

Fremtidens vedvarende energisystem

- et lysegrønt og et mørkegrønt scenarie



Udarbejdet af:

Bent Sørensen
Lars Henrik Nielsen
Sigurd Lauge Pedersen
Klaus Illum
Poul Erik Morthorst

Henriette Hye-Knudsen og Lars Klüver,
Teknologinævnets sekretariat, har ledet projektet.
Teknologinævnets rapporter 1994/3

Indhold

Forord

[Kap. 1. Resumé](#)

[Kap. 2. Hvorfor vedvarende energi?](#)

[Kap. 3. Metode](#)

[Kap. 4. Kvalitativ beskrivelse af scenarier for samfundsudviklingen med særligt henblik på energisystemet](#)

4.1. Et lysegrønt scenarie for Danmark år 2030

4.2. Et mørkegrønt scenarie for Danmark år 2030

[Kap. 5. Scenarier for efterspørgslen efter energi](#)

5.1. Efterspørgslen i dag

5.2. Efterspørgslen efter energi år 2030 i det lysegrønne scenarie

5.3. Et mørkegrønt scenarie for slutbrugernes energiefterspørgsel i Danmark år 2030

[Kap. 6. Energiforsyning](#)

6.1. Energiforsyningen i dag

6.2. Et lysegrønt scenarie for energiforsyningen år 2030

6.3. Et mørkegrønt scenarie for energiforsyningen år 2030

[Kap. 7. Overgangen til vedvarende energi - barrierer og løsninger](#)

7.1 Driftforhold

7.2 Liberalisering af elmarkedet

7.3 Kravet til vækst og adfærd

7.4 De enkelte VE-teknologier

7.5 Udskiftning af energisystemet

7.6 Økonomi

7.7 Energiscenariernes økonomi

7.8 Energipolitikken

7.9 Lovgivningen

[Referencer](#)

Forord

Vedvarende energi (VE) fremstår stadig for mange som noget der kan udgøre et supplement til den traditionelle energiforsyning, men som ikke kan blive et egentligt alternativ.

De fossile brændsler er imidlertid ikke en uudtømmelig ressource, og drivhuseffekten og andre miljøhensyn kræver en skånsom energiproduktion. Derfor er det nødvendigt, at overveje realistiske veje for en større anvendelse af vedvarende energi i det samlede etablerede energisystem, så energisystemet bliver i stand til at dække vores behov for såvel energiproduktion som lagring og transport på en bæredygtig måde.

Med det formål igangsatte Teknologinævnet i efteråret 1993 et projekt om fremtidens vedvarende energisystem med særlig fokus på teknik og økonomi. Projektet er gennemført af en tværfaglig arbejdsgruppe, som blev inviteret til at deltage i kraft af deres personlige kvalifikationer og ikke fordi de repræsenterer den institution, hvor de er ansat.

Projektet er foregået i samarbejde med Oluf Danielsen, Roskilde Universitetscenter, der som led i det europæiske projekt Express Path har set på de sociale og organisatoriske forhold omkring vedvarende energi.

Medlemmerne af den tværfaglige arbejdsgruppe er:

Bent Sørensen, Roskilde Universitetscenter
Lars Henrik Nielsen, RISØ

τ Sigurd Lauge Pedersen, Energistyrelsen

τ Klaus Illum, Aalborg Universitet

τ Poul Erik Morthorst, RISØ

Henriette Hye-Knudsen og Lars Klüver fra Teknologinævnets sekretariat har ledet projektet.

Ikke alle personer i gruppen er enige i alle dele af rapporten. Der er passager, som er udtryk for flertallets holdning.

Vi ønsker med denne rapport, som er resultatet af gruppens arbejde, at lægge op til en debat om målsætninger og vilkår for fremtidens energiforsyning og -forbrug.

Teknologinævnet, oktober 1994

Kapitel 1. Resumé

På længere sigt er vedvarende energi den eneste bæredygtige energiforsyningsmulighed ud fra et miljø- og ressourcemæssigt synspunkt.

Ud fra dette synspunkt er der i rapporten skitseret to fremtidsscenarier for et tidspunkt omkring år 2030 med energisystemer baseret i væsentlig grad på vedvarende energi. De to scenarier kaldes det "lysegrønne" og det "mørkegrønne" scenarie.

Det lysegrønne scenarie repræsenterer en videreførelse og en gradvis stramning af den energipolitik, der er lagt med Energi 2000. Det forudsættes, at nettoenergiforbruget reduceres med 15 pct. i forhold til idag. Forbruget af fossile brændsler reduceres godt 40 pct., og CO₂-emissionen reduceres omkring 60 pct. Den vedvarende energi tænkes især anvendt i el- og kraftvarmesektoren, mens transportsektoren i væsentligt omfang stadig tænkes at anvende fossile brændsler i år 2030.

Det mørkegrønne scenarie forudsætter, at der sker et markant holdningsskift blandt beslutningstagerne - udløst af klimaforandringer, der bekræfter de mest pessimistiske forudsigelser af drivhuseffekten. Der iværksættes på denne baggrund i Danmark en kraftig besparelsesindsats og en hurtig overgang til vedvarende energi. Nettoenergiforbruget reduceres med omkring 55 pct. i forhold til det lysegrønne scenarie, og brugen af fossile brændsler erstattes helt af vedvarende energi.

Der er naturligvis betydelige tekniske og økonomiske problemer der skal overvindes ved overgangen fra det nuværende energisystem til et system, der helt eller i væsentligt omfang baseres på vedvarende energi (fork: VE).

Driftforholdene i et VE-system vil være væsentligt anderledes end i dagens energisystem, primært fordi mange af VE-teknologierne ikke har indbygget reguleringsevne. Systemet må derfor tilføres lagringsmuligheder eller reservekraft. Problemet er størst i energisystemet i det mørkegrønne scenarie, hvor det er forudsat løst ved i vidt omfang at købe "lagerplads" i de skandinaviske vandkraftmagasiner.

Idag er en væsentlig barriere mod VE af økonomisk art. VE er som hovedregel dyrere end traditionel energiproduktion, men ekstraomkostningerne - ikke mindst til den nødvendige teknologiske udvikling - må samfundet være rede til at betale, hvis ikke der er billigere bæredygtige energisystemer til rådighed. Det er dog ikke givet, at ekstraomkostningerne vil være særligt store - eller at der i det hele taget vil være tale om ekstraomkostninger - hvis priser og afgifter indrettes, så indirekte omkostninger ved energiproduktion medregnes.

Tendenserne til liberalisering og indførelse af konkurrence i elsektoren i omverdenen må forventes at smitte af på Danmark i et eller andet omfang. Det er muligt, at den danske "entreprenørmodel", hvor elsektoren pålægges opgaver med udvikling og udbygning af VE, ikke kan videreføres, og at VE organisatorisk må stå mere på egne ben. Det er vigtigt at sikre, at de økonomiske spilleregler i denne forbindelse indrettes, så de ikke virker

prohibitive for VE-udbygningen.

Der vil være en række fysiske indpasningsproblemer for VE. Det drejer sig i første række om mulige arealkonflikter mellem landbrug og energiafgrøder og om indpasning af vindkraft. I et VE-system må der økonomiseres med biomasseressourcerne, som i Danmark er en begrænsende faktor. Der er derfor forudsat betydelige besparelser i slutforbruget af energi, især i det mørkegrønne scenarie. Indpasning af vindkraft udgør også et anvendelsesproblem. Det er dog ikke så stort som man umiddelbart skulle tro, da størsteparten af væksten i vindenergi kan tilvejebringes ved at skifte de nuværende møller ud med større møller.

Sammenfattende vurderer arbejdsgruppen, det er teknisk muligt - men forbundet med betydelige udfordringer - at udvikle og håndtere energisystemer baseret i væsentlig grad på VE. For at omlægningen til VE kan finde sted, må energipolitikken være mere langsigtet, der må satses på teknologiske udvikling, og de økonomiske spilleregler for energisystemet må baseres på de totale livscyklusomkostninger inklusiv eksternaliteter.

Kapitel 2. Hvorfor vedvarende energi?

Der er i Danmark en udstrakt konsensus om nogle hovedtræk af fremtidens samfund. Samfundet må bygge på et bæredygtighedsprincip - det må kunne fungere uden at der bruges uerstattelige naturressourcer. Alle stoffer bør kunne genbruges, dvs. indgå i et kredsløb, der kan opretholdes til - i princippet - evig tid.

Bæredygtighedsidéen er også en del af global tankegang. Vel skal der være udveksling af både viden og varer, men det må ikke tage form af eksport af forurening eller af import af råvarer, som måtte udgøre en del af overlevelseshgrundlaget i det område, hvor de findes.

"Bæredygtig udvikling" betyder forandringer af samfundets produktionsmåder, teknologier og adfærdsmønstre, sådan at samfundet indpasses i de lokale, regionale og globale økosystemer på en måde, der styrker dem i stedet for at svække dem. Det vil sige forandringer sådan at de goder, vi tilegner os, ikke fortsat opnås på bekostning af de fremtidige muligheder for at opfylde menneskers behov og bevare menneskelige værdier.

I en række dele af verden ses for tiden en tilvækst i befolkning, som ikke er i overensstemmelse med de forhåndenværende ressourcer. Danmark bør være parat til at forsvare en holdning, hvor de idag rige lande ikke ved deres agéren forringer muligheden for at løse de globale problemer, men hvor de samtidig kræver, at mindre udviklede lande med en stor befolkning ikke udvikler sig uden at tage hensyn til globale ressource- og miljøforhold.

Anvendt på energisektoren betyder denne tankegang, at Danmarks egen energiforsyning må omlægges til at bygge på energikilder og energiomdannelsesmetoder, der indebærer en minimal miljøpåvirkning, og som bygger på fornybare ressourcer.

En bæredygtig global udvikling kræver, at de mest velhavende tillægger sig en levevis, som ligger inden for jordklodens økologiske muligheder - det gælder f.eks. med hensyn til brugen af energi. Desuden kan en hurtig befolkningstilvækst øge presset på ressourcer og dæmpe enhver stigning i levestandard. En bæredygtig udvikling kan derfor kun fremmes, hvis befolkningstal og befolkningstilvækst er i harmoni med økosystemets skiftende produktionsmuligheder. [1]

Der er stigende bekymring om konsekvenserne af den menneskeskabte drivhuseffekt, specielt om konsekvenserne af CO₂-emissionen, hvor energisektoren giver det dominerende bidrag.

- (i) an effective doubling of CO₂ in the atmosphere between now and 2025 to 2050 for a "business-as-usual" scenario; (ii) a consequent increase of global mean temperature in the range of 1.5°C to 4-5°C; (iii) an unequal global distribution of this temperature increase, namely a smaller increase of half the global mean

in the tropical regions and a larger increase of twice the global mean in the polar regions; and (iv) a sea-level rise of about 0,3-0,5 m by 2050 and about 1 m by 2100, together with a rise in the temperature of the surface ocean layer of between 0.2° and 2.5°C. (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990).

Da forekomsterne af fossile brændsler er begrænsede, er det ikke relevant at diskutere, om brugen af dem skal afvikles. Man kan diskutere tempoet, men hensynet til dels drivhuseffekten, dels en globalt mere balanceret fordeling af energianvendelsen gør det nødvendigt, at den vestlige verden tager skridt til at reducere brugen af fossile brændsler og især drivhusgas-emissionen, inden der bliver egentlig ressourceknaphed.

Størrelsen af Danmarks forurening og energiforbrug er uinteressant i global sammenhæng. Stigningen i energiforbruget i en enkelt måned i et land som Kina er nok til at opæde flere års indsats for energibesparelser i Danmark. Man kunne derfor fristes til at sige, at det ikke kan betale sig at gøre noget i Danmark, og at penge til miljøforbedringer bør bruges i udviklingslandene og Østeuropa. Men bæredygtig udvikling opnås ikke uden teknologisk udvikling, og den skal indtil videre løftes af den rige del af verden. Og man kan ikke lave teknologisk udvikling uden hjemmemarked.

Danmark har en vigtig rolle at spille som foregangsland på en række områder. Kraftvarme, vindkraft, energibesparelser og energiplanlægning er områder, hvor Danmark er kendt internationalt, og hvor Danmarks indsats har en afsmittende virkning. Det koster måske penge i første omgang at "være på forkant", men det kan give betydeligt industrielt spin-off på længere sigt. Vindmølleindustrien kan nævnes som eksempel.

De fossile brændsler kan i fremtiden erstattes af:

- besparelser/effektiviseringer
- kernekraft
- fusionsenergi
- vedvarende energi

Den mest miljøvenlige kWh er den, der ikke bruges. Der er næppe nogen tvivl om, at energibesparelser er et af de vigtigste virkemidler til en bæredygtig udvikling, næsten uafhængigt af energiproduktionsform.

Kernekraft er ren energi ved normal drift men har indbygget nogle store tekniske, militære og institutionelle risikomomenter samt et affaldsproblem, der stadig diskuteres teknisk og videnskabeligt. Kernekraft er endvidere en ganske dyr energikilde, hvis der stilles de nødvendige, skrappe sikkerhedskrav. Folketinget besluttede i 1985, at Danmark ikke skal have kernekraft.

Fusion giver potentielt adgang til meget store energimængder med en ret beskeden forurening koncentreret på nogle få, enorme produktionsanlæg. Problemet med denne teknologi er, at man ikke ved, om den nogensinde vil kunne beherskes.

På denne baggrund forekommer vedvarende energi at være den eneste bæredygtige energiproduktionsmulighed på lang sigt. Ressourcerne er store, mange af teknologierne er tilgængelige idag, og miljøproblemerne er håndterbare. Der er naturligvis en række betydelige tekniske og økonomiske problemer der skal løses, men den opgave må samfundet være villigt til at påtage sig.

I denne rapport vil vi analysere et fremtidigt dansk energisystem baseret i væsentlig grad på vedvarende energi. Vi vil beskrive, hvordan et sådant system kunne se ud og fungere i hovedtræk, beskrive overgangen fra det nuværende system og de barrierer, der må overvindes.

Hovedvægten lægges på de teknisk-økonomiske forhold. Analyserne foretages på et relativt overordnet niveau, da der ikke har været tid til større beregningsøvelser eller udvikling af computermodeller. Rapporten skal opfattes som et debatoplæg - ikke som en teknisk afhandling.

Kapitel 3. Metode

For at anskueliggøre fremtidens vedvarende energisystem er der først opstillet to scenarier (det lysegrønne og det mørkegrønne scenarie) for den generelle samfunds-udvikling i fremtidens Danmark. Her tænkes i første række på de politiske, økonomiske og videnskabelige opfattelser, der er drivende for beslutninger på energi- og miljøområdet. Disse opstilles i **kapitel 4**.

I **kapitel 5** omsættes den kvalitative scenariebeskrivelse til energiforbrugsudviklinger, der vurderes at være konsistente hermed. På baggrund af de to energiforbrugsudviklinger er der i **kapitel 6** skitseret to tilsvarende energiproduktionssystemer, der kan forsyne samfundet med de nødvendige energitjenester. Disse gennemregnes m.h.t. energiforbrug og energiproduktion på årsbasis.

Energiforbruget i det lysegrønne scenarie er opstillet med brug af en forbrugsfremskrivningsmetode svarende til den, der anvendtes i Energi 2000 [2]. BRUS-modellen, der er opdelt i 4 moduler (bolig, service, industri og transport), anvendes til forbrugsfremskrivningen. Energisystemet i det lysegrønne scenarie er valgt, så det har betydelige VE-bidrag men det er ikke "fossilfrit". Forsyningssystemet og dets drift har været simuleret på RISØ's ES3-model.

Energiforbruget i det mere vidtgående mørkegrønne scenarie, er vurderet på en anden måde. Kravet om 100 pct. VE-dækning nødvendiggjorde mere vidtgående effektiviseringer end i det lysegrønne scenarie. Derfor er der valgt en opgørelsesmetode, hvor de enkelte energitjenester opgøres fordelt efter den energikvalitet, der er nødvendig for at levere dem. Brugen af begrebet energikvalitet, indebærer bl.a., at man skelner mellem varme ved lave temperaturer (typisk rumopvarmning) og varme ved højere temperaturer (typisk procesvarme i industrien).

Fra energitjenesterne, specificeret ved deres energikvalitet, arbejder man sig "baglæns" gennem varme- og eldistribution, omformning og produktion, til man ender med de nødvendige krav dels til energisystemet (og herunder krav til energilagring og -regulering), dels til størrelsen af træk på energiressourcer. Der er altså her overvejende anvendt en bottom-up metode.

Det år, hvor disse systemer tænkes at være etableret, er år 2030. Da vil det isenkram, der findes i dag, være udskiftet; apparater, maskiner og energiproduktionsanlæg. Mere end halvdelen af boligerne, de fleste fjernvarmenet og gasnettet vil stadig være der, men der vil være sket energimæssige forbedringer. I princippet er der store frihedsgrader m.h.t. valg af energisystem år 2030. På den anden side er år 2030 ikke længere væk end at de el- og kraftvarmeværker, der godkendes i disse år og som går i drift lige før eller lige efter år 2000, stadig vil kunne findes omkring år 2030, omend de vil være tæt på skrotningsalderen.

For det mørkegrønne scenarie, der forudsætter 100 pct. vedvarende energi, er år 2030 ikke ret langt væk. Hvis de samfundsmæssige forudsætninger, som ligger til grund for dette scenarie (at der sker et markant holdningsskift lige efter år 2000), aktualiseres senere end forudsat, kan man forestille sig udviklingen gå via det lysegrønne scenarie hen imod noget, der ligner det mørkegrønne.

Scenarierne er altså billeder af fremtidens samfund. Til hvert scenarie konstrueres et energisystem. Selv om der altså formelt er forskel på scenariet og energisystemet, vil vi ofte bruge scenariebetegnelsen om energisystemet. Dette gør forhåbentlig teksten lettere at læse.

I **kapitel 7** diskuteres en række forhold vedrørende overgangen til et vedvarende energisystem med særlig vægt på de tekniske, økonomiske, organisatoriske og politiske barrierer, der må overvindes ved overgangen til vedvarende energi i stor skala.

Kapitel 4. Kvalitativ beskrivelse af scenarier for samfundsudviklingen med særligt henblik på energisystemet

Scenarier for fremtidens samfund vil her primært blive skitseret for så vidt angår arten af energiforbrugende teknikker. Om samfundet iøvrigt er baseret på højteknologi, mange serviceydelser, fritidsaktiviteter eller informationsteknologier er i denne sammenhæng kun interessant, for så vidt som det influerer på energiforbruget.

Udviklingen indenfor elektronik har medført en meget betydelig sænkning af energiforbruget per apparat, påkrævet simpelthen fordi miniaturiseringen gør, at varmeudvikling ikke kan accepteres, og energiforbruget skal derfor være så lille som muligt. Men det kræver et scenarie for samfundsudviklingen at afgøre, om nedsættelsen af energiforbrug per enhed overskygges af et stigende antal enheder eller ej.

Vi har valgt to scenarier, som afspejler en videreførelse af tendenser, der allerede kan observeres: Større miljøbevidsthed, valg af samværsformer hvor de menneskelige aspekter er mere væsentlige end brug af teknik. De to scenarier kan ses som efterfølgende hinanden i tid, eller som en godt 30 års udvikling med to forskellige hastigheder. Et lysegrønt scenarie på kortere sigt, et mørkegrønt på længere sigt, eller et fortløbende der med tiden melder den grønne farve klarere ud.

Naturligvis udspænder sådanne to scenarier ikke hele mulighedsrummet. På den ene fløj er der folk som mener, at vi bliver trætte af det materielle samfund og vil søge mod enklere, mindre forbrugende samfund. På den anden fløj finder vi dem, der blæser på miljøet og siger at det væsentlige er at forbruge mere og hurtigere. Vi tror at det er i overensstemmelse med dansk tankegang at vælge en mellemløsning og så håbe på, at også dem på fløjene kan finde sig tilrette i et sådant samfund.

Dette er tankegangen bag de to scenarier, som begge antager en udvikling i forbrug og aktiviteter, som antager andre former end idag, måske "vokser" eller repræsenterer en fremdrift, men ikke antager umådeholdende proportioner. At samfundet ikke er statisk, kan næppe nogen benægte. De seneste årtier har været vidne til en hastig ændring af vores samfund på næsten alle områder. At antage, at ændringerne pludselig skulle holde op og alt svare til en "business as usual", er nok den mest usandsynlige forestilling man kan have om fremtiden.

Afgørende for opstillingen af et energi­scenarie har for os været miljøhensyn, som vi mener vil diktere anvendelsen af vedvarende energikilder i langt større omfang end nu. Men afgørende for en rationel anvendelse af vedvarende energikilder er den samlede efterspørgsel efter energi. Antallet og arten af vedvarende energiløsninger er særdeles afhængig af energiforbrugets størrelse i forhold til solindfald, vindoverstrygning, osv. Op til et vist niveau kan løsninger baseret helt på vedvarende energi være fordelagtige, mens dækning af et endnu større energiforbrug med vedvarende energikilder kan vise sig at indebære stejlt stigende priser, således at ikke­vedvarende energikilder må komme på tale som supplerende, trods øgede miljøomkostninger.

