

I DRIVHUSET

Fortællinger om naturens energi
og samfundets energikrise



PASSIVITET ER IKKE EN VALGMULIGHED

Af Klaus Illum
i samarbejde med David Gibson

I DRIVHUSET

Fortællinger om naturens energi
og samfundets energikrise

Af Klaus Illum
i samarbejde med David Gibson



FAGLIGT FÆLLES FORBUND

**I DRIVHUSET - Fortællinger om naturens energi
og samfundets energikrise**

Forfatter: Klaus Illum

Copyright 2006:
Fagligt Fælles Forbund
Klaus Illum

Udgivet af:
3F - Fagligt Fælles Forbund
Kampmannsgade 4
1790 København V
Februar 2006

Tryk: Svendborg Tryk
Antal: 1500 stk.
Tryk på FSC-papir
ISBN 87-89895-91-6

Layout: Lars Thomsen

Forsidetegning og illustrationer:
Palle Schmidt
Tegnestuen Gimle
Nørrebrogade 55 A 2.sal
2200 København N

David Gibson
Konsulent i den offentlige gruppe i 3F.

Klaus Illum
Civilingeniør, lic.techn.,
og docent (emeritus) i energiplanlægning og
energisystemanalyse.

3F's FORORD

Denne debatbog tager et vigtigt samfundsmæssigt emne op, nemlig den fremtidige energiforsyning. Udgangspunktet er udsigterne til en fremtidig energikrise, hvis der ikke sadles om i energipolitikken ved at påbegynde en langsigtet planlægning af ændringer i energiforsyningssystemet. Problemet, som forfatterne til denne debatbog ser det, og som mange forskere på området er enige i, er at den økonomiske vækst er så afhængig af olie, at olieproduktionen ikke kan holde trit med efterspørgslen. Hvis dette er rigtigt – og det tyder alt på at det er – så vil priserne på olie stige yderligere, selv om prisen i oktober 2005 er kommet op på mere end 60 dollar pr. tønde. Hvor meget og hvornår kan man kun gætte på. Men den billige olies tid vil være forbi.

Flere og flere lande efterspørger olie som drivmiddel i den økonomiske udvikling i takt med integrationen i den globaliserede økonomi. Verdens to folkerigeste nationer, Kina og Indien, har opnået en sådan vægt i den internationale økonomi, at deres efterspørgsel efter olie, for at holde de – især i Kina – meget høje vækstrater oppe, påvirker verdensmarkedsprisen på olie.

Det er interessant, at også de store olieselskaber råber vagt i gevær. Således indrykkede olieselskabet Chevron en annonce i The Economist 13. – 19. august 2005 med overskriften "Verden forbruger to tønder olie for hver

tønde der bliver fundet. Er det noget du skulle bekymre dig om?" Det mener Chevron at det er. Som der anføres i annoncen, "Passivitet er ikke en valgmulighed", Det formuleres i bogen på denne måde (side 134):

"I virkeligheden drejer det sig om at tage bestik af situationen og udstikke en strategi, der på en økonomisk fornuftig måde kan formindske risikoen for, at grundlaget for samfundsøkonomien bliver undermineret".

Derfor er der i bogen opstillet tre forskellige scenarier – som ikke er forudsigelser – som under forskellige antagelser om prisen på olie, illustrerer tre forskellige udviklings- og investeringsforløb for opbygningen af nye energisystemer.

Bogen indeholder meget andet, blandt andet forklares hvad energi egentlig er for noget. Vi kan læse om nogle af fysikkens grundbegreber, men da bogen er skrevet på en sådan måde, at kapitlerne kan læses hver for sig, så kan man begynde med de kapitler, der først fanger ens interesse.

Som sagt er dette en debatbog. Når 3F støtter udgivelsen, er det for at skabe debat om et problem, som vi ikke hører så meget om. De fremførte synspunkter er alene forfatternes, og derfor ikke nødvendigvis udtryk for 3F's holdninger.

