene	Drift og vedligehold samt investeringsomkostninger for central elproduktion beregnet pr. kWh (beregnes i teknisk model) (1995 øre/kWh).
ptekdece	Drift og vedligehold samt investeringsomkostninger for decentral elproduktion pr. kWh. (beregnes i teknisk model) (1995 øre/kWh).
vJzcene	Brændselsomkostninger til elproduktion i centrale værker (eksisterende variabel, der beregnes i EMMA) (mio. 1995 kr.).
vJzdece	Brændselsomkostninger til elproduktion i decentrale værker (nyoprettet variabel, der beregnes i EMMA) (mio. 1995 kr.).
qXcene	Elproduktion på centrale værker (beregnes i EMMA) (TJ).
qXdece	Elproduktion på decentrale værker (beregnes i EMMA) (TJ).
nettrans	Anslået størrelse til el-net- og transmissionsomkostninger (1995 øre/kWh).

Omkostningerne til vedligehold af el-net og transmission ("nettrans") er estimeret ret simpelt i dette papir som forskellen mellem den historiske el-produktionspris i EMMA's databank ("EMMA60.bnk") og den "tekniske" el-produktionspris i basisåret 1996. Fastsættelsen af "nettrans" er dermed et led i kalibreringen mellem EMMA og den anvendte tekniske model – se afsnit om kalibrering.

Fremover vil el-prisen sættes på et internationalt marked (eller i hvert tilfælde nordisk marked). Dermed bliver beregningen af en el-pris i EMMA ikke det bedste bud på den el-pris, forbrugerne kommer til at se. Givet at der i kørslerne anvendes en eksternt givet el-pris, kan der opstå konsistensproblemer i ADAM-EMMA. I ADAM-EMMA er der ikke en direkte sammenhæng mellem el-pris og produktionsværdien i "ne"-erhvervet (energiforsyningserhvervet). En ændret el-pris vil påvirke efterspørgslen efter el og dermed indirekte påvirke produktionsværdien i "ne"-erhvervet, som er en funktion af el-salget. Dette betyder, at en eventuel profit fra el-salg givet af differencen mellem markedsprisen og produktionsomkostningerne ikke kommer til at indgå nogle steder i de videre beregninger i ADAM-EMMA. Denne "mangel" har dog en mindre betydning for "ne"-erhvervets produktionsværdi som helhed, og det er vurderet, at det ikke udgør et væsentligt problem.

En anden effekt af, at der ikke er en direkte forbindelse mellem forsyningserhvervets ("ne"-erhvervet) el- og fjernvarmepris og investeringer og produktionsværdi for erhvervet, er, at der manuelt i ADAM skal indføres de ekstrainvesteringer, som foretages i den tekniske model i et givet scenario i erhvervet i forhold til basis-scenariet.

Energiforsyningsinterfacet er forberedt til at køre med eksterne el-priser, men problemet med overskud/underskud i forhold til en produktionspris er ikke løst, men kan utvivlsomt løses i ADAM-EMMA.

## 4.2 Liberaliserede energimarkeder

Ønsker man at beregne effekterne for Danmark af et liberaliseret el-marked, er løsningen at anvende en teknisk model, der kan køre op mod et internationalt marked (det kan SESAM ikke). Det kan eventuelt være en teknisk model kombineret med en egentlig markedsmodel. Scenarier fra sådanne modeller vil dermed kunne danne input til ADAM-EMMA, som så kan bruges til konsekvensberegninger. De resultater, der skal overføres til ADAM-EMMA, er de samme som er beskrevet i dette afsnit, men hvor der køres med eksogen elpris plus en vurdering af, hvor en eventuel profit ryger hen (afhænger af ejerskabet for produktionsanlæggene).

## 5. Interface til energiforbrugsmodeller

Dette interface dækker bredt over energiforbrugende teknologier som el-apparater, bygninger og procesudstyr. Det kan i princippet omfatte input fra flere forskellige modeller. Beskrivelsen er opdelt i en række underkategorier ("Øvrig energi", "Elforbrug" og "Brændselsfordeling"). Input til dette interface indtastes i filen "Forbrug.cmd" (en oversigt over de filer, der nævnes i gennemgangen findes i bilag 1 i arbejdspapiret KKA18902). Før SESAM-modellen kan beregne de tekniske data, der skal overføres til EMMA, så skal SESAM have en fremskrivning af den økonomiske aktivitet i de enkelte sektorer fra ADAM-EMMA.

De data, der skal leveres fra tekniske modeller, er inden for hver erhvervskategori i hver af de pågældende input år, følgende:

- El-effektivitetsfaktor
- Ekstraomkostninger vedrørende en forbedret "el-effektivitetsfaktor"
- "Øvrig energi" effektivitetsfaktor
- Ekstraomkostninger vedrørende en forbedret "øvrig energi effektivitetsfaktor"
- Fordeling af "øvrig energi" på el, kul, gas, olie, biomasse og fjernvarme
- Ekstraomkostninger vedrørende ændret fordeling mellem brændsler.

Derudover skal der leveres emissionskoefficienter for de fossile brændsler.

Som lidt hjælp til læsningen er her en lille oversigt over systemet i EMMA-modellens energivariable. Variablene angiver energiforbruget i TJ/år:

$qj_{i\{j\}}$

"j" henfører til erhverv, f.eks. hedder landbrug "a", se endvidere liste over "i" henfører til energiart; Kul("s"), Gas("g"), Olie("f"), Biomasse("b"), El("e") og Transportenergi("t").

"qjfc" er f.eks. husholdningernes ("c") forbrug af olie til opvarmning.

Erhvervenes energivariable kan desuden ses i tabeller i afsnittet "Kalibrering af ADAM-EMMA og SESAM".

## 5.1 "Øvrig energi"

"Øvrig energi" dækker over forbrug af brændsler og fjernvarme på forbrugersiden. Det, der i Energistyrelsens terminologi kaldes "Endeligt energiforbrug" dog uden elforbrug og transportenergi. I EMMA er følgende indeholdt i "Øvrig energi": Kul, Olie, Gas, Biomasse og fjernvarme. Fælles for disse produkter er, at de hovedsageligt anvendes til opvarmning i "Husholdningssektoren", "Handel og Service" og "Offentlige Institutioner", mens det hovedsagligt går til *proces* i "Industri og Virksomheder".

Uanset hvilken metode, der anvendes til at koble ADAM-EMMA med tekniske modeller, vil der være en række problemer med at sikre konsistens nede i de enkelte ligninger, selvom den teoretiske argumentation er i orden. Sådan et eksempel findes i EMMA's ligninger for energi til opvarmning i husholdninger.

For husholdninger er EMMA's beregning af efterspørgsel efter "øvrige energi" (dækker både rumvarme og varmt vand) en funktion af  $m^2$  opvarmet areal, en varmepris og en trend-variabel. For erhvervene er efterspørgslen efter "øvrige energi" en funktion af produktionsværdien samt et substitutionsforhold med el baseret på relative priser. Der er ikke modelleret en sammenhæng mellem elforbruget (til belysning og elapparater) og rumvarmebehovet. Fra SESAM-modellen kan det ses, at rumvarmebidraget fra elapparater i husholdninger er 1-2%. For erhvervene er det nævnte forhold endnu mere udtalt. I kontorbygninger ligger bidraget til rumvarme fra el-apparater på 30-40% af rumvarmebehovet. EMMA-ligningerne kommer derfor til at undervurdere opvarmningsbehovet, hvis der gennemføres omfattende elbesparelser, og på den anden side vil opvarmningsbehovet overvurderes ved forøget elforbrug, hvis ikke dette forhold indarbejdes i trendene. Det vil derfor være en naturlig forbedring af EMMA's ligninger for efterspørgsel af "Øvrige energi" at indføre "elforbruget" som en forklarende variabel til beregning af rumvarmebehovet. Det skal her nævnes, at for erhvervene indgår også procesvarme, som ikke er baseret på el, i "øvrige energi".