Det er denne rapportes mål at indkredse det niveau af energiforbrug, som optimalt kan dækkes af vedvarende energi. Afgørende i denne forbindelse er afgrænsningen af planlægningsområder; byområder og åbne landområder har forskellige potentialer for udnyttelse af vedvarende energi, ligesom forskellige geografiske forhold indebærer forskellige ressourcefordelinger. Herved bliver planlægningsgrænserne afgørende: Skal planlægningen ske for lokale områder, skal løsningerne være decentrale eller indeholde forskellige grader af centralisering, skal der kunne udveksles energi mellem områderne, enten ledningsbunden (f.eks. el, fjernvarme, biogas eller brint) eller transportérbar energi (f.eks. biomasse, biobrændsler)?

Tilstedeværelsen af transmissionssystemer gør det lettere at designe et optimalt energisystem med stor forsyningsikkerhed, men omkostningerne ved at anlægge transmissionsnettet skal naturligvis indgå i

overvejelserne, hvis det ikke allerede findes.

Vi vil undersøge disse forhold gennem vore to scenarier, og vi vil give et skøn over de vedvarende energiressourcers mængde og fordeling, som kan indgå i vurderingen af forskellige forslag til systemopbygning. Der bliver præsenteret mere dokumentationsmateriale for det mørkegrønne scenarie, simpelthen fordi det indeholder flere tanker, der er nye og kræver uddybning. Det lysegrønne scenarie forudsætter effektivisering af energiforbruget i boliger og andre bygninger, men i mindre grad industriens energiforbrug og forbruget til transport.

Det mørkegrønne scenarie forsøger at sætte lige kraftigt ind i alle sektorer af samfundet. Heraf følger også, at det lysegrønne scenarie kun formår at dække en del af energiforbruget med vedvarende energi, og må bevare de fossile brændsler i et ikke helt lille omfang. Dette betyder så til gengæld, at der er færre problemer med indpasningen af de vedvarende energikilder med deres særlige tidsbundethed.

I det mørkegrønne scenarie er det samlede energiforbrug lavt nok til, at vi kan dække det med indenlandske vedvarende energikilder. Til gengæld må det skrues sammen med meget stor omhu, for at de vedvarende energikilder der ikke kan reguleres, kan komme ind uden at bringe forsyningssikkerheden i fare. Vi har derfor brugt en del kræfter på at gennemtænke systemets funktion i praksis, omend det i samme åndedrag må siges, at den foreliggende undersøgelse er preliminær, og at der kræves en god del mere arbejde, før nogen af os ville kunne anbefale direkte overførsel af scenarierne fra tegnebrættet til den danske energipolitik grundlag.

4.1 Et lysegrønt scenarie for Danmark år 2030

Scenariet udspilles år 2030. I forhold til i dag er samfundet karakteriseret ved en stor energi- og miljøbevidsthed, både på lokalt, nationalt og globalt plan.

I løbet af 1990'erne og starten af 2000-tallet er det blevet klart, at væsentlige miljøtiltag er nødvendige, hvis mennesket skal overleve på jorden. Væsentlige klimaændringer er på vej - jordens gennemsnitlige middeltemperatur fortsætter med at stige, hvilket medfører regionale klimaforskydninger, opståen af tørke, voldsomme storme m.v. Den menneskeskabte drivhuseffekt må betragtes som en realitet, og specielt i den vestlige verden bliver der startet en række tiltag for at mindske udslippet af drivhusgasser.

Væsentlige lokale/nationale forureninger er mindsket i løbet af 1990'erne. Emissioner af SO₂ og NO_x er i begyndelsen af 2000-tallet ved hjælp af installation af rensnings-teknologier og brug af renere brændsler blevet bragt så langt ned, at de ikke længere opfattes som et miljøproblem. Til gengæld er der andre lokale emissioner, der er kommet i fokus, og til trods for løbende forbedringer af rensningsforanstaltninger synes den fortsatte afbrænding af fossile brændsler (og til en vis grad af biomasse) fortsat at skabe nye lokale/nationale miljøproblemer.

De generelle miljøproblemer har fået høj prioritet i samfundets udvikling, men ikke ændret udviklingen i markant grad bort fra velfærdssamfundet, som defineret i 1980'erne og 1990'erne. Problemerne er forsøgt taklet gennem indførelse af rensningsforanstaltninger, besparelser i energiforbruget og omlægning af energisystemet mod vedvarende energi og højeffektive anlæg. Udviklingen i samfundets materielle produktion og behov er vokset i moderat grad (væksten i bruttonationalproduktet er forudsat at være 1-1.5 pct. pr. år) og er således ikke voldsomt påvirket af miljøproblemerne. Selv ved denne ikke ubetydelige vækst synes det dog muligt for samfundet at reducere forureningen markant.

I år 2030 kan energi- og miljøpolitikken kort karakteriseres ved:

- Der er for den vestlige verden indført kvoter på CO₂-udslippet. For Danmark udgør kvoten 40 pct. af udslippet i 1992.

- I EU-regi er der indført markante miljøafgifter, ikke kun på CO₂, men ligeledes på lokale/nationale emissioner for at afspejle miljøbelastningen ved disse stoffer.
- Der er indført normer og standarder for apparater og maskiner for såvel husholdninger, service og industri.
- Danmark er forpligtet af en række yderligere internationale ordninger og aftaler på energi- og miljøområdet.

Energisystemet er opbygget over en hovedsagelig central struktur med stor anvendelse af naturgas og kraftvarme. I forhold til 1992 er der gennemført væsentlige energibesparelser, men primært ved anvendelse af mere effektive teknologier og ikke i gennemsnit ved omlægning af forbrugeradfærden. Sidstnævnte dækker dog over store variationer i forbrugernes adfærd med hensyn til energibesparelser.

4.2 Et mørkegrønt scenarie for Danmark år 2030

Dette scenarie forudsætter, at de fossile brændsler udfases helt. Det kan enten ske i forlængelse af det lysegrønne scenarie, eller kan som her forudsat fremskyndes, f.eks. hvis uforudsete globale begivenheder overbeviser danskerne om, at udfasningen af drivhusgas­udsendende energiformer må ske hurtigere end tidligere antaget, eller simpelthen fordi bevidstheden om det nuværende, fossilt baserede energisystems skadelige "eksternaliteter" (dvs. omkostninger som ikke reflekteres i dagsprisen) højnes i løbet af de næste tiår.

Scenariet bygger på stort set samme niveau af energiserviceydelser som det lysegrønne scenarie, men der forudsættes en langt større indsats for at forbedre energiomsætningernes effektivitet, såvel som valg af de mest hensigtsmæssige metoder til at levere de ønskede sluttjenester og produkter.

Det er ikke tanken at bruge meget tid på at beskrive begivenheder, som kunne fremtvinge en haste­indsats for at fjerne de fossile energikilder, da det forudsættes at begivenheden er uforudset. Vi vil imidlertid kort skitsere et eksempel på en sådan begivenhed, for at give fremstillingen et mere realistisk præg:

Omkring år 2000 sker der en række dramatiske klimaændringer, der overbeviser politikere over hele verden om, at den menneskeskabte drivhuseffekt er reel og muligvis værre end mange af de foreliggende videnskabelige beregninger. Disse har hele tiden angivet en betydelig usikkerhed, som dels skyldes modellernes begrænsninger, og dels at menneskesamfundet foretager mange andre indgreb i klimaet, hvis samspil med drivhuseffekten ikke kendes i detaljer.

Jordens middeltemperatur ændrer sig godtnok kun med et par grader, hvilket på kort sigt drukner i variationer fra år til år, men der sker dramatiske ting med nedbør og vindforhold. Udsvingene bliver større, stabiliteten mindre. Katastrofeagtige oversvømmelser sker hyppigere og hyppigere; forsikringsselskaberne opgiver at yde erstatninger i sådanne tilfælde. Det erindres at menneskets aktiviteter tidligere har udvirket klimaændringer, som f.eks. skovfældning og afbrænding ("slash and

burn"), der antages at have skabt ørkener som Sahara og Rajputana, den sidste for kun ca. 1000 år siden. [3]

En tørke som fornyligt set i Sahel­området antages nu at brede sig med stor hast over sletterne i Nordamerika, og det brede landbrugsbælte omdannes hurtigt til gold ørken. Det samme sker i Europa, omend i et mere broget mønster. Andre områder får mere regn, f.eks. den nordlige del af Centralasien, og der gøres et forsøg på at henlægge kornproduktion i stor stil til disse områder. Forsøget slår imidlertid fejl, da det viser sig, at den tidligere Sovjetiske jord er så forurennet, at afgrøderne ikke blot byder på store helbredsrisici, men også at de gængse kornsorter faktisk ikke kan overleve, på grund af angreb af svampe, parasitter osv., hvor balancen af modstandskraft mellem afgrøde og skadedyr synes forrykket til fordel for skadedyrene. Der synes måske at være en løsning på vej, med øget kornimport fra Sydamerika og Australien, som ser ud til at have fået et gunstigere

klima i de indre egne.

Imidlertid skabes der international enighed om, at brugen af fossile brændsler må ophøre totalt over en 20­30 års periode, for at bremse de fortsatte klimaændringer, så indsatsen kan rettes mod overlevelse under de nye omstændigheder. Alverdens lande er derfor optaget af en debat om, hvilken form for energiømlægning der bedst kan klare dette problem. En række lande mener at kernekraft er løsningen, ikke mindst fordi de selv kan producere og eksportere anlæg.

Imidlertid taler de uløste problemer med store ulykker og affaldsbehandling imod atomkraftløsningen, ligesom den igangværende demontering af kernevåben vil kunne forløbe mere sikkert, hvis der ikke opstår nye lande med tvivlsom kombination af civile og militære interesser i kernekraft. Endelig påpeger forskerne, at en indsats indenfor energieffektivisering vil give de hurtigste resultater.

Den danske regering beslutter sig som en af de første for en model, der bygger på hurtig forbedring af energiudnyttelsen, kombineret med en kraftig udbygning af vedvarende energisystemer, hvor Danmark allerede er teknologisk blandt de førende lande. Hungerkatastroferne, som dagligt fylder avisernes forsider, gør at gennemførelsen af den nye energiplan ikke møder modstand i befolkningen, som er positivt indstillet overfor de tiltag, der sker, og selv arbejder med i omlægningen af den danske industripolitik, gennem en periode hvor meget store ressourcer dedikeres til energiømlægningen.

Den danske velstand er jo netop funderet i at være forud for andre lande med denne type nytænkning (f.eks. har danske fabrikker herved kunnet være næsten alene på vindkraftmarkedet i henved 20 år). Det er jo også en kendt ting, at udefra kommende pludselige begivenheder ofte medfører holdningsmæssige retningsændringer som ellers ville være utænkelige. Dansk energihistorie rummer adskillige eksempler herpå.

Imidlertid er det mørkegrønne scenarie ikke afhængigt af, at der skal ske en klimakatastrofe. Den holdningsmæssige udvikling mod større respekt for miljø og naturressourcer trækker i samme retning. Endelig kan en økonomisk analyse vise, at dette i alle tilfælde er den billigste løsning, set i et livscyklus­økonomisk perspektiv. I en sådan analyse vil de fossile løsninger blive meget dyre pga. miljøpåvirkningerne, således at den rigtige balance mellem de også dyre vedvarende energiløsninger og foranstaltninger på energiforbrugssiden kan tænkes forskudt i retning af større investeringer i effektivitet, og dermed et mindre behov for anvendelse af (dyr) energi.

I afsnit 5.3 og 6.3 beskrives forbrugsantagelserne og systemopbygningen i det mørkegrønne scenarie for det energisystem, scenariet styrer imod at opbygge før år 2030.

Kapitel 5. Scenarier for efterspørgslen efter energi

5.1 Energiefterspørgslen i dag

Det samlede netto- og endelige energiforbrug i Danmark i 1992 er angivet i tabel 5.1.

Tabel 5.1. Netto- og endeligt energiforbrug i 1992.

| | 1992 | | | |
|----------------|------------------------|------|--------------------|------|
| | Endeligt energiforbrug | | Nettoenergiforbrug | |
| | PJ | pct. | PJ | pct. |
| Opvarmning | 199 | 34 | 162 | 31 |
| - heraf el | 9 | - | 9 | - |
| Apparater (el) | 44 | 7 | 44 | 8 |
| Køling (el) | 15 | 3 | 15 | 3 |
| Proces | 152 | 26 | 132 | 35 |
| - heraf el | 41 | - | 41 | - |
| Transport | 174 | 30 | 174 | 33 |
| - heraf el | 1 | - | 1 | - |
| I alt | 584 | 100 | 527 | 100 |
| - heraf el | 110 | - | 110 | - |

Kilde: Energistyrelsen og Risø.

Procesenergi omfatter energiforbruget til industri, landbrug og gartneri, samt bygge- og anlæg.

Det endelige energiforbrug adskiller sig fra nettoenergiforbruget ved at indeholde de lokale konverteringstab, eksempelvis ved anvendelsen af olie- og naturgasfyr i individuelle huse.

Det endelige energiforbrug er opgjort ud fra statistiske data - nettoenergiforbruget beregnes herefter ved antagelse af lokale tab.

For anvendelsen af el og for transportenergiforbruget er der ikke skelnet mellem netto- og endeligt energiforbrug.

Som det fremgår af tabel 5.1, går de mest betydende forbrug til opvarmning, transport og proces. Knap 20 pct. af det samlede forbrug går til elanvendelser.

5.2 Et lysegrønt scenarie for energiefterspørgslen

Tabel 5.2 viser det beregnede nettoenergiforbrug år 2030 som følge af det ovenfor beskrevne lysegrønne scenarie.

Tabel 5.2. Nettoenergiforbruget i dag samt i det lysegrønne scenarie.

| | 1992 PJ | 2030 PJ | Stigning pct. pr. år |
|----------------|------------|------------|-------------------------|
| Opvarmning | 162 | 101 | -1.2 |
| - heraf el | 9 | 4 | -2.1 |
| Apparater (el) | 44 | 41 | -0.2 |
| Køling (el) | 15 | 13 | -0.4 |
| Proces | 132 | 134 | 0 |
| - heraf el | 41 | 49 | 0.5 |
| Transport | 174 | 160 | -0.2 |
| - heraf el | 1 | 9 | 6.0 |
| I alt | 527 | 449 | -0.4 |
| - heraf el | 110 | 116 | 0.1 |

Nedenfor forklares udviklingen i energiforbruget i de enkelte sektorer.

Procesenergi

Den samlede mængde af varer er forudsat at stige ca. 80 pct. i forhold til i dag. Samtidigt indføres der væsentlige energibesparende foranstaltninger, således at energiforbruget til proces stort set er det samme i år 2030 som i dag, jvf. tabel 5.2. Energibesparelser gennemføres mest markant for olie, kul og naturgas, mens der stadig er en moderat stigning i elforbruget.

Opvarmning i boliger og service

Folketallet stiger kun svagt frem til år 2030. Da den gennemsnitlige husstandsstørrelse falder ca. 30 pct. (bl.a. på grund af gode økonomiske forhold), bliver der alligevel bygget ca. 20.000 nye boliger om året fra 1992 til år 2030. I såvel nybyggeri som eksisterende bygninger satses der markant på isoleringsmæssige forbedringer, bl.a. gennem en stramning af bolig- og byggereglementet og gennem indførelse af højere miljøafgifter. Der forudsættes en høj tilslutningsgrad til kollektive net, såvel fjernvarme som naturgas, og restområdet med oliefyr reduceres betydeligt. Nettoenergiforbruget falder markant i forhold til i dag, jvf. tabel 5.2.

Elforbrug til apparater i bolig og service

Som følge af den økonomiske udvikling øges bestanden af elapparater, specielt i servicesektoren. Anvendelse af apparaterne er antaget at være som i dag. Der gennemføres store besparelser for elapparater i såvel bolig som service. For husholdningsapparater reduceres forbruget til ca. 1/3 af det i dag værende gennemsnitsforbrug. Til

trods herfor reduceres elforbrug til apparater kun moderat (jvf. tabel 5.2), hvilket hovedsageligt skyldes et øget forbrug i servicesektoren (handel, distribution, liberale erhverv, offentlige institutioner m.m).

Transport

Det samlede transportbehov er forudsat at stige med 1-1.5 pct. p.a., stort set følgende den økonomiske udvikling. Effektiviteten i transporten stiger væsentligt. Til trods herfor er der kun en moderat reduktion i energiforbruget til transport på ca. 10 pct. i forhold til 1992. Energiforbruget til transport er forudsat hovedsageligt at blive dækket af fossile brændsler (olie), dog er der en moderat anvendelse af elbiler. Det er i dette scenarie valgt at anvende biomasse i kraftvarmesektoren, men anvendelse i transportsektoren kunne have været lige så relevant.

Det samlede forbrug på behovssiden er vist i tabel 5.2. Nettoenergiforbruget inkluderer ingen konverteringstab.

5.3 Et mørkegrønt scenarie for slutbrugernes energiforbrug i Danmark år 2030.

Energiforbruget hos slutbrugerne er opbygget nedefra og op, en metode der vides at give bedre resultater end prognosemageri på grundlag af historiske data. Det har derfor været nødvendigt at inddele de aktiviteter i samfundet, som indebærer energiforbrug, på en lidt anden og mere detaljeret måde, end det idag sker i dansk statistik. Som støtte til denne inddeling tjener specifikke undersøgelser samt energidata for lande, f.eks. USA, hvis statistiske materiale allerede tillader en sådan opdeling. [4]

Opdelingen i energiforbrugende aktiviteter bygger på en behovsmodel, som er udformet så den dækker alle samfundstyper fra tidlige udviklingsstadier til højt industrialiserede og vidensbaserede samfund. [5] Den spænder fra grundlæggende behov for mad, bolig, sikkerhed og helbred til behov for samvær og aktiviteter, omfattende også de aktiviteter der sigter mod at fremstille de varer og tjenester, som kræves af de nævnte typer af behovstilfredsstillelse.

En sammenfatning af behovene fremgår af figur 5.1, som også giver et bud på de energimængder, der med kendt teknologi tillader fuld behovsdækning. Disse tal er basis for år 2030 scenariet, som forestiller sig en videreførelse af tendenser, der allerede ses idag, i retning mod et mere videns- og informationsbaseret samfund. Dette medfører en stigning i aktiviteter relateret til vidensbaserede forretningsområder, informationsudveksling, kreative udfoldelser og "underholdning", altså især elektroniske, energiforbrugende apparater. Der er en global arbejdsdeling som vi allerede kender den idag. Vareproduktion og transport forbundet med distribution forudsættes at dække alle relevante behov. Imidlertid er energiforbruget til disse aktiviteter optimeret ved stor vægt lagt på effektivitet.

Figur 5.1 er udformet som en matrix, hvor arten af energiforbrugende aktivitet er beskrevet ned langs venstre side, mens overskrifterne på tværs angiver den påkrævede energikvalitet: varme ved lavere eller højere temperaturer, mekanisk eller elektrisk energi i stationære eller mobile (transport- og situationer, og endelig energi i fødevarer, der naturligvis skal med i samme åndedræt som energi til at holde vind og kulde fra livet i boliger og andre bygninger.

Energikvaliteter har en grundlæggende betydning for den tekniske udformning af energisystemer, fordi de lave kvaliteter (varme ved lav temperatur) kun med betydelige tab kan omdannes til højkvalitetsenergi, mens højkvalitetsenergi (mekanisk, elektrisk og kemisk energi) i princippet kan omdannes tabsfrit til enhver anden energiform. Omend detaljerne i energiomformningssystemet afhænger af tilgængelig teknologi og dermed af de teknologiske løsningers konkrete udformning, så vil det overordnet gælde, at lavkvalitets energi er lettere at fremskaffe end højkvalitets energi. Et eksempel er kraftvarmeværker, hvor det udover fremstillingen af elektricitet er nemt og dermed relativt billigt også at fremstille samproduceret varme til f.eks. fjernvarmedistribution.

Det samlede nettoenergiforbrug i figur 5.1 er ca. en tredjedel af 1992-niveauet. Tabel 5.3 giver tillige nogle tal for systemet anno 1992, men på grund af manglende statistiske data har det ikke været muligt at opdele tabellen så detaljeret som selve 2030-scenariet. Til gengæld er tallene for år 2030 omgrupperet, så de direkte kan sammenlignes med tabel 5.1 og 5.2. Det ses af opdelingen på energikvaliteter, at 2030 scenariet antager større effektivitet i køleanlæg (f.eks. køleskabe og fryser), i rumvarmeforsyning (bedre isolering og luftkontrol), og i procesvarmeforbruget (f.eks. lavtemperaturvarmeforbruget til opvarmning og varmtvandsforsyning af produktions- og salgslokaler, vaske-, opvaske og tørremaskiner samt industriel procesvarme i landbrug og industrivirksomheder).

Nogle af mulighederne er beskrevet i figur 5.2 og 5.3. Den danske fremstillingsindustri bruger idag ikke energien særligt effektivt, hvilket skyldes billig energi (både absolut og målt som procentdel af de samlede produktionsomkostninger) og manglende indsats for forbedringer som dem, der er sket på boligområdet.