Poul Erik Skov Christensen
Forbundsformand, 3F

Ulla Sørensen
Forbundssekretær, 3F

INDHOLD

Forfatternes forord	9
Baggrund, formål og indhold	10
Det vi ser	10
Det vi håber	12
Det vi skriver om	12
Form og stil	13
Fysiske enheder og tal	13
Afklarende spørgsmål og kritiske kommentarer	13

DEL 1. NÅR VI TÆNKER OVER DET

1. Vækst og velfærd	15
1.1 De nye hestekræfter	15
1.2 Det næste kapitel i historien	18
1.3 Vækstens matematik	19
1.4 Vækstens globalisering	22
1.5 Et nyt ressourcegrundlag for velfærdssamfundet	25
2. Energi i politisk og økonomisk tænkning	26
2.1 Da "energi" blev et politisk ord	26
2.2 Energiregnskaberne	27
2.3 Hvad er meningen?	29
2.4 Hvad er forklaringen?	32
2.5 Forskellige "energikvaliteter"	33
2.6 Hvad er problemet?	33
3. Energi på Jorden	34
3.1 Livet, atmosfæren og de fossile brændsler	36
3.2 I drivhuset	37
3.3 Termodynamik	41
3.4 Industrisamfundets energi	43
3.5 Maskinerne frembringer deres fossile brændstoffer	44
3.6 Olieproduktion fra sollyset	44
4. Energi til arbejde	46
4.1 Arbejde	46
4.2 Energeia	48
4.3 Energien bevares. Energeia går tabt	49
4.4 Joule's forsøg – energiens bevarelse	49
4.5 Grænser for det opnåelige	51
4.6 Et nyt ord: Exergi	54
4.7 Effektivitet og tab	56
4.8 Udviklingen skrider frem – der er ingen vej tilbage	59

DEL 2. OLJETIDEN

5. Det sorte guld	61
5.1 Olieudvinding	61
5.2 Oliereserver	63
5.3 Forbrug og produktion i de kommende år	64
5.4 Uheldssvanger optimisme	64
6. Transport	68
6.1 Fra hestehove til stempler til ... ?	69
6.2 De elektriske transportmidler	70
6.3 Bilsamfundet	70
6.4 Fart, kilometertal og økonomi	71
6.5 Det olie-industrielle kompleks	71
6.6 Op ad bakke	72

