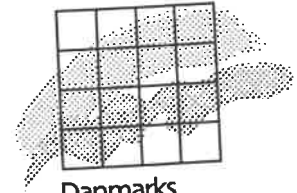


Miljøministeriet



Danmarks
Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser
Afd. for Flora- og Faunaøkologi
Kalø, Grenåvej 12, 8410 Rønde

Makro- økonomiske- miljømodeller

Faglig rapport fra DMU, nr. 83
1993

Mette Wier
Afdeling for Systemanalyse

Miljøministeriet
Danmarks Miljøundersøgelser
December 1993

Datablad

Titel: Makroøkonomiske Miljømodeller

Forfatter(e): Mette Wier
Afdelingsnavn(e): Afdeling for Systemanalyse

Serietitel og nummer: Faglig rapport fra DMU, nr. 83

Udgiver: Miljøministeriet,
Danmarks Miljøundersøgelser ©

Udgivelsesår: December 1993

Layout: Lene Olsen
Tegninger: Mary Imer Sørensen

Bedes citeret: Wier, M. (1993): Makroøkonomiske Miljømodeller.
Danmarks Miljøundersøgelser - Faglig rapport fra DMU,
nr. 83.

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.

Standardiserede emneord:

ISBN: 87-7772-115-2
ISSN: 0905-815X
Papirkvalitet: Multicopy, 80 g
Tryk: Grafisk Service, RISØ
Oplag: 100
Sideantal: 62
Pris: 75 Dkr. (incl. 25% moms, excl. forsendelse)

Købes hos: Danmarks Miljøundersøgelser
Afdeling for Systemanalyse
Frederiksborgvej 399
Postbox 358
4000 Roskilde

Tlf 46 30 12 00 - Fax 46 30 11 14

Indhold

Sammendrag 5

Summary 6

1. Indledning 7

2. De miljøøkonomiske sammenhænge 9

3. Økonomiens effekt på miljøtilstanden 11

3.1 Emissionen fra produktion 11

3.2 Naturressourcer 19

3.3 Emission fra forbrug 20

3.4 Opstilling af model for producentsiden 21

4. Miljøtilstandens effekt på økonomien 24

4.1 Miljøtilstand og produktivitet 24

4.2 Tilpasning og produktivitet 27

5. Makroøkonomiske modelformer 30

5.1 Generelle ligevægtsmodeller 30

5.2 Keynesiansk baserede modeller 32

5.3 Den samfundsøkonomiske omkostning ved miljøpoli-
tiske indgreb 33

6. Empiriske erfaringer med makroøkonomiske miljø-
modeller 37

6.1 Empiriske erfaringer med produktions- og emissionssy-
stemet 37

6.2 Empiriske erfaringer på miljøside 44

7. Konklusion 46

Litteratur 49

Bilag I 53

Bilag II 61

Danmarks Miljøundersøgelser 62

Sammendrag

Denne rapport har til formål at give en introduktion til makroøkonomiske miljømodeller. Modellernes rolle som miljøpolitisk værktøj diskuteres, idet der dels fokuseres på de fremtidige anvendelsesmuligheder, dels fokuseres på de begrænsninger det datamæssige grundlag giver idag.

De økonomisk-økologiske sammenhænge beskrives, og der opstilles et forslag til, hvorledes disse sammenhænge kan indarbejdes i en økonomisk model på makroplan.

De hidtidige erfaringer med nationale og internationale makroøkonomiske miljømodeller beskrives. Der lægges vægt på at forklare de væsentlige økonomiske sammenhænge i modellerne og disses betydning for de miljøpolitiske anbefalinger.

Summary

In the present report, an introduction to macro-economic environmental models is given. The role of the models as a tool for policy analysis is discussed. Future applications, as well as the limitations given by the data, are brought into focus.

The economic-ecological system is described. A set of guidelines for implementation of the system in a traditional economic macro-model is proposed.

The characteristics of empirical national and international environmental macro-economic models so far are highlighted. Special attention is paid to main economic causalities and their consequences for the environmental policy recommendations set by the models.

1 Indledning

Der har i det seneste 5-10 år vist sig et behov for at kunne vurdere og kvantificere både de miljømæssige effekter af den samfundsøkonomiske udvikling og de samfundsøkonomiske konsekvenser af miljøpolitiske tiltag. Dermed har der også vist sig et behov for modeller, der kan foretage disse vurderinger. Udviklingen er først og fremmest en følge af, at miljøproblemerne har ændret både art og omfang. De er p.g.a. et stadig højere økonomisk aktivitetsniveau blevet mere intense og de er på samme tid blevet mere generelle. Der er ikke længere kun tale om lokale skadevirkninger, og dermed et behov for en politisk indsats rettet mod enkelte kilder, men om et generelt struktur- og ressourcemæssigt problem. De miljøbelastende faktorer er en del af det økonomiske system og kan ikke isoleres fra dette. De har altid været tilstede, men er alene pga. deres niveau blevet et alvorligt problem.

Problemerne hedder drivhuseffekt, forsurening, grundvandsforurening, iltsvind, luftforurening etc. De er en følge af produktions uomgængelige energibehov, vores behov for at transportere os selv og vores varer rundt, industriens brug af de billigste og mest effektive rå- og hjælpestoffer, landbrugets intensivisering i forsøg på at maksimere høstudbyttet og de affaldsproblemer, der er det fysiske biprodukt af den samlede aktivitet.

Det er muligt at reducere den økonomiske vækst, eller at reducere dens belastning af miljøet ved hjælp af strukturelle forskydninger. Disse tiltag indebærer imidlertid blot en udskydelse af problemerne. Der ændres ikke ved de gældende sammenhænge og de forhindrer os ikke i at nå naturens kapacitetsgrænser¹ på længere sigt.

Colombusægget hedder teknologisk udvikling, i det omfang den bryder de gældende sammenhænge og skaber mulighed for økonomiske aktiviteter med markant mindre miljøbelastende egenskaber.

Kun spring i den teknologiske viden kan vende op og ned på problemstillingen og ændre på modsætningsforholdet mellem vækst og miljø. Hagen er bare, at den kendte teknologi ikke kan løse de væsentligste problemer og ikke ser ud til at være i stand til det de første årtier. Mens vi venter på de teknologiske løsninger, må det helt overordnede miljøpolitiske mål derfor være at reducere den hastighed, hvormed vi nærmer os kapacitetsgrænserne. Eller m.a.o. at styre mod den udvikling for vores samfund - dvs, de sektor- og varemæssige strukturforstyrrelser - der bedst

¹ Naturens kapacitetsgrænser er kun i færreste tilfælde videnskabeligt fastlagte og eksakte. I den offentlige debat er der oftest tale om forandelige og abstrakte forestillinger om fremtidige tilstande. I denne artikel refererer kapacitetsgrænserne til den situation, hvor naturens ligevægt er forskubbet over i en ny tilstand, som vi mennesker ikke mener vi kan leve med og kun vanskeligt bringe tilbage til udgangspunktet.

muligt tilfredsstillende vores krav om økonomisk velstand og beskyttelse af miljøet. Det er netop her, de makroøkonomiske miljømodeller bliver relevante, idet der er brug for et værktøj til at håndtere de mange og komplekse problemstillinger.

Modellerne er velegnede fordi de beskriver, såvel de umiddelbare direkte, som de indirekte effekter der forekommer som reaktion på de direkte. Analysen bliver på denne måde generel fremfor partiel, hvilket er hensigtsmæssigt når der er tale om ændringer på nationaløkonomisk eller internationalt niveau.

Formålet med denne rapport er at give en introduktion til makroøkonomiske miljømodeller. Hensigten er dels at diskutere hvilken modelmæssig udformning, der egner sig til miljøøkonomiske analyser, dels at beskrive og diskutere de eksisterende modeller. Der opstilles retningslinier for videreudvikling af modeltypen, så den bliver istand til at belyse økologisk-økonomiske problemstillinger generelt.

Der fokuseres dels på den anvendelsesmæssige side, idet modellen skal være istand til at udføre relevante policy-analyser, og dels på den estimationsmæssige side, idet den anbefalede udformning tager udgangspunkt i det eksisterende empiriske grundlag.

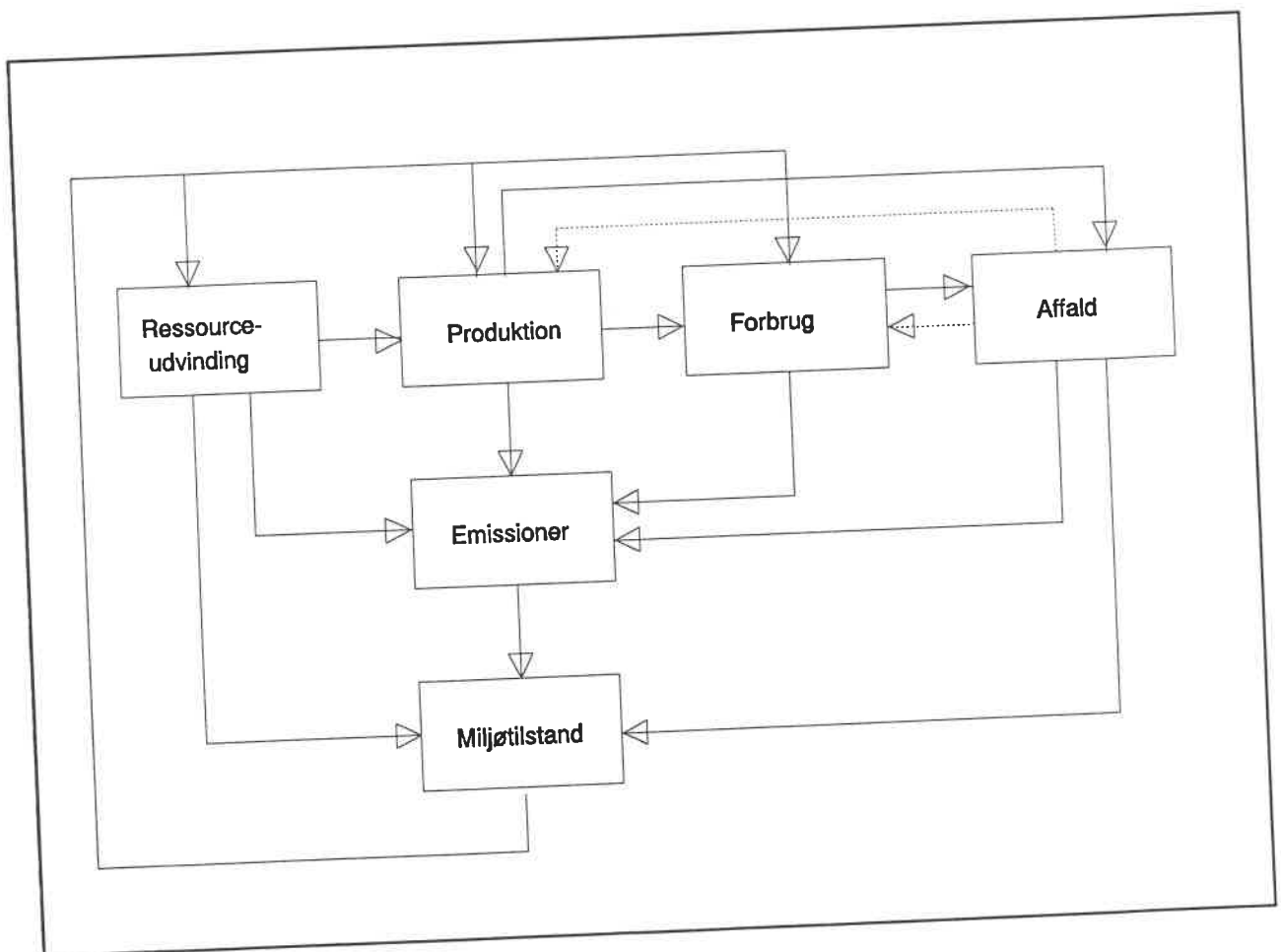
Kapitel 2 er en indføring i de basale miljøøkonomiske sammenhænge. Kapitel 3 omhandler det økonomiske systems påvirkning af miljøet, mens kapitel 4 lukker kredsløbet : her beskrives miljøtilstandens tilbagevirkende effekter på økonomien. Kapitel 5 er en diskussion af de forskellige økonomiske modeltypers egenskaber, mens kapitel 6 er en gennemgang af de empiriske erfaringer med modellerne. Endelig er kapitel 7 konklusion.

Bilag I er en indføring i nogle grundlæggende økonomiske begreber og teorier. Det danner primært basis for kapitel 5 og 6, men kan også være nyttig i de foregående kapitler. Bilag II er en liste over anvendte forkortelser og variabelnavne.

2. De miljøøkonomiske sammenhænge

En makroøkonomisk miljømodel er i realiteten et forsøg på at sætte hele, eller dele af, *det miljøøkonomiske kredsløb* på modelform. I det følgende skal dette kredsløb rides op, med det formål at skabe en referenceramme for rapporten. Kredsløbet beskriver den påvirkning de økonomiske aktiviteter giver miljøtilstanden og dennes tilbagevirkende effekt på økonomien. De næste kapitler i rapporten er herefter en analyse af, hvorledes effekterne til og fra den økonomiske del af kredsløbet kan indarbejdes i en traditionel empirisk model-økonomi.

Som illustreret i figuren nedenfor forekommer emission og affaldsskabelse i alle faser i det økonomiske kredsløb, lige fra udvinding af råstoffer, over produktion, til forbruget i husholdningerne. Derudover repræsenterer hver af pilene et aktivitetsbehov i form af diverse handels- og transportled.



Figur 1. Det miljøøkonomiske kredsløb

Naturen bliver brugt som en produktionsfaktor, idet den dels er leverandør af ressourcer til produktionen (f.eks. jord), og dels leverer ydelser, såsom opbevaring og spredning af vores bi-produkter (affald og emissioner). Derudover optræder den som leverandør af råvarer, som f.eks. energi og metaller. Denne del af kredsløbet - *økonomiens påvirkning af miljøtilstanden* - beskrives i modelmæssig sammenhæng i *kapitel 3*. I det omfang naturen udfører denne funktion uden at tage skade, sker der ingen tilbagevirkning på økonomien. Men i det øjeblik belastningen bliver så stor, at forringelser i miljøtilstanden får økonomiske konsekvenser lukkes kredsløbet. Konsekvenserne kan være udbudseffekter på naturressourcemarkederne i tilfælde med stigende knaphed, produktivitetsforringelser i og med at kvaliteten af produktionsprocessens inputs nedsættes, eller forskellige former for tilpasningsmekanismer, idet der foretages rensning, skadesudbedring, e.a. Alle konsekvenser repræsenterer på den ene eller anden måde en økonomisk omkostning og det samfundsøkonomiske problem er først og fremmest spørgsmålet om, hvordan disse omkostninger begrænses. Denne del af kredsløbet beskrives i *kapitel 4*, idet modellen fra *kapitel 3* udvides med miljøets feed-back effekter på økonomien.

Det skal nævnes, at der udover de økonomiske effekter eksisterer en mængde andre, nemlig den betydning ændringer i miljøtilstanden har på det almene velbefindende gennem vores oplevelse af forringelser i natur- og bymiljø, samt vores helbredstilstand. De tages ikke i betragtning i denne artikel, hvor kun rent økonomiske - direkte observerbare - effekter inddrages.

En makroøkonomisk miljømodel skal i denne rapport forstås helt bredt, nemlig som en økonomisk makromodel, der tilkobles et miljømodul, der beskriver naturressourceforbrug og/eller emissions- og affaldsskabelse.

Modellerne sigter på at analysere de to grundliggende modsætningsforhold i miljøøkonomi : for det første trade-off'et mellem økonomisk vækst og miljøkvalitet og for det andet trade-off'et mellem forskellige former for miljøbelastning.

Modellernes force ligger i deres generalitet og det overblik, de giver brugeren over centrale sammenhænge i økonomien og konsekvenser af politiske indgreb. Disse egenskaber gør dem velegnede til både scenarie- og policy-analyser. Samtidig er der tale om kvantitative modeller, hvilket i miljømæssig sammenhæng er en stor fordel. De kvalitative modellers analyse af hvorfor og hvordan den økonomiske udvikling leder os frem mod naturens kapacitetsgrænser er selvfølgelig interessant - men særlig interessant er det *hvornår* vi når disse grænser, og dette kan kun besvares gennem en kvantificering af modellens variable.

Endelig er planlæggere og politiske rådgivere vant til at basere deres analyser på makromodeller, således at en miljømæssig udvikelse af modellerne kan være en vej til at forstærke inddragelse af miljøapekter i samfundsplanlægningen.

3. Økonomiens effekt på miljøtilstanden

I dette kapitel beskrives den økonomiske aktivitets miljøbelastning som sagt i en formaliseret model. Afsnit 3.1 og 3.2 omfatter produktionssiden, mens det private forbrugs rolle behandles i afsnit 3.3. Endelig opstilles et eksempel på en model i afsnit 3.4.

3.1 Emission fra produktion

Erhvervenes udledning af affaldsstoffer afhænger af produktionens (fysiske) omfang og af produktionsteknologien.

Produktionen X kan beskrives i en økonomisk produktionsfunktion, f.eks. $X=f(K,L,E,J,M)$, hvor K er kapital, L er arbejdskraft, E er energi, J er jord og M er råvarer/materialer. I empiriske makromodeller beskrives forbruget af inputtene på aggregeret niveau, idet funktionen estimeres for en hel sektor, hvori alle producenter antages at være underlagt samme teknologiske betinger.

Der er især 4 faktorer der har indvirkning på emission fra produktionen. Det drejer sig om :

- (A) (1) Erhvervets inputforbrug,
(2) Genindvinding af materialer
- (B) (3) Procesteknologiske forhold, dvs. forbrændingsforhold som kedel størrelse og temperatur, hjælpeoffer, procesintegreret rensning, mv.
(4) End-of-line rensning.

Faktorene under (A) er variable, der virker ind på makroplan og som derfor kan beskrives ved produktionsfunktionen f . Faktorerne under (B) er teknologiske variable, der ud fra en økonomisk synsvinkel kun er væsentlige på mikroplan, og derfor ikke kan estimeres på det aggregerede makroniveau. Det er f.eks. forbrændingsteknologi, der ikke har betydning for det samlede energi- eller kapitalforbrug, forbrug af stoffer i så små mængder, at de ikke har betydning for det samlede materialeforbrug, eller rensningsaktiviteter, der ikke har væsentlig betydning for forbruget af de aggregerede inputs. Der er altså under faktor (3) og (4) tale om forskydninger, der kun har ingen eller ringe betydning i økonomisk forstand, men derimod betydelig emissionsmæssig effekt. De kommer derfor ikke til udtryk i den makroøkonomiske f -funktion ovenfor.