Effektivitetsforøgelsen balancerer nogenlunde med den i scenariet antagne vækst i materiel produktion, idet Danmark ligesom den øvrige vestlige verden antages at udvikle sig fra et industriland til en mere vidensbaseret økonomi. Hvad angår den globale fordeling af opgaver er der to muligheder: Enten vil den egentlige produktion i fortsat stigende grad ske i nyindustrialiserede lande, eller vi vil basere en fortsat produktion på robotteknologi. Det sidste forudsætter, at denne teknologi bliver så billig og af så høj kvalitet, at den kan konkurrere med billig arbejdskraft i de nyindustrialiserede lande. For tiden ser det første alternativ ud til at være mest realistisk, og en omfattende produktion i Danmark baseret på robotter kan have betydelige effekter på energiforbruget. Scenariet forudsætter en fortsat industriproduktion i Danmark som ikke ligger under det nuværende niveau.

Også elektriske apparater til telekommunikation, databehandling og underholdning ventes stærkt effektiviseret, fra dagens udgangspunkt med en meget stor spredning mellem gennemsnits- og mest energieffektive teknologier, der allerede idag er på markedet. Et eksempel er vist på figur 5.4. Det samlede forbrug af nødvendig elektricitet (altså hvor der ikke er iøjnefaldende substitutionsmuligheder med andre energiformer) antages imidlertid ikke at falde så kraftigt som effektiviseringen angiver, idet det antages, at mængden af elforbrugende udstyr vokser en hel del.

Det er også en forudsætning, at det mest energieffektive apparatur indføres hurtigt, hvilket er realistisk, fordi udskiftningsraten for de omhandlede apparater er høj. Men det forudsætter altså, at de ineffektive apparater tvinges bort fra markedet, enten ved konkrete godkendelsesprocedurer og/eller normer, eller som det er sket hidtil, ved at de mest effektive apparater havde andre fordele (spildvarme skader elektronik og giver hyppigere fejl!).

Endelig sker der i transportsektoren en betydelig effektivitetsforbedring gennem den teknologiske udvikling af tog, fly osv. Idag er effektivitetsstigningen gået i stå for skibe og biler, det første pga. det mindre behov for nye fartøjer i en kriseram sektor, det sidste fordi automobilindustrien under de seneste års faldende benzin og oliepriser har skrinlagt effektivitetsforbedrende ny- og bilprojekter, der allerede findes. Det må pga. den individuelle transports globalt forekommende trafikale problemer såvel som forureningsproblemer (især i bymiljøer) forventes, at der sker en kraftig ændring af denne sektor over de næste 30 år, uanset behovet for større energieffektivitet.

Scenariet forudsætter et optimeret energiforbrug til transport af varer og pendling mellem hjem og arbejde, herunder at der ikke længere benyttes brændselsbaserede køretøjer i større byer, hvor en kombination af effektiv kollektiv trafik og eldrevne mini- og bykøretøjer overtager billedet. Derudover er afsat et meget stort forbrug til sociale relationer, dvs. ferie- og fritidsrejser, besøg hos venner og familie i andre dele af landet, osv. Det samlede behov er med den antagne effektivitet af køretøjerne omkring 17 PJ pr. år. Transportarbejdet er omtrent det samme som i det lysegrønne scenarie, idet effektiviteten af køretøjerne er ca. tre gange højere end i 1992, og brutto- og brændselsforbruget iflg. tabel 5.3 ca. tre gange mindre.

Der er i scenariet taget hensyn til omlægningen af energisystemet til at blive baseret på vedvarende energi, idet der forudsættes opbygget en energisektor for omdannelse af biomasse til brændsler som biogas og flydende

biobrændsler, og en udbygget industri til produktion af vindkraft og solvarme/solcelleanlæg. Denne industri erstatter den nuværende olie, gas og raffinaderiaktivitet, og antages at tegne sig for et stort eksportpotentiale, som yderligere vil støttes af det danske energisystems omlægning. Tabellen i figur 5.1 angiver energiforbrugets opdeling mellem egentlig produktions-

industri (omfattende produktion af energiudstyr) og en ressource og energiindustri, som omfatter driften af f.eks. biomassekonverteringssystemerne og de dertil hørende egne energiforbrug.

Scenariets kraftige satsning på energieffektivitet er i første omgang en følge af den katastrofeagtige situation, som antages at have skabt konsensus om den hurtige udfasning af fossile brændsler. Imidlertid er det højst tænkeligt, at indsatsen for at højne effektiviteten i energiomsætninger overalt i systemet under alle omstændigheder vil være økonomisk attraktivt, hvilket vil sige billigere end enhver udvidelse af energiforsyningen. At det vil være sådan antydes af resultaterne vist i figur 5.7, der sammenfatter en lang række undersøgelser. [6]

Tabel 5.3 Nettoenergiforbrug opgjort efter traditionel metode.

| Enhed PJ pr. år | 1992 *) | 2030 lysegrønt scenarie | 2030 mørkegrønt scenarie |
|-----------------|------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Opvarmning | 162 | 101 | 84 |
| Apparater | 44 | 41 | 21 |
| Køling | 15 | 13 | 7 |
| Proces | 132 | 134 | 62 |
| Transport | 174 | 160 | 64 |
| Total | 527 | 449 | 238 |

*) Energistyrelsens tal

Noter til tabel 5.3:

Denne traditionelle måde at opgøre energibehov på er både inkonsistent og vildledende. Specielt i debatten om alternative udviklingsmønstre slører den traditionelle opgørelsesmetode muligheder og vilkår for at ændre udviklingen, ved at fokusere på indirekte og sammensatte størrelser, hvis direkte betydning er uklar, og hvor analyser derfor forføres til istedet at anvende eksponentielle fremskrivninger og andre traditionelle metoder. Disse udsagn kan illustreres ved at beskrive hvorledes det behovsopdelte nettoforbrug i figur 5.1 er oversat til de traditionelle kategorier i tabel 5.3:

"Opvarmning" består af rumvarme i boliger (43PJ), handels og servicebygninger (20PJ), offentlige institutioner (4PJ), samt varmt vand anvendt i boliger (15PJ) og service mm (2PJ), forudsat at det kommer ud af haner.

"Apparater" omfatter husholdningsapparater der bruger varmt vand (6.5PJ), som ikke er med ovenfor, opvarmning af mad på komfurer o.l. (1.5PJ), varme i tørretumblere mv. (1PJ), samt stationær mekanisk energi og elapparater i servicesektoren (4PJ). Endelig elforbrugende apparater som TV, lydforstærkere og hjemmecomputere i husholdningerne (8PJ).

"**Køling**" omfatter køle- og fryseaggregater i hjem og service såvel som industri, men ikke i transportmidler. Kategorien "køling" er ikke normalt opført i traditionelle statistikker, men fandtes i en Risø undersøgelse af det danske forbrug af energi til køling.

"**Proces**" dækker procesvarme i industri og landbrug (13PJ), men også rumopvarmning og varmt vand i disse sektorer (17PJ). Desuden omfattes stationær mekanisk energi i industri, bygge- og anlægssektoren såvel som landbrug (26PJ), samt industriens elforbrug (6 PJ), hvadenten det anvendes til proces eller til computere eller belysning.

"**Transport**" omfatter al transport, men er i modsætning til de øvrige størrelser opgjort brutto og ikke netto. Det mørkegrønne scenarier nettoenergiforbrug til transport (17PJ) kan derfor omsættes til 64 PJ energiskov.

ENERGISCENARIE: ET EFFEKTIVT OG MILJØBEVIDST SAMFUND
SLUTBRUGER-ENERGIBEHOV I PJ pr. år

| | 4. Procesvarme 100-500°C | 5. Procesvarme over 500°C | 6. Stationær me- kanisk energi | 7. Elektriske apparater | 8. Transport arbejde | 9. Energi i fødevarer | TOTAL |
|--|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------------|-------|
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 43 |
| | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 24 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.1 | 0 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 |
| | 0 | 0 | 0 | 8 | 6 | 0 | 14 |
| | 0 | 0 | 10 | 0 | 1.5 | 0 | 12 |
| | 0 | 0 | 1 | 4 | 4.5 | 0 | 33 |
| | 0 | 0 | 1 | 0 | 0.5 | 0 | 4 |
| | 2 | 1 | 10 | 4 | 1.5 | 0 | 39 |
| | 2 | 2 | 5 | 2 | 1.5 | 0 | 14 |
| | 0 | 0 | 0 | 0.3 | 0 | 0 | 4 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.5 | 0 | 2 |
| | 5 | 3 | 27 | 18 | 17 | 20 | 211 |
| | 4 | 3 | 25 | 10 | 26 | 20 | |

OLDER SKØN OG USIKRE TALJ

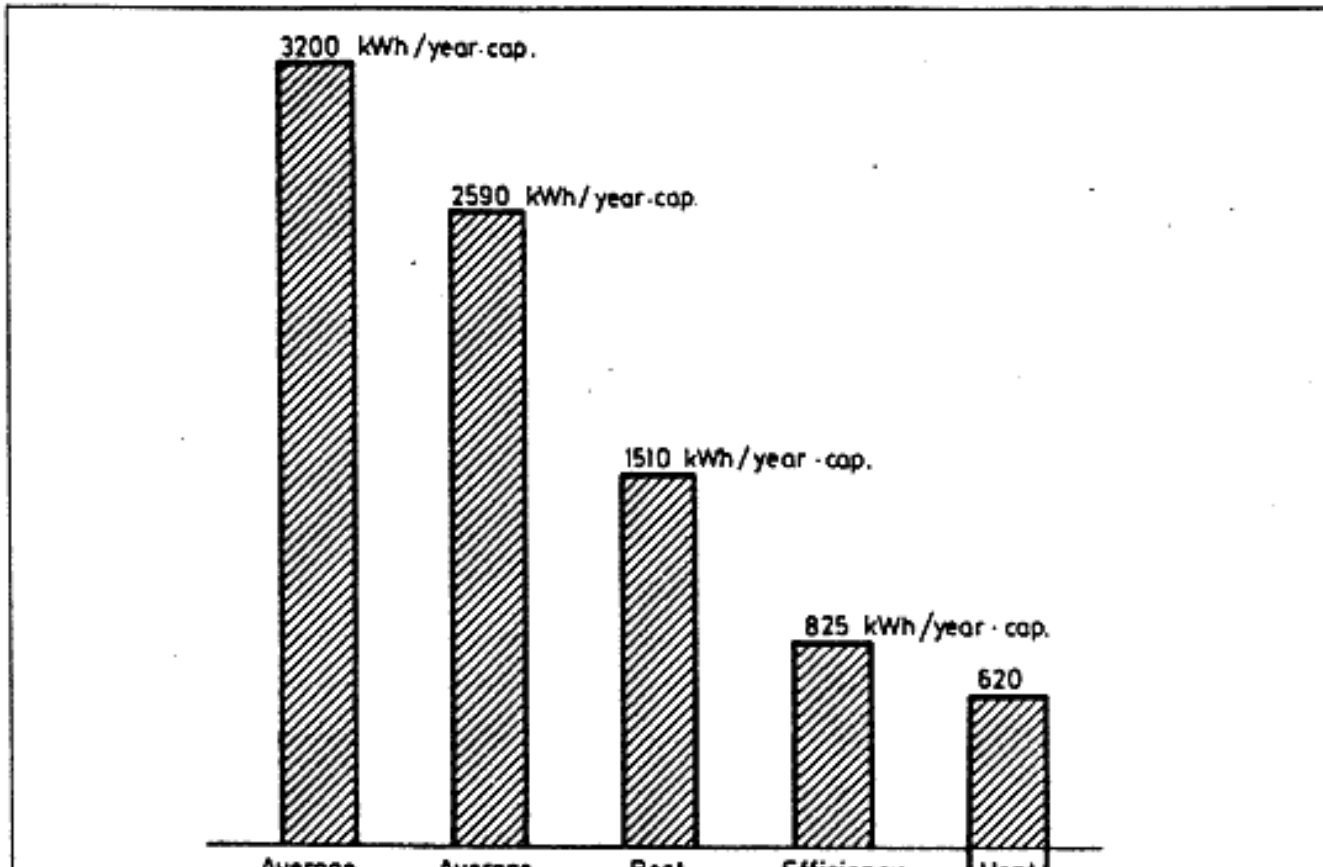
BS, 14-8-1994

FIGUR 5.1. DANMARK 2030. MØRKEGRØNT EN MED 5.3 MILLIONER INDBYGGERE.

| | 1. Køling | 2. Rumopvarmning | 3. Procesvarme under 100°C |
|------------------------------------|-----------|------------------|----------------------------|
| A. Biologisk acceptable omgivelser | 0 | 43 | 0 |
| B. Mad og vand | 3 | 0 | 0.5 |
| C. Sikkerhed | 0 | 0.2 | 0 |
| D. Helbred | 0 | 0 | 21.5 |
| E. Samvær, fritid | 0 | 0 | 0 |
| F. Aktiviteter: | 0 | 0 | 0 |
| Anlæg og bygning | 2 | 20 | 2 |
| Handel, service og distribution | 0 | 0 | 2 |
| Landbrug | 1.5 | 17 | 2 |
| Produktionsindustri | 0 | 0 | 2 |
| Råstof og energi-industri | 0 | 4 | 0 |
| Uddannelse | 0 | 0 | 0 |
| Pending | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | 7 | 84 | 30 |
| skønnet 1992 niveau | 5 | 70 | 18 |

(INDEH)

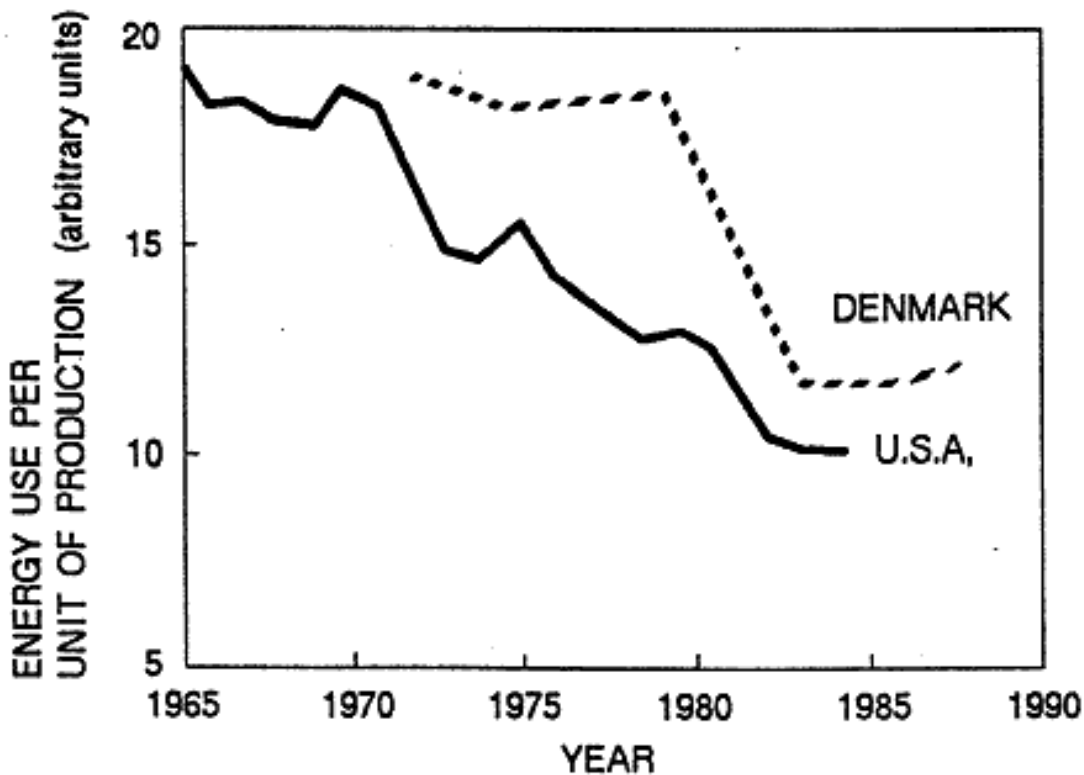
(figur 5.1)



AVERAGE
Used
1988AVERAGE
Sold
1988BEST
Available
1988EFFICIENCY
Advanced

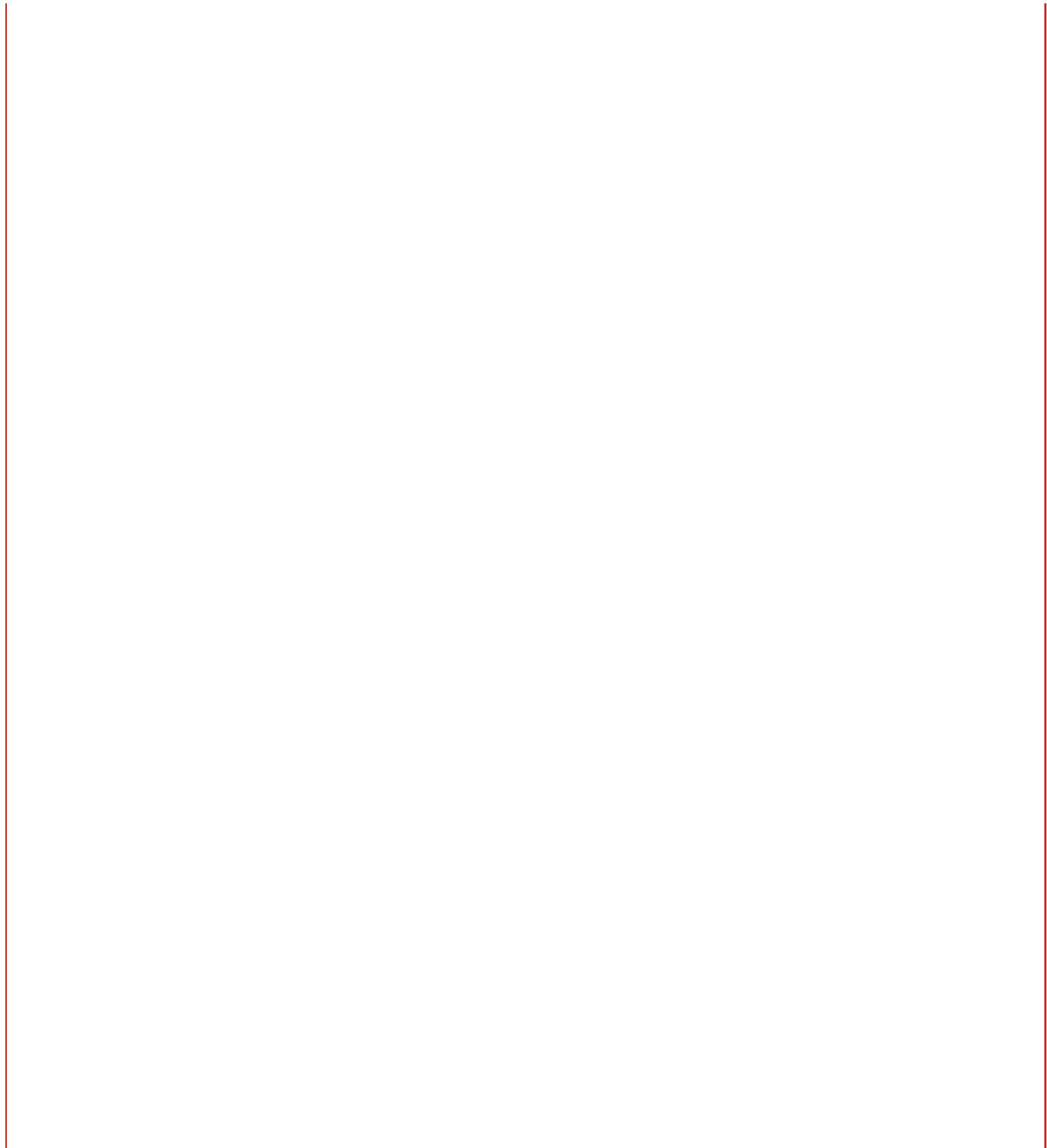
HEAT

Figur 5.2. Elforbrug for apparater og belysning i husholdninger, service og handel i Danmark, samt vurdering af elforbruget for den bedste teknologi på markedet, og for teknologi under udvikling (Nørgård, 1989).