DEL 3. ENERGITEKNIK

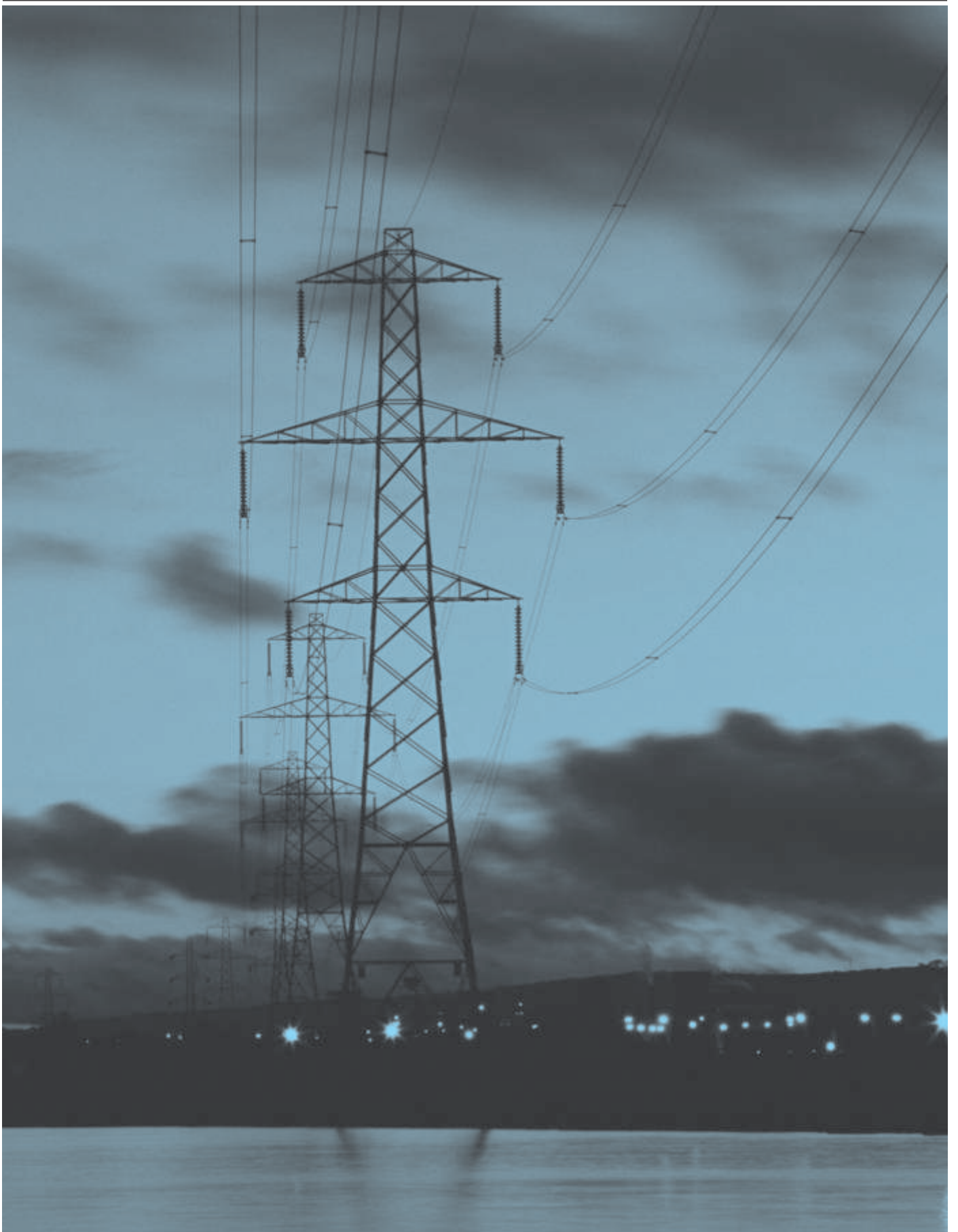
7. Om at spille mindre hen ad vejen	75
7.1 Bygninger og el-apparater	77
7.2 Varmepumper	78
7.3 Naturgas og varme	80
7.4 Vindkraft og varme	83
7.5 Vindmøller i det samlede energisystem	84
8. Kraft- og kraftvarmeværker	85
8.1 Damp turbine-kraftværker	85
8.2 Damp turbine-kraftvarmeværker	87
8.3 Decentrale stempelmotor-kraftvarmeværker	87
8.4 Brændselsceller	89
8.5 Mini-kraftvarmeværker til naturgasforsynede huse	92
9. Drivkraft til transportmidler	93
9.1 Mere energioekonomiske transportmidler	93
9.2 Overførsel af elektrisk kraft til transportmidler	93

DEL 4. TEKNISKE OG SAMFUNDSØKONOMISKE UDVIKLINGSMULIGHEDER

10. Energisystemets sammensætning	97
10.1 Bestanddele og sammenhænge	97
10.2 Lokale energisystemer	101
11. Scenarier for den fremtidige udvikling	102
11.1 Energipolitisk planlægning efterlyses – af de store virksomheder	103
11.2 Konstruktiv planlægning forudsætter viden om det mulige	103
11.3 Scenarieberegninger for det danske energisystem	104
11.4 Passivitet er ikke en valgmulighed	105
11.5 A-, B-, C-scenarierne	106
11.6 Samfundsøkonomi	107
11.7 Vækster	108
11.8 Olieprisen	108
11.9 Investeringer i faste anlæg	110
11.10 Forandringer på transportområdet	110