Punkt (1) ovenfor - *inputforbruget* - er som følge af producenternes omkostningsminimerende adfærd givet af de relative priser og inputspecifikke produktiviteter, og kan derfor beskrives ved den traditionelle teori om producentadfærd. Det er i disse tilfælde muligt at analysere effekten af økonomiske styringsmidler som f.eks. afgifter på emissionsbærende inputs. I de tilfælde punkt (2)

- *genindvinding* af et materialeinput - er en følge af ændringer i de relative priser, dvs, det kan betale sig for producenterne at investere i mere kapital eller arbejdskraft for at spare materialer, kan denne faktor beskrives på samme måde. Er det derimod en følge af et lovmæssigt påbud, kan ændringen kun inddrages som en eksogen justering - produktionsfunktionen kan ikke i sig selv forklare ændringen. Tværtimod kan man sige at den mængdemæssige restriktion *genindvindingen* i dette tilfælde indebærer, repræsenterer en bibetingelse til producentens optimeringsproblem.

Punkt (3) og (4), rensning og procesteknologiske forhold, afhænger også af miljølovgivningsmæssige/institutionelle forhold. Udviklingen i disse faktorer kan empirisk set ikke forklares ved økonomiske variable, simpelthen fordi der ikke har været tradition for økonomisk styring på miljøområdet. I så fald, ville det vha. tidserier faktisk være muligt at bestemme ændringer i miljøbelastningen som følge af ændringer i de relative priser. Afgiftspåleggelse af eksempelvis emissioner eller affaldsmængder, ville have ført til, at producenterne optimerede disse mængder ud fra rent økonomiske kriterier, hvorved de relevante parametre til beskrivelse af de restriktioner erhvervene er underlagt, kunne estimeres. Rent modelmæssigt ville både affaldsmængden og den emissionsmængde det omgivende miljø optager kunne *beskrives som et input*, og således optræde direkte i produktionsfunktionen på makroplan.

Denne tilgang er set i kvalitative modeller som f.eks. Yohe (1979) eller Gross & Veendorp (1990), der beskriver hhv. emission og affald som input i en produktionsfunktion. Jo højere prisen på emission eller affaldet er, desto mere ville producenten ønske at anvende de øvrige faktorer for at begrænse udledningen, givet de teknologisk bestemte substitutionsmuligheder. I begge analyser er substitutionsmulighederne af essentiel betydning, idet begrænsningerne for renere produktion netop ligger heri. Det er kvantificeringen af dette aspekt, gennem estimation af en produktionsfunktion, der ville være mulig såfremt miljøområdet havde været underlagt økonomisk styring, med deraf følgende prisfastsættelse af udledningerne.

Da en lovgivning baseret på administrativt grundlag har været styrende, er det istedet nødvendigt at indarbejde de relevante variable vedrørende rensning og procesteknologiske forhold eksogen i produktionsfunktionen. De enkelte teknologiske faktorer af betydning for emissionen beskrives bedst på mikroniveau, men kan dog alligevel indarbejdes ad-hoc i en produktionsfunktion på makroplan. I de følgende tre afsnit diskuteres hvordan man i praksis bedst forklarer emissionen, dels ved økonomiske variable, der især dækker faktor (1) og (2), dels ved eksogene justeringer, der primært dækker faktor (3) og (4).

3.1.1 Sammenhængen mellem inputforbrug og miljøbelastning

Emissionerne afhænger først og fremmest af inputforbruget, hvorfor det selvsagt er nødvendigt at produktionsfunktionerne beskriver dette. De traditionelle analyser med makroøkonomiske miljømodeller (Jf. bl.a. Gørling (1988) og Førsund (1985)) lader imidlertid emissionerne afhænge af outputmængden, hvilket indebærer at de vil vokse med denne, uanset produktionsteknologien. Dvs, ligegyldigt om væksten i output hidrører fra en øget kapital- eller arbejdskraftindsats eller en øget materialeintensitet, vil emissionerne vokse med samme rate. I forhold til disse modeller er det derfor påkrævet at *dekomponere den økonomiske vækst* i produktionen i de dele, der har betydning for emissionerne, og i de, der ikke har det. Det vil sige opsplutte væksten i vækst i værditilvækst, energiforbrug, materialegrupper etc., og derudover lade *emissionerne afhænge af de emissionsbærende inputs*. Alt efter hvilke inputs, der fokuseres på, vil den del af væksten, der har betydning for udledningerne, blive udskilt. Såfremt modellen kan beskrive producenternes forbrug af de relevante inputs vil den samtidig kunne beskrive ændringer i emissionerne s.f.a substitution mellem materialeinputs indbyrdes og mellem materialer og produktionsfaktorer.

Ud fra et massebalancesynspunkt er det oplagt, at den mængde stof der kommer ind i den ene ende (materialeinputmængden) er proportionalt med det, der kommer ud i den anden ende (outputmængden plus affald og emissioner). Materialet nedlægges i det fysiske output - varen - og kan som sådan ikke erstattes med produktionsfaktorerne kapital og arbejdskraft, der kun har en forarbejdende funktion, idet de transformerer input til output. Som Ayres (1978) påpeger, er substitution mellem produktionsfaktorer og materialer imidlertid rimelig i to tilfælde, nemlig når

- (1) materialet er et hjælpestof eller
- (2) når der optræder spild.

Første gruppe er stoffer som energi, rengørings-, smøre-, opløsningsmidler mv, der alle er karakteriseret ved at være arbejdskraftbesparende og ved at de opbruges i løbet af processen. Sidstnævnte gruppe hører til de processer, hvor materialet (hvadenten det er et rå- eller hjælpestof) ikke udnyttes 100%. Der eksisterer derfor en potentiel substitution, hvor nyinvesteringer i et materialebesparende kapitalapparat eller omlægning og intensivering af arbejdskraften kan reducere spildet. Substitutionen har dog en klar overgrænse, fordi materialeinputmængden ikke kan bruges mere end 100%. Denne fysiske overgrænse vil komme til udtryk gennem størrelsen af substitutionselasticiteten, der vil være relativt lille.

Det er klart, at visse materialer kan tilhøre begge grupper. Et eksempel er energi, der både er et hjælpestof og et input, hvor spildet kan mindskes ved diverse foranstaltninger.

Ikke kun emissioner, men også *affaldskabelsen*, er i langt højere grad proportional med materialeinputtene end med output. Affaldsgenerering er et materiale-mæssigt spild på et eller andet tidspunkt i fremstillingen, og vil, hvis prisen på materialet er høj nok til at det kan betale sig, søges reduceret ved en øget indsats af andre inputs.

3.1.2 Aggregeringsniveauet

Aggregeringsniveauet for både varer og erhverv er en central modelegenskab. Aggregeringen af varer er bestemmende for den måde, hvorpå emissionerne forbindes til inputtene, dvs, hvorvidt der fokuseres på den samlede materialeinputmængde i et givet erhverv eller på enkelte centrale vare- eller materialegrupper. Det samlede materialeforbrug er først og fremmest afhængigt af produktionens størrelse målt i fysiske enheder, og som sådan en indikator på affaldsmængden og emissionerne for iøvrigt given teknologi. Men i det omfang det er sammensætningen af materialerne, der er det centrale, bør man disaggregere og udskille de relevante varegrupper. Såfremt en bestemt varegruppe er bærer af bestemte emissionsproblemer skal efterspørgslen efter netop dette inputs specificeres.

Dette er eksempelvis tilfældet ved udledning af SO_2 og CO_2 , der er direkte forbundet med størrelsen og sammensætningen af forbruget af forskellige energityper. I makroøkonomiske miljømodeller er de forskellige energiarter derfor udskilt fra de øvrige inputs og beskrevet som dels indbyrdes substituerbare, dels substituerbare med produktionsfaktorerne.

Et andet eksempel er varen transporttydelser, der fører både energirelaterede og andre former for emission med sig. Et tredje eksempel er materialerne træ, metal og plastik, der er forbundet med bestemte udslip. Ved træ og metal er det især tungmetaller og opløsningsmidler i forbindelse med afrensning og overfladebehandling, der er problemet, mens det ved plastik især er udslip af dioxin og kræftfremkaldende hjælpestoffer.

Det er i de fleste tilfælde nødvendigt også sektormæssigt at arbejde med en vis disaggregering. Det skyldes, at emissionen for samme input ofte varierer fra erhverv til erhverv, idet sektorernes brug af det emissionsbærende input er forskellig.

Et eksempel på dette er udslip af NO_x i forbindelse med energiforbrug, hvor emissionen afhænger af forbrændingsspecifikke forhold og kan variere betragteligt for en given energitype alt efter om brændslet benyttes i store eller små kedler, ved høje eller lave temperaturer, til transport eller andet.

I sådanne tilfælde må man derfor estimere koefficienten for et givet erhverv på så detaljeret niveau at man med rimelighed kan generalisere over procesteknologiske og rensningsmæssige forhold. På denne måde vil en tilstrækkelig høj disaggregering redu-

cere usikkerhed fra ændringer i disse to faktorer. Det er derfor helt centralt, at der i sektoropdelingen tages hensyn til dette aspekt.

Disaggregeringen er ydermere vigtig, fordi erhvervenes intensitet mht. det emissionsbærende input og deres reaktion på prisforskydninger er forskellig. Sektorspecifikke funktioner, der jo muliggør analyser af strukturelle forskydninger som følge af sektorernes tilpasning til ændringer i færdigvareefterspørgslen eller i faktorpriserne, giver derfor vigtig information om økonomiens samlede emission og dens fordeling på kilder.

Drejer det sig blot om at beskrive økonomiens samlede emission af et givet stof, kunne man udemærket estimere en enkelt produktionsfunktion for alle erhverv under et - den vil sandsynligvis ovenikøbet udvise større stabilitet p.g.a. "de store tals lov". Problemet er, at funktionen vil ændre sine økonomiske egenskaber (dvs. faktor- og substitutionselasticiteter) såfremt sektorerne forskydes over tid. Kun i estimationsperioden er den repræsentativ for samfundets samlede produktion, idet den i denne periode er udtryk for et vejet gennemsnit af hver sektors produktionsfunktion. I fremskrivningsperioder vil den altså ændre sig i takt med de strukturelle forskydninger, og denne ændring kan kun fanges op vha. sektorspecifikke funktioner. Såfremt man antager en gradvis tilpasning til de relative faktorpriser (i modsætning til fuld tilpasning i hver periode), foregår forskydningerne mere trægt, og det vil da være rimeligt at benytte en helt aggregeret produktionsfunktion på kortere sigt - men på det lange sigt må sektorspecifikke funktioner under alle omstændigheder være det mest korrekte.

3.1.3 De traditionelle økonomiske inputefterspørgselsrelationer i miljømodeller

De traditionelle makroøkonomiske vareefterspørgselsrelationers udformning kan i relation til den miljømæssige anvendelse af modellen være problematisk. Problemerne vedrører dels det aggregeringsniveau, der er nødvendigt i makromodeller, dels de antagelser, der gøres vedrørende substitution og produktivitet. De diskuteres i det følgende.

I og med at inputefterspørgslen specificeres på de inputs der er miljømæssigt interessante, kan man udfra en miljøpolitisk synsvinkel ønske modellen så disaggregeret, at der kan forekomme problemer med parameterstabilitet. Forudsætningen bag den makro-økonometriske metode er, at både udbuds- og efterspørgsels-siden kan opfattes som atomistisk, hvilket vil sige, at der er uendelig mange små producenter og forbrugere. En enkelt producent eller forbruger må aldrig være stor nok til at påvirke en sektors efterspørgsel. Den estimerede relation beskriver således i princippet uendelig mange små skift i agenternes efterspørgsel, der tilsammen kan beskrives ved en lang glidende udvikling.

Problemet med parameterstabilitet opstår når sektoren er så lille, at en enkelt eller få meget store agenter kan dominere efterspørgslen. I disse tilfælde vil der som følge heraf optræde pludselige skift, hvorfor det vil være nødvendigt at indlægge exogene skift i denne sektors relationer, jf. afsnit 3.1.4. Estimation af relationernes kan frembyde så mange vanskeligheder, at man må gå på kompromis med den (miljøpolitisk set) foretrukne udformning til fordel for en stabil model.

De øvrige problemer vedrører som nævnt substitution og produktivtetsantagelserne. I den traditionelle inputefterspørgselsrelation er de forklarende variable ændringer i de relative priser og en teknologisk udvikling. Førstnævnte variabel forklarer den ændring i input-mængdesammensætningen, producenten nødvendigvis må foretage når han profitmaksimerer, dvs substitutionen. Den teknologiske udvikling er derimod udtryk for produktivtetsstigninger over tid, idet der til et givet tidspunkt bruges færre input til at producere en outputenhed, end der gjorde i forrige periode². Det er klart at begge faktorer er væsentlige i relation til miljøbelastningen, idet de determinerer forbruget af det miljøbelastende input.

I de makroøkonomiske modeller har man i mange tilfælde kun arbejdet med teknologiske fremskridt for kapital og arbejdskraft, og ydermere antaget, at produktivtetsstigningen er den samme for de to produktionsfaktorer i hver periode - den såkaldte Hicks neutralitet.

Når der arbejdes med miljøpolitiske spørgsmål er denne beskrivelse af teknologisk udvikling ikke tilfredsstillende. Som omtalt tidligere bør inputefterspørgslen specificeres på de relevante inputs, og således bør der også optræde inputspecifikke produktivtetsstigninger. Antagelsen om Hicks neutralitet må derfor opgives, og erstattes af en estimation af den teknologiske trend, der netop gør sig gældende ved det betragtede input.

Det er endvidere vigtigt, at gøre skillelinien mellem produktivtetsstigninger og substitution klar. Ligesom ved produktivtetsstigninger kan substitution medføre en nedsættelse af de inputafhængige emissioner s.f.a en reduktion i inputforbruget. Men i modsætning hertil vil reduktionen blive erstattet af et nyt input. Der er altså ikke tale om generel materialebesparelse, men om en ændring i dennes sammensætning - og denne ændring antages i økonomiske modeller at være en følge af ændringer i de relative inputpriser.

For at en ændring i inputsammensætningen opfattes som substitution, skal der altså ske en parallel ændring i de relative inputpriser. I alle andre tilfælde vil en sådan ændring blive beskrevet ved et faktorproduktivtetsfald for det input, der forbruges mere

² Jf. bilag I for en gennemgang af de antagelser, der ligger bag producentens adfærd og de teknologiske betingelser.

af og en faktorproduktivtetsstigning for det input, der bruges mindre af.

Substitution udsprunget af miljøbegrundede hensyn (f.eks. overgang fra oliebaseret til vandbaseret maling) eller hensyn til færdivarens kvalitet (f.eks. ændret materialesammensætning, der forbedrer en ønsket egenskab ved varen) kan altså ikke beskrives korrekt indenfor en almindelig økonomisk produktionsfunktion. Den må enten beskrives som overgang til en helt ny funktion, eller i en produktionsfunktion med to outputvarer.³

Hvor stor en del af udviklingen, der skyldes hhv. produktivtetsstigninger og substitution, er dog *estimationsteknisk* i vidt omfang et spørgsmål om hvordan man definerer sin model. Problemet er, at substitution og produktivtetsændringer sker simultant og derfor kun i teorien kan skilles ad. Der skal ikke kommes nærmere ind på dette her, men henvises til bilag I, hvor de væsentligste problemer er ridset op. Pointen er, at man som modelbruger må gøre sig klart at parameterværdierne ikke er objektivt konstaterbare størrelser, men værdier, der er stærkt afhængige af modellen iøvrigt.

3.1.4 Exogene indgreb i modelkørsler - lovgivning og holdninger

I de traditionelle neoklassiske modeller er det som beskrevet muligt at analysere inputsammensætningens reaktion på ændringer i relative inputproduktivteter og -priser. Men som allerede nævnt virker også andre variable ind på både inputforbrugets sammensætning og emissions- og affaldsproduktion, således at det er nødvendigt at foretage eksogene indgreb i relationerne, som udtryk for ændringer i disse variable.

I mange tilfælde følger disse faktorer en gradvis udvikling, og kan derfor med fordel beskrives ved indlægning af trends eller lags i produktionsfunktionen.

For de allerede nævnte variable forekommer den gradvise udvikling især i forbindelse med følgende fire faktorer, (1) Udskiftning af kapitalapparatet, (2) innovationer, (3) spredning af information, og deraf følgende ændringer i agenternes adfærd, (4) vedtagelse og implementering af ny lovgivning.

Tilfælde (1) udvikler sig gradvist, fordi det oftest kun er profitabelt at skrotte en del af kapitalapparatet og kun erstatte denne del

³ Man kunne i princippet opstille en produktionsfunktion med to versioner af den samme outputvare, kun adskilt ved deres miljøbelastende egenskaber. Producenten vil herefter ændre sin inputsammensætning alt efter hvilken vare, der produceredes mest af. Denne funktionstype er dog ikke særlig udbredt i empirisk makrosammenhæng

med nyeste model.⁴ Installation af kapitalen kan føre til ændringer i inputsammensætningen, idet den nye teknologi indebærer en ændret produktionsproces. Miljørelevante eksempler på dette er den generelle overgang fra olie til kul, gas og el i alle sektorer i takt med at energiforsyningssystemet ændres eller den øgede brug af blyfri benzin efterhånden som bilparken udskiftes.

Tilfælde (2) refererer til de tilfælde, hvor en given miljøforbedrende investering ikke kan foretages i det omfang producenterne ønsker det, fordi den det rigtige alternativ ikke er på markedet endnu. Det tager tid at dreje forskningsindsatsen mod de relevante innovationer, det tager tid at sende det nye udstyr på markedet, og det tages tid at implementere det.