Effektivitetsfaktoren, der overføres til EMMA fra den tekniske model, skal derfor bestå af følgende ændringer i forhold til basisåret for hvert erhverv:

1. Mindsket opvarmningsbehov som følge af forbedret bygningsstandard, lokalt installeret solvarmeanlæg og varmegenvinding.
2. Øget opvarmningsbehov som følge af elbesparelser (i de tekniske scenarier, der overføres til EMMA, skal der derfor være konsistens mellem opvarmningsbehovet og elforbruget).
3. Mindsket procesenergiefterspørgsel som følge af mere effektiv energiudnyttelse.
4. Ændret opvarmningsbehov og procesenergiefterspørgsel som følge af ændret adfærd i brugen af teknologien.

Ekstraomkostninger, der skal påføres i forbindelse med ændringer i "Øvrige energi", er omkostninger i forbindelse med de opnåede effekter, som repræsenteres i trenden, ud over den "naturlige udvikling"<sup>5</sup>.

## 5.2 Elforbrug

Elforbrug dækker i husholdninger forbrug til belysning, el-apparater og el til opvarmning, mens det for erhvervene ud over belysning og elapparater også inkluderer el brugt til proces.

Effektivitetsfaktoren for elforbrug, der overføres til EMMA fra den tekniske model, skal bestå af følgende ændringer i effektivitet i forhold til basisåret for hvert erhverv:

---

<sup>5</sup> Hvad, der skal forstås med "naturlig udvikling" er diskuteret nærmere under afsnittet "Kalibrering af ADAM-EMMA og SESAM".



1. Mindsket el-behov som følge af forbedrede el-apparater og procesudstyr.
2. Mindsket procesenergiefterspørgsel (el) som følge af mere effektiv energiudnyttelse.
3. Ændret el-behov som følge af ændret adfærd i brugen af teknologien.

Ekstraomkostninger, der skal påføres i forbindelse med ændringer i "Elforbrug", er omkostninger i forbindelse med de opnåede effekter, som repræsenteres i trenden, ud over den "naturlige udvikling".

Herunder i figur 10 vises et uddrag af "forbrug.cmd" filen, hvor det fremgår, hvorledes de ovenfor beskrevne trende opdateres i modellen.

() Forbrug.cmd	
() programfil til opdatering af trende i EMMA's energiforbrugslikninger	
() opdatering af trende, brændselsfordeling og emissionskoefficienter	
() Industri og Virksomheder - el	
TIME 1996 2000	
UPD #dteVirk %	0.252
TIME 2001 2010	
UPD #dteVirk %	0.204
TIME 2011 2020	
UPD #dteVirk %	0.104
TIME 2021 2030	
UPD #dteVirk %	0.211
() Industri og Virksomheder - øvrig energi	
TIME 1996 2000	
UPD #dtoVirk %	0.252
TIME 2001 2010	
UPD #dtoVirk %	0.102
TIME 2011 2020	
UPD #dtoVirk %	0.206
TIME 2021 2030	
UPD #dtoVirk %	0.105

**Figur 10**

*Uddrag af programfilen "forbrug.cmd" hvor trendene til husholdningernes og erhvervenes energiefterspørgsel opdateres. Eksemplet viser gruppen "Industri og Virksomheder". "#dteVirk" og "#dtovirk" henviser til lister over trende i henholdsvis el-efterspørgselsligningen og ligningen for efterspørgsel efter "øvrig energi". Dvs. alle erhverv inden for samme gruppe får samme udvikling i trende. Listerne kan ses i filen "listtrnd.cmd".*

### 5.3 Brændselsfordeling

"Brændselsfordeling" skal her forstås som husholdningernes og erhvervenes sammensætning af "Øvrig energi". "Øvrig energi" er som nævnt en betegnelse for de energityper (energivarer), som bliver efterspurgt af forbrugerne ud over el og transportenergi ("Energityper" eller "Energivarer" bliver af Energistyrelsen også betegnet som "Endeligt energiforbrug").

I EMMA er fordelingen i efterspørgslen efter disse "Energytyper" bestemt af en eksogent givet procentvis fordeling. Disse eksogene fordelingsnøgler kan opdateres med fordelinger fra en teknisk model.

## 6. Interface til transportmodeller

Dette interface muliggør en kobling mellem *ADAM-EMMA* og tekniske transportmodeller.

I EMMA er der en række transporterhverv, som udelukkende består af virksomheder, hvis hovedaktivitet består i at sælge transportydelser. Derudover har alle andre erhverv et transportforbrug baseret på erhvervenes egne køretøjer, og denne type transport er opgjort under de enkelte erhverv. I den tekniske model (SESAM) er transportarbejdet fordelt på køretøjer (hvilket er en typisk repræsentation i tekniske transportmodeller); persontransport på personbil, bus, persontog, færge og fly, mens godstransport er fordelt på lastvogn, varevogn, godstog og fragtskib. Arbejdsfordelingen mellem de to modelsystemer er dermed, at *ADAM-EMMA* fremskriver behovet for transporttjenester, mens *SESAM* giver et bud på den teknologiske udvikling og sammensætningen af transportteknologier.

Den følgende beskrivelse er delt op i tre grupper, da de håndteres forskelligt rent modelmæssigt. De tre grupper er "Husholdninger", "Transporterhverv" og "Andre erhverv". Generelt for alle tre grupper gælder dog følgende fremgangsmåde :

1. Der angives en fordeling af transportarbejdet for hver gruppe af erhverv på relevante transportteknologier (statistik).
2. For hver transportteknologi anføres den forventede udvikling i effektivitet for den til tidspunktet gennemsnitlige sammensætning af bilparken (input fra teknisk transportmodel).
3. Udviklingen i transportteknologiernes effektivitet inddrages i EMMA's transportligninger via trend-led.
4. Herefter er EMMA blevet opdateret, så den kan beregne energiforbrug til transport, der er konsistent med forudsætningerne i den tekniske transportmodel.

Der indgår fem persontransportteknologier og fire godstransportteknologier i interfacet. Indtil videre kan hver transportteknologi kun baseres på ét til to fremdrivningsmidler (brændstof), men interfacet er forberedt til at inddrage flere relevante fremdrivningsmidler for hver transportteknologi. På nuværende tidspunkt er det ikke muligt at variere sammensætningen af transportteknologier for erhvervsgrupperne. Det er heller ikke muligt i denne version at opdatere emissionsfaktorerne for transportenergi i de enkelte

sektorer, men det er en oplagt og nødvendig udvidelse. I ligningerne til beregning af emissioner fra transport anvendes emissionsfaktorer fra EMMA's database.