DEL 5. ENERGIPOLITIK I EL- OG CO₂-KVOTEMARKEDET

12. El-markedet	113
12.1 National, regional og lokal forsyningssikkerhed før markedet	113
12.2 Fra monopol til marked	114
12.3 El-markedskonstruktionen	114
12.4 Ulige konkurrencevilkår for el-markedets forskellige producenter	117
12.5 El-markedet og frihedsrettighederne	119
12.6 Opfattelsen af elektrisk kraft som en vare	120
12.7 Forestillingen om en el-sektor	121
12.8 Markedet, den professionelle kompetence og personalenedskæringer	121
13. El-markedet, forsyningssikkerheden og klimaet	123
13.1 El-markedet og forsyningssikkerheden – nye el-værker	123
13.2 El-markedet og forsyningssikkerheden – mindre el-forbrug	124
13.3 El-markedet og CO ₂ -markederne	125
13.4 Et alternativt el- og CO ₂ -kvotemarked	126
14. Samtale med politikere	128
14.1 Den energipolitiske problemstilling	128
14.2 De fremlagte scenarieberegninger	130
14.3 Energipolitiske handlemuligheder	132
15. I virkeligheden	134
15.1 Vækster	135
15.2 Olieprisen	136
15.3 Investeringer	137
15.4 Forandringer på transportområdet	139
15.5 Der kan fås meget mere for meget mindre	141
15.6 Banen er kridtet op	142
Scenarie-eksempler. Beregningsresultater	143
Energipolitisk strategi	148
Energienheder	149



FORFATTERNES FORORD

Tiden går. Det vil sige, at alt forandres, sekund for sekund. Fremad, der er ingen vej tilbage. Og alt hvad der sker i livet her på Jorden - når en elefant tager et skridt på en afrikansk savanne, når du kører hundrede meter med 120 km i timen på motorvejen, når en blomst folder sig ud, og når den elektriske røremaskine på køkkenbordet kører en omgang - er energi i drift, styret af forunderlige naturlige processer eller mere primitive tekniske styresystemer. Det nye i vores tid er, at vi med olie, gas og kul fra livet i fortiden har fået energi til at udløse kræfter, der er langt, langt større end de kræfter, naturen har kunnet give vores forfædre. Se bare når en flyvemaskine på 250 tons letter med 500 mennesker ombord. Nyt er det også, at disse enorme kræfter gennem el-nettet er blevet let tilgængelige overalt i det moderne samfund. Olie, gas og kul er samfundets basale næringsstoffer, el-nettet er dets tekniske rygrad.

Den nye verden skyldes en geologisk tilfældighed. Nemlig at lidt af den olie og gas, der nogle steder dybt i Jordens undergrund blev dannet som et resultat af et varmt klima i en fjern fortid og efterfølgende geologiske omvæltninger, blev bevaret i lommer under tætte bjergarter. Med kraftige maskiner drevet af denne olie og gas har vi bygget et samfund, der hurtigere og hurtigere udtømmer oliefelterne. Den økonomiske vækst i de samfund, der har midler til at bruge olie i store mængder, sker først og fremmest i kraft af olieforbrug. Men når oliefelterne udtømmes, er der ingen anden kraftkilde i syne, der er så let at udvinde, lagre, transportere og bruge som olien.

Det er ikke kun vores omgivelser og daglige liv, der er blevet gennemgribende forandret i de sidste 50 år, hvor den nye verden har udfoldet sig. Også vores tanker og vores opfattelser af de vilkår, vi lever under, har ændret sig. I den moderne markedsøkonomi, der er uden basale ressourcebegrænsninger, er det utænkeligt, at den form for vækst og velfærd, den geologiske tilfældighed har afstedkommet, ikke kan fortsætte. Energi i forskellige former opfattes som

varer. Hvis en vare bliver for dyr, bliver den erstattet af en anden vare. Den moderne teknologi vil altid kunne frembringe nye produkter til erstatning for produkter, der bliver mangel på. Sådan må det være i nutidens økonomiske verdensopfattelse, men sådan er det måske ikke i virkeligheden.

I denne bog fortæller vi om det, vi kan se, når vi ser os omkring i virkeligheden. Ikke den virkelighed af samfundsskabte økonomiske vilkår, der bestemmer daglig adfærd og politik. Men den virkelighed, der er samfundets basale fysiske og biologiske grundvilkår. Vi ser, at den globale økonomiske vækst og den globale ulighed klart afspejler sig i fordelingen af olieforbruget landene imellem (det samme billede tegner sig, når vi ser på gas og kul). Det vil sige, at globaliseringen, som den nu foregår, er uløseligt koblet til udvinding og fordeling af olie fra reserver, der udtømmes, efterhånden som verdensøkonomien bliver mere og mere afhængig af olie! På den anden side af mønten ser vi truslen fra klimaforandringer igangsat af olieafbrændingen og afbrændingen af kul og gas.