Tilfælde (3) refererer til den gradvise spredning af information på både faktormarkeder og færdigvaremarkeder. Forsinkelsen skyldes dels at holdninger ændrer sig langsomt over tid, dels at markederne ofte er ufuldkomne i den forstand at der ikke er fuld gennemsigtighed. Et eksempel på en vigtig adfærd ændring er gradvise ændringer i forbrugernes præferencer sfa. øget miljøbevidsthed, der kan føre til renere produktion. Introduktion af "grønne" varer foranlediger substitution i det private forbrug og producenten vil derfor - uanset udviklingen i inputpriserne iøvrigt - ønske at producere renere i forventning om større markedsandele. Samme effekt opnås selvfølgelig også ved andre former for kvalitetsforbedringer i varen. Eksempler på dette er øget brug af plastik fremfor metal i f.eks biler, der gør den mindre energiforbrugende eller øget brug af ikke-klorholdige plasttyper fremfor PVC.

Den fjerde af de eksogene faktorer er ny lovgiving, herunder primært miljøpolitikken. Den har som omtalt været præget af mængdestyring af emissioner og emissionsbærende inputs, der i disse tilfælde udvikler sig uafhængigt af de økonomiske variable.

Den gradvise udvikling skyldes dels, at lovgivningen ofte har form af en given kvote eller en generel stramning af grænseværdierne over tid. Dels skyldes det, at producenterne i et vist omfang forbereder sig til et forventet miljøpolitisk indgreb før det er besluttet, for at omstille teknologien i god tid.

Eksempler på den gradvise udvikling nedsættelse af svovlindholdet i olie og kul eller regulering af brug af CFC gasser i diverse produkter.

I de tilfælde hvor et lovmæssigt reduktionskrav har form af en årlig kvote, der indebærer en generel nedtrapning af emissions-

⁴ Fremfor den trendmæssige beskrivelse modelleres dette aspekt ofte vha. en gradvis tilpasningsmekanisme eller en såkaldt årgangsmodel. Sidstnævnte modeltype beskriver producenternes indførelse af den nyeste og bedste tilgængelige teknologi. Den nyeste årgang har højere produktivitet end de ældre årgange, hvorfor omkostningerne falder. Da alle producenter indfører den nyeste årgang, vil outputprisen i en fuldkommen konkurrence økonomi falde. Herved presses producenterne til at skrotte den ældste (og mindst produktive) årgang, der nu ikke længere er profitabel.

niveauet, kan den lægges direkte ind i modellen⁵. Er der derimod tale om pludselige miljøpolitiske indgreb med et regulært skift i teknologien som følge, må modellen tilføres yderligere information. Disse tilfælde ses især, når det beskrevne erhverv ikke er tilstrækkelig atomistisk, dvs. kan antages at bestå af uendelig mange små udbydere (jf. diskussionen i afsnit 3.1.3). Erhvervet kan istedet være domineret af enkelte store virksomheder. Problemet løses of-test (jf. f.eks beskrivelsen af jern- og metalsektoren eller sten-, ler og glasindustrien i INDUS modellen (Andersen (1990)) ved at iagt-tage de største og mest betydelige virksomheder indenfor de rele-vante erhverv, og simpelt hen indlægge deres ændringer som ek-sogene skift.

I alle de nævnte tilfælde skal modellen på brugersiden være ud-formet, så der er mulighed for at gribe ind og foretage kvantitati-tative ændringer i de relevante variable. Der skal m.a.o. være et antal håndtag, der kan inddrage informationer uden for modellen i kørslerne, således at de eksogene ændringer i lovgivning, ad-færdsmønstre og teknologi kan indarbejdes.

3.2 Naturressourcer

De økonomiske erhvervs brug af naturressourcer som input i pro-duktionen kan modelmæssigt beskrives i en produktionsfunktion på linie med forbruget af andre inputs, dvs afhængigt af prisen på ressourcen relativt til andre inputpriser.

I de makroøkonomiske miljømodeller kan ressourcerne analyseres helt traditionelt, idet de analyseres m.h.p at beskrive samspillet mellem forbrugets størrelse, udtømningsgraden og pris- og mæng-deforskydninger på makroplan. Teorien fortæller os, at efter-hånden som vi nærmer os udtømningsgrænsen, vil det relative-prisforhold stige, hvilket dels vil føre til faldende anvendelse, dels vil gøre det profitabelt at benytte et substituerbart input i produktionen.

Den traditionelle indfaldsvinkel i de teoretiske modeller har især været at bestemme den optimale udtømningsrate, dvs, den rate, der til given tidspræference, maksimerer forbruget over uendelig tidshorisont. Resultatet er (jf. f.eks Dasgupta 1974), at udtøm-ningsraten afhænger af hvorvidt den udtømmelige ressource er essentiel i produktionen. Dvs, hvorvidt der findes et alternativt input og hvor gode substitutionsmulighederne er mellem kapital og ressourcen.

For en lille åben økonomi som den danske, skal man derudover være opmærksom på, at prisen på naturressourcerne gives på ver-densmarkedet og ikke påvirkes af danske producenters udbud. En

⁵ Et problem ved denne type justering kan imidlertid være kvantificering af de ændringer i modellens øvrige variable, der følger justeringen. I det omfang f.eks. rensning i henhold til en given emissionskvote kræver kapitalindsats, bør dette indarbejdes i modellen - men også denne viden må, ligesom effekten på emissionssiden, lægges ind exogent, medmindre modellen er omfattende nok til at beskrive en sådan sammenhæng.

fremskrivning med en national model vil derfor basere sig på en prognose for udviklingen i verdensmarkedsprisen, med den usikkerhed det indebærer. Effekten fra udbuddet af ressourcen - og dermed den tilbageblevne beholdningsstørrelse - til pris- og mængdeforskydninger på makroplan kan ikke beskrives i national sammenhæng.

Det indenlandske udbud er alligevel interessant, fordi den illustrerer hvor stort et indhug der vil blive gjort i den nationale ressource, givet verdensprisudviklingen. Det interessante ved at indarbejde naturressourcer, er netop spillet mellem udtrækket, der gives i modellen, og ændringer i beholdningen, der gives ved at koble modellen til naturressourceregnskaber.

3.3 Emission fra forbrug

Forbrugssiden er på mange måder helt parallel til produktionssiden. Det drejer sig også her om at udskille de varegrupper, der har betydning for miljøbelastningen, og særskilt beskrive efterspørgslen efter dem. Ændringer i miljøbelastningen forekommer her på to niveauer. Dels ved ændringer i færdigvaresammensætningen (substitution i forbruget), dels ved ændringer i teknologien for fremstilling af en given vare. Sidstnævnte faktor omfatter både ændringer i råvaresammensætningen, ændringer i fremstillingsprocessen, rensning og genindvinding, og er beskrevet i de foregående afsnit. Førstnævnte faktor - ændringer i forbrugssammensætningen - er derimod ikke dækket.

Traditionelt beskrives vareforbruget som afhængig af de relative prisforhold varegrupperne imellem, indkomst, vanedannende effekter mv., givet forbrugernes præferencer, og ikke-økonomiske forklarende variable inddrages normalt ikke. Normalt opereres med stærkt aggregerede og helt forskelligartede varegrupper, hvilket ikke altid vil være tilfredsstillende ved en miljømæssigt indfaldsvinkel til modellen. Den mest relevante substitution er her oftest mellem nært beslægtede varer, der anvendelsesmæssigt kan erstatte hinanden, men er adskilt mht. miljøbelastende egenskaber. Det kan derfor være påkrævet af foretage videreopdelinger indenfor de aggregerede varegrupper, og dermed estimere forbrugsfunktioner på flere niveauer.

Forbrugernes præferencer er muligvis ændrede de senere år, idet varens miljøbelastende egenskaber kan være et kriterie i vareudvælgelsen. Der har især været fokuseret på energiforbrug ved brug af varen, affaldsproblematikken, dvs varens holdbarhed, emballage og genanvendelighed, samt anvendelse af miljøfremmede stoffer ved fremstilling og brug af varen.

Overgang til renere varer kan have fulgt en stigende trend i takt med at disse produkter har taget markedsandele og genbrugs-ideologien er slået igennem. En sådan trend kan lægges ind, men spørgsmålet er, om udviklingen stagnerer eller ligefrem vender. Modellen kan ikke give svaret på disse adfærds- og holdnings-

ændringer, men må - som det var tilfældet på produktionssiden - tilføres eksogen information for at kunne ramme udviklingen. Da forbrugssiden således rummer samme problemstillinger som produktionssiden, skal den ikke behandles nærmere i denne rapport.

3.4 Opstilling af en model for producentsiden

De anbefalede egenskaber for en makroøkonomisk model kan mht. produktions- og emissionsdel opsummeres således:

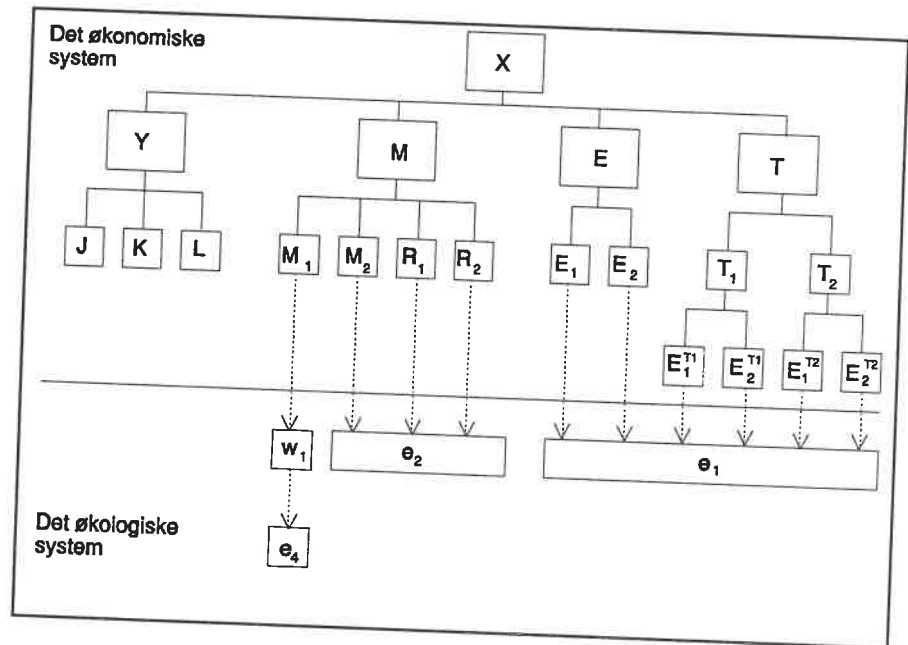
- (1) Emission og affaldsskabelse bør beskrives som input-afhængig,
- (2) efterspørgslen efter inputtene bør specificeres særskilt,
- (3) modellen bør være tilstrækkelig disaggregeret på vare- og sektorniveau til at analysere de relevante emissions- og naturressourcemæssige problemer og modellen skal være udformet, så brugeren har (4), mulighed for exogent at justere emissions- og inputmængder. Endelig bør, (5), væsentlige naturressourcer specificeres som inputs.

Det samlede produktionssystem for en given sektor kan eksempelvis se ud som vist nedenfor. Der er tale om en *del-model*, der i princippet kan kobles til alle traditionelle former for makromodeler (efter passende justeringer) - bemærk derfor, at modellen ikke er lukket. Opbygningen er først og fremmest valgt for at illustrere hvorledes et varemæssigt disaggregeret system kan udformes for en given sektor. Der er tale om et omfattende system, der vil indebære et meget stort modeludviklings- og estimationsarbejde, særlig i emissionsdelen. Det vil derfor i første omgang være fornuftigt at gøre sig klart hvilke miljøproblemer der er de mest centrale, og herefter koncentrere modeludbygningen på disse områder.

Af estimationstekniske grunde er systemet nested (d.v.s. opbygget i flere niveauer), med de nødvendige antagelser om homothesitet og separabilitet (jf. bilag 1). Inputtene er således indbyrdes substituerbare i hver funktion, men ligger herefter fast i et aggregat, der på højere niveau kan substituere med andre aggregater.

Diagrammet nedenfor illustrerer opbygningen. Under diagrammet er modellen sat på ligninger, der er nummereret (ø1)-(ø7) og (e1)-(e4). Fortolkningen er følgende: (ø1) er produktionsværdien X som funktion af alle inputaggregater på øverste niveau. På næste niveau gives inputaggregaternes fordeling på inputs. (ø2) er værditilvæksten Y som funktion af arbejdskraft L , jord J , og kapitalindsats K , (ø3) er materialeforbruget M som funktion af fire inputs, herunder to materialetyper (M_1 og M_2), en fornybar ressource R_2 , og en ikke-fornybar R_1 . (ø4) er energiforbruget E fordelt på to energiarter E_1 og E_2 , og endelig er (ø5) forbruget af transporttydelser T som funktion af to transporttyper T_1 og T_2 . Relation (ø6) og (ø7) på nederste niveau beskriver transporttypernes brug af de to energiinputs.

De nævnte relationer vedrører alle det økonomiske system. De følgende 4 ligninger beskriver emission og affaldsskabelse. Ligning (e1) er en given emissionstype e_1 som funktion af erhvervenes direkte brug af de to energiarter og af transportaktiviteternes energiforbrug. (e2) giver emissionstypen e_2 som funktion af brugen af materialeinputtet M_2 og ressourcerne R_1 og R_2 . (e3) er en affaldsart w_1 som funktion af materialeinputtet M_1 . Endelig er (e4) emission af e_4 i forbindelse med behandling af affaldstype w_1 .



Figur 2 Produktionssystemets opbygning

På ligningsform vil modellen se således ud :

Økonomisk produktion :

$$(\emptyset 1) X = f_1(Y, M, E, T)$$

$$(\emptyset 2) Y = f_2(K, J, L)$$

$$(\emptyset 3) M = f_3(M_1, M_2, R_1, R_2)$$

$$(\emptyset 4) E = f_4(E_1, E_2)$$

$$(\emptyset 5) T = f_5(T_1, T_2)$$

$$(\emptyset 6) E^{T1} = f_6(E_1^{T1}, E_2^{T1}) \quad (\emptyset 7) E^{T2} = f_7(E_1^{T2}, E_2^{T2})$$

Emission og affaldsskabelse :

$$(e1) e_1 = e_1(E_1, E_2, E_1^{T1}, E_2^{T1}, E_1^{T2}, E_2^{T2}) \quad (e2) e_2 = e_2(M_2, R_1, R_2)$$

$$(e3) w_1 = w(M_1)$$

$$(e4) e_4 = e_4(w_1)$$

Modellen kan ydermere udvides med et ressourceregnskab, hvor ligningerne (r1) og (r2) er relationer, der angiver hvor stor ændringen af beholdningerne er i en given periode.

$$(r1) \dot{N}_1 = -R_1 \quad (r2) \dot{N}_2 = g(N_2, R_2), \quad g'_{R_2} < 0$$

N_1 og N_2 er ændringen i beholdningen af ressourcerne i løbet af en given periode, mens R_1 og R_2 angiver strømme, dvs det udtræk der foretages i en periode. For den udtømmelige ressource R_1 er ændringen blot lig udtaget. For den fornybare afhænger ændringen også af væksten i den biologiske population, der helt generelt antages at afhænge af populationens størrelse N_2 . Funktion g 's afledede mht. R_2 er negativ, idet større udtag vil føre til lavere tilvækst i beholdningen.

Produktionssystemet kunne f.eks være en beskrivelse af møbelindustrien. Materialeinputtene kunne være plastik og tekstil, den fornybare ressource kunne være træ og den udtømmelige metal. Emissionstype e_1 kunne være de energirelaterede emissioner, f.eks CO_2 , NO_x eller SO_2 , mens e_2 kunne være udledning af tungmetaller i spildevand i forbindelse med overfladebehandling af materialerne. Endelig kunne affaldet være plastaffald og e_4 kunne være nedsivning af tungmetaller fra (plast-)affaldsdepoter.

Den opstillede model er et godt grundlag for analyse af vækst og strukturforskydninger i økonomien og de heraf afledte miljøkonsekvenser. Beskrivelsen af strukturforskydningerne er vigtige af to grunde: Dels fordi modsætningsforholdet mellem økonomisk vækst og miljøkvalitet beskrives og det illustreres hvorledes miljøbelastningen per produceret enhed - indenfor visse grænser - kan reduceres. Og dels fordi de trade-off's, der eksisterer mellem forskellige typer miljøbelastning, afdækkes. Hvert input og hver sektor er jo bærer af hver sin form for emission eller ressource-træk, og ofte vil man være tvunget til at intensivere en form for miljøbelastning for at reducere en anden. Modellen muliggør mao. en samlet beskrivelse af samfundsøkonomiske og miljømæssige forskydninger som følge af alternative politiske tiltag.

4. Miljøtilstandens effekt på økonomien

I dette kapitel fokuseres på miljøtilstandens påvirkning af produktionen. Afsnit 4.1 handler om den forringelse af inputkvaliteten, forureningen medfører, mens der i afsnit 4.2 inddrages den tilpasning, der sker i det økonomiske system.

4.1. Miljøtilstand og produktivitet

Generelt gælder det, at forureningens skadevirkninger samfundsmæssigt kommer til udtryk på 3 måder: (1) reduktion i produktiviteten af inputtene, og (2) reduktion i udbuddet af inputtene, (3), negativ indvirkning på forbrugernes nytte af godt helbred og naturoplevelser, dvs, faldende nytte af hvad man kunne kalde forbrug af miljøgoder. Som nævnt i indledningen ses der i denne artikel bort fra ikke-økonomiske effekter. Da (3) kan antages ikke at have betydning for forbrugernes økonomiske adfærd, betragtes kun (1) og (2).

Denne antagelse er dog ikke uden problemer. Netop den i kapitel 3 beskrevne stigende miljøbevidsthed, og dennes indvirken på forbrugssammensætningen, kan med vis rimelighed hævdes at være en følge af faldende nytte af miljøgoderne. Sammenhængen er dog så usikker, og afhænger af adskillige andre - politiske og institutionelle - faktorer, at den ikke behandles yderligere.

(1) er de tilfælde, hvor inputtet er et *økosystem*, (f.eks. luften, jorden eller havet) eller *stoffer og materialer*. I førstnævnte situation fører forurening af økosystemet til øget sygdom og dødelighed i de biologiske populationer (f.eks. skove, fiskebestande eller produktionsfaktoren arbejdskraft) og forringer dermed økosystemets ydeevne. I den anden situation er materialets produktivitet forringet f.eks. som følge af korrosion. Tilfælde (2), hvor selve udbuddet reduceres, er aktuelt når produktionsfunktionen ikke indeholder økosystemet som input, men derimod de populationer, der lever i økosystemet. Forureningens effekter i form af øget sygdom og dødelighed forringer ikke populationens produktivitet, men derimod udbuddet af den.