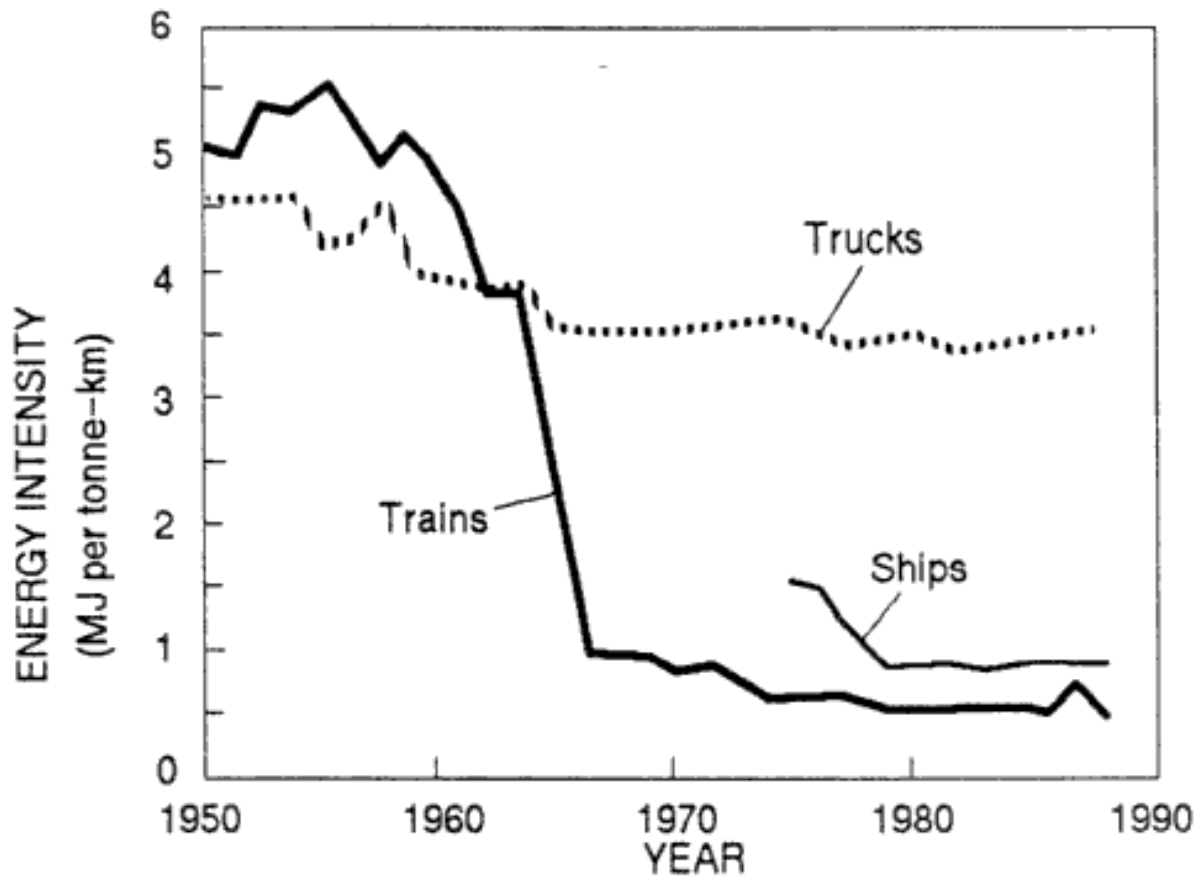
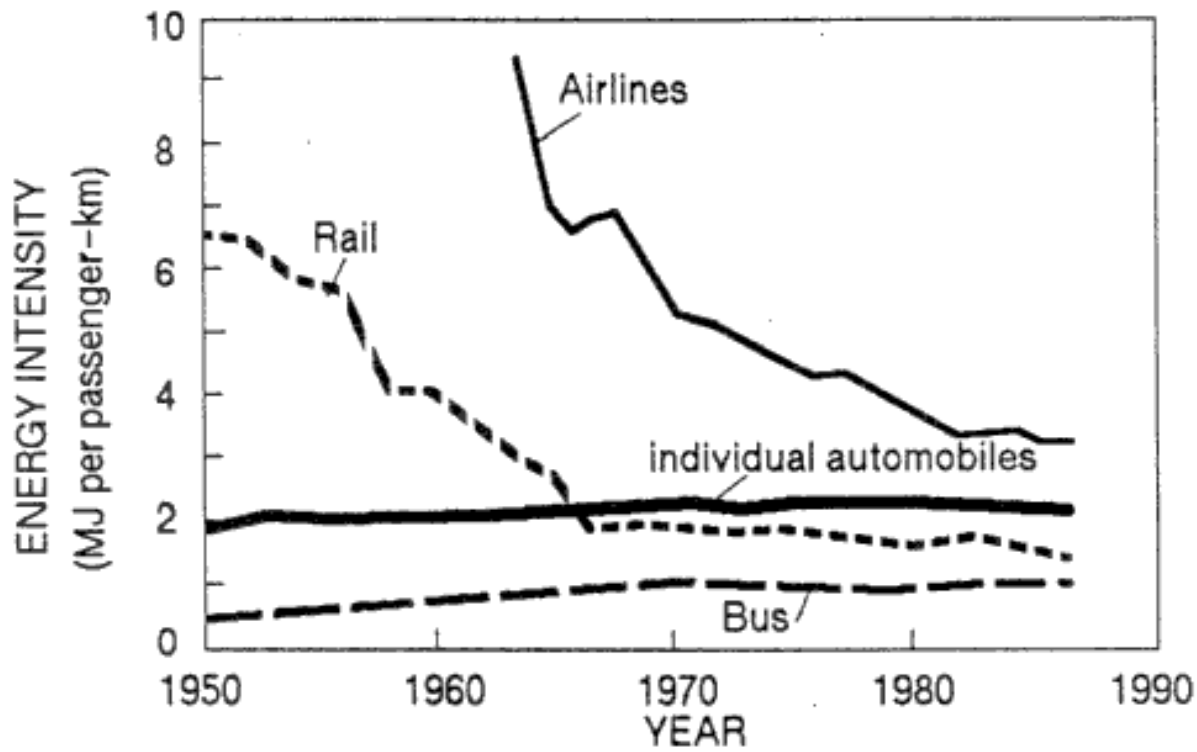


Figur 5.3. Udviklingen i energiintensitet i produktionsindustrien i Danmark og i USA. De to kurver er normeret hver for sig, og det kan således ikke sluttes, at intensiteten er mindre i USA end i Danmark. (Kilder: se Sørensen1991)

(figur 5.2 + 5.3)



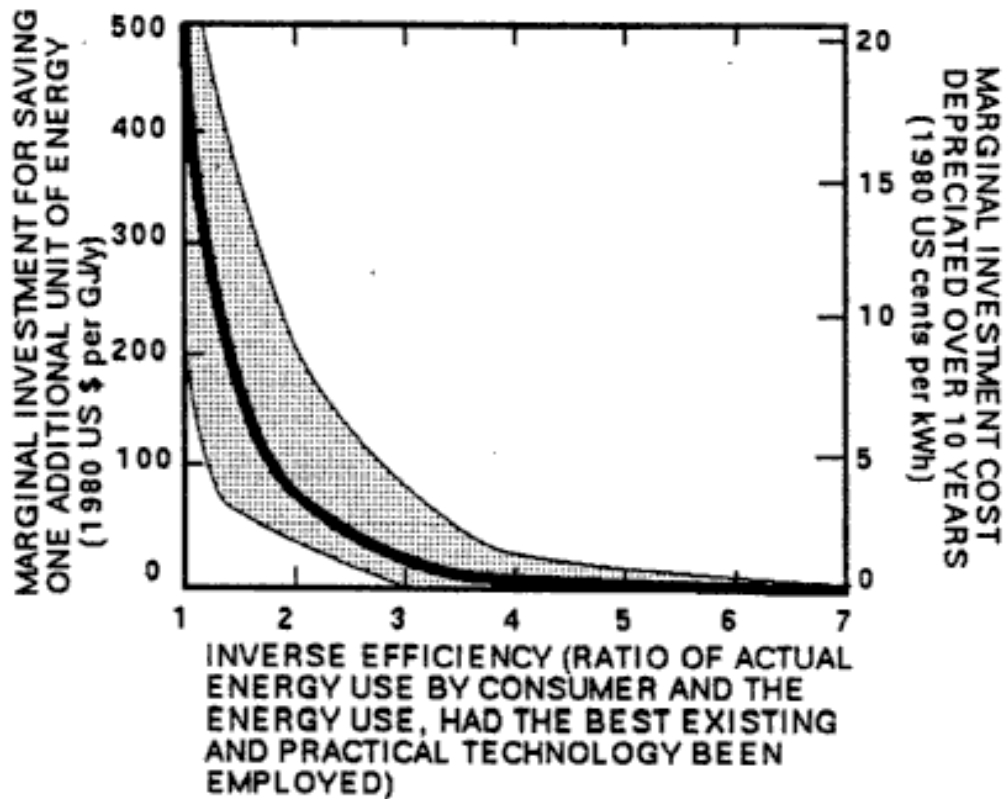
figur 5.4 + 5.5.



Figur 5-6. Udviklingen i energiintensitet af passager (foroven) og fragt (forneden) transport i UK, specificeret på forskellige transportmidler.

(baseret på flere kilder, se Sørensen, 1992).

figur 5.6



Figur 5-7. Marginal-omkostningerne ved at øge effektiviteten af slutenergi-leverancer, som funktion af hvor meget der tidligere er gjort. Skalaen til venstre giver totalinvesteringen for at spare den næste enhed af energi, mens skalaen til højre giver den årlige afskrivning ved 4% realrente. Det skraverede areal antyder spredningen mellem forskellige teknologier, på industri, transport, og apparatområdet (fra Sørensen, 1982b, 1991).

figur 5.7

Kapitel 6. Energiforsyning

6.1 Energiforsyningen i dag

Det samlede bruttoenergiforbrug i Danmark i 1992 er angivet i tabel 6.1.

Tabel 6.1 Bruttoenergiforbrug i 1992.

| 1992 | Bruttoenergiforbrug | |
|-----------|---------------------|------|
| | PJ | pct. |
| Olie | 331 | 43 |
| Kul | 286 | 37 |
| Naturgas | 91 | 12 |
| Biomasse | 51 | 6 |
| Sol-varme | - | - |
| Sol-el | - | - |
| Vind-el | 3 | - |
| Import-el | 14 | 2 |
| Ialt | 776 | 100 |

Kilde: Energistyrelsen.

Godt halvdelen af olieforbruget udnyttes i transportsektoren, og ca. 90 pct. af kulforbruget ligger i el- og kraftvarmesektoren. Af det samlede bruttoenergiforbrug (incl. import og vind) går ca. 300 PJ eller knap 40 pct. til el- og kraftvarmeproduktion.

6.2 Et lysegrønt scenarie for energiforsyningen år 2030

El-forsyning med stor andel vedvarende energi

Det primære tekniske problem i en dansk energiforsyningsstrategi, der stiler mod en meget høj VE-dækning, er at sikre en stabil elforsyning. En betydelig del af elproduktionen i et kraftigt VE-baseret elforsyningssystem i Danmark vil være fluktuerende elproduktion fra vindkraftanlæg m.v., og dette stiller store krav til resten af elsystemet. Resten af systemet skal sikre at elproduktion og -efterspørgsel til stadighed er i balance, samt at den ønskede kvalitet i elforsyningen opnås.

Man kan tænke sig flere muligheder for at tilvejebringe effektbalance mellem produktion og forbrug af elektricitet. Den fornødne reguleringsevne kan tilføres på elsystemets forsyningside, men også på forbrugssiden kan der opnås en tilpasning, hvor dele af elforbruget kan flyttes til tidspunkter, hvor f.eks. produktionen af vindkraft er høj. F.eks. kunne man tænke sig eldrevne biler, der oplades når der er eloverskud eller vaskemaskiner der går i gang, når der er eloverskud.

Elproduktionskapacitet med høj reguleringsevne øger systemets muligheder for at absorbere en fluktuerende elproduktion. Elforsyningskapacitet med reguleringsevne, som den kendes i dag, vil i fremtidens vedvarende energisystem være en efterspurgt vare, og tilførsel af den nødvendige reguleringsevne og kapacitet kan være

meget bekostelig. Af danske VE-ressourcer er det i det væsentlige kun de begrænsede mængder biomasse, der giver direkte basis for elproduktion med reguleringsevne. Biomassen kan lagres og kan derfor forbruges på de ønskede tidspunkter.

På elforsyningssiden kan der nævnes følgende muligheder for at øge systemets evne til at følge efterspørgslen:

1. Høj reguleringsevne samt høj el- og varmeevkningsgrad og brændselsfleksibilitet kan tilstræbes ved valg af elproduktionsteknologi, der udnytter fossilt brændsel, biomasse eller VE-baserede sekundære brændsler.
2. Øget international handel med:
 - Elektricitet.
Kraftige eltransmissionsnet, som forbinder store geografiske områder, giver mulighed for at drage fordel af øget statistisk udjævning på både forbrugs- og produktionssiden af elsystemet.
Reguleringsevne i det større system f.eks. fra vandkraft vil endvidere kunne udnyttes bedre.
 - Andre VE-baserede energibærere, der kan lagres og indgå i elforsyningen.
3. El-lagre kan inddrages i systemet, f.eks. i form af batterier, pumpekraftværker m.v. og på længere sigt også brintteknologi (reversible brændselsceller).

På elforbrugssiden kan som nævnt en øget tilpasning til produktionssiden opnås ved at flytte dele af elforbruget til andre tidspunkter ("load management"). Uden væsentlig reduktion i energitjenestens værdi kan elforbrug forskydes til tidspunkter, der er tilpasset elproduktionen.

I fremtidens vedvarende energisystem vil man formentlig se alle sådanne muligheder udnyttet hen imod en optimeret balance mellem mulighederne på systemets forsynings- og forbrugsside.

Primære teknologier i fremtidens vedvarende energisystem

Her omtales alene de teknologier, der anses for centrale på længere sigt i opbygningen af et el- og varmforsyningssystem med udbredt anvendelse af vedvarende energi. Foruden disse primære teknologier vil en mangfoldighed af andre teknologier kunne forventes at finde indpas i fremtidens vedvarende energisystem.

Kernekraft i form af fission lades ude af betragtning, og fusionsenergi forudsættes også på lang sigt ikke at være til rådighed for energiforsyningen.

VE-baseret elproduktion uden reguleringsevne

Vindmøller:

Vindkraft er som bekendt anvendt teknologi i elforsyningen i dag, og gode mølleplaceringer giver i dag god økonomi.

Det teknologiske udviklingspotentiale på vindkraftområdet er fortsat stort. Forskning og udvikling kan forventes fremover at forbedre bl.a. rotorvirkningsgraden og dermed elproduktionen fra vindmøller betydeligt. Dette samt fortsat udvikling af mølledesign, optimering af produktionsgang m.v. forventes at medføre væsentlige prisreduktioner for elektricitet fra vindkraftanlæg fremover.

Solceller:

Elproduktionen fra solceller placeret i Danmark er naturligvis knap så gunstig som fra celler placeret i mere solrige områder ved lavere breddegrader. En meget betydelig udviklingsindsats pågår internationalt, og i de senere år har markedet for solceller været kraftigt ekspanderende, men endnu er økonomien ikke attraktiv for storskala elproduktion. Forventningerne til den teknologiske udvikling på solcelleområdet er store også på kort sigt, og solcellerne kan meget vel blive attraktive for elforsyningen på noget længere sigt også i Danmark.

I elsystemet er elproduktion fra solceller i dagtimerne gunstigt i fase med spidslasttidspunkterne, men produktionen er lav i vintermånederne, hvor til gengæld vindressourcerne er gode. I arealudnyttelse er solceller energiafgrøder langt overlegne når formålet alene er elproduktion. Solceller integreret i tagflader er dog den forventede placering. Med denne placering er energipotentialt fra solceller i Danmark af samme størrelsesorden som elbehovet.

Bølgekraft:

Bølgekraft fra danske farvande kan have meget høj energiintensitet, men i dag synes ressourcen svær at udnytte med acceptabel økonomi. Energipotentialt fra denne ressource er betydeligt mindre end for de førnævnte ressourcer, men potentialt er ikke uvæsentligt.

VE-baseret elproduktion med reguleringsevne

Biomasse er i det væsentlige den eneste vedvarende energiressource i Danmark, der giver direkte grundlag for elproduktion med reguleringsevne. I et dansk elforsyningssystem, der sigter mod indpasning af vedvarende energi i betydeligt omfang, er det derfor væsentligt at biomassen udnyttes i anlæg med høj virkningsgrad og reguleringsevne på elsidens.

Høj elvirkningsgrad og reguleringsevne har man i dag bl.a. på gasbaserede combined cycle-anlæg (gasturbine efterfulgt af dampturbine), og på længere sigt forventes brændselsceller udviklet, der i høj grad kan opfylde sådanne krav. Fælles for de nævnte teknologier er, at brændslet er på gasform. Forgasning af de knappe biomasseressourcer er bl.a. af denne grund interessant.

Forgasning af biomasse må i lighed med kulforgasning om få år kunne betegnes som kendt teknologi. For visse typer biomasse udgør indfødning, korrosion i reaktorer og gasrensning endnu problemområder, der dog forventes at kunne løses på kortere sigt ved en målrettet udviklingsindsats.

Fastoxid-brændselscellen (Solid Oxide Fuel Cell, SOFC) er særlig interessant i relation til fremtidens vedvarende elforsyningssystem. SOFC-brændselscellen er en såkaldt reversibel højtemperatur brændselscelle, der er meget fleksibel over for den kemiske sammensætning af gasserne på brændselsiden. SOFC-teknologien må siges endnu at være på laboratorieniveau, og kun prototypeanlæg i mindre skala er bygget. Der er imidlertid udbredte forventninger til, at anlæg i stor skala kan være til rådighed for elforsyningen på omkring 15 års sigt.

Reversible brændselsceller kan tilføre elsystemet meget betydelig reguleringsevne. Sådanne celler vil kunne regulere elproduktionen ned til "negativ elproduktion" i lighed med opladelige batterier. Overproduktion af elektricitet f.eks. fra vindkraftanlæg i systemet kan forbruges i de reversible brændselsceller, der i den reverserede driftsform producerer brint og ilt ved vandsønderdeling (elektrolyse). Gasserne brint og ilt kan lagres for sidenhen at blive anvendt f.eks. henholdsvis i brændselsceller til el- og varmeproduktion og i forgasningsprocesser. En anden mulighed for at udnytte eloverløb er at have varmepumper installeret i tilknytning til kraftvarmeområder.

Det danske naturgasnet fordeler store energimængder til alle større byområder i landet og danner endvidere forbindelse til udlandet. Den udbredte teknologiske viden på naturgasområdet kan også udnyttes ved håndtering af andre gasser, der måtte indgå i fremtidige VE-baserede energisystemer. Lagring af gas er velkendt teknologi, og der er i Danmark meget gunstige muligheder for at lagre store gasmængder billigt i undergrunden f.eks. i kaverner udskillet i salthorste, i aquiferer eller på sigt i tømte naturgasfelter.

Karakterisering af forsyningssiden i fremtidens vedvarende energisystem

De væsentligste karakteristika på forsyningssiden er:

- På grund af det faldende varmebehov er fjernvarmeområder konverterede til lavtemperatursystemer.
- Fjernvarmeområder er praktisk taget totalt forsynet med kraftvarme. Kraftvarmeværkerne er baseret på bioforgasning (ca. 2 GW) og naturgasfyrede brændselsceller (ca. 4 GW). En del af brændselscellerne kan med fordel være reversible. Herudover er der ca. 1.5 GW decentrale kraftvarmeværker, hovedsagelig baseret på biomasse.
- Kondensproduktion (elproduktion uden varmeudnyttelse) er reduceret til et minimum, og varmelagre anvendes på kraftvarmeværkerne til udjævning af varmebelastningen, og dermed opnås bedre reguleringsevne for elproduktionen.
- Store kapaciteter vindkraft (ca. 3.5 GW) og solceller (ca. 1 GW) er installeret. Der må forventes et moderat eloverløb fra disse teknologier, til trods for at bl.a. reversible brændselsceller anvendes til at opsuge overskuddet.
- Biomasse, vind og sol dækker knap 1/3 af det samlede bruttoenergiforbrug. I elsystemet er restforbruget hovedsageligt naturgas. Ca. 2/3 af el- og kraftvarmeproduktionen er baseret på vedvarende energi.

Det samlede bruttoenergiforbrug er angivet i tabel 6.2.

Kort karakterisering af forsyningsscenariet

Kendetegnende for det beskrevne forsyningsscenarie er, at brændselskonverteringen i el- og varmforsyningen i stort omfang involverer gasteknologi. Naturgas er det dominerende fossile brændsel i elforsyningen, og biomasse forudsættes i dette system opgraderet som brændsel via forgasning.

Endvidere er systemet karakteriseret ved, at en meget stor del af el- og varmeproduktionen udnytter elektrokemiske processer (brændselsceller). Termiske processer, som i dag dominerer elproduktionen, udnyttes i fremtidens vedvarende energisystem hovedsagelig i anlæg, der danner "bottom cycle" for brændselsceller, dvs. i anlæg, der udnytter varme og restgasser fra brændselsceller til yderligere elproduktion.

Systemet er i hovedtræk et integreret forsyningsystem, der udnytter de store kollektive net til fordeling af el, varme og gasser, og som kan udnytte de statistiske og skaleringsmæssige fordele der følger heraf.

Tabel 6.2 Bruttoenergiforbrug i 1992 samt i det lysegrønne scenarie.

| Bruttoenergiforbrug | | | |
|---------------------|------|------|------|
| 1992 | | 2030 | |
| PJ | pct. | PJ | pct. |
| | | | |

| | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|-----|
| Olie | 331 | 43 | 246 | 43 |
| Kul | 286 | 37 | 22 | 4 |
| Naturgas | 91 | 12 | 146 | 25 |
| Biomasse | 51 | 6 | 119 | 21 |
| Sol-varme | - | - | 4 | 1 |
| Sol-el | - | - | 4 | 1 |
| Vind-el | 3 | - | 32 | 5 |
| Import-el | 14 | 2 | - | - |
| Ialt | 776 | 100 | 573 | 100 |

År 2030 udnytter el- og kraftvarmesektoren ca. 230 PJ eller 40 pct. af det samlede bruttoenergiforbrug (incl. import m.m.), og godt 60 pct. af scenariets olieforbrug udnyttes i transportsektoren.