I dette globale perspektiv ser vi på virkeligheden, som den tegner sig i vores del af verden. Vi ser på den udvikling, der er sket i de sidste 50 år, og på de tekniske og samfundsokonomiske muligheder for at løse problemerne, der tegner sig her i landet. Specielt ser vi på de rammevilkår, de nye energimarkeder udstikker for dansk energipolitik.

Der er meget, vi ikke har set, og meget, vi ikke har fået plads til i denne bog. Men hvis vi vækker nogle tanker, der er med til at befordre en folkelig debat om indholdet i en konstruktiv og målrettet energipolitik, har vi opnået, hvad vi ønsker.

November 2005
David Gibson og Klaus Illum

BAGGRUND, FORMÅL OG INDHOLD

Vi ser, at den økonomiske vækst, der i de sidste 50 år har skabt velstand i de rige lande, har fundet sted i kraft af rigelige forsyninger af olie, naturgas og kul til meget lave priser.

En økonomisk vækst som den, vi har oplevet i de sidste 50 år, kan ikke udbredes globalt. En økonomisk vækst, der kan løse det altoverskyggende problem, der består i det globale svælg mellem det fattige flertal og det rige mindretal, må derfor være en ny slags økonomisk vækst.

I et demokratisk samfund må en energipolitik til det fælles bedste bygge på en udbredt viden om de basale vilkår for samfundets velfærd.

Vi håber, at vi med denne bog kan bidrage til genopfriskning og videre udbredelse af grundlæggende viden og fremtvinge alvorlige overvejelser, der kan afstedkomme de nødvendige, omfattende energipolitiske aktiviteter, før det er for sent.

David Gibson og Klaus Illum

I vore dages globaliserede verden er der en udbredt tro på ny viden. En tro på, at fremtidens velfærd kan sikres ved udviklingen af et videnssamfund, der kan stå sig i konkurrencen med alverdens andre videnssamfund. Der er tale om viden, der ligger i forskningslaboratoriernes computere. Viden, der kan skabe ny produktion af nye varer og endnu mere ny viden, der kan sælges på verdensmarkedet. Viden, der kan holde gang i penge kredsløbet ved at skabe ny vækst på nye områder og dermed holde aktiekurserne oppe og arbejdsløshedstallene nede.

I troen på dette videnssamfund skubbes viden om de helt afgørende problemer, den globaliserede verden står over for, til side. De nuværende rige samfund er resultatet af den særlige slags økonomisk vækst, vi har oplevet i de sidste 50 år. I politisk tænkning hersker den tro, at denne form for vækst med dens enorme ressourceforbrug kan fortsætte uhæmmet i den globaliserede verden. Men denne tro bygger ikke på nogen erfaring fra menneskehedens hidtidige historie. For den udvikling, der er sket i de sidste hundrede år, er uden sidestykke i nogen tidligere periode i historien.

DET VI SER

Hvis fem milliarder fattige mennesker i de kommende årtier skulle komme til at leve bare tilnærmelsesvist ligesom vi gør - hvis for eksempel hvert af disse mennesker skulle have et forbrug af olie, naturgas og kul, der bare udgør en fjerdedel af det forbrug, hver af os tegner sig for i dag - så ville ressourcerne ikke kunne slå til. Og så ville CO₂-udslippet vokse så meget, at enhver tale om at begrænse klimaforandringer på grund af drivhuseffekten måtte forstumme.

Vi ser, at den vældige økonomiske vækst i de sidste 50 år kun er kommet ca. én milliard mennesker til gode. Nemlig store befolkningsgrupper i de rige lande og grupper af jordbesiddere, forretningsmænd og veluddannede i de fattige lande.