## **6.1 Husholdninger**

For "Husholdninger" er der i EMMA en separat estimeret ligning for efterspørgsel efter transportenergi. Denne efterspørgsel bliver ligesom de andre energiligninger opfattet som en efterspørgsel efter energitjenester, når trenden fastlåses på niveauet i udgangsåret. "Husholdningernes" transport-ligning i EMMA er bundet op på bilparken "Kcb", samt en pris på transportenergi (benzinpris). Bilparken (antallet af biler i Danmark) beregnes i ADAM og overføres til EMMA's transportligning. Ligningen opdateres via trend-led i filen "trans.cmd".

## **6.2 Andre erhverv**

I erhverv, der ikke er deciderede transporterhverv, er der ligeledes en separat estimeret ligning til bestemmelse af efterspørgslen efter transportenergi. Ligningen er bundet op på de enkelte erhvervs produktionsværdi ( $fx\{j\}$ ) samt en pris på transportenergi. Ligesom for "Husholdninger" opdateres ligningerne via trend-ledene i filen "trans.cmd" med input fra den tekniske model. Erhvervenes opdateres med samme trend inden for de anvendte grupper ("industri og Virksomheder", "Handels og Service", "Landbrug", "Offentlige Institutioner").

## **6.3 Transporterhverv**

I EMMA er den samlede energiefterspørgsel i de enkelte transporterhverv givet ved én ligning estimeret på en fra ADAM givet produktionsværdi, der i ADAM-EMMA er bestemt af de øvrige erhvervs efterspørgsel efter det pågældende erhvervs transportydelse, samt et prisforhold mellem prisen på transportenergi og erhvervets output-pris. Derefter splittes energiefterspørgslen ud på syv energiarter (kul, fjernvarme, olie, transportenergi, gas, el, biomasse) ved en ren eksogen fordelingsnøgle.

De deciderede transporterhverv er delt op på følgende erhverv i ADAM-EMMA:

EMMA transporterhverv		Transportmiddel
tj	Jernbane	Tog
tb	Busser	Bus
tt	Taxi og turistvognmænd	Personbil, bus
tv	Fragtvognmænd	Lastbil, varevogn
tl	Lufttransport	Fly
tp	Post og telekommunikation	Lastbil, varevogn
tq	Transportservice	Personbil, varevogn
qs	Skibsfart (passagere + fragt)	Fragtskib, færger
ADAM transporterhverv		
qt	qt=tj+tb+tt+tv+tl+tq	Øvrig transporterhverv
qs	Skibsfart (passagere + fragt)	Fragtskib, færger

**Tabel 2**

*Oversigt over EMMA's transporterhverv. Sidste kolonne er tilføjet for at illustrere hvilke transportteknologier, der er den dominerende inden for det enkelt.*

Det er generelt kun de energiforbrug, som hedder "transportenergi" i EMMA (benævnt som "t" i f.eks. "qjttj" – EMMA-variabel, der beskriver "tj"-erhvervets brug af transportenergi "t" angivet i TJ brændsel), der henfører til energiforbrug brugt i transportmidler. De andre brændsler bruges som i de andre erhverv typisk til rumvarme og elektricitet til belysning og elapparater. Derfor er det kun transportenergien, der skal sammenholdes og opdateres i forhold til transportenergiforbrug i en teknisk transportmodel. Undtaget herfor er dog "tj"-erhvervet (jernbanetransport) hvor "transportenergiforbruget" ("qjttj") betegner dieselforbrug til erhvervets vejtransport, "olieforbruget" ("qjftj") dækker dieselolie til togdrift og elforbruget ("qjetj") dækker elforbruget til fremdrift af eltog. Dermed kan "tj"-erhvervet forbrug af el til belysning og olie til rumvarme ikke adskilles fra forbrugene til togdrift. Undtagelsen gælder også "qs"-erhvervet (søtransport) hvor "qjfqj" beskriver forbruget af fuelolie til søtransport, mens "qjqtj" dækker brugen af marinediesel (fyringsolie).

Da fordelingen mellem energiarter for transporterhvervene foregår rent eksogent ud fra en hovedligning, betyder det, at erhvervenes øvrige energiforbrug ("Øvrig energi" og "El") bliver opdateret med samme effektivitetsfaktor som deres transportenergiforbrug. Men da det resterende ikke-transportrelaterede energiforbrug i transporterhvervene er af forsvindende størrelse (de udgør under 2% af transporterhvervenes samlede energiforbrug) er denne inkonsistente sammenhæng negligerbar.

I det nuværende system (*MDEnergi*) indgår energiforbrug til andet end transport for transporterhvervene kun i totalsummerne for hele landets energiforbrug, og de præsenteres ikke hverken som selvstændig gruppe eller sammen med nogle af de andre definerede grupper. Dette bør nok ændres, således at transporterhvervenes forbrug af energi til andet end transport enten præsenteres i en særskilt gruppe eller bliver fordelt ud på grupperne "Industri og Virksomheder" og "Handel og Service".

Tabel 3 er en oversigt over transporterhvervene samt deres til transportenergi variabler "qjt{j}", dog er "tj"- og "qs"-erhvervet, som beskrevet ovenfor,

undtagelser. Desuden er der påført, hvilke typer brændsel erhvervene antages at bruge til fremdrift

Erhverv	Transportenergi	Transportmiddel	Energiart
tj	qjetj qiftj qittj	Tog Tog Lastbil	Elektricitet Dieselolie Dieselolie
tb	qittb	Bus	Dieselolie
tt	qittt	Personbil Varevogn	Benzin Dieselolie
tv	qittv	Lastbil Varevogn	Dieselolie
tl	qittl	Fly	Flybenzin
tp	qittp	Lastbil Varevogn	Dieselolie
tq	qittq	Personbil Varevogn	Dieselolie
qs	qjtqs qjfqs	Fragtskib Færger	Marinediesel Fuelolie

**Tabel 3**

*Oversigt over transporterhverv i EMMA med tilhørende variabler, der beskriver forbruget af transportenergi i TJ("qjt{j}"). Desuden viser tabellen, hvilke typer transportteknologier de enkelte erhverv benytter sig af, samt hvilket fremdriftsmiddel de er baseret på.*

Som nævnt under indledningen i dette afsnit holdes forholdet mellem fordeling af transportarbejdet på transportteknologier (3. søjle tabel 8-3) konstant inden for hver gruppe, ligesom forholdet mellem de enkelte teknologiers brug af brændselstyper (4. søjle tabel 8-3) holdes konstant. Interfacet kan udvides til at håndtere varierende forhold mellem transportteknologier og deres brug af brændselstyper. I resultatfiler og præsentationer er de forskellige typer olie alle lagt ind under dieselolie undtaget benzin, som figurerer selvstændigt.

#### 6.4 Beregning af efterspørgsel efter transportarbejde

Transportarbejde regnes ofte i personkilometer for persontransport og tonkilometer for godstransport.

Tekniske transportmodeller har stort set altid efterspørgslen efter transportarbejde som input. En sådan efterspørgsel antages ofte at følge den generelle økonomiske udvikling i samfundet. Det er derfor nærliggende at beregne en efterspørgsel efter transportarbejde på grundlag af en ADAM-EMMA beregning, der således kan fungere som input til en teknisk transportmodel. Beregning af transportarbejde baseret på ADAM-EMMA-variabler kan gøres mere eller mindre avanceret. I denne afhandling er transportarbejdet beregnet under den simple antagelse, at der er ligefrem proportionalitet mellem udviklingen i erhvervenes produktionsværdi og deres efterspørgsel efter transportarbejde. Stiger deres produktionsværdi med 1%, så stiger deres behov for transportarbejde ligeledes 1%, dvs. med en elasticitet på 1. For "Husholdninger", "Landbrug" og "Offentlig Service" antages efterspørgslen efter transportarbejde at være bundet op på den relative tilvækst i den i EMMA beregnede efterspørgsel efter transportenergi for erhvervet. Her antages relationen ligeledes at have elasticiteten 1.