Den samlede emission af CO₂ udgør i år 2030 ca. 24 mill. tons mod ca. 56 mill. tons i 1992.

Integrationsmuligheder med transportsektoren

Batteribaserede eller tilsvarende eldrevne køretøjer kan give gunstige muligheder for at flytte elforbrug til tidspunkter, hvor det passer bedre med elproduktionen i elsystemet.

Produktion af brint på reversible brændselsceller som drivmiddel til transportsektoren er en mulighed i dette forsyningssystem. Endvidere kan produktion af metanol som drivmiddel til transportsektoren via biomasseforgasning integreres i det skitserede energisystem.

6.3 Et mørkegrønt scenarie for det danske energisystem år 2030

I dette afsnit opstilles et energiforsynings- og scenarie svarende til forbrugs- og scenariet opstillet i kapitel 5.3. Det er en forudsætning for scenariet, at fossile brændsler er helt udfaset inden scenarieåret 2030. Der er ikke regnet på omkostninger forbundet med overgangen til dette scenarie, idet det forudsættes, at livscykluspriser har vundet accept indenfor energiområdet, og idet det netop er en forudsætning for det opstillede scenarie, at livscyklusudgifterne til energiforsyning baseret på fossile eller nukleare energikilder er vurderet som for høje (jvf. diskussionen i kapitel 7). Først gives en oversigt over de tilgængelige vedvarende energikilder.

Vind

Idag leverer vindkraftværker ca. 3 PJ om året i form af elektricitet. Der skønnes at være opstillet 3.000-4.000 møller i Danmark, med en samlet mærkeeffekt på over 400 MW. Den gennemsnitlige energiproduktion svarer til 100 MW. De første møller i den moderne udbygningsfase blev opstillet sidst i 1970'erne. Den enkelte mølles mærkeeffekt var i starten 15-30 kW, og de følgende år steg den (økonomisk) optimale mærkeeffekt systematisk. Idag er den 400-500 kW pr. mølle, og ventes i de nærmeste år at overstige 1 MW.

Det forudsættes i scenariet, at forøgelsen i møllestørrelse vil fortsætte, omend i dæmpet tempo, således at den gennemsnitlige mærkeeffekt pr. mølle i år 2030 er mindst 2 MW. Samtidig vil den enkelte mølles effektivitet stige lidt, således at den faktiske produktion bliver 30 pct. af mærkeeffekten istedet for dagens 25 pct. for 400 kW møller. Dette er en behersket antagelse, idet møllerne bliver højere og derfor møder bedre vindforhold, således at der kun skal en minimal teknisk forbedring til at nå de 30 pct. (som forøvrigt allerede er nået af flere møller i

udlandet).

Scenariet forudsætter at mølleantallet holdes på 4.500, men at de nuværende udskiftes med de større 2 MW møller, så der leveres 90 PJ årligt. Herved sikres, at de bedste placeringer bevares for vindkraft, omend der kan blive tale om at flytte en større procentdel af møllerne til vindpark-lokaliteter eller off­shore, når lokale (visuelle) miljøforhold taler imod udskiftningen til større møller på samme sted. Under alle omstændigheder forekommer antagelsen om 4.500 møller at udgøre en behersket forventning, og dette antal kan tænkes forøget, hvis behovet for energi skulle stige udover det i scenariet forudsatte.

Sol

Solvarmeanlæg leverer idag ca. 0.2 PJ pr. år. Anlæggene er baseret på flade absorbere med selektiv overflade og en effektivitet på ca. 50 pct. Det vil sige at der leveres ca. 1.6 GJ pr. år pr. kvadratmeter solfanger. Da solfangerens effektivitet afhænger af det gennemstrømmende vands temperatur, gælder dette kun for den kombination af sol-fangerstørrelse og størrelse af varmtvandslager, som er typisk idag (3­6 kvadratmeter solfangerareal, 200­400 liter vandlager). Større anlæg vil have lavere effektivitet, med mindre lagerforholdene kan udbygges tilsvarende, hvilket ikke ses som rentabelt idag.

Tænkes i første omgang på solfangere monteret på tage og bygningsfacader, er udgangspunktet det idag bebyggede areal, som i Danmark er 420 millioner kvadratmeter. Tages der hensyn til orientering og skyggeforhold, findes et egnet areal i størrelsesordenen 200 mio. kvadratmeter.

For at kunne levere de i scenariet forudsatte 40 PJ pr. år af solvarme, ville med samme effektivitet som dagens systemer kræves et areal på 25 mio. kvadratmeter eller ca. 6 pct. af det bebyggede areal. Imidlertid ventes som nævnt de større anlæg at have lavere effektivitet, så der må i praksis regnes med et areal på mindst det dobbelte. Lige omkring det dobbelte synes at gælde hvis dagens solfangere baseret på evakuerede rør blev anvendt. Hovedparten af energien leveres i sommerhalvåret, og der forudsættes derfor kombination med fjernvarme eller anden varme, der kan leveres "i modfase", således at forbrugsmønstrets variation over året følges.

Solceller til produktion af elektricitet har idag en effektivitet på 8­10 pct. (amorfe celler anno 1994) til 15­21 pct. (krystallinske celler). Potentialet for billiggørelse synes størst for amorfe celler, omend tyndfilms krystallinske eller polykrystallinske celler kan komme på tale. Der er derfor regnet med, at effektiviteten af de i 2030 anvendte celler er 15 pct., hvilket under danske forhold giver en produktion på 0.5 PJ pr. år for hver million kvadratmeter solceller.

Scenariet forudsætter 25 PJ solcelle­elektricitet pr. år, svarende til 50 millioner kvadratmeter rimeligt orienterede tagflader eller bygningsfacader. Dette svarer til ca. 12 pct. af det bebyggede areal, således at det samlede areal dedikeret til solvarme og solceller bliver af størrelsesordenen 20­25 pct. af det bebyggede areal og en lignende procentdel af sydligt orienterede bygningsflader.

Der findes idag omkring 4.000 varmepumpeanlæg, der dækker ca. 0.4 PJ pr. år ved varme fra omgivelserne, og brug af typisk 1 enhed elektrisk energi for hver 4­6 enheder af varme bjærget. Varmepumper indgår i betydelig grad i det mørkegrønne scenarie, dels til løft af temperaturen af solvarme og staldvarme, dels baseret på varme fra omgivelserne (jord, vand ­ evt. kølevand fra kraftværker ­ eller luft). I figur 6.4 er varmepumperne kun angivet som centralt placerede, f.eks. i forbindelse med fjernvarmeverker, men i praksis vil en betydelig del af dem findes i forbindelse med enkelte bygninger.

Biomasse

Vurderingen af, hvor meget energi der kan leveres fra biomassesektoren (landbrug, skovbrug, fiskeri og havbrug) kræver en samlet model for fødevarerproduktion, energi og materialer som træ og andre vegetabiliske og animalske non­food råvarer. En sådan model er forsøgt opstillet i figur 6.3, svarende til modellen i figur 6.1 opdelt

tilsvarende for det nuværende landbrugsystem. Det er ikke forsøgt at modellere fiskeri og havbrug, som derfor ikke indgår i det opstillede scenarie, men kan tænkes at levere yderligere input til de nævnte anvendelser.

Udover officielle statistikker har det været nødvendigt at tilføje en række skøn og selvstændige beregninger. Kilderne hertil omfatter Ansbæk et al. (1973), Illum et al. (1984), Jensen og Sørensen (1984), og ved projektafslutningen Teknologinævnet (1994). Udviklingen for afsætning af landbrugets produkter er inde i en overgangsfase, hvor omlægning til nye produkter eller økologiske versioner af gamle produkter spiller en væsentlig rolle, ligesom EU's landbrugspolitik og udviklingen i priser og konkurrenceforhold er en del af denne problematik. Opsummerende kan det siges, at den danske landbrugssektors overlevelse er tæt forbundet med overvejelserne om en overgang til en kombineret landbrugs- og skovbrugs- og bioenergi-produktion, og at branchen er fuldt bevidst om nogle af de muligheder, som denne omlægning indebærer (cf. Teknologinævnets ovenfor nævnte biomasseprojekt, Teknologinævnet (1994)).

Scenariet opstillet i figur 6.3 omfatter en ca. 30 pct. nedgang i areal dyrket med fødevarer-høst som formål (til dels med braklægningsstøtte!). Det frigjorte areal udnyttes til specielle energiafgrøder og energiskov, samtidig med at energiudnyttelsen af den fødevarerrelaterede høst optimeres. På et seminar i forbindelse med Teknologinævnets biomasseprojekt blev der stillet spørgsmål ved, om landmanden ville gøre en ordentlig indsats for energihøsten, når det nu ikke var hans/hendes primære branche. Det er det foreliggende scenarier antagelse, at landbrugssektoren meget vel kan omfatte energi i sit produktsortiment med optimal håndtering, ligesom sektoren har været vant til at skulle støtte såvel vegetabilsk og animalsk produktion, uden at nogen vist vil påstå, at det er gået ud over nogen af delene.

Scenariet i figur 6.3 forudsætter samme dyrkede areal som i 1992. Imidlertid kan energiindholdet i de afgrøder og træer, som dyrkes alene med energiformål for øje, være anderledes end i den traditionelle landbrugsproduktion, hvilket vil medføre en fordeling af arealer, der ikke er proportional med den høstede energi. Typisk kan man forestille sig, at energiudbyttet for rene energiafgrøder er større end for primær fødevarerproduktion (dvs. mindre arealkrav), mens den for energiskov typisk vil være mindre, da den forudsættes baseret på træ. Valget mellem træ (ligninholdig biomasse) og andre bioafgrøder er dikteret af den valgte teknologi for den videre omdannelse, hvor det idag ser ud til, at træ-til-methanol vejen er både økonomisk og energimæssigt fordelagtig, relativt til fermenterings-løsninger (f.eks. korn-til-ethanol)

Der er fokuseret på to energiprodukter, hvor det ene er flydende biobrændsel (f.eks. methanol) til transportsektoren. Dette etableres bedst gennem forgasning af træ fulgt af methanolsyntese [7]. F.eks. kan anvendes poppel. Da den estimerede omdannelses-effektivitet er ca. 45 pct., skal der altså høstes energiskov svarende til 47 PJ om året, for at producere scenariets 22 PJ flydende biobrændsel. Potentialer er væsentligt større, så der er mulighed for også at dække forbruget af flydende brændsler i mere energikrævende scenarier, eller at anvende brændslet som lager og back-up for de vedvarende energikilder i systemet. Dette kan vise sig vigtigt ved en detaljeret undersøgelse af flaskehalse i en tidlig simulering af scenariets energisystem.

Det andet hovedprodukt er biogas, som kan produceres ud fra en blanding af halm, gylle, organisk affald og særlige energiafgrøder (typisk etårige vækster med højt energiindhold). Den skønnede effektivitet i omdannelsen til biogas er optimalt 50-60 pct [8], hvilket står i rimeligt forhold de tidlige erfaringer med de større biogas-produktionsanlæg, som fungerer idag (total produktion 1.5 PJ pr. år). Også i dette tilfælde er de i scenariet anvendte 45 PJ væsentligt lavere end potentialer. Som biomasse anvendes bio-affald og restprodukter fra dyrkningen (f.eks. halm, der ikke forudsættes brændt).

Der er andre energimuligheder i landbruget, f.eks. i forbindelse med det overskud af varme, som besætninger producerer i stald over en betydelig del af året (særlige forhold gør sig gældende i perioder med mange spæde kalve og grise), og som idag ikke udnyttes, fordi isoleringsgraden af staldbygninger ofte er lav. Det er i scenariet antaget, at isoleringsgraden øges, og at ca. 6 pct. af varmeproduktionen anvendes til opvarmning af stuehuse o.a. bygninger, der måtte befinde sig i nærheden af staldene. Varmens temperatur kan evt. løftes af varmepumper, og i

enkelte tilfælde vil der være muligheder for at indføre varmeoverskud til fjernvarmenet. Dette giver store fordele i forbindelse med de solbaserede opvarmningssystemer, idet årstidsvariationerne er modsat (der anvendes naturligvis kun staldvarme om vinteren, når svin og kreaturer er i stald). I figur 6.4 er staldvarmen for overskuelighedens skyld blot angivet som gående til forbrugerne af rumvarme.

Modellen af landbrugssektoren er stadig preliminær og skal kun tjene til at sandsynliggøre, at de påståede mængder af primært biogas og flydende brændsler er opnåelige indenfor en ikke altfor stresset omlægning af det nuværende landbrug, en omlægning der indebærer yderligere fordele og i sidste ende kan være nødvendig for sektorens overlevelse.

Samlet scenarie for energisektoren 2030

Figur 6.4 opsummerer energistrømmene i det samlede danske energisystem, svarende til det her opstillede scenarie. Et forsøg på at beskrive det nuværende energisystem på samme detaljeringsniveau, med de indskrænkninger, som er nævnt i afsnit 5.3, kan findes i figur 6.2.

Et særligt problem ved overgangen til et energisystem baseret på vedvarende energi er udnyttelsen af den infrastruktur, som allerede er opbygget. Dette gælder ikke mindst fjernvarmenet, gasnet og naturligvis elektricitetsnettet. Det sidste er der næppe problemer med at udnytte, inklusiv de kraftige udlandsforbindelser, som i det foreliggende scenarie tjener til lastudjævning.

Hvad angår naturgasnettet, vil det i vid udstrækning kunne fortsætte med at gøre nytte ved distributionen af biogas, som antages anvendt såvel i industrivirksomheder som ved individuel opvarmning af bygninger.

Også fjernvarmenettet er i stadig brug, i forbindelse med levering af fjernvarme produceret på et (reduceret) antal kraftvarmeværker, samt på et antal brændselsceller; kraftværker, der antages at producere elektricitet med en virkningsgrad på 50-60 pct. og altså varme for restens vedkommende. Brændselscellerne er antaget reversible, og der regnes med høj effektivitet i elektricitet-til-brændsel omdannelsen. Nogle brændselsceller kan befinde sig decentralt, for eksempel i større bygninger.

Fjernvarmetilslutningen spiller en vigtig rolle i forbindelse med det betydelige solvarmebidrag, som jo forekommer "skævt" i forhold til rumvarmeforbrugets variation gennem året. Der er derfor tilføjet lagre til biogas (f.eks. i salthorste), og en vis del af vindkraft og solcellekraft produktionen ledes gennem de reversible brændselsceller til oplagring som brændsler. Dette supplerer anvendelsen af staldvarme i at følge varmeforbrugets variationer gennem året, og det lille antal kraftvarmeværkers produktion styres primært af varmeforbruget.

Dette betyder, at tilpasningen til variationer i elforbruget skal styres på anden vis. Her er der ikke forudsat lagring med ny elproduktion for øje, udover de nævnte gaslagre samt et stærkt øget antal batteriopladere hos slutbrugerne, som bruges i forbindelse med bekvemmeligheden af bærløse og flytbare elforbrugende apparater, men som også tillader en hensigtsmæssig tilpasning af ihvertfald dag-til-nat variationer i elforbrug og -produktion. Imidlertid er der klart et restbehov for effektudjævning, både indenfor døgn og med længere forskydning, forårsaget af variationer i sol- og vindkraft tilgang, på ugebasis (passage af frontsystemer) og på årstidsbasis.

Udglatningen af disse variationer tænkes at ske ved hjælp af udlandsforbindelser. Dels er der altid mulighed for effektudjævning i et stort system med forskellige forbrugsmønstre og produktionsformer, dels er som bekendt en meget stor del af Nordeuropas elektricitetsproduktion baseret på vandkraftanlæg med reservoirer der gennemløber en årscyklus. Studier af sammenhængen mellem vandkraftproduktion i f.eks. Norge og vindkraftproduktion i Danmark har vist, at samkøring af disse systemer er til gensidig fordel. For Danmark af de ovenfor nævnte grunde. For Norge fordi maksimum vindproduktion i Danmark forekommer når vandstanden i de norske reservoirer er lavest, og fordi der ikke er sammenhænge der sammenkobler dårlige vandår med dårlige vindår. [9]

Tabene i brændselsbaserede konverteringsanlæg og distributionssystemer antages at være som de bedste anlæg i dag. Specielt for fjernvarmeledningerne nedsættes tabene, fordi temperaturen skal sænkes for at anlæggene kan køres i kombination med solvarme. Dette kræver ikke yderligere udbygning, idet der løber tilsvarende mindre varmemængder gennem ledningerne, som følge af bedre isolering mv. hos slutbrugerne.

Procesvarme ved høje temperaturer udnyttes i et fåtal industrier, og det antages at varmen kan udnyttes igen ved lavere temperatur (kaskade­system), enten indenfor den samme eller en nærliggende industri der anvender mellemtemperaturer. Også fra mellem­ til lav­temperaturer er der antaget en kaskade­udnyttelse, men her ved udledning i fjernvarmenettet. Kun ca. en tredjedel af spildvarmen antages at kunne udnyttes.

Transportsektoren antages at ændre sig i betydelig grad fra 1994 til år 2030. Bymiljøerne antages kun at tillade eldrevne køretøjer, og der antages udviklet en særlig type bybil med høj effektivitet (og plads til 1­2 personer pr. køretøj). Hjem­arbejde pendling sker (f.eks. arrangeret af arbejdsgiver) ved hjælp af minibusser, der ligesom varetransporten optimeres gennem brug af informationssystemer. Den kollektive togtrafik udbygges og elektrificeres totalt. Alt i alt varetages ca. halvdelen af transportarbejdet af eldrevne køretøjer, og den anden halvdel af brændselsbaserede køretøjer (inkl. fly og skibe).

I tilfælde af, at en detaljeret tids­simulering udviser lagringsbehov, som ikke kan klares ved import/eksport (som i eltilfældet) eller ved øget brug af flydende biobrændsler (som kan oplagres billigt), så er det altid muligt, og af forsyningsmæssige grunde formentlig hensigtsmæssigt, at bibeholde et antal (evt. af de eksisterende) konventionelle brændselsbaserede konverteringsanlæg til håndtering af særligt vanskelige resource­til­forbrug tilpasningssituationer. Brændselsforbruget til sådanne reserveanlæg vil formentlig blive minimalt set over længere perioder.

Tabel 6.3 opgør bruttoenergitilførslen i scenariet på en måde, som er direkte sammenlignelig med det lysegrønne scenarie og nutidens bruttoenergiforbrug.