4.1.1 Eksempel: Skadeeffekter som følge af luftforurening med NO_x & SO_2

For at konkretisere og illustrere dette kan den energirelaterede forurening med NO_x og SO_2 benyttes som eksempel, fordi den virker ind mange steder i økonomien. I nedenstående skema er miljøets feed-back effekter og deres konsekvenser for produktionsbetingelserne opridset.

<i>Input</i>	<i>Skadeeffekter</i>	<i>Effekter i produktionsfunktionen</i>
<i>Kap.app.</i>	<i>Korrosion</i>	<i>Lavere levetid</i> <i>Øget vedligeholdelse</i>
<i>Arb.kraft</i>	<i>Sundhedseffekter</i>	<i>Lavere udbud</i> <i>Lavere arbejdsproduktivitet</i>
<i>Energi</i>	<i>Ingen</i>	<i>Ingen</i>
<i>Materialer</i>	<i>Korrosion</i>	<i>Lavere produktivitet</i>
<i>Jord</i>	<i>Forsuring</i>	<i>Lavere udbytte af skovbrug</i> <i>Lavere afgrødeudbytte</i>
<i>Vand</i>	<i>Iltsvind</i>	<i>Lavere fiskeriudbytte</i>
<i>Skove</i>	<i>Forsuring</i>	<i>Lavere udbud</i>
<i>Fiskebestand</i>	<i>Iltsvind</i>	<i>Lavere udbud</i>

Effekterne på inputtene vil ramme økonomiens sektorer forskelligt, alt efter hvor intensivt de benytter dem. Det er selvfølgelig først og fremmest de primære erhverv, der påvirkes. I landbruget er effekterne dog meget små og usikre (og vil sandsynligvis blive reguleret gennem øget tilførsel af kalkkomponenter i gødningen), men i fiskeri- og skovbrugssektorerne kan de være vigtige.

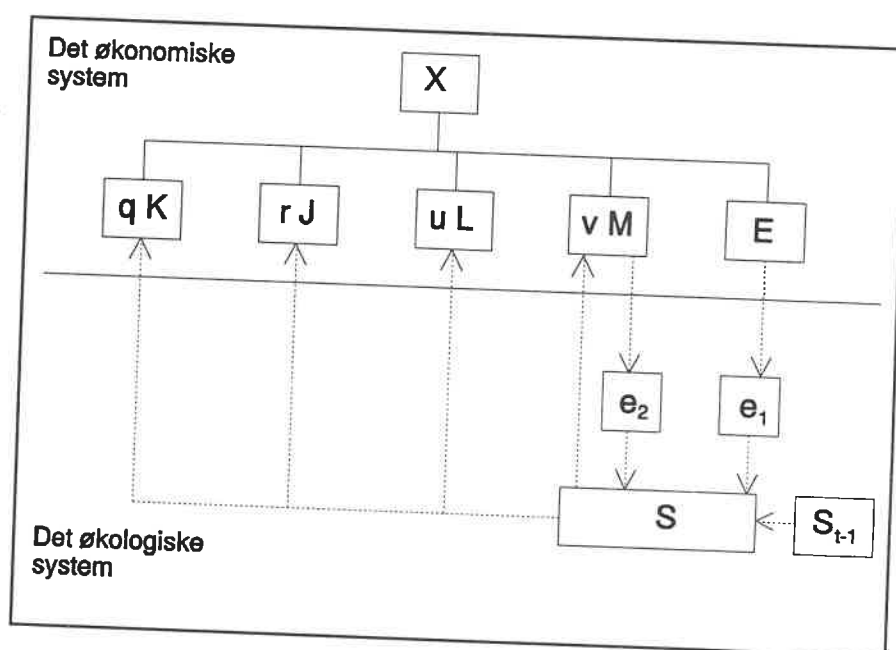
Som beskrevet ovenfor, kan visse effekter opfattes som både produktivetsforringelse og udbudsbegrænsning alt efter hvilke inputs der specificeres. I en produktionsfunktion med biologiske populationer - naturressourcerne skov eller fisk - som input, vil effekten (i form af skovdød og kvælning af fisk), optræde *direkte* som reduktion i udbuddet af ressourcerne, som omtalt ovenfor. Er produktionsfunktionen ikke specificeret på hhv. skove og fisk, men derimod på økosystemerne jord eller vand, vil effekten optræde *indirekte* som en forringelse af produktiviteten for jordbund, søer eller have, idet disse faktorer ikke giver anledning til samme output pr. inputenhed til en given indsats af de øvrige faktorer. Der kræves derimod en øget indsats af alle andre inputs for at opnå samme output. Fiskerne skal f.eks være længere på vandet (dvs flere arbejdstimer, energi mv) for at fange det samme. Der er altså først og fremmest tale om en beslaglæggelse af ressourcer.

4.1.2 Inddragelse af tilbagekoblingseffekterne i modellen

Generelt kan effekterne sættes ind i en modelsammenhæng på følgende vis: Såfremt q , r , u og v angiver de faktorspecifikke produktivetsændringer (for hhv. kapital, jord, arbejdskraft og materialer), vil skadeseffekten s , i flg. ovenstående, indvirke på dem. De antages derudover at vokse med konstante rater, således at f.eks $q = q(E_K(0)e^{rt}, s)$, hvor q er den samlede produktivetsændring for kapitalapparatet K , som dels er en funktion af de teknologiske fremskridt, der vokser eksponentielt med raten γ , og dels en faldende funktion af s er et mål for imissionen eller skadeseffekten i økosystemet og skal opfattes som en tilstandsvaria-

bel (f.eks. koncentration af forskellige stoffer i recipienten). Denne koncentration er dels afhængig af periodens tilførsel af forurenende stoffer, og dels af forrige periodes tilstand S_{t-1} . Dens effekt på produktiviteten kan beskrives vha. en såkaldt dose-response funktion, der kvantificerer effekten af en given påvirkning af et input.

Det skal understreges, at modellen blot er en udbygning af den i kapitel 2 opstillede del-model. Den kan ligeledes kobles på en traditionel makromodel og kan i sin nuværende (underbestemte) udformning kun løses ved inddragelse af denne models lignings-system. For at holde den udvidede del-model på et rimeligt overskueligt niveau opereres kun med inputtene K,J,L,E og M på eet niveau, hvorefter den i diagramform ser således ud:



Figur 3 Model med tilbagekoblingseffekt

På ligningsform kunne modelsystemet se således ud:

Økonomisk produktion :

$$(ø1') X=f_1(qK,rJ,uL,vM,E)$$

Ligeledes opereres kun med to emissionstyper, de energirelaterede e_1 og de materialerelaterede e_2 .

Emission :

$$(e1') e_1=e_1(E) \quad (e2') e_2=e_2(M)$$

Skades- og produktivitetseffekter :

$$(s1) \quad s=s(e_1, e_2, s_{t-1}) \quad s'_e > 0, s'_{t-1} > 0$$

$$(s2) \quad q=q(E_K(0)e^{rt}, s) \quad r=r(E_I(0)e^{dt}, s) \\ u=u(E_L(0)e^{-t}, s) \text{ og } v=v(E_m(0)e^{bt}, s), \\ q'_s < 0, r'_s < 0, u'_s < 0, v'_s < 0$$

(s1) viser skadeseffekten som fkt. af emissionsniveauet og tilstanden i forrige periode s_{t-1} og (s2) faktorproduktivitetsændringerne som fkt. af skadeseffekten og de teknologiske fremskridt.

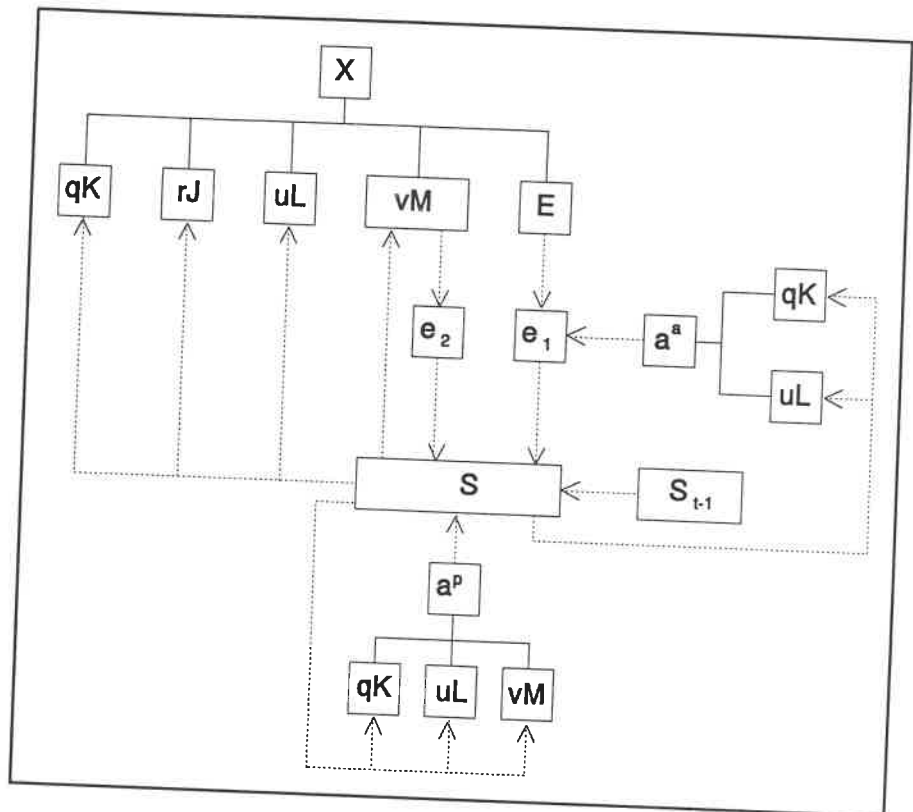
4.2 Tilpasning og produktivitet

Simultant til skadeseffekterne sker der løbende tilpasninger, hvor igennem der søges reduktion eller udbedring af skaderne. Det er i denne forbindelse hensigtsmæssigt at skelne mellem den tilpasning, der indebærer en egentlig forebyggelse og den tilpasning, der er en reaktion efter at skaden er sket. Den førstnævnte art, som kunne kaldes *ex-ante tilpasning*, er f.eks. rensning eller renere produktion.

Den anden type er *ex-post tilpasningen*, dvs. beskyttelsesforanstaltninger eller ændringer i den økonomiske vareefterspørgsel. Beskyttelsesforanstaltningerne er eksempelvis skadesudbedring, hvor det forsøges at bringe recipienten eller de beskadigede inputs tilbage til udgangspunktet. Både rensning og beskyttelsesforanstaltninger kræver udbygning af modellen, mens ændringerne i vareefterspørgslen på produktionssiden beskrives gennem den eksisterende produktionsfunktion og producentens profitmaksimerende adfærd. Inputsammensætningen vil ændre sig, fordi produktiviteten af det forurenende input vil være forringet. Det er derfor fordelagtigt at benytte relativt mere af de øvrige inputs til givne priser.

På forbrugssiden er der tilsvarende tale om forskydninger i forbrugernes præferencer, der fører til ændret varesammensætning. På både forbrugs- og produktionssiden kan ændringerne i agenternes adfærd i nogle tilfælde være så fundamentale, at der er tale om introduktion af helt nye varer. I ovenstående eksempel kunne det være at fiskeriet ændrede fangstsammensætningen (nye outputs) eller aktiviteterne blev flyttet til andre søer (nye inputs), hvori der var andre produktionsbetingelser. I tømmersektoren kunne man ligeledes formode overgang til nye, mere resistente træsorter. Der er i disse tilfælde tale om en helt ny produktionsfunktion, der både kan vise sig mere eller mindre profitabel end den gamle. Det er ikke muligt at vurdere nettoeffekten af dette skift, før den nye funktion er kendt.

Systemet med beskrivelse af tilpasningen kan illustreres vha. et diagram som vist nedenfor.



Figur 4 Model med tilbagekobling og tilpasningsmekanismer

Ex-ante tilpasningen a^a er modelmæssigt antaget at kunne beskrives ved en *rensningssfunktion*, analog til de økonomiske produktionsfunktioner. Heri produceres reduktion af emissioner og inputtene antages at være kapital og arbejdskraft. Ex-post tilpasningen (beskyttelsesforanstaltningerne) a^p beskrives også i en produktionsfunktion for sig, der benytter indsats af de to produktionsfaktorer, plus en materialeindsats. Der ses for enkelthedens skyld bort fra miljøbeskadigelser s.f.a tilpasningsaktiviteter. På ligningsform kan modellen beskrives som følger :

Økonomisk produktion :

$$(\emptyset 1') \quad X = f_1(qK^1, rJ^1, uL^1, vM^1, E)$$

$$(\emptyset 2') \quad a^a = f_2(qK^2, uL^2) \text{ og } a^p = f_3(qK^3, uL^3, vM^3)$$

Emission :

$$(e1'') \quad e_1 = f_{e1}(E^1, a^a) \quad (e2'') \quad e_2 = f_{e2}(M^1)$$

Skades- og produktivitetseffekter :

$$(s1') \quad s=s(e_1, e_2, s_{t-1}, a^p) \quad s'_{e_1}>0, s'_{e_2}>0, s'_{s_{t-1}}>0, a^p<0$$

$$(s2') \quad q=q(E_K(0)e^{rt},s), \quad r=r(E_J(0)e^{\delta t},s), \\ u=u(e_L(0)e^{\alpha t},s) \text{ og } v=v(E_M(0)e^{\beta t},s), \\ q'_s, r'_s, u'_s, v'_s < 0$$

Modellens anvendelsesmæssige muligheder er nu udvidet. Der er nu tale om en normativ model, fremfor de mere deskriptive versioner tidligere i kapitlet. Formålet med disse var først og fremmest en kvantificering af miljøbelastningen og dens produktivitetseffekter. I den nyeste version er derimod mulighed for et valg mellem de forskellige økonomiske aktiviteter, og dermed en valg af ressourceindsatsen i disse. Det samfundsmæssigt mest relevante problem må således være, at finde den optimale fordeling af samfundets ressourcer, altså fordelingen af arbejdskraft, kapital mv. mellem de almindelige økonomiske og de tilpassende aktiviteter. Den optimale fordeling afhænger af hvor stor effekt på produktiviteten ændringer i skadeseffekten og tilpasningen har i forhold til hinanden. De teknologiske fremskridt vil med tiden ændre kurvernes form og dermed optimumspunktet. Det er således klart, at nøglen til analyse af trade-off'et mellem økonomisk vækst og den fremtidige miljøbelastning er kendskab til og kvantificering af skadeseffekter og tilpasningsfunktionerne. Det fremstår ydermere klart, at der over tid er tale om en slags kapløb mellem de miljøforbedrende teknologiske fremskridt og miljøforringelserne - jo større de teknologiske skift bliver, desto mindre vil de miljømæssige begrænsningers relative betydning for væksten være.

Det må understreges, at valget af a^a , og a^p i denne model foretages af den enkelte producent, eller rettere sektor, og bekostes af denne. I det omfang, at een sektors aktiviteter forringer produktiviteten i en anden sektor, bliver situationen mere kompleks. Her er der behov for en offentlig indsats. Det gælder også de tilfælde, hvor der ikke er tale om produktionsmæssige forringelser, men forringelser af den del af befolkningens velfærd, der er forbundet med æstetiske værdier, naturoplevelser og andre ikke-økonomiske faktorer. De samfundsmæssige omkostninger, som er en følge af forureningen, kan således i praksis ligge langt over hvad der ud fra en snæver produktionsteknisk indfaldsvinkel kan betale sig, idet de også afhænger af forureningens øvrige konsekvenser. Som tidligere nævnt kan dette aspekt indarbejdes i modelmæssige sammenhæng ved at indgå i forbrugernes nyttefunktion som et input - et slags miljøgode. Et bredere maksimeringsproblem end det ovenfor skitserede kunne derfor være maksimering af forbrugernes nytte af både økonomiske og miljømæssige varer under bibetingelse af modellens funktionsmæssige sammenhænge. Der er dog så store vanskeligheder forbundet med en fastlættelse af en sådan forbrugsfunktion, at effekten ikke er egnet til analyse i empiriske modeller.

5. Makroøkonomiske modelformer

I dette kapitel afrundes diskussionen om makromodellernes anvendelsesmuligheder i miljøpolitisk sammenhæng med en kort diskussion af valg af modeltyper. Mens miljøeffekten modelmæssigt er givet ud fra de teknologisk bestemte emissionsforhold og de naturvidenskabeligt fastlagte sprednings- og dose-response funktioner, afhænger de økonomiske konsekvenser i høj grad af modellens økonomisk-teoretiske grundlag.

De grundlæggende forskelle på de væsentligste kategorier af makroøkonomiske modeller vil derfor blive opridset. De eksisterende makroøkonomiske miljømodeller falder hovedsaglig i to grupper, nemlig de generelle ligevægtsmodeller og modeller på keynesiansk eller ny-keynesiansk grundlag. De to modeltyper adskiller sig først og fremmest ved beskrivelsen af tilpasningsmekanismer i det økonomiske system og forklaringer på væksten i økonomien.

Forskellene betyder at modellerne vil give vidt forskellige resultater, når de samfundsøkonomiske omkostninger af et miljøpolitisk indgreb skal beregnes. Det er derfor vigtigt at forklare hvori forskellen består.

Som baggrund for kapitlet kan det være nyttigt at slå op i bilag I, i det omfang der optræder ukendte økonomiske begreber.

5.1 Generelle ligevægtsmodeller

De generelle ligevægtsmodeller hviler på neo-klassisk teorigrundlag. I disse modeller antages at priserne er tilstrækkelig fleksible til at sikre ligevægt på alle markeder i hver periode. Der tages altid udgangspunkt i mikroøkonomiske principper, når de økonomiske sammenhænge forklares.

Agenternes adfærd er rationel i en fuldkommen konkurrence økonomi - dvs., uendelig mange små udbydere og efterspørgere, der handler under fuld information. Producenterne antages at profitmaksimere, mens forbrugerne nyttemaksimerer.