For at kunne foretage beregningen af efterspørgslen efter transportarbejde kræves der indtastning af en absolut værdi for person- og godstransportarbejdet i basisåret (her 1996). Derudover kræves der en fordeling af trækket på de enkelte transportteknologier mellem erhvervene. Som resultat af en ADAM-EMMA-beregning kan der dermed præsenteres fremskrivninger for transportarbejdets fordeling på transportteknologier.

Programfilen, som håndterer beregningerne af efterspørgsel efter transportarbejde, hedder "EMMAstan.cmd".

## **7 Interface til brændselsprisscenarier**

En vigtig faktor for energiforbruget og de samfundsøkonomiske energiomkostninger er udviklingen i brændselspriser og ikke mindst verdensmarkedspriserne på kul og olie. Derfor er der lavet et interface til *ADAM-EMMA*, hvor der hurtigt kan skiftes mellem forskellige scenarier for prisudviklingen på brændsler. Prisscenarierne dannes ved at opdatere en faktor for hver brændselstype som ganges på brændselsprisen i basisåret (her 1996). Faktoren er 1 i basisåret og fremskrives herfra. Opdateringen foregår på samme måde som ved opdateringen af trendene i "Interfacet til forbrugsmodeller", altså ved at der angives en årlig tilvækst i procent i de perioder, der omsluttes af værdier fra et prisscenario.

() Kulpris	
UPD pnkul 1996 1996 =	1.0000
TIME 1997 2000	
UPD pnkul %	3.6423
TIME 2001 2010	
UPD pnkul %	3.2089
TIME 2011 2020	
UPD pnkul %	0.0000
TIME 2021 2030	
UPD pnkul %	0.0000
() Naturgaspris	
UPD pngas 1996 1996 =	1.0000
TIME 1997 2000	
UPD pngas %	19.7856
TIME 2001 2010	
UPD pngas %	-3.4646
TIME 2011 2020	
UPD pngas %	2.7288
TIME 2021 2030	
UPD pngas %	0.0000

**Figur 11**

*Uddrag af filen "fuel.cmd" hvor EMMA's brændselspriser opdateres. "pnkul" er den procent-faktor, der ganges på kulprisen, mens "pngas" er faktoren, der ganges på gasprisen. I det viste eksempel angives det f.eks., at kulprisen antages at stige med 3,6% p.a. i perioden 1997 til 2000.*

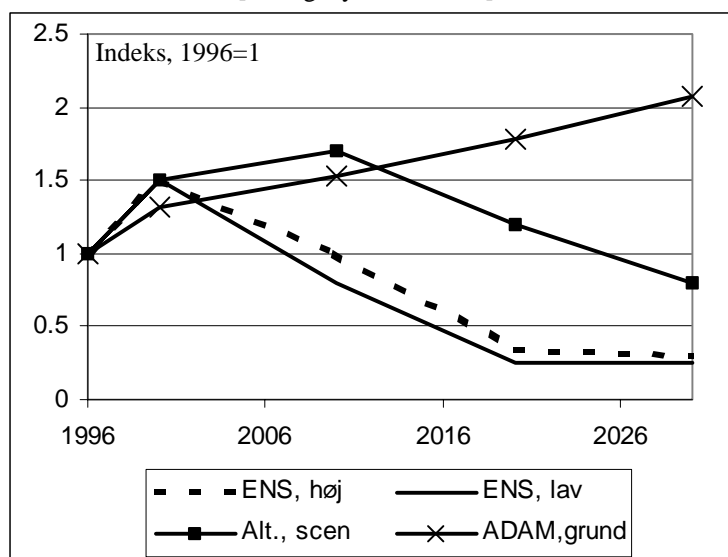
De brændselspriser, der kan opdateres i EMMA, er samfundsøkonomiske priser på naturgas, olie, kul og biomasse. Ud fra disse grundpriser beregner EMMA en brændselspris for hvert erhverv inklusiv energiafgifter, miljøafgifter og diverse transaktionsomkostninger.

## 7.1 Selvforsyningsgrad med olie og gas

Danmarks selvforsyningsgrad med gas og olie har blandt andet betydning for betalingsbalancen. P.t. er Danmarks nettoeksportør af gas og olie, men det varer ikke ved! I Energistyrelsens vurdering af olie- gasreserverne i Nordsøen siger alle scenarierne, at produktionen har toppet eller er tæt ved toppunktet. Det betyder, at den danske produktion af gas og olie vil aftage over de næste 10-20 år. I figur 8-13 herunder er vist to scenarier fra Energistyrelsens publikation "Danmarks Olie-og Gasproduktion 2000" [Energistyrelsen, 2000]. Derudover er der for egen regning tilføjet et meget optimistisk scenario for Danmarks olie- og gasresserver, som stort set fordobler reserverne fra 1996 og frem.

## Scenarier for olie- og gasproduktion i den danske del af Nordsøen

[ Energistyrelsen, 2000]



**Figur 12**

Graferne repræsenterer scenarier for den mulige udvikling i den danske olie- og gasproduktion i Nordsøen. Scenarierne "ENS,høj" og "ENS,lav" er to bud fra Energistyrelsens publikation "Danmarks Olie- og Gasproduktion 2000" [Energistyrelsen, 2000], mens scenariet "Alt.,scen" er et tænkt superoptimistisk scenario, der svarer til at reserverne er ca. dobbelt så store som Energistyrelsens skøn. "ADAM,grund" er taget fra grundbanken "lang00" ADAM april 2000 versionen.

I ADAM-EMMA hedder det erhverv, som udvinder olie- og gasreserver, "Energiudvinding" eller "e"-erhvervet. Den overvejende del af dette erhvervs produktionsværdi i faste priser er direkte bundet op på produktionen af gas- og olie. Udtrykket for "e"-erhvervs produktionsværdi er eksogent i ADAM. Men i de grundbanker, der leveres med ADAM og EMMA (her "lang00.bnk", og "EMMA00.bnk") er fremskrivningen baseret på en årlig tilvækst på 1.5% p.a. efter år 2000 (før er stigningen noget højere). Dermed ender produktionsværdien i faste priser på et niveau, der er mere end dobbelt så højt som i 1996. Binder man derimod "e"-erhvervs produktionsværdi til den forventede produktion af gas- og olie, så kommer den i stedet til at følge kurverne for en af de andre fremskrivninger af olie- gasreserverne i figur 8-13. En ADAM-kørsel med alt andet holdt lige viser, at en sådan ændring (gående fra "ADAM,grund" til ENS,høj") betyder et fald i BNP på omkring 1 % i 2020-30 i forhold til den med ADAM udleverede grundkørsel.