1) Udtrykket "den tredje verden" stammer fra Bandung-konferencen på Java, Indonesien, i 1955. På denne konference samledes 1000 ledere fra 50 af de europæiske kolonier i Asien og Afrika, der var blevet frigjort efter krigen, og fra modstandsbevægelser i de kolonier, der endnu var under europæisk herredømme. Også Kina's premierminister Chou Enlai deltog. De erklærede, at deres lande udgjorde et tredje verdenssamfund ved siden af det europæisk-amerikanske og det sovjetiske. Det er stadig i disse lande, de fleste af Jordens fattige bor.

Mere end fem milliarder mennesker - de fleste i den såkaldt "tredje verden"¹, men også mange fattige i de rige samfund - har ikke fået meget mere til at klare dagen og vejen. Mange samfund er blevet dårligere stillet, end de var for 50 år siden.

Det er svært at tro på, at dette svælg mellem et meget rigt mindretal og et meget stort fattigt flertal fortsat kan bestå i en verden, som med dens tv og internet og flyruter mellem kontinenterne kaldes "den globale landsby". Derfor beklender de rige lande sig til en tro på, at uligheden vil blive udlignet efterhånden som den økonomiske vækst breder sig til de fattige samfund.

Men vi ser at den økonomiske vækst, der i de sidste 50 år har skabt velstand i de rige lande, har fundet sted i kraft af rigelige forsyninger af olie, naturgas og kul til meget lave priser. Det er i kraft af den enorme energi i disse brændsler, at vores samfund har kunnet udvikle sig til det, det er i dag. Hvis fem milliarder fattige mennesker i de kommende årtier skulle komme til at leve bare tilnærmelsesvist ligesom vi gør - hvis for eksempel hvert af disse mennesker skulle have et forbrug af olie, naturgas og kul, der bare udgør en fjerdedel af det forbrug, hver af os tegner sig for i dag - så ville ressourcerne ikke kunne slå til. Og så ville CO₂-udslippet vokse så meget, at enhver tale om at begrænse klimaforandringer på grund af drivhuseffekten måtte forstumme.

Vi ser altså, at den slags økonomisk vækst, vi har oplevet i de sidste 50 år, ikke kan udbredes globalt. En økonomisk vækst, der kan løse det altoverskyggende problem, der består i det globale svælg mellem det fattige flertal og det rige mindretal, må derfor være en ny slags økonomisk vækst. En vækst der skaber velfærd - føde, klæder, hus og hjem og glæder og fornøjelser - uden at opbruge de ressourcer, velfærden bygger på, og uden at bringe hele menneskeheden i fare ved at skabe globale klimaændringer.

Vi ser også, at den tid, der er til rådighed til at lægge kur-

sen om til en ny slags vækst, bliver kortere og kortere for hvert år, vi fortsætter som hidtil. For økonomisk vækst af den europæisk-amerikansk-japanske slags har nu også taget fart i de største tredje-verdenslande: Kina og Indien, og også de store lande i Sydamerika er ved at være godt med. Olie- og naturgasforbruget i disse lande stiger dramatisk, bl.a. fordi produktionen af en større og større del af de varer, vi forbruger, flyttes ud til disse lande. Men også i Europa, USA, Japan og Rusland fortsætter forbrugsstigningen. Det vil sige, at en voksende verdensøkonomi, samtidigt med at den bliver mere og mere afhængig af olie og naturgas til flere og flere biler, lastbiler, landbrugsmaskiner, fly, kraftværker osv., hurtigere og hurtigere nærmer sig det tidspunkt, hvor olie- og naturgasproduktionen ikke længere vil kunne dække efterspørgslen².

Vi kan ikke vide, om dette sker i år, næste år, om fem år, om 10 år eller måske først om 20 år. For det afhænger ikke kun af, hvor meget af verdens tilbageværende olie- og gasressourcer, der vil kunne udvindes. Det afhænger også af, hvor hurtigt udvindingen vil kunne ske, og hvor hurtigt forbruget stiger. Og efterhånden som verdensøkonomien bliver mere og mere afhængig af olie fra landene omkring den Persiske Golf (Saudi Arabien, Irak, Iran m.fl.), Rusland og lande i Centralasien, bliver det mere og mere et spørgsmål om politik og krig og fred i disse lande. Udvinning af det tjæresand, der findes i store mængder i Canada og Venezuela³, kan udskyde vendepunktet nogle få år med store miljøbelastninger til følge.