Modellerne drives i sidste instans af forbrugernes adfærd, dvs deres opsparing. Det skyldes at opsparingen bestemmer investeringerne, og således determinerer kapitalakkumuleringen. Opsparingen blev i de oprindelige vækstmodeller (modeller af Solow typen) givet som en fast procentdel af indkomsten. I de nyere vækstmodeller gives opsparingen derimod endogen, idet forbrugerne antages at maksimere deres nytte under uendelig lang tidshorisont (intertemporal nyttemaksimering). Dvs, at de alt afhængigt af deres (konstante) diskonteringsrate og renteændringer vælger en bestemt fordeling af forbrug og opsparing i hver periode, således at de opnår størst nytte over tid. Modeller af denne

type kaldes Ramsey-vækst modeller, jf. Blanchard & Fisher (1989) for en beskrivelse.

Et nyere skud på stammen er Cambell og Mankiw's (jf. Cambell & Mankiw 1987) opdeling af forbrugerne i to grupper : de der er underlagt kredittationering og derfor ikke kan foretage intertemporal nyttemaksimering - de vil istedet blot forbruge en konstant andel af indkomsten. Og de der ikke er underlagt kredittationering, og derfor opfører sig som forbrugerne i Ramsey modellen. Modellen er altså en mutant af de to typer, og er blevet testet på mange lande med tilfredstillende resultater.

Der er opstillet et stort antal empiriske makroøkonomiske miljømodeller på neoklassisk teorigrundlag. Af modeller der lægger sig op af Solow typen kan nævnes OECD modellen Green (Jf. Burniaux 1991,1992). Af modeller af Ramsey typen kan nævnes modellen Global 2100 (Manne og Richels, 1990). Endelig er modellen G-cubed (McKippen, 1992 I & II) af Cambell og Mankiw-typen. Alle modeller vil blive beskrevet i kap.6.

En fjerde type ligevægtssmodeller er de såkaldte multisektor vækst modeller (MSG modeller), der oprindeligt blev opstillet af Leif Johansen og siden videreført af Norges Statistiska Sentral-burå. Sidenhen er de estimeret i Danmark (Jf. DØR 1980) og i Sverige (Bergman 1990). De benævnes ofte generelle ligevægtsmodeller, men adskiller sig afgørende fra ovennævnte beskrivelse mht. til forbrugeradfærd : der er simpelthen ingen forbrugeradfærd, idet forbruget blot er den del af produktionen, der gives residualt, når erhvervenes råvareefterspørgsel, eksporten og det, eksogent givne, offentlige forbrug er tilfredstillet. Drivkraften i modellen er en eksogent styret kapitalakkumulation, dvs væksten i økonomien er fastlagt udenfor modellen.

MSG modellernes force er imidlertid en særdeles udbygget produktions- og emissionsbeskrivelse. Adskillige miljørelevante inputs er specificerede, som det vil fremgå af gennemgangen i kapitel 6. Modellernes force er deres analyse af strukturforskydninger i økonomien gennem den disaggregerede erhvervsbeskrivelse, og dertil hørende miljøeffekter. Hver sektor er specificeret med produktionstekniske egenskaber og emissionsfaktorer, jf. beskrivelsen i kapitel 6.

En faktorefterspørgsel af neoklassisk tilsnit kan iøvrigt udemærket forekomme i de keynesianske modeller (jf. næste afsnit) - den afgørende forskel er drivkraften i modellen og graden af pristilpasning på markederne. Disse egenskaber gør, at de generelle ligevægtmodeller ofte egner sig bedst til analyser på det lange sigt - det er jo her at den langsigtede vækstrate er væsentlig og her man kan formode at økonomien er istand til at tilpasse sig. På det korte sigt er de keynesianske modeller ofte bedre. De er bygget til at vurdere konjunkturudsvings betydning på relativt disaggregeret sektorniveau, herunder beskrive den manglende tilpasning, der ofte vil være til stede på kort sigt. Derudover er udbudssiden i ligevægtmodellerne fuldt beskrevet. Udbuddet af

primære produktionsfaktorer er netop væsentlige på længere sigt, idet de bestemmer den langsigtede vækstrate. På kortere sigt er udsving på efterspørgselsiden derimod afgørende.

De generelle ligevægtsmodeller har som nævnt profitmaksimerende adfærd. Denne gives oftest mht. forbruget af kapital, arbejdskraft og energi, mens de øvrige materialer som regel gives limitationalt (input-output afhængigt).

Ligevægtsmodellerne kan være fuldt estimerede på egne data (jf. f.eks. den norske MSG (Alfsen 1991) eller G-Cubed (McKippin 1992)), eller man kan have lånt sig frem til en eller flere parameterverdier (jf. f.eks. Bergman 1990 eller Burnieux 1991, 1992). I de sidste år er det blevet stadigt mere almindeligt at kalibrere modellerne, hvilket vil sige, at parameterverdierne fastsættes med udgangspunkt i initialåret, idet de skal være istand til at reproducere data dette år. Tankegangen bag er, at økonomien allerede her er i fuldstændig ligevægt og parameterverdierne vil være stabile. Det er klart, at denne metode er langt mindre datamæssigt krævende, idet der ikke behøves tidsserier af de enkelte variable til estimation.

5.2 Keynesiansk baserede modeller

I de keynesianske og ny-keynesianske modeller er troen på priserens fleksibilitet mindre. I disse modeller arbejdes kun med rationel adfærd og fuldkommen konkurrence på delmarkeder, hvorfor der kan optræde uligevægt på et eller flere markeder. Prisene (herunder også realløn og realrente, der jo er prisen på hhv. arbejdskraft og kapital) opfattes som mere eller mindre stive, f.eks. pga. monopolistiske markeder, manglende information, indgåede kontrakter eller andre faktorer.

Drivkraften i modellerne er indenfor den enkelte periode den indkomsts-kabende multiplikatoreffekt, mens der på længere sigt ofte anvendes en multiplikator-accelerator model til beskrivelse af investeringerne. Centralt i denne teori står producenterens ønske om et kapitalapparat af en bestemt størrelse, nemlig den størrelse, der kan tilfredstille produktionen. Producenterne tilstræber på denne måde et konstant forhold mellem kapitalapparat og produktion, men forsinkes i denne tilpasning af de lags, der er givet i multiplikator-accelerator modellen.

Forbrugerne karakteriseres i den keynesianske form ved en makroforbrugsfunktion, hvor forbruget gives som en fast del af indkomst og formue. Renteændringer har altså ingen betydning for opsparingen, ligesom forbrugerne ikke overfører forbrug fra den ene periode til den næste alt efter den fremtidige økonomiske udvikling.

Frem til 80'erne så modellerne i grove træk ud som ovenfor skitseret. Da disse modeller op gennem 70'erne og 80'erne i stadig mindre grad afspejlede den økonomiske og politiske virkelighed,

indlagde man i de fleste en eller flere crowding-out effekter på makroplan, som tilstræber resultater à la de generelle ligevægtsmodeller. Crowding-out effekterne beskriver de modsatrettede bevægelser, der opstår i økonomien sfa. politiske indgreb. En øget efterspørgsel vil i første omgang få produktionen til at stige. En forøget produktion fører til større arbejdskraftefterspørgsel, der igen presser lønningerne op. Heraf følger prisstigninger, der dels nedsætter forbruget, fordi formuens realværdi reduceres, dels forværrer konkurrenceevnen, så eksporten bliver mindre. Den samlede efterspørgsel falder således igen. Denne effekt kaldes ofte løn-crowding-out og er almindelig i nationale konjunkturvurderingsmodeller, f.eks både ADAM og SMEC.

En anden form er rente-crowding-out. Den øgede produktion vil forøge pengeefterspørgslen, hvorefter renten stiger på pengemarkedet. Rentestigningen dæmper investeringerne, hvorfor efterspørgslen falder igen. I dansk sammenhæng har denne relation imidlertid vist sig mindre anvendelig, fordi den danske rente har været bundet til den tyske, og dermed mindre afhængig af den indenlandske pengeefterspørgsel.

De keynesianske modeller kan som tidligere nævnt have en neoklassisk faktorefterspørgsel (jf. f.eks SMEC (DØR 1990)), men er i mange tilfælde er kun specificeret på et limitationalt vareforbrug og arbejdskraftforbrug, sidstnævnte dog korrigeret ved en produktivitetstrend (Jf f.eks ADAM, DS (1993)).

5.3 Den samfundsøkonomiske omkostning ved miljøpolitiske indgreb

De to modeltyper vil som omtalt resultere i vidt forskellige resultater ved konsekvensberegning af miljøpolitiske indgreb. På mikroniveau søger både producenter og forbrugere at tilpasse sig de ændrede betingelser gennem substitution. Substitutionen foranlediger nye ligevægtsmængder og priser på makroplan, men de endelige resultater af disse forskydninger vil som sagt i høj grad afhænge af hvilken type makroøkonomisk model, del-modellen kobles på. Der er især to antagelser, der har afgørende betydning, nemlig (1) antagelser om udbuddet af produktionsfaktorer og (2) antagelser om de teknologiske fremskridt. Vi skal se lidt nærmere på disse antagelser i de følgende afsnit 5.3.1 og 5.3.2.

5.3.1 Faktorudbuddet i makromodeller

De fleste hidtidige beregninger af miljøpolitiske indgreb i makromodeller resulterer i en større eller mindre økonomisk omkostning (Jf. f.eks McKibbin & Wilcoxon (1992I), Bergman (1989) el. Brendemoen (1991)). Dette facit afhænger som sagt afgørende af den anvendte modeltype - en generel ligevægtsmodel - og dennes egenskaber. I praksis fremkommer den samfundsøkonomiske omkostning som en forbrugsnedgang pga. tilpasningsaktiviteternes beslaglæggelse af knappe ressourcer - både øgede rensnings-

aktiviteter og substitution bort fra et afgiftsbelagt emissionsbærende input indebærer øget efterspørgsel efter produktionsfaktorerne. Derudover fremkommer ofte tab sfa. konkurrenceevneforværringer pga. den øgede ressourceindsats' virkning på omkostninger og derved priser.

I de Keynesiansk inspirerede makromodeller med rigeligt faktorudbud er der derimod plads til den øgede faktorefterspørgsel. Ændringen kan derfor vise sig gunstig - en øget ressourceanvendelse vil jo blot sætte en multiplikator effekt igang. Såfremt tiltaget kun gennemføres nationalt vil man dog kunne få tabsgivende resultater frem gennem dårligere konkurrenceevne, som beskrevet ovenfor.

Makromodellernes resultater afhænger således afgørende af de bagvedliggende antagelser. Det mest interessante resultat er dog heller ikke nødvendigvis størrelsen af en fremtidig forbrugsnedgang, men i ligeså høj grad den information om miljøkonsekvenser af vare- og erhvervsmæssige forskydninger, modellerne indeholder⁶.

Det er netop denne del af modellerne, der vil blive fokuseret på i kapitel 6, hvor et antal modeller, der udmærker sig på dette felt, gennemgås.

5.3.2 Den teknologiske udviklings rolle

De makroøkonomiske modeller behandler grundlæggende vareproducerende økonomisk aktivitet og bevarelse af miljøet som uforenelige modsætninger. Tilpasningsaktiviteterne og de teknologiske fremskridt opbløder denne modsætning. Særlig de teknologiske fremskridt fremstår som en forløsende faktor, fordi deres miljøforbedrende egenskab opnås uden omkostninger : i modellen optræder de simpelthen som et skift til lavere inputforbrug og dermed mindre miljøbelastning per produceret enhed. Den teknologiske udvikling påvirker gennem denne ændring samfundet på to måder: dels udsætter den det tidspunkt vi når naturens kapacitetsgrænser og dels forskyder den samfundets optimumspunkt, dvs, den optimale fordeling af ressourcerne.

De samme fremskridt kan dog også vise sig vækstskeabende og derved resultere i en miljømæssig negativ nettoeffekt. De teknologiske springs bagvedliggende drivkraft er ønsket om at producere så billigt som muligt, for derved at tjene mest muligt. Et profitabelt teknologisk skift vil blive gennemført hos alle producenter, hvorefter de lavere omkostninger vil føre til fald i output-

⁶ Det skal understreges, at såfremt man inddrog de eksterne effekter i modellen, ville der ikke være tale om en samfundsøkonomisk omkostning. Den miljømæssigt forbedrede tilstand ville dels være karakteriseret ved højere nytte i forbrugsfunktionen og en reduktion af det produktivitetsfald i produktionsfunktionen, der ellers ville være sket uden indgreb. Som allerede omtalt behandles førstnævnte eksternalitet ikke i denne artikel (eller i empiriske modeller overhovedet). Den anden er derimod netop beskrevet ved skades- og produktivitetsfunktionerne i den opstillede del-model. Et rationelt indgreb i en model, der omfatter funktioner af denne type, vil derfor resultere i en samfundsøkonomisk gevinst, idet økonomien har bevæget sig mod en mere optimal fordeling af ressourcerne.

prisen. Herved stiger efterspørgslen og økonomien har oplevet vækst.

Desværre kan den økonomiske teori, der anvendes i empiriske modeller, kun i ringe omfang beskrive udviklingen i teknologien endogen, selvom den er særdeles afgørende for forklaringen af økonomisk vækst. Betragt f.eks. Cobb-Douglas funktionen : $Y = A f(K,L)$. De traditionelle produktionsfunktioner beskriver kun det sidste led - $f(K,L)$ - endogen, mens det første led - A -, som er lig de teknologiske fremskridt eller om man vil, den totale faktorproduktivitet, som sagt er meget dårligt belyst. Empirisk kan det vises, at denne faktors bidrag til væksten udgør mellem 25% og 50% med udviklingsøkonomier og industrialiserede lande som de to yderpunkter (Jf. Chenery 1983).

Drivkræfterne i de traditionelle vækstmodeller er eksogent givne teknologiske fremskridt, befolkningstilvækst og opsparingsadfærden. Økonomiske modeller, der søger mere nuancerede forklaringer på vækstrater, har traditionelt fokuseret på indlærings-effekter og arbejdsdeling, (jf. f.eks Arrow (1962) eller Atkinson & Stiglitz (1969)) og fra slutningen af 80'erne på forsknings- og udviklingsindsatsen. Det er de såkaldte endogene vækstmodeller, hvor en forsknings- og udviklingssektor indarbejdes i økonomien. (For en oversigt, jf. Groth (1992)).

Forsknings- og udviklingssektorens output (et slags kumuleret vidensniveau) benyttes som input i de øvrige sektorer, og dette forskningsinput foranlediger stigende skalaafkast på makroplan. Det fundamentale optimeringsproblem i disse modeller er fordelingen af ressourcer mellem sektorerne, og en af konklusionerne er behovet for en offentlig forskningsindsats, da økonomien ikke i sig selv vil sikre optimalitet. Som påpeget af Stern (1991) er den empiriske anvendelse af disse modeltyper er imidlertid problematisk, først og fremmest fordi de nævnte faktorer er vanskelige at afgrænse og kvantificere. Som han desuden påpeger er der stadig lang vej igen, før den økonomiske teori kan forklare ændringer i totalfaktorproduktiviteten. Blandt de væsentligste af de dårligst belyste områder nævner han management og organisering, infrastruktur, knaphed på ressourcer i visse sektorer pga. inoptimal fordeling, samt indkomstfordelingen. Mange af disse aspekter er dog grundigt behandlet i den mere deskriptive del af den økonomiske videnskab, som f.eks artikelsamlingerne Dosi (1988) eller Dasgupta (1987) kan illustrere.

Man kan sige, at det væsentligste problem er at beskrive de *muligheder* fremtiden byder i form af innovation og evolution på tilfredsstillende vis. Denne artikels modeller egner sig bedst til at beskrive de *begrænsninger* vi vil opleve ved vores økonomiske færdens nedslidning af naturen. Faber (1987) taler om tidens *to pile*, hvor første pil er beskadigelse, ressourceudtømmning og højere entropi, mens den anden er teknologisk udvikling og skift i funktionelle sammenhænge. Vores fremtid, der er helt afhængig af naturens tilstand, afhænger af deres relative hastighed. Formålet med de makroøkonomiske modeller er at analysere mulig-

heder for at reducere den første pils fart - en nuanceret analyse af den anden pils fart ligger derimod foreløbig indenfor andre modelmæssige og videnskabelige områder.

6. Empiriske erfaringer med makroøkonomiske miljømodeller

I dette kapitel vil et antal modeller blive fremdraget, særligt mht. at beskrive deres produktionssystem og miljø-del. De udvalgte modeller er valgt fordi de udmærker sig på dette felt, men vil i visse tilfælde have utilfredstillende egenskaber set ud fra en økonomisk synsvinkel. Disse grundlæggende egenskaber blev beskrevet i kapitel 5, mens der her fokuseres modellernes egenskaber mht. miljørelevante karakteristika. Afsnit 6.1 behandler produktions- og emissionssiden, mens 6.2 omhandler miljøtilstandens tilbagekoblingseffekter. I begge afsnit er formålet at vise forskellige metoder til modellering af sammenhængene.

Som det var tilfældet med kapitel 5, kan det være nyttigt at kigge i bilag I, hvis begreberne ikke er velkendte. I bilag II er diverse forkortelser og variabelnavne forklaret.

6.1 Empiriske erfaringer med produktions- og emissionssystemet

De fleste nationale makroøkonomiske miljømodeller er i realiteten en viderebygning på de eksisterende nationaløkonomiske modeller. I modsætning hertil er de globale modeller oftest opstillet og estimeret mhp. at analysere et bestemt miljøpolitisk indgreb, som regel en CO₂ afgift. I afsnit 6.1.1 beskriver 3 modeller af førstnævnte type, mens afsnit 6.1.2 skitserer 4 globale modeller.

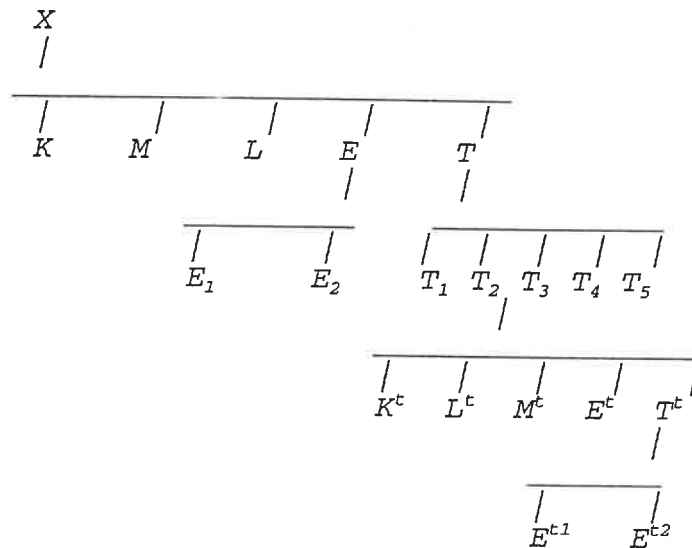
6.1.1 Nationale miljømodeller

I det flg. gennemgås tre nordiske modellers produktionssystem. De to første er den norske MSG model fra Statistisk Sentralbyrå (herefter MSG-N) og svenske MSG model (herefter MSG-S), der bl.a. blev benyttet til beregninger til Långtidsutretningen 1990 (Bergman 1989). Den økonomiske side af disse modeller er allerede beskrevet i kapitel 5. Endelig beskrives RISØ's model for industriens energiefterspørgsel og tilhørende emissioner, INDUS-EMIS, der er det eneste gennemarbejdede danske forsøg på at koble emissioner til en makromodel.