() Olie- og gasproduktion. Regulering af produktionsværdi ifht. forventede danske reserver	
TIME 1997 2030	
GENR fxe = fxe(1996) \$	
TIME 1997 2000	
UPD fxe %	10.6682
TIME 2001 2010	
UPD fxe %	-3.9735
TIME 2011 2020	
UPD fxe %	-9.9659
TIME 2021 2030	
UPD fxe %	-3.9735

**Figur 13**

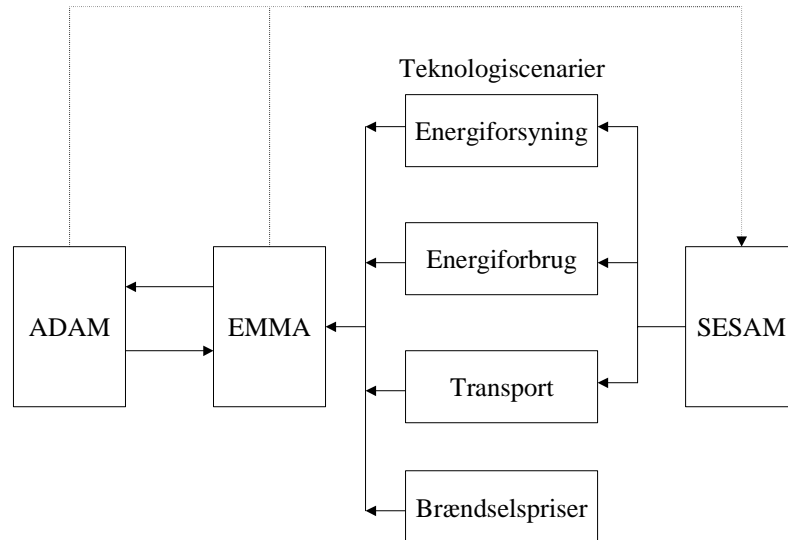
*Uddrag af filen "AfoerE.cmd" hvor udviklingen i "e"-erhvervet (olie- og gasproduktion) kan ændres med procentvis tilvækst per år. "fxe" er produktionsværdien for "e"-erhvervet. F.eks. antages det her at produktionsværdien stiger med 10,7% p. a. mellem 1997 og 2000. (De viste værdier svarer til scenariet "ENS,høj" i figur 12.*

## **8. Kalibrering af ADAM-EMMA og SESAM**

Før der kan foretages sammenhængende beregninger i systemet bestående af ADAM-EMMA og SESAM (MDEnergi), skal systemet kalibreres. Med kalibrering menes i denne sammenhæng at beregningsforudsætningerne, som anvendes i modellerne er konsistente.

Ved kalibrering af systemet overføres udviklingen i aktivitetsvariabler fra det anvendte grundforløb i ADAM-EMMA til SESAM (punteret pil figur 14). På denne baggrund beregner SESAM et grundforløb, og de tekniske parametre overføres til EMMA. Dernæst køres ADAM-EMMA på de nye data, og giver dette anledning til ændringer i aktivitetsvariablerne, så beregnes et nyt SESAM grundforløb.

Efter at modellerne er bragt til at ramme samme værdier i overlappende variabler i historiske år, betragtes systemet som kalibreret. I fremskrivninger med modelsystemet overtager den tekniske model (SESAM) fuldt opdateringen af trendene, som beskrevet i gennemgangen af interfacene.



**Figur 14**

*Illustration af modelsystemet bestående af ADAM-EMMA og SESAM. SESAM leverer en række teknologiscenarier, der fungerer som input til EMMA-modellen. ADAM og EMMA itereres til konvergens og resultater fra scenariokørslen kan præsenteres.*

## 8.1 Herunder gennemgås punktvis hvilke data, der skal overføres til ADAM-EMMA fra SESAM. Energiforsyning

1. Alle tekniske parametre for forsyningssektoren, illustreret i figur 8-9, overføres til EMMA i filen "forsyn.cmd".

### Liste over parametre:

$\eta_{el,tot}$	Total elvirkningsgrad
$CVI$	Ekstra brændselsforbrug ved produktion af fjernvarme
$Invest. D\&V$	Investeringer + Drift + Vedligehold (kr/kWh)
$Brændselsmix$	Andel af forskellige brændsler anvendt i anlægstypen
$MWel$	Driftsklar el-effekt
$Fulldlasttimer$	Antal timer årligt anlægget kører med den angivne effekt
$\eta_{el,x}$ "x"	Elvirkningsgrad ved forskellige brændsler (s=kul, f=olie, g=gas, b=biomasse)
$Total MW vind$	MW installeret vindkraft i alt
$Emissionskoefficienter$	Emissionskoefficienter for CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> og SO <sub>2</sub> for de anvendte brændsler

2. Variablen "nettrans" beregnes. Den dækker omkostninger til vedligehold af el-net og transmission og er estimeret ret simpelt i denne afhandling som forskellen mellem den historiske el-produktionspris i EMMA's databank ("EMMA65x.bnk") og den "tekniske" el-produktionspris i basisåret 1996. "nettrans" er defineret som en pris, der adderes til den tekniske elpris. "nettrans" beregnes på historiske data i basisåret 1996 og antages konstant i fremskrivninger. Herunder vises udtrykket til beregning af "nettrans" :

$$\text{nettrans} = \left[ \text{pqxesys} \cdot \text{qXnee} - \text{ptekvind} \cdot \text{qXvind} - \text{qXcene} \cdot \text{ptekcene} - \right. \\ \left. - \text{qXdece} \cdot \text{ptekdece} - (\text{vJzcene} + \text{vJzdece}) \cdot 360 \right] \quad \text{Ligning 10} \\ / (\text{qXvind} + \text{qXdece} + \text{qXcene}) \quad \left( \frac{\text{øre}}{\text{kWh}} \right)$$

pqxesys	Elpris i faste 1995 øre/kWh
ptekvnd	Drift og vedligehold samt investeringsomkostninger for vindkraft beregnet pr. kWh (beregnes i teknisk model) (1995 øre/kWh).
ptekcene	Drift og vedligehold samt investeringsomkostninger for central elproduktion beregnet pr. kWh (beregnes i teknisk model) (1995 øre/kWh).
ptekdece	Drift og vedligehold samt investeringsomkostninger for decentral elproduktion pr. kWh. (beregnes i teknisk model) (1995 øre/kWh).
vJzcene	Brændselsomkostninger til elproduktion i centrale værker (eksisterende variabel, der beregnes i EMMA) (mio. 1995 kr.).
vJzdece	Brændselsomkostninger til elproduktion i decentrale værker (nyoprettet variabel, der beregnes i EMMA) (mio. 1995 kr.).
qXcene	Elproduktion på centrale værker (beregnes i EMMA) (TJ).
qXdece	Elproduktion på decentrale værker (beregnes i EMMA) (TJ).
nettrans	Anslået størrelse af el-net- og transmissionsomkostninger (1995 øre/kWh).

Alle variabler er repræsenteret ved deres historiske værdier i basisåret.

Kalibrering af energiforsyningsinterfacet er hermed på plads, og EMMA er dermed forberedt til at kunne modtage forskellige scenarier for energiforsyningen fra SESAM.

## 8.2 Energiforbrug

1. *ADAM-EMMA*'s trende fastfryses på værdierne i sidste historiske år. Derefter overtager SESAM opdateringen af trendene.
2. Herefter overføres fra SESAM fordelingsnøgler til EMMA, der deler erhvervenes forbrug af "Øvrig energi" ud på fem energiarter (fjernvarme, gas, kul, olie og biomasse), således at dette også stemmer med ditto på det aggregerede plan i SESAM for fremskrivningsperioden.
3. Emissionskoefficienter for kul, olie og gas overføres ligeledes til EMMA.