Tabel 6.3 Bruttoenergitilførsler.

| Enhed PJ pr. år | 1992 *) | 2030 lysegrønt scenarie | 2030 mørkegrønt scenarie |
|-----------------------|------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Olie | 331 | 246 | 0 |
| Kul | 286 | 22 | 0 |
| Naturgas | 91 | 146 | 0 |
| Biomasse | 49 | 119 | 6-7 (137) |
| Biogas | 2 | - | 45 (90) |
| flydende biobrændsler | - | - | 22 (47) |
| Solvarme | 0 | 4 | 40 |
| Solceller | 0 | 4 | 25 |
| Vindkraft | 3 | 32 | 90 |
| Netto elimport | 14 | 0 | 0 |
| Total | 776 | 573 | 222 (292) |

*) Energistyrelsens tal

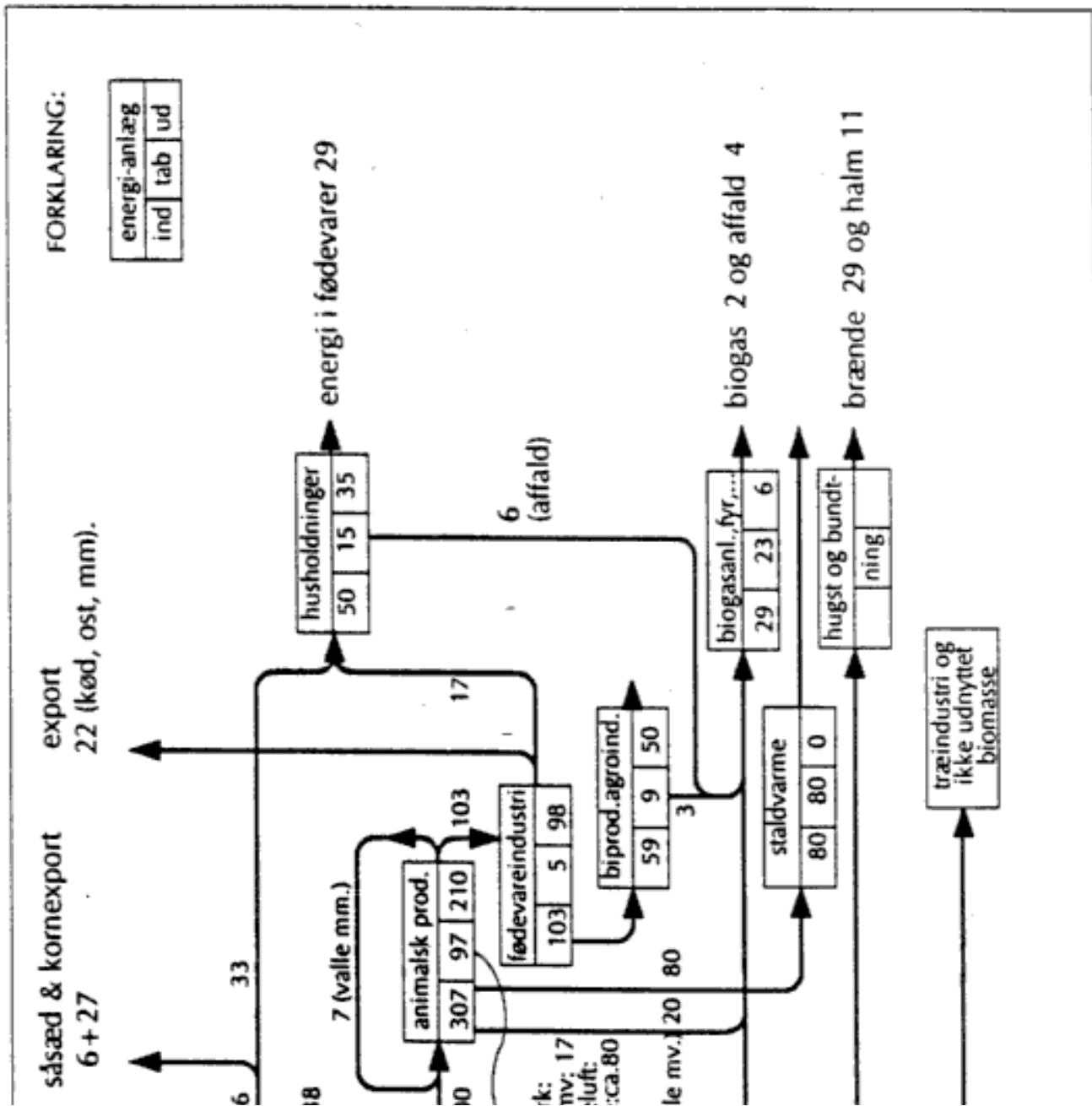
Noter til tabel 6.3:

En betydelig del af det lysegrønne scenarier biomasseforbrug går via industriel forgasning til brændselsceller. Dette er også en mulighed i det mørkegrønne scenarie, men det er her valgt i stedet at producere biogas ved hjælp af biologiske metoder. Anvendelsen af biogassen kan dog ske med samme konverteringsteknologier som i det lysegrønne scenarie, og med samme lagringsfordele. Anvendelse af varmepumper til dækning af varmebehov, baseret på biobrændsel, forudsættes også at kunne finde sted, hvis varmebehovet overstiger den umiddelbart tilgængelige varmemængde i systemet.

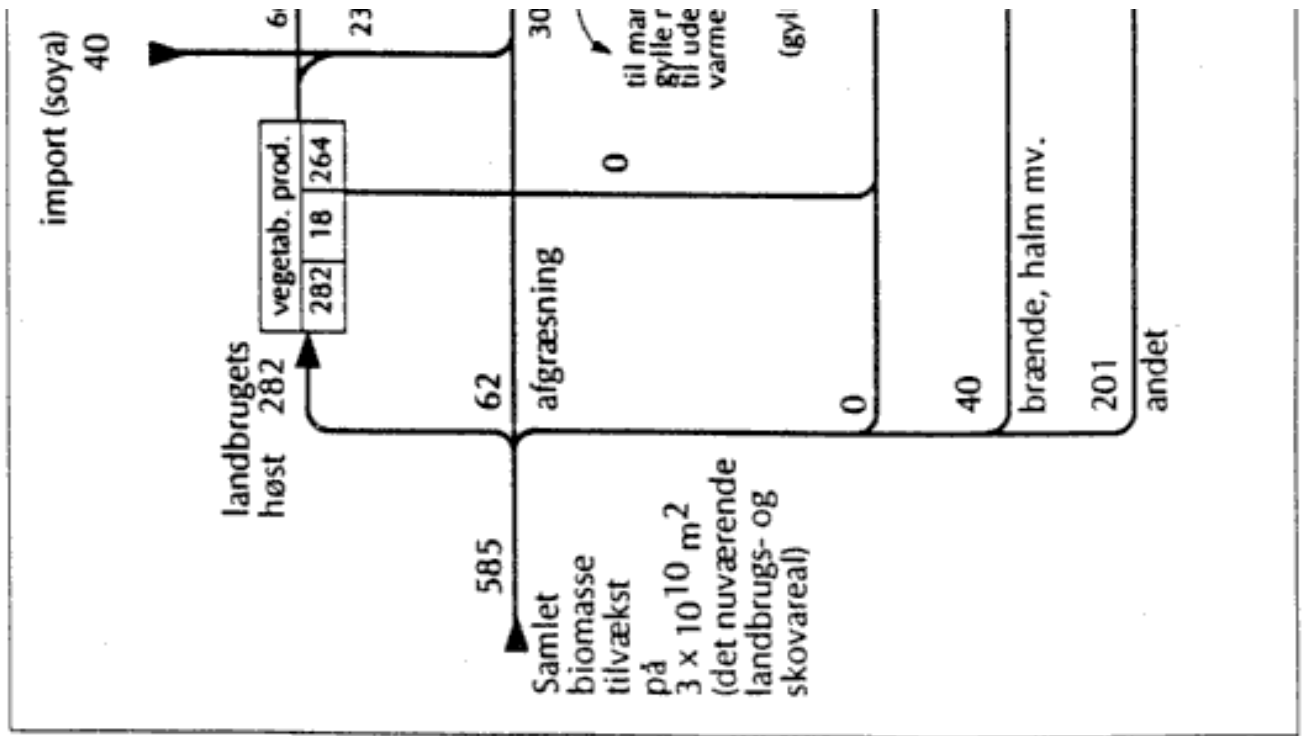
Tallene i parentes for det mørkegrønne scenarie er de mængder af biomasse­energi, der brutto anvendes til produktionen af biogas eller flydende olie­substitutter (ialt 137 PJ pr. år, som kan sammenlignes med det lysegrønne scenarie).

Varme fra omgivelserne og fra landbrugets besætninger er ikke medtaget i tabellen.

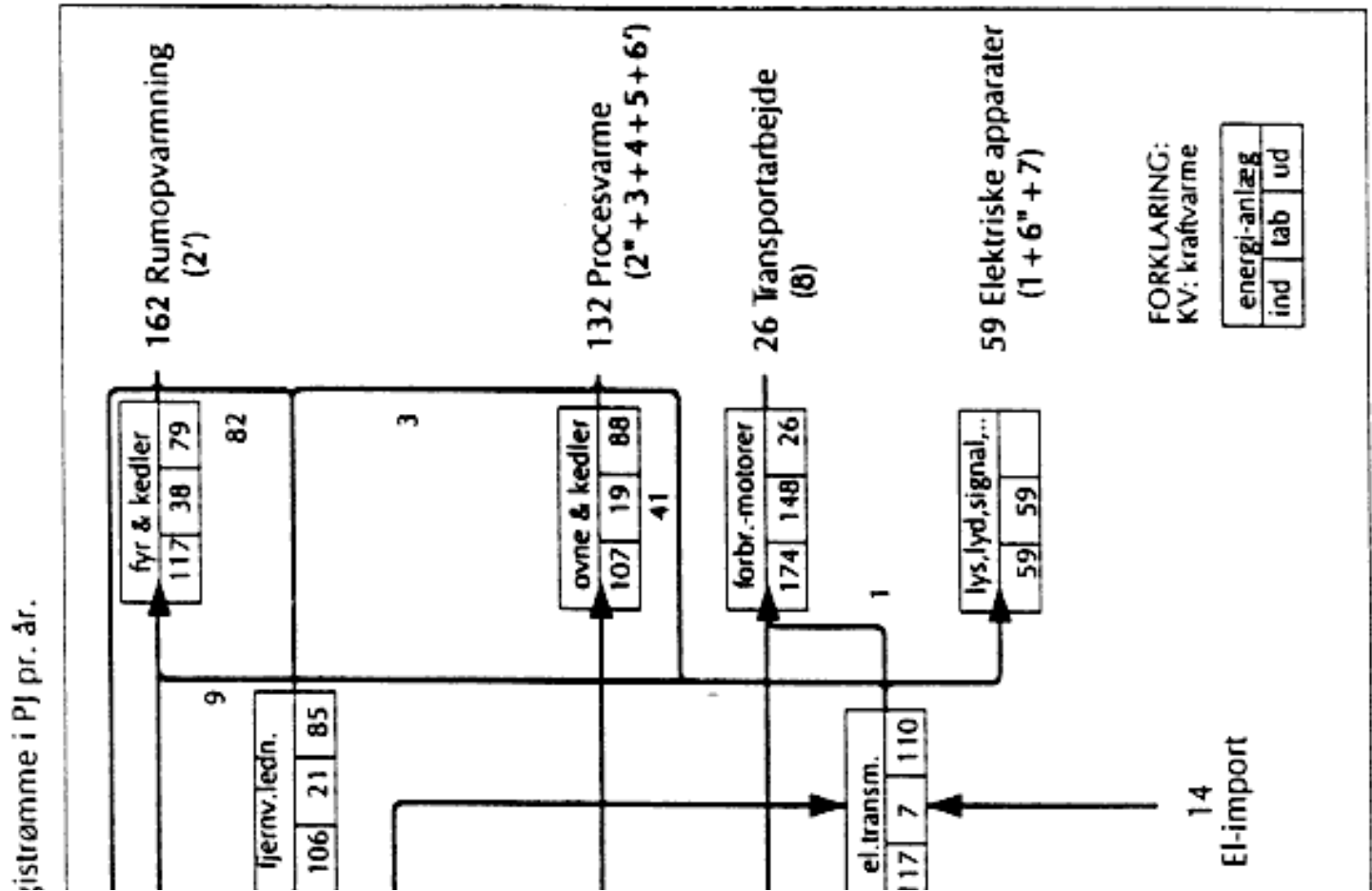
ærende biomasse-sektor (indirekte energiinput gennem kunstgødning, maskiner, r figurens energistrømme er PJ pr. år



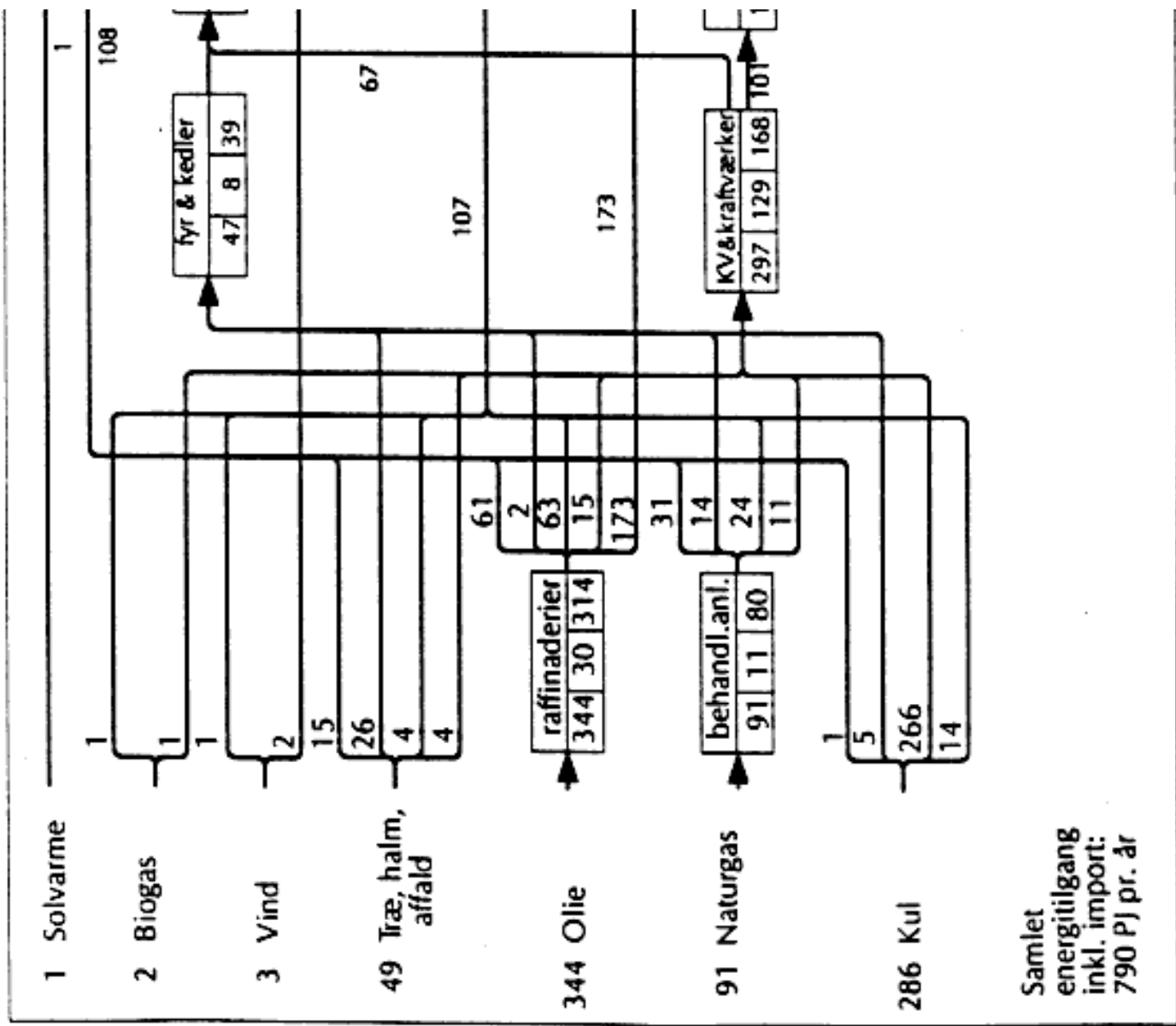
Figur 6.1. Danmark 1992. Opbygningen af nuværende transport mv. er ikke medtaget her). Enheden for



figur 6.1



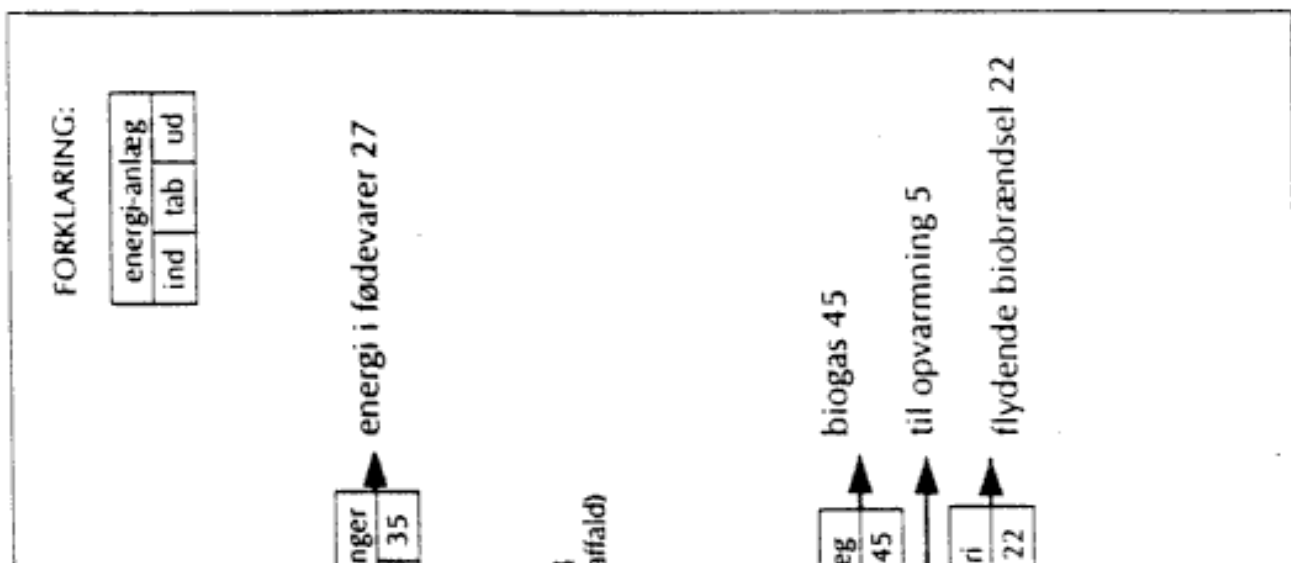
Figur 6.2. Danmark 1992. Nuværende energisystem. Befolkning 5.1 M. Energ



[INDEHOLDER SKØN OG US

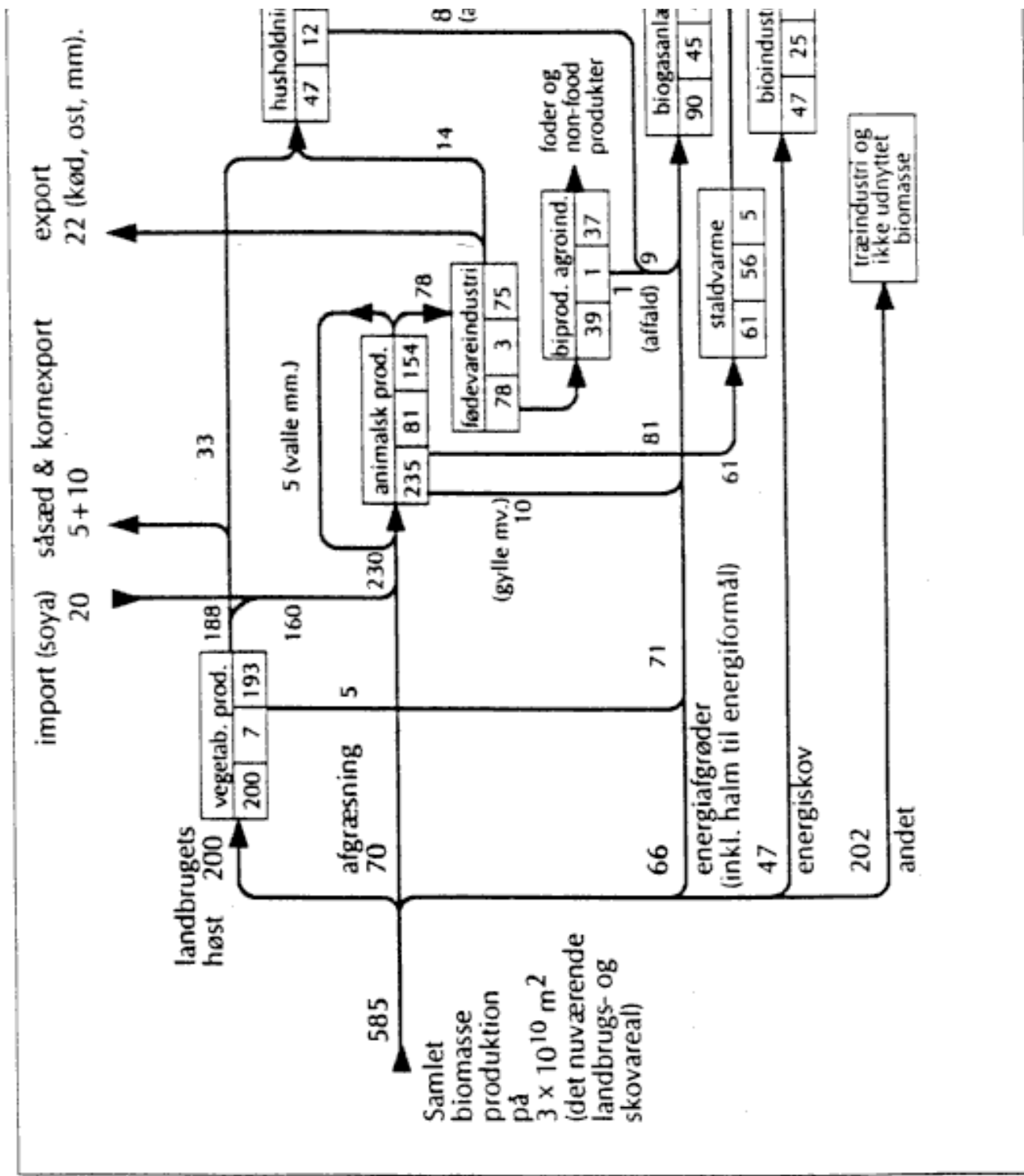
figur 6.2

dring, maskiner, transport mv. er



85, 21-6-1994

Figur 6.3. Danmark 2030. Scenario for biomasse-sektoren (indirekte energiinput gennem kunstgød- ikke medtaget her). Enheden for figurens energistrømme er PJ pr. år.