I den norske MSG model benyttes Generaliserede Leontief omkostningsfunktioner. Det samlede norske produktionssystem er særdeles disaggregeret. På øverste niveau ses produktionen $X = f(K, L, M, E, T)$, hvor M er materialeinput, der fordeles videre i et IO system og E er et energiaggregat, der fordeles på næste niveau på de to energivarer el og brændsel. K er kapital, mens L er arbejdskraft. Den femte faktor T er transportforbruget, der fordeles på 5 transportformer - jernbaner, luft-, vej-, og søtransport, samt post og telekommunikation. Hver af disse transportformer fordeles

endelig videre på erhvervenes egentransport og køb af transportydelser fra transporterhvervene. Disse to typer deles herefter videre på transportaktiviteternes inputforbrug, altså igen på en K,L,M,E,T fordeling. Endelig fordeles E igen på dette niveau på to energityper.

Data er overalt tidsserier af nationalregnskabstal for inputtene og de tilhørende prisindex. Produktionssystemet ser altså således ud



Også emissionssiden er meget udbygget. Der opereres med 9 emissionsarter, for hver af økonomiens 36 erhverv, plus husholdningerne. De 9 emissionsarter bestemmes for hver sektor for en eller flere af 4 kildetyper, nemlig stationære, mobile, procesudslip og forddampning. Emissionen kobles til forskellige inputs spm materialeforbrug, benzin, olie etc. Diverse tekniske variable er desuden inddraget.

I den nyeste version (dokumenteret i Alfsen (1991)) opereres med både faktor- og sektorspecifikke teknologiske fremskridt. Ydermere ses ikke homothetiske produktionsfunktioner i visse sektorer.

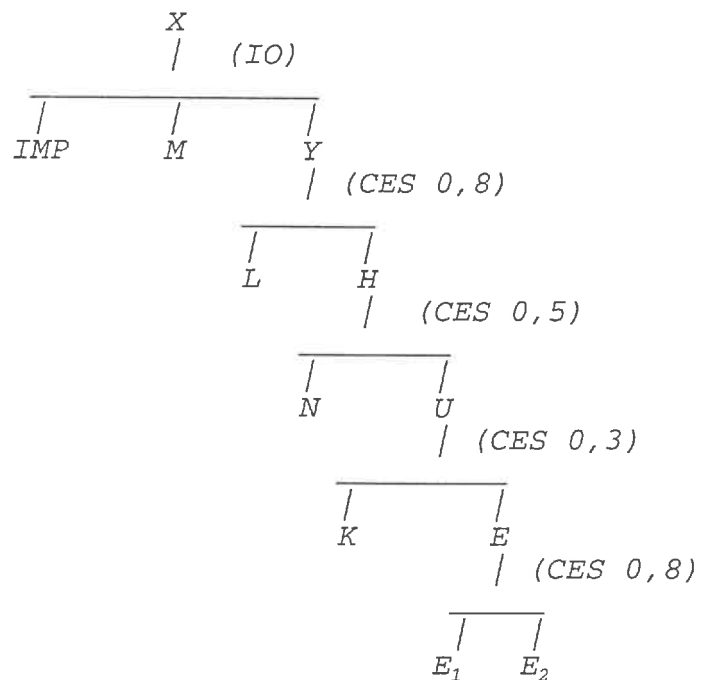
Modellen ligger i sin udformning og tankegang tæt op ad det i kapitel 3 skitserede system. Det udmærker sig ved lavt aggregeringsniveau og fokusering på emissionsbærende inputs fremfor output. Den har været anvendt i adskillige analyser, både fremskrivninger og konsekvensberegninger af indførelse af en CO₂ afgift, jf. f.eks Alfsen ((1988) eller Brendemoen (1991).

Den svenske MSG model (Bergman 1989) er først og fremmest interessant i denne sammenhæng fordi den inddrager naturressourcer som input i visse erhvervs produktion. Den udmærker sig ydermere ved at indarbejde en rensningsektor i økonomien. For en beskrivelse af sidstnævnte, jf. afsnit 6.2.

Produktionssystemet i de sektorer, hvor naturressourcen optræder, kan skitses som nedenfor. Det drejer sig om ressourcen tømmer og andre skovråvarer, der optræder i en enkelt gruppe erhverv, nemlig tømmer-, papir- og celluloseindustri. Mens udbuddet af de øvrige produktionsfaktorer gives eksogent, beror det svenske udbud af denne vare på prisen, der gives på verdensmarkedet.

På øverste niveau fordeles produktionen X limitationalt mellem et faktoraggregat Y , det indenlandske materialeforbrug M og importerede råvarer IMP .

Faktoraggregatet Y gives i 3 niveauer CES funktioner, hver i 2 inputs. På øverste niveau fordeles Y på arbejdskraft L og et kapital-energi-skovråvare aggregat H . H fordeles herefter på naturressourcen N og U , der er et kapital-energi aggregat. U fordeles videre på K og E , hvorefter E tilsidst fordeles på to energityper, fossil energi og el, baseret på vand- eller kernekraft.



Parameteren efter CES i figuren angiver substitutionselasticiteten. Den er ikke estimeret på egne data, men hentet fra diverse litteraturstudier eller i visse tilfælde et kvalificeret gæt. Den empiriske side er i det hele taget svagere end den norske MSG model. Modellen er ikke estimeret, men kalibreret (jf. afsnit 5.1).

Det empiriske grundlag er nationalregnskabstal i den økonomiske del og data fra Statistisk Central Bureau i emissionsdelen. De energirelaterede emissioner SO_x , CO_2 og NO_x antages afhængige af brændselsforbruget og de procesrelaterede af produktionen. Tekniske data vedrørende svovlindhold i brændsler og katalysatorer på biler er indarbejdet. Der opereres med 7 sektorer, samt husholdningerne. Den erhvervsmæssige aggregering oplyses at

være sket efter inputsammensætning, emissionsprofil og eksportandel i erhvervets afsætning.

Fra nationalregnskabet hentes oplysninger om faktorindsatser i erhvervene. Produktivitetstigningerne antages Hicks neutralt for kapital og arbejdskraft, men bestemmes særskilt for energi. De er alle sektorspecifikke og fastsættes eksogent - der er altså ikke tale om estimerede størrelser.

Modellen har som tidligere nævnt været anvendt i forbindelse med Långtidsutredningen 1990. Konsekvenserne af indførelse af emissionsbegrænsning blev analyseret. Hovedresultatet var dels en lavere vækst i BNP, bl.a. sfa. de øgede rensningsaktiviteters beslaglæggelse af ressourcer og ringere konkurrenceevne sfa. stigende omkostninger, og dels betragtelige forskudninger mellem sektorerne.

RISØ's INDUS-EMIS model er en eftermodel til ADAM, idet den ud fra en ADAM fremskrivning af den økonomiske udvikling og en prognose for energiprisudviklingen beregner erhvervenes fremtidige energiefterspørgsel og emissioner. Energidelen af modellen kaldes INDUS, mens EMIS er en teknisk model, der beregner emissioner sfa. energiforbruget. Modellen er først og fremmest udviklet fordi ADAM's beskrivelse af energiefterspørgslen er utilstrækkelig, og derfor ikke kan benyttes til prognoser.

Fra ADAM hentes produktionsværdierne, og for visse sektorer yderligere beskæftigelse, investeringer mv. Kun industrierhverv betragtes. Erhvervsinddelingen er mere disaggregeret end ADAM-brancherne og energiefterspørgslen er fordelt på fire energityper - el, naturgas, flydende og fast brændsel.

Energiefterspørgslen beskrives ved at benytte 2 indgangsvinkler: top-down og bottom-up. I førstnævnte benyttes en relation for hvert erhvervs totale energiforbrug, der herefter fordeles ud på de respektive energityper. I bottom-up metoden estimeres en relation for hver enkelt type, hvorefter branchens totale forbrug bestemmes ved addering.

Formen for top-down energiefterspørgslen er inspireret af den såkaldte translog omkostningsfunktionen, der ligesom GLO er en fleksibel funktionsform, jf bilag I. Den aktuelle udformning er dog en ad hoc opstillet funktion, der varierer lidt fra erhverv til erhverv. Udgangspunktet er for det samlede energiforbrug i top-down metoden denne

$$(*) \ln E = a + b \ln X + c \ln(P_E/P) + d \ln T$$

hvor X er produktionen, P er erhvervets outputpris, P_E energiprisen og T tiden. d er altså et mål for de teknologiske fremskridt, som vil være energiforbrugende/besparende alt efter d's fortegn. b er produktionselasticiteten og c realpriselasticiteten. Funktionen bliver for enkelte erhverv suppleret med andre forklarende variable, der indikerer betydningen af de øvrige faktorer, f.eks. beskæftigelse, investeringer, dummy variable og endelig laggede variable.

Relation (*) bestemmer det totale forbrug i varmeanheder, og ganges dette tal med den samlede energipris per varmeanhed, fås den samlede energjudgift for erhvervet. Den samlede udgift fordeles herefter ud på energityper ved at benytte budgetandelsrelationer.

Metoden er baseret på den traditionelle faktorefterspørgselsrelation for translog omkostningsfunktionen, hvor Shephards lemma benyttes, jf. bilag I. Den adskiller sig dog i praksis klart fra sit forlæg, idet der er ikke tale om en differentiering af omkostningsfunktionen, men en ad-hoc opstillet relation.

Omkostningsandelene afhænger nemlig af priselasticiteten for den enkelte type, produktionen i erhvervet og forskellige andre variable alt efter branchens karakter. Der kan altså introduceres forklarende variable efter behov, f.eks. indsatsen af andre produktionsfaktorer, også selvom disse ikke har betydning for det samlede forbrug. Idet øjeblik sammensætningen af energiforbrug afhænger af forbruget af de øvrige faktorer eller af den totale produktion, har man samtidig droppet hhv. separabilitet og homothetets antagelserne, hvilket gør systemet ekstremt fleksibelt, men også mindre konsistent. Eneste restriktion er, at budgetandelene skal summe til en.

I bottom up metoden bestemmes som omtalt hvert erhvervs forbrug af hver enkelt type, i følgende relation :

$$(**) \ln E_i = a + b \ln X + c \ln(P_{E_i}/P)$$

der igen suppleres med branchespecifikke variable som ovenfor. Det samlede energiforbrug findes herefter ved addering.

Estimationsmæssigt ses store forskelle fra erhverv til erhverv, både hvad angår samstemmighed mellem de to metoder, og hvad angår estimaternes signifikans og fortolkelighed. Der viser sig specielt vanskeligheder i erhverv med få store dominerende virksomheder. For hvert erhverv vælges den funktion, der viser sig at give den bedste beskrivelse.

Både produktions- og priselasticiteter udviser stor variation størrelsesmæssigt sektorerne imellem, og er som sådan et godt argument for relevansen af erhvervsspecifikke produktionsfunktioner.

I delmodellen EMIS kobles forbruget af de 4 energiarter til emission af SO_2 , CO_2 , og NO_x . Emissionskoefficienterne hentes fra RISØ's database, hvor de gives for hver af de 25 energityper, der opereres med i Danmarks Statistiks energibalancer. Koefficienterne er beregnet ud fra brændslet kemiske sammensætning og antagelser om procesteknologiske forhold. De 25 koefficienter vægtes herefter sammen til INDUS's 4 energiarter.

6.1.2 Globale miljømodeller

De internationale miljømodeller er næsten alle generelle ligevægtsmodeller, der opererer på meget langt sigt - ofte op til år 2100. Siden midten af 80'erne er der opstillet et stort antal, der alle beskæftiger sig med CO₂ problematikken.

Et af de første forsøg på en international CO₂ model er *Edmonds & Reilly (1983)*, der i en 9 regions verdensmodel fremskriver regionernes emissioner på langt sigt efter eksogene antagelser om vækst, teknologiske fremskridt og priser. Formålet med analysen er bl.a. at anskueliggøre hvilke verdensregioner, der bliver de største bidragydere på langt sigt, og hvor meget forskellige CO₂ skatter reducerer udledningerne.

De fleste ressourcer er brugt på at beskrive regionernes energimarkeder for 7 energiteknologier. Den økonomiske side er derimod mindre udbygget, idet der er tale om eksogene fremskrivninger af nøglevariable, snarere end en model.

I *Manne & Richels (1990)*'s model *Global 2100* eksisterer 5 verdensregioner. Hovedformålet med modellen er at muliggøre analyser af omkostningerne ved at indføre CO₂ begrænsninger i regionerne.

Modellen består dels af et særdeles udbygget energimarked, der beskriver 18 energiteknologier med hver sin CO₂ intensitet, og dels af en vækstmodel af Ramsey-typen (jf. kap.5). De to delmodeller er bl.a. forbundet ved energipriserne, der clearer energimarkederne i hver periode. I modsætning til *Edmonds & Reilly* modellen er der altså tale om en egentlig økonomisk adfærdsmodel, hvor energimarkedet og den øvrige økonomi gensidigt påvirker hinanden.

Modellen er forholdvis aggregeret, idet der kun er en samlet produktionsfunktion for de ikke-energiproducerende erhverv. Den består af et nested system af to Cobb-Douglas funktioner mellem hhv. kapital og arbejdskraft og to energityper (el og andet) på nederste niveau, der igen vejes sammen i et CES aggregat på øverste niveau. Teknologien på energimarkederne er derimod limitational. Modellen er kalibreret og elasticiteterne fastsat på basis af kvalificerede skøn.

Den internationale samhandel er kun beskrevet for olie, idet det antages at der i enhver periode skabes ligevægt på det internationale oliemarked. Modellen har især været brugt til at beregne omkostningerne ved at overholde diverse CO₂ begrænsninger, og disse omkostninger er bl.a. fremkommet ved overgangen til dyrere energiteknologier.

Green modellen fra OECD (*Burniaux (1991,1992)*) var oprindeligt en 8 regions verdensmodel, men er i de nyeste versioner udvidet med yderligere 4 regioner. I denne version er også inkluderet 3 fremtidige energiinputs (syntetisk kulstofbaseret brændsel, synte-

tisk kulstoffrit brændsel, og ikke-kulstofbaseret el), udover de eksisterende 4 (kul, olie, gas og el). Energiteknologien er, såvel som produktionsteknologien i modellens øvrige 11 sektorer, et nested system af limitationale og CES funktioner. Vækstbeskrivelsen er af Solow-typen, jf. kap. 5, og forbruget er fordelt på fire vareaggregater, hvoraf de to er opvarmning og transport.

Formålet er, at beregne omkostninger ved indførelse af CO₂ begrænsninger, givet alternative udviklingsforløb i økonomien. Der sættes særlig fokus på fordelingen regionerne imellem, alt efter hvordan begrænsningen indføres. I modsætning til de ovennævnte modeller indeholder den en detaljeret international handelsbeskrivelse og sub-modeller for udtømmning af energiressourcer. Den er som Global 2100 kalibreret og elasticiteterne er fastsat på baggrund af litteraturstudier.

De fjerde internationale model der gennemgås her, er 6 regioners modellen *G-Cubed* (jf. McKibbin & Wilcoxon, 1992 I og II). I modsætning til de øvrige modeller er der tale om en fuldt estimeret og særdeles disaggregeret model, der på mange måder opfylder de krav man kan stille til makroøkonomisk miljømodel.

Der er 5 energisektorer og 7 øvrige erhverv, der alle er specificeret i en CES funktion med kapital, arbejdskraft, energi, materialer, samt en sektorspecifik naturressource - f.eks kul i råstofindustrien og jord i landbrug og skovbrug. Energi er herefter fordelt videre i 5 energityper, ligesom materialeinputtet er fordelt på ikke mindre end 7 materialeinputs. Forbruget følger en parallel inddeling.

Modellens svaghed er nok datagrundlaget udenfor USA. De øvrige regioners input-output tabeller, der benyttes som datagrundlag for estimationerne, er ikke oprindelige, men konstrueret ud fra amerikanske data og korrigeret efter forskellige antagelser.

Hver af regionerne er forbundet med detaljerede matricer for varehandel og finansielle markeder. Forbrugernes adfærd - og dermed opsparingen - er af Cambell & Mankiw typen (jf. kap.5), og afspejler således den nyere forskning indenfor forbrugeradfærd.

Økonomien udsættes for diverse chock, økonomiske såvel som CO₂ relaterede indgreb. Forskellige indgrebs - uni- og bilaterale - effekt på de enkelte regioners indkomst og emission analyseres. Derudover lægges stor vægt på de sektormæssige forskydninger både indenfor og imellem regionerne.

6.2 Empiriske erfaringer på miljøsidens

Man må gøre sig klart, at en kvantitativ vurdering af både skadesomfanget, tilpasningen og den endelige produktivetsforringelse er forbundet med meget store vanskeligheder. Den i kapitel 4 skitserede modeltype skal opfattes som et forslag til, hvorledes miljøeffekterne kan systematiseres, såfremt alle nødvendige oplysninger foreligger. Der er dog visse dele, der er afprøvet i empirisk sammenhæng. Det gælder først og fremmest ex-ante tilpasningen, dvs rensning og renere produktion. I makromodeller optræder dette aspekt ofte som *rensningssektorer* i input-output sammenhæng (et af de nyeste arbejder er Bøhm og Luptacik (1992)), men er også set i andre funktionstyper. Bl.a (Gørling (1988), der beskriver rensning af ikke mindre end 11 emissionsarter til luft og vand i en Cobb-Douglas funktion med inputtene kapital og arbejdskraft og faldende skalaafkast. Et andet arbejde er Jantzen og Velthuijsen (1991), der introducerer omkostningsfunktioner for en bred vifte af miljøtiltag, f.eks spildevandsrensning, jordrensning, Low NO_x burning, mv. i scenarieanalyser med den hollandske version af EF modellen Hermes. Omkostningsfunktionerne udviser stigende marginalomkostninger og fordeles ud på kapital, arbejdskraft og materialer.