Hermed er energiforbrugssiden kalibreret, og EMMA er forberedt til at modtage scenarier om den teknologiske udvikling. I de følgende tabeller er en oversigt over de trende og fordelingsnøgler, fordelt på de anvendte erhvervskategorier, som skal opdateres i kørslerne. Tabel 4 herunder viser de ADAM-EMMA erhverv, der er inkluderet i erhvervskategorien "Industri og Virksomheder".

## SESAM kategori : Industri og Virksomheder

Erhverv		nf	nn	nb	nm	nt	nk	nq	b	qs	qt	Værdier der skal sammenlignes med SESAM-tal
Energi (TJ) Trende dim.løs eller												
Energi (TJ) Andel (%) CO <sub>2</sub> -koefficient NO <sub>x</sub> -koefficient SO <sub>2</sub> -koefficient												
Elektricitet Trend	qje{j} dtqe{j}	qjenf dtqjenf	qjenn dtqjenn	qjenb dtqjenb	qjenm dtqjenm	qjent dtqjent	qjenk dtqjenk	qjenq dtqjenq	qjeb dtqjeb	qjeqs dtqjeqs	qjeqt dtqjeqt	∑qje{j}
"Øvrig" Trend	qjo{j} dtqjo{j}	qjonf dtqjonf	qjonn dtqjonn	qjonb dtqjonb	qjonm dtqjonm	qjont dtqjont	qjonk dtqjonk	qjonq dtqjonq	qjob dtqjob	qjoqs dtqjoqs	qjoqt dtqjoqt	∑qjo{j}
Gas Andel CO <sub>2</sub> -koeff. NO <sub>x</sub> -koeff. SO <sub>2</sub> -koeff.	qjg{j} bqjg{j} bcg{j} bng{j} bsg{j}	qjgnf bqjgnf bcgnf bngnf bsgnf	qjgnn bqjgnn bcgnn bngnn bsgnn	qjgnb bqjgnb bcgnb bngnb bsgnb	qjgnm bqjgnm bcgnm bngnm bsgnm	qjgnt bqjgnt bcgnt bngnt bsgnt	qjgnk bqjgnk bcgnk bngnk bsgnk	qjgnq bqjgnq bcgnq bngnq bsgnq	qjgb bqjgb bcgb bngb bsgb	qjgqs bqjgqs bcgqs bngqs bsgqs	qjgqt bqjgqt bcgqt bngqt bsgqt	∑qjg{j} [bqjg{j}] [bcg{j}] [bng{j}] [bsg{j}]
Fjernvarme Andel	qjh{j} bqjh{j}	qjhnf bqjhnf	qjhnn bqjhnn	qjhnb bqjhnb	qjhnm bqjhnm	qjhnt bqjhnt	qjhnk bqjhnk	qjhmq bqjhmq	qjhb bqjhb	qjhqs bqjhqs	qjhqt bqjhqt	∑qjh{j} [bqjh{j}]
Kul Andel CO <sub>2</sub> -koeff. NO <sub>x</sub> -koeff. SO <sub>2</sub> -koeff.	qjs{j} bqjs{j} bcs{j} bns{j} bss{j}	qjsnf bqjsnf bcsnf bnsnf bssnf	qjsnn bqjsnn bcsn bnsn bssn	qjsnb bqjsnb bcsnb bnsnb bssnb	qjsnm bqjsnm bcsnm bnsnm bssnm	qjsnt bqjsnt bcsnt bnsnt bssnt	qjsnk bqjsnk bcsnk bnsnk bssnk	qjsnq bqjsnq bcsnq bnsnq bssnq	qjsb bqjsb bcsb bnsb bssb	qjsqs bqjsqs bcqs bnsqs bssqs	qjsqt bqjsqt bcst bnsqt bssqt	∑qjs{j} [bqjs{j}] [bcs{j}] [bns{j}] [bss{j}]
Biomasse Andel	qjb{j} bqjb{j}	qjbnf bqjbnf	qjbnn bqjbnn	qjbnb bqjbnb	qjbnm bqjbnm	qjbnt bqjbnt	qjbmk bqjbmk	qjbnq bqjbnq	qjbb bqjbb	qjbqs bqjbqs	qjbqt bqjbqt	∑qjb{j} [bqjb{j}]
Olie Andel CO <sub>2</sub> -koeff. NO <sub>x</sub> -koeff. SO <sub>2</sub> -koeff.	qjf{j} bqjf{j} bcf{j} bnf{j} bsf{j}	qjfnf bqjfnf bcfnf bnfnf bsfnf	qjfnn bqjfnn bcfn bnfn bsfn	qjfnb bqjfnb bcfnb bnfnb bsfnb	qjfnm bqjfnm bcfnm bnfnm bsfnm	qjfmt bqjfmt bcfmt bnfmt bsfmt	qjfnk bqjfnk bcfnk bnfnk bsfnk	qjfnq bqjfnq bcfnq bnfnq bsfnq	qjfb bqjfb bcfb bnfb bsfb	qjfq bqjfq bcfq bnfq bsfq	qjfmt bqjfmt bcfmt bnfmt bsfmt	∑qjf{j} [bqjf{j}] [bcf{j}] [bnf{j}] [bsf{j}]

Tabel 4

I EMMA har de enkelte erhvervs energiforbrug navnet "qj{i}{j}" og for de to energiarter, der er estimeret ligninger for i EMMA, nemlig "el" (e) og "Øvrig" (o), er der også tilhørende trende "dtqj{i}{j}", som beskrevet højere oppe. Energiarten "Øvrig" er derefter splittet op på fem underkategorier af energiarter (gas, fjernvarme, kul, biomasse og olie). Fordelingen mellem underkategorierne foregår med simple fordelingsnøgler "bqj{i}{j}", der dog indbyrdes kan varieres over tiden. I tabellen er ligeledes vist emissionskoefficienter tilknyttet forbruget af fossil energi.

Tabel 4 viser de fordelingsnøgler og trende i "Industri og Virksomheder", der skal opdateres fra SESAM-modellen ved kørsler i modelsystemet. De følgende tabeller viser tilsvarende for "Handel og Service" og de øvrige erhverv.

Herunder ses den tilsvarende tabel for erhvervs-kategorien "Handel og Service".