Men under alle omstændigheder kan vi se, at hvis forbruget fortsætter med at stige, så bliver den situation, der opstår, når stigningen ophører og afløses af et fald, værre og værre jo længere tid der går, før det sker. Oliemangel vil jo skabe endnu større krise i en verden, hvor befolkningstallet er steget til 7 eller 8 milliarder mennesker, og hvor antallet af biler er vokset fra de nuværende ca. 700 millioner til

2) Med den nuværende stigning i det globale naturgasforbrug forventes tidspunktet, hvor produktionen ikke længere kan dække forbruget, at indtræde et årti eller to efter, at olieproduktionen ikke længere kan følge med. Men når der bliver knaphed på olie, vil naturgasforbruget stige yderligere, fordi olie mange steder kan erstattes med naturgas, og man også kan lave olie af naturgas. Derved fremrykkes det tidspunkt, hvor heller ikke naturgasproduktionen kan følge med.

3) Tjæresand er sandaflejringer mættet med en sej tjære (bitumen) ligesom den klæbrige substans, der sætter sig mellem tæerne, når vi bader fra en olieforurennet strand. Ved opslætning i varmt vand kan tjæren udskilles. Derefter kan man lave olie af den i en proces, hvor den tilføres brint.

1 milliard, og der er endnu flere lastbiler, landbrugsmaskiner, fly osv. igang end i verden i dag. Og vi kan se, at en fortsat stigning i olie- og naturgasforbruget betyder, at CO₂-udslippet vil fortsætte med at vokse - endnu hurtigere, hvis en betydelig del af olieforbruget bliver dækket af olie fremstillet af tjæresand, naturgas eller kul.

DET VI HÅBER

En energipolitik til det fælles bedste er en realistisk politik, der går ud på at udnytte de muligheder, der i praksis tegner sig for at gennemføre ombygningen af vores energisystem på en samfundsøkonomisk hensigtsmæssig måde.

Vi håber, at vi med denne bog kan bidrage til udbredelsen af nyttig viden, der kan give grundlag for en fornyet energipolitisk debat.

Menneskeheden står over for vækstproblemer af et omfang, der aldrig før er set magen til i dens lange historie. Spørgsmålet er, om mennesker kun kan lade stå til og lade problemerne løse sig selv med alt, hvad dette måtte medføre for livet på Jorden. Eller om mennesker i fællesskab er i stand til og endnu har tid til at udnytte al den viden og tekniske kunnen, samfundet har indhentet i oliealderen, til at tage hånd om problemerne på en konstruktiv måde.

En ombygning af vores energisystem, sådan at det bliver meget mindre afhængigt af fossile brændsler, er nødvendig for at skabe et nyt grundlag for et fremtidigt velfærdssamfund. En energipolitik til det fælles bedste er en realistisk politik, der går ud på at udnytte de muligheder, der i praksis tegner sig for at gennemføre ombygningen på en samfundsøkonomisk hensigtsmæssig måde. I et demokratisk samfund må en energipolitik til det fælles bedste bygge på en udbredt viden om de basale vilkår for samfundets velfærd. Ellers er der ikke et realistisk grundlag for en konstruktiv politisk debat. Vi håber, at vi med denne bog kan bidrage til genopfriskning og videre udbredelse af grundlæggende viden og afstedkomme overvejelser, der kan afføde en fornyet energipolitisk diskussion af mål og midler.

DET VI SKRIVER OM

Del 1: Når vi tænker over det

Del 2: Olietiden

Del 3: Energiteknik

Del 4: Tekniske og samfundsøkonomiske udviklingsmuligheder

Del 5: Energipolitik i el- og CO₂-kvotemarkedet

Bogen er opdelt i fem dele. I den første del går vi en tur i det museum, hvor man kan se, hvordan det hele er blevet til. På turen får vi en hel del at tænke over. Vi begynder i den nyere tid, hvor vi ser en vækst som aldrig før i historien. For 30 år siden, dukker ordet "energi" op i politik og økonomi. Når vi tænker over, hvad dette ord egentlig betyder i livet her på Jorden, kommer vi til at gå længere tilbage i historien. På turen genopfrisker vi den almindelige forståelse af de forhold på Jorden, ordet "energi" i virkeligheden er udtryk for.