I den svenske MSG model (Bergman (1989)) arbejdes med en rensningssektor, der fjerner SO₂, CO₂ og NO_x. Omkostningerne er konstante per reduceret enhed. Der opereres altså ikke - iflg. Bergman primært af datamæssige grunde - med stigende marginalomkostninger. Sektorens produktionsfunktion er helt simpel, med kapital som eneste input.

Produktivetsforringelser er kun meget sjældent inddraget i empirisk sammenhæng. Et lidt ældre studie er Hsieh (1986), der kvantificerer den californiske ozonforurenings betydning for udbyttet af forskellige afgrøder. En nyere eksempel er Statistiks Sentralbyrå i Norge (Alfsen (1988) og (1991)), der har forsøgt at indarbejde disse i fler-sektor vækstmodeller de sidste 3-4 år. Der tages her udgangspunkt i samfundets samlede udgifter til udbedring af korrosionskader på materialer og bygninger, mens sundhedsudgifter og effekter på biologisk produktivitet af datamæssige grunde ikke er inddraget.

Studierne tager empirisk set udgangspunkt i produktivetsforringelser omkring det skadesniveau vi har idag. Et meget vigtigt spørgsmål er imidlertid hvordan funktionerne vil udvikle sig på længere sigt, når skadesniveauet stiger. Antag f.eks at skadeseffekten bedst tilnærmes ved en eksponentielt voksende funktion af emissionsniveauet. På den første del af kurven kan naturen optage relativt store emissionsmængder, uden at tage for meget skade. Længere oppe ad kurven vil de samme tilførsler imidlertid

have langt større effekt, fordi recipienten har ændret tilstand i forhold til udgangssituationen. En simpel lineær fremskrivning af skadeeffekten baseret på estimation af observationer på funktionens første flade stykke, vil således kunne ramme fatalt ved siden af.

7. Konklusion

Foringelser af naturtilstanden påvirker os på to måder, nemlig gennem vores ikke-materielle og vores materielle livskvalitet. I denne rapport er der fokuseret på den sidste faktor, idet det er forsøgt at indarbejde den i en traditionel makroøkonomisk model-sammenhæng. Det står klart at der eksisterer et trade-off på to planer: dels på overordnet niveau mellem økonomisk vækst og miljøforringelser over en bred kam, og dels mellem forskellige former for miljøbelastning. De forskellige former er afhængige af sammensætningen af den økonomiske vækst og kan modelmæssigt kun illustreres ved tilstrækkelig disaggregering af sektor- og varegrupper.

Den i kapitel 4 opstillede model sigter netop på at beskrive disse trade-offs. Den samfundsøkonomiske problemstilling kan koges ned til at finde den optimale ressourcefordeling, dvs. hvilke strukturforskydninger, der udskyder det tidspunkt hvor vi når naturens kapacitetsgrænser, samtidig med at vores krav om økonomisk velstand indfries. Det økonomiske systems miljøbelastende egenskaber kan ændres på to måder, nemlig ved ændringer i sammensætningen af aktiviteter eller ved ændringer i aktiviteterernes produktionsmåde. I det første tilfælde ændres outputsammensætningen, dvs efterspørgslen drejes henimod varer, der er mindre miljøbelastende i såvel produktionsmæssig som forbrugsmæssig henseende og henimod forskellige former for tilpasningsaktiviteter. I det andet tilfælde ændres inputsammensætningen for en given vare, dvs de miljøbelastende inputs substitueres så vidt muligt ud. Alle forskydningerne er underlagt økonomiske, institutelle og teknologiske begrænsninger, og kan kun finde sted indenfor disse begrænsningers rammer. De makroøkonomiske modeller kan sætte tal på de parametre og andre variable, der beskriver mulighederne og kan gennem sine årsag-virknings sammenhænge illustrere hvilke økonomiske håndtag der skal drejes på.

Som rapporten har demonstreret, har hovedparten af de hidtidige modelarbejder omhandlet energi- og energirelaterede emissioner - primært CO₂. Den analytiske anvendelse har især været scenarier, med eller uden emissionsbegrænsninger. Tilbagekoblingen, det vil sige den effekt miljøforringelserne har på økonomien er stort set aldrig inddraget. Dette begrænser klart modellernes anvendelsesmuligheder. I det omfang forureningens skadeeffekter ikke er kvantificeret, er der intet sammenligningsgrundlag for de omkostninger der er forbundet med et givet miljøpolitisk indgreb. I realiteten kan modellen ikke besvare spørgsmålet: Hvor store er de samfundsøkonomiske omkostninger ved *ikke* at gribe ind?

Der er således både behov for at udbygge modellerne til at dække hele det miljøøkonomiske kredsløb - det vil sige også at indbefatte miljøets tilbagekoblingseffekter - og behov for at udvikle modellerne til at beskrive andre forureningsproblemer end energirelaterede emissioner. Herunder bør den økonomiske side

af modellerne udbygges, således at de kan koble ændringer i emissioner til ændringer i de relevante økonomiske og teknologiske variabler.

Litteratur :

Alfsen, Knut (1991): "Transport in a Macroeconomic Model of the Norwegian Economy", Paper presented at the second EAERE conference, June 1991.

Alfsen, Knut (1988): "En norsk model for framskrivninger utslipp til luft", Miljøøkonomi i Norden, 1988.

Andersen, F.M m.fl. (1991): "INDUS - En teknisk-økonomisk model for industriens energiforbrug", Forskningscenter RISØ.

Arrow, K.J (1962): "The economic implications of learning by doing" Review of Economic Studies, vol. 36, pp. 137-52

Atkinson, A.B and Stiglitz, J.E (1969): "A new view of technological change" Economic Journal, vol 79

Belinfante, A (1978): "Identification of technical change in the electricity generating industry" i Fuss & McFadden (Eds) : "Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications", vol. 2, North Holland.

Bergman, Lars (1989): "Tilvæxt och miljø - en studie av målkonflikter" Bilaga 9 til Långtidsutretningen 1990.

Blanchard, O. og Fisher, S. (1989): "Lectures on Macroeconomics MIT Press," 1989.

Brendemoen, Anne m.fl. (1991): "A Climate Convention and the Norwegian Economy: A CGE Assessment" Paper presented at the second EAERE conference, June 1991.

Burniaux, John-Marc m.fl. (1991): "The Costs of Policies to Reduce Global Emissions of CO₂" Working paper from the OECD, Department of Economics and Statistics.

Burniaux, John-Marc m.fl. (1992): "The Costs of Reducing CO₂ Emissions : Evidence from Green, OECD, Working Paper n.115, Econ.Dep.

Bye, T & P. Frenger (1990): "Factor substitution, non-homothesity, and technical change in the Norwegian production sectors", Statistisk Sentralbyrå, Oslo.

Bøhm, Bernhard & Luptacik, Mikulas, University of Technology, (1992), Vienna: "An Input-Output Model and Environmental Control Multicriteria Analysis with Empirical Investigations for Austria", Paper presented at the 33rd International Conference of the Applied Econometrics Association "Econometrics of Environment", Geneva, Switzerland, Jan. 1992.

- Cambell & Mankiw (1987): "Permanent Income, Current Income and Consumption", NBER Working Paper 2436.*
- Chenery, H.B (1983): "Interaction between Theory and Observation in Development", World Development, vol.11.*
- Danmarks Statistik (1993): "ADAM - En model af dansk økonomi, okt. 1991", D.S.*
- Dasgupta, P & G. Heal (1974): "The Optimal Depletion of Exhaustible Resources" Review of Economic Studies.*
- Dasgupta, P (1987): "Economic Policy and Technological Performance", Cambridge.*
- Diewert (1971): "An Application of the Shephard Duality Theorem: A Generalized Leontief Production Function" Journal of Pol. Ec.*
- Dosi, G m.fl. (1988): "Technological Change and Economic Theory", Pinter Publ.*
- DØR (1980): "MSGE - Energi i en flersektorvækst model for Danmark" Bilagsrapport.*
- DØR (1990): "SMEC - Modeldokumentation og beregnede virkninger af økonomisk politik".*
- Edmonds & Reilly (1983): "Global Energy and CO₂ to the Year 2050", The Energy Journal, 4(3), 21-47.*
- Faber, Malte m.fl. (1987): "On modelling Interactions Between the Economy and the Environment in the Long-Run", Discussion Paper, Universitat Heidelberg.*
- Fuss & McFadden (Eds.) (1978): "Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications", Vol.1 & 2*
- Førsund, Finn (1985): "Input-Output Models, National Economic Models, and the Environment" i Kneese & Sweeney (1985): "Handbook of Natural Resource and Energy Economics", North Holland.*
- Gross & Veendorp (1990): "Growth with Exhaustible Resources and a Materials-Balance Production Function", Natural Resource Modeling, vol.4, nr 1.*
- Groth, Christian (1992): "Endogen Teknologisk Udvikling", Nationaløkonomisk Tidsskrift 1992.*
- Gørting, Anders (1988): "Økonomisk Tillvæxt och Miljø", Økonomiske Studier, Handelshøgskolan vid Göteborgs Universitet.*

Hsieh, Hsih-Chia (1986): "Impacts of Pollution under an Econometric Model and Input-Output Analysis", Paper presented at the Eighth International Conference on Input-Output Techniques.

Jantzen & Velthuisen (1991): "An Intergrated Environment-Economy Simulation Model for the Netherlands" Paper for the Second EAERE Conference, June 1991.

Jorgenson, D. & Wilcoxon, P. (1990): "Environmental Regulation and U.S. Economic Growth", RAND Journal of Economics, vol.21, no.2, 1990.

Manne, A.S, and Richels, R.G (1990): "CO-2 emissions reductions:an Economic Cost Analysis for the USA" The Energy Journal, Vol.11, 1990.

McKibbin & Wilcoxon (1992I): "The Global Costs og Policies to Reduce Greenhouse Gas Emissions", Brookings Discussion Papers in International Economics, nr.97.

McKibbin & Wilcoxon (1992II): "G-Cubed: A Dynamic Multi-Sector General Equilibrium Model of the Global Economy", Brookings Discussion Papers in International Economics, nr.98.

Møller, Flemming (1992): "Samfundsøkonomi og klima" Bidrag til "Drivhuseffekt og klimaændringer" Miljøministeriet 1992.

Proost, S m.fl. (1991): "A General Equilibrium Analysis of a National Carbon Tax" Paper for the Second EAERE Conference, June 1991.

Shephard (1953): "Cost and Production Functions", Princeton University Press.

Shephard (1970): "Theory of Cost and Production Functions, Princeton University Press.

Stern, Nicholas (1991): "The Determinants of Growth", The Economic Journal, 101, Jan. 1991.

Yohe, Gary(1991): "The Backward Incidence of Pollution Control - Some Comparative Statics in General Equilibrium", Journal of Environmental Economics and Management, nr.6.

Bilag I: Introduktion af nogle centrale økonomiske begreber og teorier

A. Definition af centrale begreber og teorier

A.1 Separabilitet, homothetitet og homogenitet

Separabilitet og homothetitet er nyttige antagelser når produktionsfunktionen er fordelt på mange inputs. Problemet opstår estimationsteknisk, idet de mange forklarende variable kan give insignifikante parameterestimater. Ved hjælp af de to antagelser, kan produktionsystemet *nestes*, hvilket vil sige, at der arbejdes på flere niveauer. Pointen er, at man foretager en flertrinsoptimering, hvor man først optimerer forbruget af en faktor eller faktoraggregat og herefter sammensætningen i dette.

En produktionsfunktion $f(L,K,E,M)$ er *svagt separabel* når den kan skrives $f(g(L,K),E,M)$ mens *stærk separabilitet* vil sige at den kan skrives $g(L,K)h(E,M)$. (Jf. Fuss & McFadden (1978)). Den økonomiske fortolkning af dette er, at den optimale faktorsammensætning af inputtene L og K er uafhængig af indsatsen af de øvrige inputs. Fordelen ved antagelsen er, at man kan nøjes med at estimere produktionsfunktioner i to inputs ad gangen, der herefter kan sættes sammen til en total produktionsbeskrivelse.

En funktion er *homothetisk*, såfremt den via en positiv monoton transformation kan afbildes i en funktion, der er homogen af 1. grad. Det er klart at alle homogene funktioner opfylder dette krav, idet de blot kan opløftes i $1/x$, hvor x er graden af homogenitet. Men herudover findes et utal af andre funktioner, der opfylder dette krav.

De betragtede modeller i kapitel 6 har næsten alle *konstant skalaafkast* (homogene af første grad), dvs homothetitsantagelsen er opfyldt. Antagelsen er nyttig, fordi den medfører to egenskaber, der ofte benævnes hhv. *svag og stærk homothetitet*. For det første er forholdet mellem to faktorefterspørgselsrelationer (og hermed også den optimale faktorsammensætning) uafhængigt af den producerede mængde. For det andet er elasticiteten af omkostningerne mht output uafhængig af faktorpriserne. Dvs en procentvis stigning i output vil give anledning til samme procentvise stigning i omkostningerne, uanset faktorprisernes størrelse.

Den første egenskab medfører, at omkostningsfunktionen $C=C(w,X)$ kan skrives $C=C(f(P),X)$, hvor P er en vektor bestående af inputpriserne og X er produktionen. Den anden betyder at den kan skrives $C=f(P)g(X)$. Dvs. at omkostningsfunktionen er (hhv. svagt og stærkt) separabel i P og X. Det er dog ikke denne form for separabilitet (nemlig mellem inputpriser og output), man tænker på, når en produktions- (eller omkostnings)-funktion omtales som separabel, men derimod på ovenfor omtalte definition, der indebærer separabilitet inputtene (eller inputpriserne) imellem.

Hvis funktionen ydermere er homogen, kan den skrives $C=C(P)X^a$, hvor a er graden af homogenitet. Er der konstant skalaafkast, betyder det således at $C=C(P)X$.

Udover den optimale inputsammensætnings uafhængighed af den producerede mængde, indebærer det konstante skalaafkast desuden, at producenten er indifferent mht. den producerede mængde. Profitten er i alle tilfælde lig nul - ved stigende skalaafkast vil producenten derimod ønske at producere så meget som muligt, men begrænses af efterspørgslen og ved faldende skalaafkast findes kun een kombination af faktormængder og produceret mængde, der til givne priser maksimerer profitten. Antagelsen om konstant skalaafkast er således endvidere årsagen til, at denne type produktionsfunktion med fordel kan benyttes i såvel efterspørgsels- som udbudstrukne modeller.

A.2 Substitutionselasticitet og fuldkommen konkurrence

Ligesom der normalt antages konstant skalaafkast i makromodeler, forudsættes også fuldkommen konkurrence. *Fuldkommen konkurrence* indebærer, at faktorerne aflønnes med deres grænseprodukt i optimum. Når dette er tilfældet, vil substitutionsforholdet (MRS) som er defineret som forholdet mellem grænseprodukterne være lig faktorprisforholdet i optimum. I det følgende redegøres for at *substitutionselasticiteten* under fuldkommen konkurrence derfor kan estimeres som den relative ændring i faktorindsatsen i forhold til den relative ændring i faktorprisforholdet.

En substitutionselasticitet er en ren teknisk størrelse og defineres mellem faktorerne K og L som $d(K/L)/(K/L) : d(MRS)/(MRS)$, og angiver den relative ændring i substitutionsforholdet ($MRS = f'_L/f'_K$) i forhold til den relative ændring i faktorforholdet. Grafisk kan det illustreres som ændringen i hældningen på tangenten til produktionens isokvant, når forholdet mellem faktorerne ud af 1. og 2. akser ændres. Isokvantens form indikerer størrelsen af elasticiteten. Fig 1a angiver tilfældet med substitutionselasticitet mellem 0 og 1 i en CES produktionsfunktion (en funktion med konstant substitutionselasticitet, jf. afsnit B1), fig 1b tilfældet med elasticitet større end 1 og figur c og d er de to ydertilfælde : c angiver den lineære produktionsfunktion med uendelig substitutionselasticitet og konstant substitutionsforhold og 1d det limitationale tilfælde med elasticitet på nul (input-output teknologien).

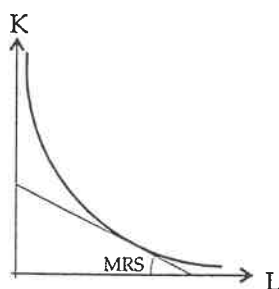


fig. 1a

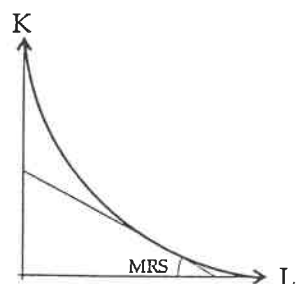


fig. 1b

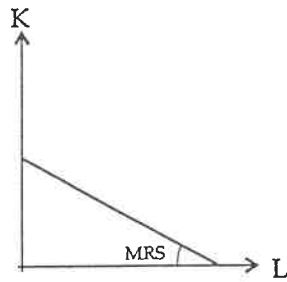


fig. 1c

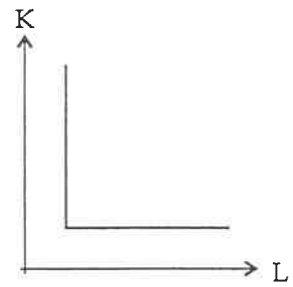


fig. 1d

Som omtalt ovenfor skal MRS være lig prisforholdet (det vil i dette eksempel med faktorerne K og L sige forholdet mellem reallønnen w og realrenten r) i optimum. Når de relative priser ændrer sig, må producenten derfor ændre faktorforholdet, så dette igen er opfyldt. Substitutionselasticiteten er derfor lig $d(K/L)/(K/L) : d(w/r)/(w/r)$ i optimum under fuldkommen konkurrence.

For de homothetiske funktioner gjaldt, som tidligere omtalt, at det optimale faktorforhold var uafhængigt af den producerede mængde, dvs at $MRS = f'_K/f'_L$ er det samme for et givet K/L forhold til et bestemt tidspunkt uanset hvor på produktionsfunktionen man befinder sig.