## Erhvervs kategori : Handel og Service

Erhverv		qh	qq	qf	$\sum q_{i\{j\}}$
Energi (TJ) Trende dim.løs eller Andel (%)					
Elektricitet Trend	$q_{je\{j\}}$ $dt_{qje\{j\}}$	$q_{jeqh}$ $dt_{qjeqh}$	$q_{jeqq}$ $dt_{qjeqq}$	$q_{jeqf}$ $dt_{qjeqf}$	$\sum q_{je\{j\}}$
"Øvrig" Trend	$q_{jo\{j\}}$ $dt_{qjo\{j\}}$	$q_{joqh}$ $dt_{qjoqh}$	$q_{joqq}$ $dt_{joqq}$	$q_{joqf}$ $dt_{joqf}$	$\sum q_{jo\{j\}}$
Gas Andel	$q_{jg\{j\}}$ $b_{qjg\{j\}}$	$q_{jgqh}$ $b_{qjgqh}$	$q_{jgqq}$ $b_{qjgqq}$	$q_{jgqf}$ $b_{qjgqf}$	$\sum q_{jg\{j\}}$
Fjernvarme Andel	$q_{jh\{j\}}$ $b_{qjh\{j\}}$	$q_{jhqh}$ $b_{qjhqh}$	$q_{jhqq}$ $b_{qjhqq}$	$q_{jhqf}$ $b_{qjhqf}$	$\sum q_{jh\{j\}}$
Kul Andel	$q_{js\{j\}}$ $b_{qjs\{j\}}$	$q_{jsqh}$ $b_{qjsqh}$	$q_{jsqq}$ $b_{qjsqq}$	$q_{jsqf}$ $b_{qjsqf}$	$\sum q_{js\{j\}}$
Biomasse Andel	$q_{jb\{j\}}$ $b_{qjb\{j\}}$	$q_{jbbh}$ $b_{qjbbh}$	$q_{jbqq}$ $b_{qjbqq}$	$q_{jbbf}$ $b_{qjbbf}$	$\sum q_{jb\{j\}}$
Olie Andel	$q_{jf\{j\}}$ $b_{qjf\{j\}}$	$q_{jfqh}$ $qt_{qjfqh}$	$q_{jfqq}$ $b_{qjfqq}$	$q_{jfqf}$ $b_{qjfqf}$	$\sum q_{jf\{j\}}$

**Tabel 5**

Denne tabel er en oversigt over energivariabler og trende for erhvervs-kategorien "Handel og Service". I EMMA har de enkelte erhvervs energiforbrug navnet " $q_{j\{i\}\{j\}}$ ", og for de to energiarter, der er estimeret ligninger for i EMMA, nemlig "el" (e) og "Øvrig" (o), er der også tilhørende trende " $dt_{qj\{i\}\{j\}}$ ", som beskrevet tidligere. Energiarten "Øvrig" er derefter splittet op på fem underkategorier af energiarter (gas, fjernvarme, kul, biomasse og olie). Fordelingen mellem underkategorierne foregår med simple fordelingsnøgler " $b_{qj\{i\}\{j\}\{j\}}$ ", der dog indbyrdes kan varieres over tiden. I denne tabel vises ikke tilhørende emissionskoefficienter, da de i forbrugsinterfacet antages at være identiske for alle forbrugskategorier og dermed de samme som vist i tabel 4.

De resterende erhvervs-kategorier er samlet i tabel 6, som er opstillet efter samme princip som de andre.

## Erhvervskategorier :

Erhverv		Offentlige institutioner og Andet	Landbrug	Forsyning	Boliger, sommerhuse, fritid		Husholdninger
Energi (TJ)		o	a	ne	c	h	Sum af "c" og "h"
Trende dim.løs eller Andel (%)							$\sum q_{\{c+h\}\{j\}}$
Elektricitet	$q_{je}\{j\}$	$q_{jeo}$	$q_{jea}$	$q_{jene}$	$q_{jec}$	$q_{jeh}$	$\sum q_{je}\{j\}$
Trend	$dt_{qje}\{j\}$	$dt_{qjea}$	$dt_{qjea}$	$dt_{qjene}$	$dt_{qjec}$	$dt_{qjeh}$	
"Øvrig"	$q_{jo}\{j\}$	$q_{joo}$	$q_{joa}$	$q_{jone}$	$q_{joc}$	$q_{joh}$	$\sum q_{jo}\{j\}$
Trend	$dt_{qjo}\{j\}$	$dt_{qjoo}$	$dt_{qjoa}$	$dt_{qjone}$	$dt_{qjoc}$	$dt_{qjoh}$	
Gas	$q_{jg}\{j\}$	$q_{jgo}$	$q_{jga}$	$q_{jgne}$	$q_{jgc}$	$q_{jgh}$	$\sum q_{jg}\{j\}$
Andel	$b_{qjg}\{j\}$	$b_{qjgo}$	$b_{qjga}$	$b_{qjgne}$	$b_{qjgc}$	$b_{qjgh}$	
Fjernvarme	$q_{jh}\{j\}$	$q_{jho}$	$q_{jha}$	$q_{jhne}$	$q_{jhc}$	$q_{jhh}$	$\sum q_{jh}\{j\}$
Andel	$b_{qjh}\{j\}$	$b_{qjho}$	$b_{qjha}$	$b_{qjhne}$	$b_{qjhc}$	$b_{qjhh}$	
Kul	$q_{js}\{j\}$	$q_{jso}$	$q_{jsa}$	$q_{jsne}$	$q_{jsc}$	$q_{jsh}$	$\sum q_{js}\{j\}$
Andel	$b_{qjs}\{j\}$	$b_{qjso}$	$b_{qjsa}$	$b_{qjsne}$	$b_{qjsc}$	$b_{qjsh}$	
Biomasse	$q_{jb}\{j\}$	$q_{jbo}$	$q_{jba}$	$q_{jbne}$	$q_{jbc}$	$q_{jbh}$	$\sum q_{jb}\{j\}$
Andel	$b_{qjb}\{j\}$	$b_{qjbo}$	$b_{qjba}$	$b_{qjbne}$	$b_{qjbc}$	$b_{qjbh}$	
Olie	$q_{jf}\{j\}$	$q_{jfo}$	$q_{jfa}$	$q_{jfne}$	$q_{jfc}$	$q_{jfh}$	$\sum q_{jf}\{j\}$
Andel	$b_{qjf}\{j\}$	$qt_{qjfo}$	$qt_{qjfa}$	$b_{qjfne}$	$b_{qjfc}$	$b_{qjfh}$	

Tabel 6

Denne tabel er en oversigt over energivariabler og trende for de resterende erhvervskategorier. I EMMA har de enkelte erhvervs energiforbrug navnet " $q_{\{i\}\{j\}}$ " og for de to energiarter, der er estimeret ligninger for i EMMA, nemlig "el" (e) og "Øvrig" (o), er der også tilhørende trende " $dt_{q_{\{i\}\{j\}}}$ ", som beskrevet tidligere. Energiarten "Øvrig" er derefter splittet op på fem underkategorier af energiarter (gas, fjernvarme, kul, biomasse og olie). Fordelingen mellem underkategorierne foregår med simple fordelingsnøgler " $b_{q_{\{i\}\{j\}}}$ ", der dog indbyrdes kan varieres over tiden. I denne tabel vises ikke tilhørende emissionskoefficienter, da de i forbrugsinterfacet antages at være identiske for alle forbrugskategorier og dermed de samme som vist i tabel 8-4.

### 8.3 Transport

1. ADAM-EMMA's trende for transportenergi fastfryses på værdierne i sidste historiske år. Derefter overtager SESAM opdateringen af trendene.

På transportområdet foretages ikke yderligere, bl.a. fordi transportinterfacet endnu ikke er forberedt til at kunne tage eksterne emissionsfaktorer ind. I tabel 7 er der en oversigt over de trende og transportenergiforbrug, der bliver opdateret ved kørsler.