[INDEHOLDER SKØN OG USIKRE TAL]

figur 6.3

2. Rum-opvarmning

3. Procesvarme under 100°C

4. Procesvarme 100-500°C

5. Procesvarme over 500°C

1. Køling

6. Stationær mekanisk energi

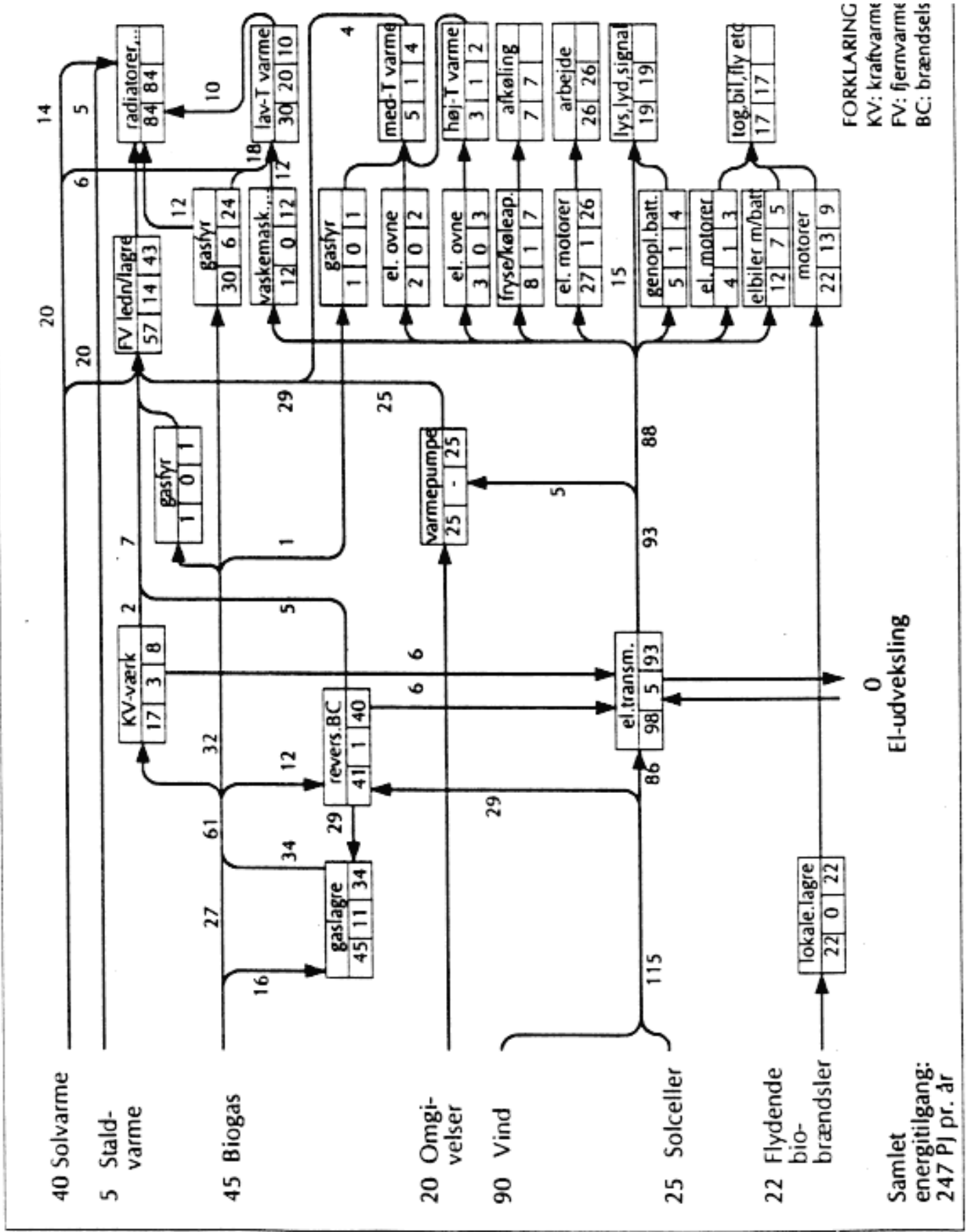
7. Elektriske apparater

8. Transportarbejde

energianlæg
indtæb. l. ud.

iceller

Figur 6.4. Danmark 2030. Scenarie baseret alene på vedvarende energi. Befolkning 5.3 M. Energistrømme i PJ pr. år.



figur 6.4

Kapitel 7. Overgangen til VE - barrierer og løsninger

Der er i det foregående skitseret to mulige fremtidige danske energisystemer med væsentlige andele af vedvarende energi: Det lysegrønne og det mørkegrønne scenarie.

Energisystemerne i det lysegrønne - og i særlig grad det mørkegrønne - scenarie er meget forskellige fra dagens energisystem. Sådanne systemer realiserer ikke sig selv over en periode på ca. 35 år uden en målrettet indsats på mange fronter. På vej hen mod energisystemer baseret på VE i meget højere grad end i dag skal en række betydelige tekniske, økonomiske, politiske og organisatoriske forhindringer overvindes. Herudover vil selve driften af et VE-system byde på store tekniske udfordringer.

Formålet med dette kapitel er - på baggrund af de foregående kapitlers gennemgang af scenarierne og deres karakteristika - i kort form at præsentere de væsentligste barrierer mod den forudsatte overgang til VE samt at antyde nogle mulige løsninger. Der fokuseres i særlig grad på de teknisk/økonomiske forhold, men forhold vedrørende organisation og politik er så tæt forbundet med de teknisk/økonomiske forhold, at det er nødvendigt også at berøre disse emner.

Gennemgangen af barrierer er delt op i en række temaer.

7.1 Driftforhold

De VE-anlægstyper, der står til rådighed for Danmark lider alle i større eller mindre grad af manglende evne til at kunne tilpasse energiproduktionen tidsmæssigt, så den passer til energiforbruget. I et system baseret på fossile brændsler gemmes energien i form af brændselslagre med lav pris og lille fysisk størrelse. I et system baseret på en stor andel VE har man kun i begrænset omfang denne mulighed. Visse typer af biomasse kan lagres uden væsentlige tab og omkostninger, men de fleste VE-teknologier har et medfødt energilagringsproblem.

Lagringsproblemet med dagens VE-udbygning er lille, omend man fra tid til anden konstaterer "eloverløb" i elsystemet som følge af kraftvarme- og vindkraftudbygningen. Men i fremtidens VE-system vil der være stort behov for eksempel lagringsmuligheder for både el, varme og brændsel (biogas, methanol m.m.). Dette vil alt andet lige medføre, at et VE-system har nogle systemmæssige omkostninger, som samfundet må være villigt til at betale.

De økonomisk mest realistiske metoder til løsning af VE-systemets regulerings- og lagringsproblemer forekommer at være dels eludveksling via transmissionsnettet med vandkraftværker i udlandet, dels lokal indregulering i passende indrettede kraftvarmesystemer forsynet med brændsels- og varmelager samt eventuelt varmepumpe. Her vil reversible brændselsceller med brintproduktion også kunne indgå. I praksis vil det i en lang årrække være en kombination af disse muligheder, som bruges.

Da de fleste store vandkraftværker ligger i Skandinavien og i Alpe-området, er mulighederne for transmission og regulering af vandkraft-effekt af afgørende betydning for en effektiv indretning af det europæiske energisystem som helhed - ikke mindst hvis andre europæiske lande følger det (tænkte) danske eksempel med kraftig VE-udbygning. Udnyttelse af vandkraft i udlandet forhindrer imidlertid ikke en iøvrigt decentral strukturering af energisystemerne.

Naturgasnettet og de mange fjernvarmenet, som er etableret, vil også finde anvendelse i et VE-system, men de vil antagelig blive anvendt på en anden måde. Gasnettet vil skulle anvendes til andre typer gas (biogas, forgasningsprodukter, brint), og fjernvarmenettene vil på grund af individuel solvarme og varmebesparelser få et

anderledes benyttelsesmønster end i dag. Der er derfor behov for fortsat teknologisk udvikling og forskning inden for rørbunden energi.

De to scenarier er meget forskellige m.h.t. driftforhold. Nedenfor antydes, hvorledes driftproblemerne vil skulle løses i de to scenarier.

Det lysegrønne scenarie: I dette scenarie vil der stadig i år 2030 være et væsentligt forbrug af fossile brændsler, selv om CO₂-emissionen er reduceret med 60 pct. i forhold til 1988. Biomassen anvendes fortrinsvis i kraftvarmeproduktionen, og brændslerne - både de fossile og biomassen - kan i væsentligt omfang bruges i værker, som deltager i indreguleringen af el- og varmeproduktionen fra vind og sol. Med den arbejdsform, som er anvendt i dette Teknologinævns-projekt har der ikke været mulighed for at gennemføre samlede driftsimuleringer af fremtidens VE-system.

Driftforholdene i det lysegrønne scenarie kan imidlertid - med forsigtighed - sammenlignes med driftforholdene i nogle af de energisystemer, der er simuleret på Aalborg Universitet i forbindelse med projektet "Bæredygtige energisystemer". Her har man på SESAM-modellen foretaget time-for-time simulering af to systemer - kaldet M4 og H4 - som minder om det lysegrønne scenarie m.h.t. varmekonsum, elforbrug, vind, sol og biomasse (AUC-systemerne har dog lidt større VE-dækning end det lysegrønne scenarie).

Det fremgår af disse driftsimuleringer, at systemerne er teknisk konsistente i den forstand at der til enhver tid er overensstemmelse mellem det, der leveres fra energiproduktion og energilagring på den ene side og det, der efterspørges af energitjenester på den anden side. Det fremgår af simuleringerne, at dette kan ske med en minimal elimport/-eksport. Dvs. el- og kraftvarmesystemet vil selv - med passende tilpasninger - kunne indregulere de fluktuerende VE-kilder uden væsentligt træk på udlandet. Det vurderes på denne baggrund, at reguleringsproblemerne i det lysegrønne scenarie vil være håndterbare. Dette bekræftes af simuleringerne på RISØ's ES3-model.

Det mørkegrønne scenarie: Som for det lysegrønne scenarie har der ikke været tid til at foretage driftsimuleringer af energisystemet i dette scenarie. Reguleringen af energisystemet i det mørkegrønne scenarie er beskrevet i hovedtræk i kapitel 6. Der findes ikke i litteraturen beskrevet simuleringer af energisystemer som i det mørkegrønne scenarie. Det nærmeste man kommer er simuleringer af et dansk energisystem med 100 pct. vindkraft, der bruger det norske vandkraftsystem som lager. Det påvises her, at den danske vindkraft kun vil påvirke det norske vandkraftsystem marginalt. [10]

Energisystemet i det mørkegrønne scenarie er dog væsentligt anderledes, og reguleringsproblemerne kan derfor ikke umiddelbart overføres fra vandkraftsystemet. Det næste skridt i arbejdet med de visioner, der er præsenteret i denne rapport, må derfor være at opstille en simuleringmodel for driften af et energisystem som i det mørkegrønne scenarie.

Det kan i øvrigt nævnes, at RISØ og ELSAM/ELKRAFT for tiden arbejder på et EFP-projekt med titlen "Indpasning i elsystemet af VE i stor skala i en usikker fremtid". Dette projekt går detaljeret ind i de driftmæssige problemer i et VE-system. Man arbejder bl.a. med energisystemer, der minder om energisystemet i det lysegrønne scenarie.

7.2 Liberalisering af elmarkedet

Eltransmissionsnettet herunder udlandsforbindelserne får i disse år stigende betydning - ikke som svingtransportør af VE-elektricitet - men på grund af liberaliseringsbestræbelserne i EU og i verden i øvrigt. Tendenserne går i retning af dels øget brug af nettet til kommerciel eltransit i større skala, dels øget forbrugeradgang til nettet og dermed til at købe el der hvor den er billigst i forhold til de leveringsbetingelser, der kan opnås.

Dette fører i første omgang til øget konkurrence på produktionssiden, mens transmissionsnettet stadig vil udgøre

et naturligt monopol. [11] Den øgede konkurrence på produktionssiden vil føre til et øget pres for økonomisk ligestilling af forskellige elproduktionsformer. Dette kan gøre det vanskeligere at opretholde støtten til VE, da denne støtte af andre producenter vil kunne ses som konkurrenceforvridende. Det vil dog formentlig fortsat være muligt også i fremtiden at "beskytte" en vis del af den nationale elproduktion. Det kan ske på forskellig måde.

Tilskud: Skal VE have en dominerende rolle, skal andre elproducenter presses ud af markedet lidt efter lidt, og der er vel ingen grund til at forvente, at dette vil kunne ske uden at de, der skal afgive markedsandele vil kunne argumentere for, at der er ublu konkurrence, såfremt VE's markedsindtrængen er baseret på tilskud.

Udbud: Det foreliggende udkast til EU's elmarkedsdirektiv giver mulighed for, at en del af - eller hele - elproduktionen udbydes i licitation (på ikke-diskriminerende vilkår). Dette kunne udnyttes til at udbyde en eller anden procentdel af den danske elforsyning med krav om, at den var baseret på VE. Det er dog svært at forestille sig, at nogen vil byde, med mindre de økonomiske betingelser er favorable nok, f.eks. at der er garanti for at komme af med elektriciteten til en eller anden pris.

Bevilling: I et bevillingssystem (den anden mulighed i direktivudkastet) for elproducenter, der opererer på det danske marked, kunne man f.eks. fastlægge, at en vis procentdel af deres elproduktion skal baseres på VE (alternativt: At emissionen af drivhusgasser skal være lavere end et eller andet niveau pr. produceret MWh). Bevillingsbetingelserne skal være ikke-diskriminerende, dvs. at udenlandske og danske producenter skal have samme vilkår. Problemet med denne model er, at det ikke er muligt for importeret el at afgøre, hvordan den er fremstillet. Da man ikke kan toldbelægge elimport, vil et dansk VE-system (hvis det producerer for dyr strøm) kunne udkonkurreres af strøm fra udlandet. Elsektorens modvilje mod at stå for dele af VE-udbygningen bunder bl.a. i frygten for at blive udkonkurreret af udenlandske producenter med færre forpligtelser over for miljøet.

Ud fra disse betragtninger må det vurderes, at liberaliseringen af elmarkedet udgør et potentielt problem for VE-udbygningen. Man kunne tænke sig at løse dette problem en gang for alle ved at kappe udlandsforbindelserne, men dette er af flere grunde uhensigtsmæssigt. Udlandsforbindelserne kan meget vel - i forbindelse med de norsk/svenske vandkraftmagasiner - udgøre den økonomisk bedste løsning på el-lagerproblemet i fremtidens VE-system. Det er en af forudsætningerne i det mørkegrønne scenarie. Ligeledes vil internationale elforbindelser muliggøre en vis regional udjævning af f.eks vindkraftfluktuationer.

Hvor vidt eltransmissionssystemet vil kunne bruges i forbindelse med udjævning af et VE-systems elfluktuationer er til syvende og sidst et spørgsmål om pris. Man må ud og købe overføringskapacitet i konkurrence med andre købere, der til dels efterspørger samme vare. Det må antages, at et system med 100 pct. VE, der baserer sig på ellagring i udlandet, vil kræve væsentlige forstærkninger i udlandsforbindelserne og det tilknyttede eltransmissionssystem. Heri ligger en række potentielle politiske konflikter.

Den øgede konkurrence vil sandsynligvis føre til en vis udjævning af elpriserne internationalt. Da danske elpriser er lave i EU-sammenhæng, vil dette føre til højere elpriser i Danmark, hvilket alt andet lige er en fordel for VE. Det er dog næppe sandsynligt, at VE i større stil vil kunne klare sig uden støtte på kort sigt.

Alt i alt er det altså væsentligt, at det politiske system arbejder for gunstige betingelser for VE på EU-niveau i det kommende elmarked, således at det er muligt at give disse teknologier en særstilling. Samtidigt er det væsentligt, at der sker prisreduktioner på VE-anlæg. Dels via teknologisk udvikling og dels ved at udsætte teknologierne for konkurrence i et tilpasset tempo.

Endelig er det vigtigt, at der både i EU og andre internationale organer arbejdes for at der i energiproduktionsomkostningerne indregnes eksternaliteter som for eksempel miljøomkostninger.

En følgevirkning af liberalisering af elsektoren synes at være, at de elselskaber, der er udsat for konkurrence

forekommer at være mindre tilbøjelige til at afsætte store beløb til forskning. Erfaringerne fra England peger på, at selskaberne får en kortere tidshorisont og stiller krav om kortere tilbagebetalingstid. Dette kunne for Danmark betyde -når og hvis konkurrencen kommer - at en del af den VE-forskning, der er placeret i elsektoren i dag som følge af politiske aftaler m.m. bør løftes ud i et andet regi. Problemet vil i så fald være at finde nogen med tilstrækkelig adgang til kapital.

7.3 Kravet til vækst og adfærd

Det lysegrønne scenarie forudsætter en fortsat økonomisk vækst i traditionel forstand. Den medfølgende stigning i energiforbruget holdes i ave af effektivitetsforbedringer på apparatsiden. Scenariet er m.h.t. vækstfilosofi relativt traditionelt: Vi kan godt fortsætte med at øge vores forbrug og anskaffe flere apparater, bare det vi forbruger og de apparater, vi anvender, er "grønt".

Problemet med denne tankegang er imidlertid, at de tekniske effektivitetsforbedringer, som nedgangen i energiforbruget især beror på, er en éngangsforeteelse. De kan ikke gentages i nær det samme omfang.

Skal man videre end de ca. 40 pct.'s reduktion af fossile brændsler og 60 pct.'s reduktion af CO₂-emissionen, der ligger i det lysegrønne scenarie og hen i retning af det mørkegrønne scenarie, hvor de fossile brændsler er helt elimineret, er det imidlertid sandsynligt, at væksten i traditionel forstand må ophøre. Hermed menes naturligvis ikke, at væksten i livskvalitet skal ophøre, men at væksten i de menneskelige aktiviteter, der medfører forbrug af ikke-fornyelige ressourcer, må bringes under kontrol og på sigt elimineres. Et sådant krav vil givetvis støde på betydelig modstand.

7.4 De enkelte VE-teknologier

Nedenfor gennemgås kort de væsentligste barrierer mod introduktion af VE på det lidt kortere sigt for så vidt angår de enkelte typer af VE-teknologier.

Barriere handler dels om adgangen til ressourcer og markeder, dels om løsning af forsknings- og udviklingsopgaver, dels om VE-anlægs miljøproblemer. Selv om en af hovedbegrundelserne for VE er miljøet, er VE-anlæg ikke uden miljøproblemer. Det er afgørende, at forskning og udvikling i VE-anlæg ikke alene koncentrerer sig om at løse de teknisk/økonomiske forhold ved VE-anlæg, men at disses miljøproblemer også løses.

Biomasseressourcer:

På grund af den relativt høje befolkningstæthed i Danmark er biomasseressourcerne en begrænsende faktor for et VE-system. Biomasseressourcerne udgør i dag kun omkring 15 pct. af Danmarks samlede brændselsforbrug. Det er muligt at øge arealet til biomasse på flere måder. På kort sigt kan brakarealer anvendes til energiafgrøder. På lidt længere sigt er det tænkeligt, at landbrugets arealanvendelse vil gå ned, fordi en del af landbrugsproduktionen vil blive flyttet til udlandet. Det betyder alt andet lige mulighed for flere energiafgrøder. Affaldsmængderne fra husholdninger, kontorer og industrier må antages på længere sigt at være vigende på grund af genbrug.

På lidt længere sigt er det tænkeligt, at affaldet vil forekomme i flere fraktioner, hvoraf nogle vil være velegnede til biogas og andre til forbrænding. Knapheden på biomasse i et VE-system kan selvfølgelig løses ved import af biomasse. Det er dog ingen løsning, hvis mange lande går VE-vejen. Scenariet i denne rapport forudsætter derfor, at der bruges dansk biomasse. Det bliver på et tidspunkt et strategisk valg, om man vil bruge biomassen i el- og kraftvarmesystemet eller om man vil bruge den i transportsektoren. Det er ikke på nuværende tidspunkt indlysende, at man skal vælge det ene frem for det andet. Derfor bør man i forskning og udvikling satse på at udvikle og forbedre biomasseteknologier både i transportsektoren og i kraftvarmesektoren.

Biomasseanvendelse:

Biomassen kæmper i de små og mellemstore byer i et vist omfang mod naturgassen om de samme fjernvarmemarkeder. Naturgasplanlægningen er kommet først de fleste steder. Naturgaskraftvarme er en billig, enkel og miljøvenlig teknologi. Biomasseanvendelsen i de små og mellemstore fjernvarmesystemer er derfor relativt beskeden. Hovedproblemet er, at der ikke endnu findes tilstrækkeligt effektive og tilstrækkeligt billige bio-masseteknologier samtidigt med, at biomassen som halm og træ er meget dyrt i forhold til fossile brændsler.

På de mindre markeder er traditionelle damp turbineanlæg på biomasse meget kostbare og har ikke specielt imponerende virkningsgrader. Der er en teknologisk udvikling i gang vedr. mindre biomasseanlæg, som vil forbedre både pris og ydelse. Biogasfællesanlæg er velfungerende i dag og på vej ned i pris. Forskellige forgasnings- og pyrolyseteknologier er på vej. Elsektoren er blevet pålagt at aftage over en million tons halm årligt fra år 2000. Dette vil især finde anvendelse på lidt større anlæg. Ihvertfald en del af elværkernes halm vil blive brugt i multibrændselsanlæg, hvilket løser problemet med de store udsving i halmoverskuddet (men kræver adgang til et fossilt brændsel). Der er en række tekniske problemer ved at brænde halm af på kraftværkerne. Desuden er der evt. problemer med genanvendelse af flyveaske fra kombineret afbrænding af kul og halm. Herudover er halmen på kraftværkerne oppe imod kul, som er klart det billigste brændsel.