A.3 Faktorefterspørgslen

Faktorefterspørgslen findes på neoklassiske faktormarkeder med fuldkommen konkurrence ud fra førsteordensbetingelserne for enten profitmaksimering eller omkostningsminimering. I visse modeller differentieres således et udtryk for profitten og sættes lig nul, men oftest benyttes omkostningsfunktionen i stedet. Den kan nemlig iflg. *Shephards dualitetsteorem* (jf. Shephard(1979)) benyttes fuldstændig som en produktionsfunktion, idet enhver produktionsteknologi kan beskrives ækvivalent ved en produktionsfunktion eller en omkostningsfunktion, såfremt produktionsfunktionen opfylder et sæt af betingelser. Betingelserne går f.eks på at funktionen er kontinuert, at forøges en eller flere af faktorindsatserne vil output ikke falde, at ethvert positivt output kan produceres ved en eller anden inputkombination og at produktionsfunktionen har det normale neoklassiske udseende med aftagende skalaafkast mht. hver enkelt faktor.

Det omkostningsminimerende faktorforbrug findes ofte vha. *Shephards lemma*, der giver det som omkostningsfunktionen differentieret mht. faktorprisen selv. Det siger altså, at det optimale forbrug af den i 'te faktor $\Gamma_i = \Gamma_i(X, p_1, p_2, \dots, p_n)$ er lig den differentierede omkostningsfunktion, dvs $\delta C(X, p_1, p_2, \dots, p_n) / \delta P_i$.

I optimum gælder det jo, at minimumsværdien af omkostningerne er lig faktorpriserne gange mængderne, dvs at $C(p_1, p_2, \dots, p_n; X) = \sum p_i \Gamma_i(p_1, p_2, \dots, p_n; X)$. Altså må det gælde at

$$(\S) \quad \delta C / \delta p_i = \Gamma_i + \sum p_j \delta \Gamma_j / \delta p_i.$$

Shephards lemma indebærer at andet led på højresiden er lig nul i optimum, idet Γ_i jo netop er lig forbruget af faktor i . For en udledning, se Shephard (1953).

B. De mest almindelige produktionsfunktioner

B.1 CES produktionsfunktioner

En CES (constant elasticity of substitution) funktion er en produktionsfunktion, der har konstant substitutionselasticitet. Den limitationale (ofte benævnt Leontief teknologi eller input-output teknologi) og Cobb-Douglas funktionerne er begge specieltilfælde af denne, hvori substitutionselasticiteten er hhv. nul og en. I tilfældet med to indsatsfaktorer K og L , ser en CES funktion således ud :

$$X_j = \alpha \{ \mu_j K_j^{(\sigma_j-1)/\sigma_j} + (1-\mu_j) L_j^{(\sigma_j-1)/\sigma_j} \}^{\sigma_j/(\sigma_j-1)}$$

hvor j refererer til en given sektor, σ_j er substitutionselasticiteten mellem K og L , og μ_j og $1-\mu_j$ faktorelasticiteter. Faktorelasticiteten udtrykker, hvor stor den procentvise stigning i output er, når et af inputtene øges en procent. Faktorelasticiteten kaldes oftest fordelingparameteren, fordi den for en bestemt værdi af substitutionselasticiteten giver fordelingen mellem aflønningen af faktorerne, i dette eksempel altså mellem løn- og renteindkomst. α er en faktorneutral efficiensparameter.

Neutrale tekniske fremskridt vil vise sig ved en stigning i α over tid, mens faktorspecifikke fremskridt vil fremkomme som en stigning i parametrene n og m over tid (se nedenstående relation).

$$X_j = \alpha \{ \mu_j (nK_j)^{(\sigma_j-1)/\sigma_j} + (1-\mu_j) (mL_j)^{(\sigma_j-1)/\sigma_j} \}^{\sigma_j/(\sigma_j-1)}$$

Oftest antages, at n og m vokser med eksponentiel rate, dvs n f.eks er lig $B(0)e^{gt}$.

B.2 Generaliseret Leontief funktioner

Den Generaliserede Leontief Omkostningsfunktion (GLO) er introduceret af Diewert i en artikel fra 1971 (Diewert(1971)). Den Generaliserede Leontief Omkostningsfunktion (GLO) er en såkaldt fleksibel funktionsform, hvilket vil sige, at den i et givet punkt er i stand til at gengive en hvilken som helst anden funktion, herunder altså også CES. Jo længere man bevæger sig bort fra punktet, desto dårligere bliver approximationen. Der er altså ikke konstant substitutionselasticitet og der vil i to forskellige punkter svare to forskellige CES funktioner.

Diewert tester i sin artikel om GLO funktionen opfylder de krav, der kan stilles til en omkostningsfunktion, hvis den skal kunne repræsenteres ækvivalent ved en produktionsfunktion, og udleder desuden den hertil svarende. Omkostningsfunktionen ser således ud

$$(\textcircled{a}) \quad C(X;p) = h(X) \sum_i \sum_j B_{ij} P_i^{1/2} P_j^{1/2}$$

hvor h er en kontinuert stigende funktion af produktionen X , og B er en symmetrisk faktor \times faktor matrix.

Skrives (\textcircled{a}) helt ud ser den således ud, hvor $i, j = 1, 2, \dots, n$:

$$C(X;P) = h(X) [P_1^{1/2}(B_{11}P_1^{1/2} + \dots + B_{1n}P_n^{1/2}) + P_2^{1/2}(B_{21}P_1^{1/2} + \dots + B_{2n}P_n^{1/2}) + \dots + P_n^{1/2}(B_{n1}P_1^{1/2} + \dots + B_{nn}P_n^{1/2})]$$

Faktorefterspørgslen kan, såfremt producenten omkostningsminimerer sin faktorsammensætning, som omtalt gives vha. Shephards lemma. Vi får altså at efterspørgslen efter faktor i er lig

$$(\textcircled{a}\textcircled{a}) \quad F_i = dC/dP_i = 1/2 h(X) \sum_j B_{ij} P_j^{1/2} P_i^{-1/2}$$

Kendes h og B kan den optimale faktorsammensætning til givne inputpriser altså beregnes fra $(\textcircled{a}\textcircled{a})$.

Skrevet ud, ser funktionen således ud, når $j = 1, 2, \dots, n$:

$$F_i = 1/2 h(X) [B_{i1}P_1^{1/2}P_i^{-1/2} + B_{i2}P_2^{1/2}P_i^{-1/2} + \dots + B_{in}P_n^{1/2}P_i^{-1/2}]$$

Som det ses, vil en stigning i P_i føre til et fald i alle prisforholdene. Såfremt B 'erne er positive vil F_i altså falde, i overstemmelse med den substitution, der sker over mod de andre faktorer. Jo større B_{ij} er, desto mere kan der substitueres over mod den j 'te faktor, og jo mere falder F_i . Er B_{ij} negativ er der ikke tale om substitutter, men komplementære inputs.

Funktionen kan opfattes som en generalisering af en almindelig Leontief funktion. Det kan ses hvis $h(X)$ sættes lig X og B_{ij} sættes lig 0 for alle $i \neq j$. $(\textcircled{a}\textcircled{a})$ reduceres da til $F_i = B_{ii} X$, dvs almindelig limitational Leontief teknologi med prisuafhængig inputsammensætning og inputforbrug proportional med output.

For at forstå hvordan GLO funktionen skal fortolkes, kan nedenstående figurer være til hjælp. B_{ij} er koefficienterne i GLO, der hænger sammen med substitution følgende måde : Substitutionsmulighederne kan grafisk illustreres ved de asymptoter isokvanten følger, som set i figur 2.a til 2.d nedenfor. Akseværdien af disse asymptoter er netop B_{ij} -værdierne. I et tilfælde med to produktionsfaktorer, der ikke er komplementære, (dvs $B_{ij} = B_{ji} > 0$) har vi tre tilfælde :

- $B_{LK} = 0$, illustreret i fig. 2a
- $B_{LK} > 0$, $B_{LL} > 0$, $B_{KK} > 0$, illustreret i fig. 2b
- $B_{LK} > 0$, $B_{LL} > 0$, $B_{KK} < 0$, illustreret i fig. 2c
- $B_{LK} > 0$, $B_{LL} < 0$, $B_{KK} < 0$, illustreret i fig. 2d

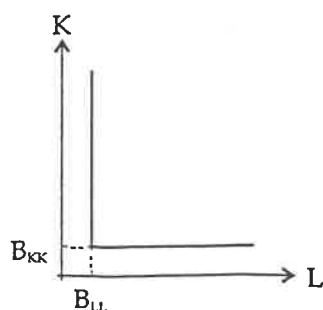


fig. 2a

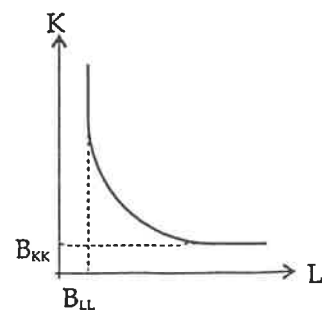


fig. 2b

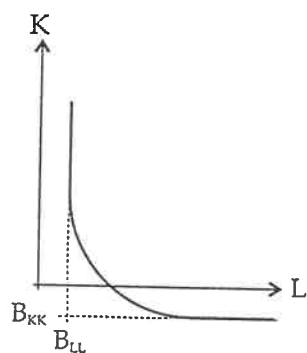


fig. 2c

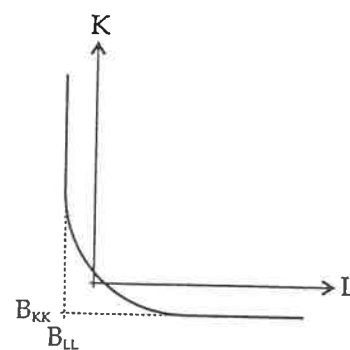


fig. 2d

I tilfælde (a) er faktorerne ikke substitutter, men der produceres med fast input sammensætning. I (b) er de to inputs substitutter, men der kan ikke produceres udelukkende med det ene input, idet asymptoterne indikerer den minimale indsats af faktorerne. I tilfælde (c) kan faktor K helt undværes, mens i (d) kan de begge udelukkes fra produktionen.

B.3 Translog funktioner

Translog omkostningsfunktionen er som GLO funktionen en fleksibel funktionsform. Den er lig

$$\ln C(X, p, t) = a_0 + \sum_i a_i \ln p_i + a_X \ln X + a_t t + \frac{1}{2} \sum_j \sum_i b_{ij} \ln p_i \ln p_j + \sum_i b_{Xi} \ln X \ln p_i + \frac{1}{2} a_{XX} (\ln X)^2 + \sum_i b_{it} \ln p_i + b_{iX} \ln X + \frac{1}{2} a_{tt} t^2,$$

hvor X er produktionen, p er en vektor af inputpriser og t er en tidsvariabel, der kan opfange teknologiske trends. a 'erne og b 'erne er alle parametre, der indikerer elasticiteten mht. den variabel de forbindes med, f.eks priserne eller output. Såfremt omkostningsfunktionen skal kunne antages at repræsentere en produktionsfunktion med de rette egenskaber (jf. afsnit A3 om dualitet), må parametrene pålægges visse restriktioner under estimation.

Efterspørgslen efter det i 'te input findes vha. Shephards lemma som

$$\delta \ln C / \delta \ln p_i = a_i + \sum b_{ij} \ln p_j + b_{Xi} \ln X + b_{it} t$$

Såfremt der gøres den helt almindelige antagelse om homothesitet, reduceres relationen noget. Homothesitet indebærer som nævnt i bilaget afsnit A, at de optimale faktorandele er uafhængige af produktionen X , hvilket igen indebærer at $b_{Xi} = 0$. Omkostningsandelen for den i 'te faktor er da lig

$$\delta \ln C / \delta \ln p_i = a_i + \sum b_{ij} \ln p_j + b_{it} t$$

C. Estimationsproblemer

Som tidligere omtalt er der i praksis en del problemer forbundet med estimation af substitutionselasticiteter og produktivitetstigningstakten. Det grundlæggende problem er, at produktionsfunktionens økonomiske egenskaber nok er uafhængige i teorien, men ikke kan adskilles i praksis. Hermed menes, at det ikke for et givet datamateriale entydigt kan estimeres, hvilke ændringer der skyldes substitution og hvilke der skyldes teknologiske skift. I teorien er førstnævnte ændring en bevægelse langs produktionsfunktionen, mens sidstnævnte repræsenterer en ændring i dennes form og disse to ændringer sker i en given periode samtidigt.

I tilfælde med Hicks neutrale teknologiske fremskridt (hvilket indebærer, at indsatsen af de forskellige faktorer reduceres i samme takt) er der tale om en opnummering, idet der bruges færre input per outputenhed, men stadig i samme forhold til givne priser, idet substitutionsforholdet er det uændret for et givet faktorforhold. Isokvantkortet er altså til et givet tidspunkt uændret mht. afstanden imellem isokvanterne og formen på disse. Der produceres blot mere til tid $t+1$ end til tid t med samme inputmængder, eller der produceres det samme med mindre inputmængder, som illustreret i nedenstående figur 3a.

Ved de ikke-neutrale fremskridt er der derimod tale om at produktionsfunktionen ændrer form (forvrides), og inputtene benyttes nu i et andet forhold (til givne priser). Her sker altså både en opnummering og en drejning af isokvanterne, idet de forskydes henimod den faktors akse, der har de største produktivitetstigninger, jf. figur 3b nedenfor, hvor det er K der har de relativt største produktivitetstigninger.

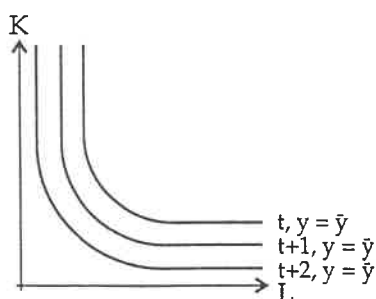


fig. 3a

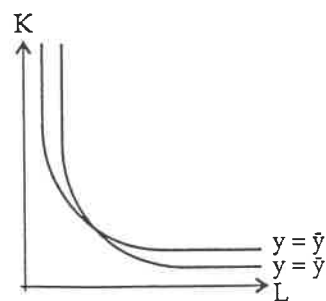


fig. 3b

Såfremt den ene faktors produktivitet vokser i forhold til den andens, vil producenten altså, også til givne faktorpriser ønske at substituere. Substitutionselasticiteten har derfor ændret sig, idet producenten til et uændret prisforhold vil benytte en ny faktorindsats for at blive liggende i optimum.

Estimationsresultaterne for modellens parametre vil selvfølgelig i det hele taget afhænge af de antagelser, der er gjort om dem.

- Udover antagelserne om de teknologiske fremskridt, forudsættes næsten altid at produktionsfunktionen er homothetisk, og at kapitalapparatet nedskrives med en given rate.

Med hensyn til det første, er det et problem hvis teknologien ændrer sig jo større skala, der produceres i, som det er tilfældet med ikke homothetiske funktioner. Når man estimerer, ligger det som tidligere omtalt implicit i homotesitetsantagelsen, at den optimale faktorsammensætning er uafhængig af outputniveau, dvs at til givne priser vil der produceres ens. Hvis denne antagelse ikke holder, vil produktionsfunktionen forvråde sig, jo længere man bevæger sig op langs den, og derfor vil også den optimale inputsammensætning til givne priser ændre sig alt efter produktionens størrelse. Empiriske undersøgelser (Belinfante(1978), Bye & Frenger(1990)) tyder på, at antagelsen ikke holder i alle erhverv. Som konsekvens af dette er man i de norske MSG modeller begyndt at arbejde med ikke-homothetiske funktioner.

Et andet problem er som nævnt fastsættelsen af nedslidning af produktionsfaktorerne. Hvis den reelle nedslidning foregår hurtigere end den antagne vil det betyde, at en forøget indsats af kapital blot er en reaktion på dette med det formål at holde uændret faktorforhold, og altså ikke en reaktion på de relative priser. Og omvendt, hvis den reelle nedslidning er langsommere, vil en øget anvendelse af arbejdskraft således heller ikke være en substitutionseffekt.

Bilag II: Anvendte forkortelser

Følgende er en liste over betegnelsen for diverse gennemgående variable, der gælder med mindre andet er angivet i teksten.

K = kapitalapparat

J = jord

L = arbejdskraft

M = materialer

T = transportydelser

E = energi

R = naturressource

X = produktion

Y = faktorindkomst

e = emissioner

w = affald

q, r, u, v = faktorproduktiviteter

a = tilpasning/adjustment

s = skadesniveau

fodtegn j = erhverv/vare j

fodtegn i = erhverv/vare i

σ = substitutionselasticiteten

μ = fordelingsparameteren/faktorelasticiteten

α = efficiensparameter

p = en vektor af inputpriser

p med fodtegn angiver en varepris, f.eks p_i = pris på vare i

r = realrente

w = realløn

C = omkostningsfunktionen

MRS = marginal rate of substitution

CES = constant elasticity of substitution

C-D = Cobb-Douglas

IO = Input-Output

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser - DMU - er en forskningsinstitution i Miljøministeriet. DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning indenfor natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

Danmarks Miljøundersøgelser	<i>Direktion og Sekretariat</i>
Postboks 358	<i>Forsknings- og Udviklingssekretariat</i>
Frederiksborgvej 399	<i>Afd. for Forureningskilder og</i>
4000 Roskilde	<i>Luftforurening</i>
	<i>Afd. for Havmiljø og Mikrobiologi</i>
Tlf. 46 30 12 00	<i>Afd. for Miljøkemi</i>
Fax 46 30 11 14	<i>Afd. for Systemanalyse</i>

Danmarks Miljøundersøgelser	<i>Afd. for Ferskvandsøkologi</i>
Postboks 314	<i>Afd. for Terrestrisk Økologi</i>
Vejlsøvej 25	
8600 Silkeborg	

Tlf. 89 20 14 00.
Fax 89 20 14 14.

Danmarks Miljøundersøgelser	<i>Afd. for Flora- og Faunaøkologi</i>
Grenåvej 12, Kalø	
8410 Rønde	

Tlf. 89 20 14 00.
Fax 89 20 15 14.

Publikationer:

DMU udgiver faglige rapporter, tekniske anvisninger, særtryk af videnskabelige og faglige artikler, Danish Review of Game Biology samt årsberetninger.

I årsberetningen findes en oversigt over det pågældende års publikationer. Årsberetning samt en opdateret oversigt over årets publikationer fås ved henvendelse til telefon: 46 30 12 00.