Erhvervs kategori	Erhverv	Transportenergi EMMA variabel	Trendled	Brændstof
Industri og Virksomheder	nf	qjtnf	dtqjtnf	diesel
	nn	qjtnf	dtqjtnn	diesel
	nb	qjtnf	dtqjtnb	diesel
	nm	qjtnf	dtqjtnm	diesel
	nt	qjtnf	dtqjtnn	diesel
	nk	qjtnf	dtqjtnk	diesel
	nq	qjtnf	dtqjtnq	diesel
	b	qjtnf	dtqjtb	diesel
Aggregat		TRPvirk		
Handel og Service	qq	qjtqq	dtqjtqq	diesel
	qf	qjtqf	dtqjtqf	diesel
	qh	qjtqh	dtqjtqh	diesel
Aggregat		TRPhs		
Husholdninger	c	qjtc	dtqjtc	benzin
Offentlige Institutioner	o	qjto	dtqjto	benzin + diesel
Landbrug	a	qjta	dtqjta	diesel
Transporterhverv	tj	qjetj	dtfjztj	el
		qjftj		diesel til tog
		qjttj		diesel til vej
	tb	qjttb	dtfjztb	diesel
	tt	qjttt	dtfjztt	diesel + benzin
	tv	qjttv	dtfjztv	diesel
	tl	qjtll	dtfjztl	flybenzin
	tp	qjtpp	dtfjztp	diesel
tq	qjttq	dtfjz tq	diesel	
qs	qjtqs	dtfjzqs	Marinediesel	
	qjfq		Fuelolie	

**Tabel 7**

Oversigt over transportenergivariables og tilhørende trende i EMMA. Yderst til højre er angivet hvilket brændstof energivariablen er målt i.

## 9. Opbygning af scenarier med ADAM-EMMA og SESAM modelsystemet

Når først modellerne er kalibrerede, kan der laves en lang række analyser i SESAM baseret på makroøkonomiske input fra ADAM-EMMA, hvor forskellige udviklingsforløb i forbrugssystemet, energiforsyningen og i transportsektoren kan testes. På denne måde kan der opbygges en database til ADAM-EMMA med forskellige kombinationer af indsatser på energibesparelsesområdet, forsynings- og transportområdet. Når en sådan database er opbygget, kan ADAM-EMMA anvendes til detaljerede analyser på energi- og miljøområdet baseret på veldokumenterede data, men uden at det er nødvendigt at køre SESAM modellen sideløbende. ADAM-EMMA skal blot hente koefficienter, virkningsgrader og korrektionsfaktorer i den database, hvis forbrugs-, forsynings- og transportsystem man ønsker skal lægges til grund for den økonomiske analyse.

Det er brugerens ansvar, at de tekniske scenarier, der inddrages i de økonomiske analyser, er konsistente med den overordnede økonomiske udvikling. Det anbefales derfor, at hvert tekniske scenario laves i to-tre forskellige udgaver baseret på forskellige økonomiske udviklinger.

De opbyggede interfaces giver mulighed for, at *ADAM-EMMA* kobles sammen med en hvilken som helst teknisk model, der kan levere hele eller dele af de nødvendige input til opdatering af forbrugs-, transport og forsynings siden i *ADAM-EMMA*. De data, der ikke opdateres eksternt, vil automatisk anvende data fra *ADAM-EMMA*'s databank.

## 10. Fremtidige udviklingsmuligheder

*MDEnergi* er som nævnt tidligere tænkt som en del af det større system (*MDSamfund*) som også inkluderer miljøeffekter fra andet end energiforbrug og produktion, se figur 2. Med et system, der dækker miljøbelastninger fra erhvervenes energiforbrug, forsyningssektoren og fra transport – er de betydeligste områder dækket ind med hensyn til luftemissioner. Et væsentlig bidrag til udledning af drivhusgasser, som ikke er med i det præsenterede system (*MDEnergi*), er bl.a. landbrugets udledning af lattergas ( $\text{NH}_3$ ) og metan ( $\text{CH}_4$ ). Men ved etablering af interfaces til landbrugs-, affalds- og spildevandshåndteringsmodeller fra AMOR-centrets model portefølje (*AMOR-modeller*), så vil systemet dække hele Danmarks udledning af drivhusgasser, samt udledning af  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  til luften og derudover den samlede næringsstofbelastning af miljøet (N og P).

## 11. Referencer

- ADAM (1995)**, *ADAM – En model af dansk økonomi*. Danmarks Statistik marts 1995. ISBN 87-501-0969-3.8
- Andersen et al. (2001)**, *Bæredygtighed, økonomi og velfærd*. AMOR – Center for Analyser, Modeller Og Regnskaber under Det Strategiske Miljøforskningsprogram (SMP). ISBN 87-987838-8-2.8
- Andersen, F. M. (2001)**, *Environmental Satellite Model for ADAM*. Statistics Denmark. ISBN 87-501-1207-4.8
- Andersen, F. M. et al. (1997)**, *Energi- og emissionsmodeller til ADAM*. Danmarks Statistik. ISBN 87-501-0982-0.8
- Andersen, F. M. et al. (1998)**, *EMMA: En energi- og miljørelateret satellitmodel til ADAM*. Nationaløkonomisk Tidsskrift 136 (1998).8
- Daly, H. (1997) – dansk udgave**, *Efter væksten – Den bæredygtige udviklings økonomi*. Forlaget Hovedland. ISBN 87-7739-309-0.8
- Energistyrelsen (2000)**, *Danmarks olie- og Gasproduktion 2000*. Energistyrelsen. ISBN 87-7844-199-4.8
- Illum, K. (1995)**, *SESAM – The Sustainable Energy System Analysis Model*. Aalborg University 1995. ISBN 87-7307-501-9.8
- Jacobsen, H. K. (2000)**, *Structural change of the economy, technological progress and long-term energy demand*. University of Copenhagen, Institute of Economics.8
- Jacobsen, H. K. et al. (1996)**, *Sammenkobling af makroøkonomiske og teknisk-økonomiske modeller for energisektoren - HYBRIS*. Forskningscenter Risø, juli 1996 (Risø-R-910(DA)). ISBN 87-550-2200-6.8
- Karlsson, K. (2002)**, *Modeller i Energiplanlægning med Henblik på Bæredygtig Udvikling*. Phd.-afhandling til publicering november 2002. BYG.DTU, Danmarks Tekniske Universitet.
- Nørgård, J. S. (2000, 2)**, *Værdier og teknik i energibesparelser – med bagslagseffekten som eksempel*. Særtryk S-0003. Institut for Bygninger og Energi (nu BYG.DTU), Danmarks Tekniske Universitet. Forekommer som kapitel i bogen ”*Energi og Livsstil*”, Peter Gundelach og Susanne Kuehn (Red.), Sociologisk Institut København. ISBN 87-7296-194-5.8
- Nørgård, J. S. (2001)**, *Integrating Energy Demand Side Management Into Economic Policy*. Published in ”UNESCO International School of Science for Peace: Can Advanced Energy Systems cope with Energy Demands of Asia, OECD-Pacific and CIS?” (eds. Aslanian, Gherardi, Kagrmanian and Schneider) UNESCO in the Landau NetworkCentro Volta Series. Proceedings of conference in Villa Olmo, Como, Italy, july 5-8, 2000.8
- Arbejdsrapporter fra Danmarks Statistik Modelgruppe:**  
(www.dst.dk/adam)
- JAN15802**, *Brugervejledning til "Kontrolpulten". En Excel-baseret brugerflade til ADAM-EMMA og tekniske modeller*. Danmarks Statistik 15/8-2002.
- JAN25702**, *Afledte ekstra investeringer I ADAM som følge af øget energieffektivitet I EMMA*. Danmarks Statistik 25/8-2002.
- KKA17902**, *ADAM-EMMA kobling*. Danmarks Statistik 17/9-2002.