Vindkraft:

Potentialet er meget stort. Vindkraft dækker i dag 3 pct. af elproduktionen, hvilket er verdensrekord. Teknologien er fuldt modnet og næsten samfunds-økonomisk konkurrencedygtig i dag med konventionel elproduktion. Vindkraft er en milliardforretning, ikke mindst som eksport. De væsentlige barrierer mod vindkraft er placeringsmulighederne. Nogle lægger vægt på de visuelle problemer. Nogle lægger vægt på støjproblemerne. Især har elværkerne haft problemer med at placere deres 200 MW. Det vil være nødvendigt fremover i et vist omfang at bygge havmølleparker. De er dyrere men giver mere energi pr. mølle.

En ganske betydelig forøgelse af vindkraftproduktionen uden øget pladsforbrug fås dog ved en forøgelse af stykstørrelsen. Denne udvikling har været i gang helt siden de første møller blev stillet op i starten af firserne, og der er ikke noget der tyder på, at den typiske mølle størrelse ikke skulle kunne blive 2 MW mod i dag nogle hundrede kW. I så fald vil man kunne klare sig uden væsentligt flere møller end i dag. Ved større

vindandele end i dag forventes eloverløbsproblemet at føre til øgede krav om backup/lager eller reducerede afregningspriser for vindmøllestrøm.

Solvarme:

Solvarmeteknikken er veludviklet, men økonomien er fortsat usikker, hvorfor der gives statsstøtte til etablering. Selv med støtte er økonomien dog kun nogenlunde. Der er dog et betydeligt potentiale for billiggørelse af fremstillingen af solvarmeanlæg. Solvarme vinder i realiteten kun frem i det såkaldte område 4, dvs områder uden fjernvarme og naturgas. På grund af kravet om afskrivning af de store gas- og fjernvarmeinvesteringer forekommer det ikke sandsynligt, at solvarme i væsentligt omfang får lov at brede sig uden for område 4 de første mange år.

Solceller:

Teknikken er udviklet, og solceller kan købes kommercielt. Den potentielle elproduktion fra solceller i Danmark er meget stor alene på de danske hustage. Økonomien er imidlertid meget dårlig. En prisreduktion på en faktor 5-15 er nødvendig for, at solceller bliver konkurrencedygtig på de danske breddegrader. Prisen er det altafgørende problem. Da det meste solcelleforskning foregår i udlandet, har Danmark kun begrænsede muligheder for at påvirke udviklingen. Det er ikke nogen betingelse for et VE-system, at solceller bliver meget billige. Den energi,

der ikke produceres på solceller, kan produceres af vindkraft. Men det vil give større fleksibilitet at kunne sprede elproduktionen på forskellige teknologier.

Bølgeenergi:

Ressourcerne i dansk farvand er begrænsede og teknikken beherskes endnu ikke. Et antal forsøgsanlæg har været afprøvet, men der er et stykke vej til storskala-udnyttelse af bølgeenergi i Danmark. Det er ikke nogen betingelse for et VE-system, at bølgeenergien beherskes. Den energi, der ikke produceres på bølgeenergi, kan produceres af vindkraft.

Brændselsceller:

Der er egentlig ikke tale om en VE-teknologi, men brændselsceller vurderes som vigtige i forbindelse med effektivisering af el- og varmeproduktionen efter år 2000. På længere sigt vil de kunne indgå som reversible celler i forbindelse med reguleringen i et VE-system. Dvs. til omdannelse af elektricitet til brændsel (brint), når der er for meget elektricitet og fremstilling af elektricitet, når der er for lidt. Brændselsceller kan teoretisk omsætte brændsel til elektricitet med en virkningsgrad på over 85 pct. I praksis er virkningsgraderne mindre, men det er muligheden for meget høje virkningsgrader, der gør brændselsceller så interessante. Danmark har p.t. ingen væsentlig indflydelse på udviklingen af brændselsceller, der foregår i udlandet.

7.5 Udskiftning af energisystemet

Det lysegrønne og især det mørkegrønne scenarie forudsætter energibesparelser i betydeligt omfang hos forbrugerne. Man vil da kunne komme til i en periode at have et elsystem med overkapacitet. Det har man allerede i et vist omfang i dag. Tendensen til overkapacitet vil antagelig blive forstærket, hvis der indføres konkurrence på elproduktion.

Dette kan gøre overgangen til et VE-system mere vanskelig ud fra en traditionel økonomisk tankegang, idet der ikke vil være "behov" for elproduktionen fra VE. Det vil være nødvendigt at sikre de økonomiske vilkår for VE også i en situation med overkapacitet, så det er de ældre kraftværker og ikke VE-anlæggene, der skrottes.

De energibesparelser, der skal ske i forbindelse med et VE-system, vil også i et vist omfang være i konflikt med de store infrastrukturinvesteringer, der er foretaget på energiområdet: gasnettet, fjernvarmenettene og (i mindre omfang) elnettene. Den bedst mulige forrentning af investeringerne i et net fås jo gennem et højt forbrug leveret gennem nettet. Dette problem er dog formentlig aftagende i takt med, at gas- og fjernvarmeselskaberne i de nærmeste år får konsolideret deres økonomi. I et VE-system skal nettene i mindre omfang bruges til envejsleverance af forbrug og i højere grad bruges til at forbinde decentrale produktionsanlæg med mere centrale energilagere.

7.6 Økonomi

Prisen på fossile brændsler, især kul, er lav. Det er godt for forbrugerne men ikke godt for VE. Elprisen er lav fordi kulprisen er lav, hvorfor afregningsprisen for VE-strøm -som er baseret på elsystemets langsigtede marginalomkostninger - også er lav. Man er derfor nødt til at give tilskud til VE-strøm (for tiden 27 øre/kWh) og anlægstilskud til visse typer af anlæg. Der er ikke meget, der tyder på, at dette vil ændre sig dramatisk inden for de nærmeste år. Den øgede efterspørgsel internationalt efter naturgas til elproduktion (motiveret med lave investeringer og hensynet til CO₂-problemet) vil måske få naturgasprisen til at stige. Dette vil gøre vilkårene bedre for VE (men også i et vist omfang for kul). Den gradvise stramning af miljøkravene til elsektoren vil tvinge elsektoren over i andre teknologi- og brændselsvalg. Dette vil alt andet lige øge elsystemets langsigtede marginalomkostninger og derigennem forbedre økonomien for VE.

De traditionelle samfundsøkonomiske vurderinger af VE-anlæg, der er foretaget herhjemme, er ikke specielt fordelagtige for VE-anlæg. Da mange energipolitiske beslutninger direkte eller indirekte er influeret af samfundsøkonomiske projektvurderinger, spiller samfundsøkonomien en væsentlig rolle. Både El- og Varmeforsyningslovene stiller krav om at energiforsyningen indrettes samfundsøkonomisk fornuftigt. Når man indfører tilskud er det normalt for at sikre, at privatøkonomien og samfundsøkonomien trækker samme vej. Og så er det jo ikke så godt, hvis samfundsøkonomien er negativ.

De samfundsøkonomiske analyser, der foretages, indregner imidlertid normalt kun de snævre projektkostninger (investeringer, drift- og brændselsomkostninger). Omkostninger ved lokal og global forurening, forhold vedr. affald og genanvendelse, arbejdsmiljø, ulykker, institutionelle virkninger og lignende regnes normalt ikke med men vurderes "ved siden af". Ligeledes indregnes energianlægs fremstillings- og bortskaffelsesomkostninger normalt ikke på anden vis end ved deres pris. Disse manglende faktorer giver i særlig grad en skæv vurdering af VE-anlægs samfunds-

økonomi. Man kunne løse dette problem ved at revidere de samfundsøkonomiske projektvurderingsmetoder, så de også tager højde for eksternaliteter - over hele projektets "livscyklus". En sådan revideret samfundsøkonomisk metode ville alt andet lige være en fordel for VE og desuden kunne føre til nogle generelt mere kvalificerede beslutninger.

Tilskud til VE lider af den ulempe, at de er på Finansloven hvert år. VE indgår derfor i princippet et årligt slagsmål med børnehaver, bloktilskud, DSB og meget andet.

Afgifter er en anden måde at lave incitament på end tilskud. I stedet for at belønne miljøvenlig energiproduktion kunne man straffe miljøskadelig energiproduktion. Dette har man taget hul på med lovkomplekset omkring CO₂-afgiften og indførelse af grønne afgifter. På grund af hensynet til den internationale elhandel og industriens konkurrenceforhold er det imidlertid endt med at blive en kompliceret blanding af tilskud, afgifter og refusioner, som ikke giver klare signaler. Et enkelt og logisk energiafgiftssystem ville bestå i en miljøafgift, der helt konsekvent var lagt på brændsel i forhold til de miljøskadelige virkninger.

Man kunne så afskaffe alle tilskud og - lidt efter lidt - lade VE indgå i konkurrence med øvrige energiformer. Desværre vil man ved en sådan løsning få et problem med el fra udlandet, som pludselig vil blive meget konkurrencedygtigt. Et forsøg på at lægge told på elimport vil formentlig føre til en tabt sag ved EU-domstolen. Derfor vil en konsekvent afgift på brændsel kun kunne lade sig gøre på fælles EU-niveau. Selv om EU har diskuteret miljøafgift i årevis, sker det næppe lige med det første.

7.7 Energiscenariernes økonomi

Med hensyn til spørgsmålet, om de to skitserede scenarier er økonomisk realistiske, må man starte med at overveje: I forhold til hvad? I det lysegrønne scenarie reduceres CO₂-emissionen med 60 pct. og de fossile brændsler med 40 pct. I det mørkegrønne scenarie elimineres brugen af fossile brændsler. Spørgsmålet må derfor rimeligvis omformuleres til:

Findes der andre energisystemer, som opfylder de samme krav til reduktion af forurening og brug af fossile brændsler, som har bedre økonomi?

Det ville være flot at kunne svare nej til dette spørgsmål. Men de lysegrønne og mørkegrønne scenarier er ikke resultatet af en optimeringsproces. Vi påstår ikke, at de skitserede energisystemer lige præcis er de rigtige VE-systemer. Så svaret er givetvis: Ja, der findes andre systemer med bedre økonomi. Man kunne f.eks. tænke sig, at nærmere studier ville vise, at det var økonomisk bedre at gennemføre flere besparelser end der her er forudsat for derigennem at reducere kravene til forsyningssystemet. Man kan også tænke sig, at andre kombinationer af VE-anlæg end de her skitserede ville være billigere. Eller at teknologisk udvikling ville give adgang til billige teknologier, som vi ikke har tænkt på.

Med den traditionelle opfattelse af samfundsøkonomi er VE-scenarierne givetvis dyrere end dagens energisystem. Men denne sammenligning er for så vidt kun relevant, hvis det at fortsætte med dagens energisystem er en valgmulighed. Og det ved vi, at det ikke er på længere sigt. På forsyningsiden kan vi vælge kernekraft eller vedvarende energi. Folketinget fravalgte kernekraften i 1985. Vi kan vælge et afviklingstempo for de fossile brændsler. Men vi kan ikke fortsætte med dem.

Det er naturligvis alligevel af interesse at vurdere størrelsen af den økonomiske indsats ved at gå fra dagens energisystem til et VE-system. Denne vurdering har der imidlertid ikke været mulighed for at foretage inden for rammerne af dette Teknologinævns-projekt.

For at få udviklingen henimod VE til at forløbe i et passende tempo uden for megen central regulering er det en forudsætning, at økonomien opleves som acceptabel af den enkelte og af samfundet. Dette kan opnås i mange tilfælde ved at inddrage eksternaliteterne både i samfundsøkonomien og i forbrugerpriserne. Man kan også vende tingene om og sige, at energisystemer som de skitserede bliver realiserede, hvis livscyklusomkostningerne ved de fossile brændsler og kernekraft er højere end for VE.

7.8 Energipolitikken

Der har i Folketinget i en række år været konsensus "hen over midten" om store dele af energipolitikken, f.eks. om kraftvarmeudbygningen, naturgasprojektet, biomassehandlingsplanen og lovgivning vedr. energibesparelser, energiforsyning og VE-tilskud. På grund af denne delvise konsensus har det været muligt at føre en energipolitik, der ikke ændrede sig dramatisk, hver gang en ny minister fik ansvaret for energiområdet.

Set i relation til en større VE-udbygning har energipolitikken imidlertid en for kort tidshorisont og nogle for kortsigtede målsætninger.

Den væsentligste politiske målsætning i øjeblikket, som blev fastlagt i forbindelse med Energi 2000, er målet på 20 pct.'s CO₂-reduktion for år 2005 i forhold til 1988. Dette mål kan imidlertid udmærket nås uden eller med meget begrænset tilgang af VE. Hvis man vil, kan man klare sig med kraftvarmeudbygningen, moderate energieffektiviseringer samt brændselskift på et passende antal kraftværker fra kul til naturgas. Energi 2000 forudsætter dog en fordobling af VE frem til år 2005.

Der mangler nogle bredt accepterede politiske målsætninger, der rækker længere ud i fremtiden end de ca. 10 år der er til år 2005. Ellers kan det system, man står med i år 2005, evt. vise sig dårligt egnet til de øgede udfordringer og omstillinger, som nødvendigvis må komme. Det vil være fornuftigt at formulere målsætninger for et tidspunkt, der f.eks. ligger så langt ude i fremtiden, at de danske ressourcer af olie og gas er ved at udspille deres rolle med det nuværende forbrugstempo.

Det vil i denne forbindelse være naturligt at "genindføre" forsyningsikkerheden som en blandt flere beslutningsparametre.

En anden vil være fleksibilitet og omstillingsevne. Dette er væsentligt uanset valget af energisystem. For et VE-system betyder det, at man skal sørge for gennem den teknologiske udvikling og den konkrete VE-udbygning hele tiden at have muligheden for at justere kursen eller foretage mindre sporskifte.

7.9 Lovgivningen

Danmark har en i international målestok meget slagkraftig energilovgivning. Den er udsprunget af dels oliekrisen i starten af 1970'erne, dels ønsket om at udbrede de store infrastrukturinvesteringer: naturgasnettet og de store fjernvarmesystemer og dels ønsket om at udbrede vedvarende energi.

Der kan peges på Elforsyningsloven - senest suppleret med bestemmelser om integreret ressourceplanlægning,

Varmeforsyningsloven, en række tilskudsordninger, bygningsreglementer, normlov SO_x- og NO_x-kvotelovgivningen m.m. Mange opfatter den danske energilovgivning som meget centralistisk og Energiministeriet som et levn fra planøkonomiens dage. På den anden side har Danmark bl.a. i kraft af netop denne lovgivning opnået en række markante resultater, som andre lande ikke kan opvise.

Under overgangen til et VE-system er det svært at forestille sig andet end at det også her vil være nødvendigt at have en stærk lovgivning. En vis decentralisering vil finde sted som følge af VE-udbygningen, og det kunne umiddelbart tilsige en vis decentralisering af administrationen og myndighedsudøvelsen. På den anden side er det dog meget tænkeligt, at decentraliseringen især vedrører de fysiske anlæg, mens der for selskaberne snarere vil være tale om en centralisering. Man ser elselskaberne fusionere under indtryk af kommende konkurrence, og tilsvarende må man antage, at store slagkraftige VE-selskaber vil være nødvendige for at VE skal klare sig og kunne udøve den nødvendige interessevaretagelse.

Et særligt problem udgøres af transportsektoren, som i den danske lovgivning og energiplanlægning - som i mange andre lande - har været friholdt for væsentlige indgreb. I et VE-system vil der skulle økonomiseres med brændslet, og transportsektoren vil skulle konkurrere med den øvrige energisektor herom. Der er derfor behov for at have kraftigere redskaber til rådighed over for transportsektoren. F.eks. kunne normlovgivningen for elapparater overføres til personbiler.

Referencer

Ansbaek, J., Bennekow, G., Jensen, E., Jensen, G. Johansen, P., Rand, P. and Schroll, H., 1973. Dansk Landbrug & økologisk belyst. Studenterrådet ved Københavns Universitet

Brundtland-kommissionen. Rapport om miljø og udvikling - "Vor fælles fremtid". FN-forbundet og Mellempfolkeligt Samvirke, 1987

Danmarks statistik, 1993. Statistisk tiårsoversigt 1993. København

Danmarks statistik, 1993. Statistisk årbog 1993. København

Danmarks Teknologiske Institut, 1993. Solvarme i Danmark. Informationssekr. for vedvarende energi, Tåstrup

Illum, K., Christensen, E. og Jørgensen, P., 1984. Alternative muligheder i dansk landbrug. Miljøstyrelsen, København

Energiministeriet, 1990. Energi 2000 - Handlingsplan for en bæredygtig udvikling

Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990. The IPCC impacts assessment. Australian Government Publishing Service.

Jensen, J. and Sørensen, B., 1984. Fundamentals of Energy Storage. Wiley, New York

Martin, D. and Shock, R., 1989. Energy use and energy efficiency in the UK transport sector up to year 2010. UK Department of Energy: Energy efficiency series no. 10, HMSO, London

Norford, I., Rabl, A., Harris, A. and Roturier, J., 1989. Electronic office equipment. pp. 427­460 in "Electricity: Efficient end­use and new generation technologies, and their planning implications", (Eds.: Johansson, Bodlund and Williams), Lund University Press

Nørgård, J., 1989. Low electricity appliances ­ options for the future. pp. 125­172 in "Electricity: Efficient end­use and new generation technologies, and their planning implications", (Eds.: Johansson, Bodlund and Williams), Lund University Press

- Sørensen, 1979.** Renewable Energy. Academic Press, London
- Sørensen, B., 1981a.** Renewable Energy Planning for Denmark and other Countries, pp. 293­303 in Energy, vol. 6
- Sørensen, B., 1981b.** A combined wind and hydro power system. pp. 51­55 in Energy Policy, March
- Sørensen, B., 1981c.** Planning and Policy Considerations related to the introduction of renewable energy sources into energy supply systems, Addendum pp. 55­68. Report prepared for the UN Department of International Economic and Social Affairs, New York
- Sørensen, B., 1982a.** An American Energy Future. pp. 783­799 in Energy, vol. 7, no. 9
- Sørensen, B., 1982b.** Energy choices: optimal path between efficiency and cost. pp. 279­286 in "Energy, Resources and Environment" (ed.: Yuan). Pergamon Press, New York
- Sørensen, B., 1982c.** Comparative risk assessment of total energy systems. pp. 455­471 in "Health impacts of different sources of energy", IAEA, Wien
- Sørensen, B., 1982d.** Et fremtidsbillede af Nordens energiforsyning. pp. 331­334 i Geografisk Orientering. Geografforbundet
- Sørensen, B., 1984.** Viable energy developments for highland and maritime regions. pp. 19­26 in "Energy for rural and island communities III" (Eds.: Twidell, Riddoch and Grainger), Pergamon Press, London
- Sørensen, B., 1988.** Renewable Energy and Development. pp. 35­74 in "Renewable Energy and Local Production", Proc. 1st UN Conference, Danish Centre for Renewable Energy, Hurup
- Sørensen, B., 1991.** Energy Conservation and efficiency measures in other countries. Australian Department of the Environment Series of Greenhouse Studies No. 8, Canberra
- Sørensen, B., 1992.** The impact of energy efficiency on renewable energy options. pp. 2654­2664 in "Renewable energy technology and the environment" vol. 5 (Ed.: Sayigh), Pergamon Press, London
- Sørensen, B., 1993a.** Fotovoltaisk statusnotat 1 og 2, IMFUFA tekster 241/264, Roskilde
- Sørensen, B., 1993b.** What is Life­cycle analysis? pp. 21­53 in "Life­cycle analysis of energy systems", OECD and IEA, Paris
- Sørensen, B. and Watt, M., 1993.** Life­cycle analysis in the energy field. pp. 66­80 in Energex '93, Korea Institute of Technology, Seoul
- Teknologinævnet, 1994.** Biomasse til Energiformål, rapport 1994/4.
- UK Department of Energy, 1987.** Digest of UK Energy statistics. HMSO, London
- UK Department of Transport, 1987.** Transport statistics 1976­86. HMSO, London

Noter

1. Brundtland-kommissionens rapport om miljø og udvikling, 1987.
2. "Bottom-up" betyder, at de fysiske apparatbestande og effektiviteter samt udviklingen heri modelleres direkte. Energiforbruget vurderes således ud fra den fysiske virkelighed. "Top-down" betyder at energiforbrugets udvikling antages direkte knyttet til den økonomiske udvikling - evt. med visse korrektioner for forbedret effektivitet.
3. Sørensen, 1979.
4. Sørensen, 1982.
5. Sørensen, 1981c, 1984, 1988
6. Nørgård, 1989; Sørensen, 1982b, 1991
7. Jvf. Jensen og Sørensen, 1984
8. Jensen og Sørensen, 1984
9. Sørensen, 1981b
10. Sørensen, 1981b
11. I Finland er der dog et eksempel på konkurrerende eltransmissionsledninger i samme område.

10.03.98 Teknologirådet tekno@tekno.dk