I bogens anden del er vi tilbage i nutiden. Midt i den kortvarige tid i Jordens historie, som kommende generationer vil se tilbage på som olietiden. I larmen fra stadigt flere biler og flyvemaskiner gør vi tallene op, og ser at afslutningen af denne tid er tættere på, end vi troede for nogle år siden. Nu er der ingen tid at spille, hvis samfundet skal undgå at løbe ind i uoverskuelige problemer, fordi det ikke i tide har forberedt sig på den nye situation, der opstår, når væksten i olieforbruget afløses af et fald.

Tredie del handler om de teknikker, der i de kommende år vil kunne bruges til at gøre samfundet mindre afhængigt af fossile brændsler. Det drejer sig på den ene side om mere energi-effektive el-apparater og varmeisolering af bygninger, der kan formindske behovet for el- og varmetilførsler. På den anden side om alt det maskineri - de kraftværker, kraftvarmeværker, vindmøller m.m. - der skal sørge for disse tilførsler.

Det bliver hurtigt klart, at de sædvanlige opgørelser af energiforbrug i bygninger og industrier ikke dur til at regne ud, hvor meget de forskellige forbrug påvirker brændselsforbrug og CO₂-udslip i de nuværende og de mulige fremtidige forsyningssystemer. Og det er først og

fremmest det, man skal regne ud, når det gælder om at formindske det samlede brændselsforbrug og CO₂-udslip på en økonomisk fornuftig måde. Derfor må det nøjere undersøges, hvordan de investeringer, der skal til, kan komme til at spille sammen på en hensigtsmæssig måde. Man må se på energisystemet som en helhed. Det gør vi i bogens fjerde del, hvor vi ser på energisystemets sammensætning og forklarer, hvordan forskellige udviklingsmuligheder - scenarier - kan belyses.

I bogens femte del beskæftiger vi os med de nye markeder: el-markedet og CO₂-kvotemarkedet. I deres nuværende form har disse markeder kraftigt begrænset mulighederne for at tilrettelægge en konstruktiv energipolitisk planlægning, der er målrettet mod nedtrapning af fossilt brændselsforbrug og CO₂-udslip på en samfundsøkonomisk hensigtsmæssig måde. I det sidste kapitel viser vi nogle eksempler på, hvordan det kunne lade sig gøre, hvis mulighederne for at planlægge og gennemføre de investeringer, der skal til, var til stede.

FORM OG STIL

Fortællingerne er skrevet i et dagligdags sprog, og de illustrerede sider kan forhåbentlig hver især fortælle deres del af historien. Kapitlerne kan læses hvert for sig i den rækkefølge, hvori de fanger læserens opmærksomhed.

Bogen er en række fortællinger om verdens indretning, og en kritisk diskussion af den virkelighedsopfattelse, der i de senere år har sat dagsordenen for den energipolitiske og økonomiske debat. Fortællingerne er skrevet i et dagligdags og ligefremt sprog, og de illustrerede sider kan forhåbentlig hver især fortælle deres del af historien.

Man behøver ikke at læse bogen fra den ene ende til den anden. Kapitlerne kan læses hvert for sig i den rækkefølge, hvori de fanger læserens opmærksomhed. Men hvis man vil have det hele med, kommer man nogle steder til at blade lidt frem og tilbage, fordi det har været nødvendigt at

henvise til steder i andre kapitler. Andre steder vil man finde, at en del af historien er en gentagelse ud fra en lidt anden synsvinkel af noget, der også er beskrevet i et andet kapitel. Det er en mindre omkostning, der følger med, når hvert kapitel skal kunne læses for sig.

Som det allerede har vist sig på de foregående sider, er teksten forsynet med adskillige fodnoter, nogle temmeligt lange. Nogle af fodnoterne forklarer kort betydningen af særlige ord, andre er supplerende oplysninger eller forklaringer. Enkelte angiver kilder til tal, der indgår i teksten.

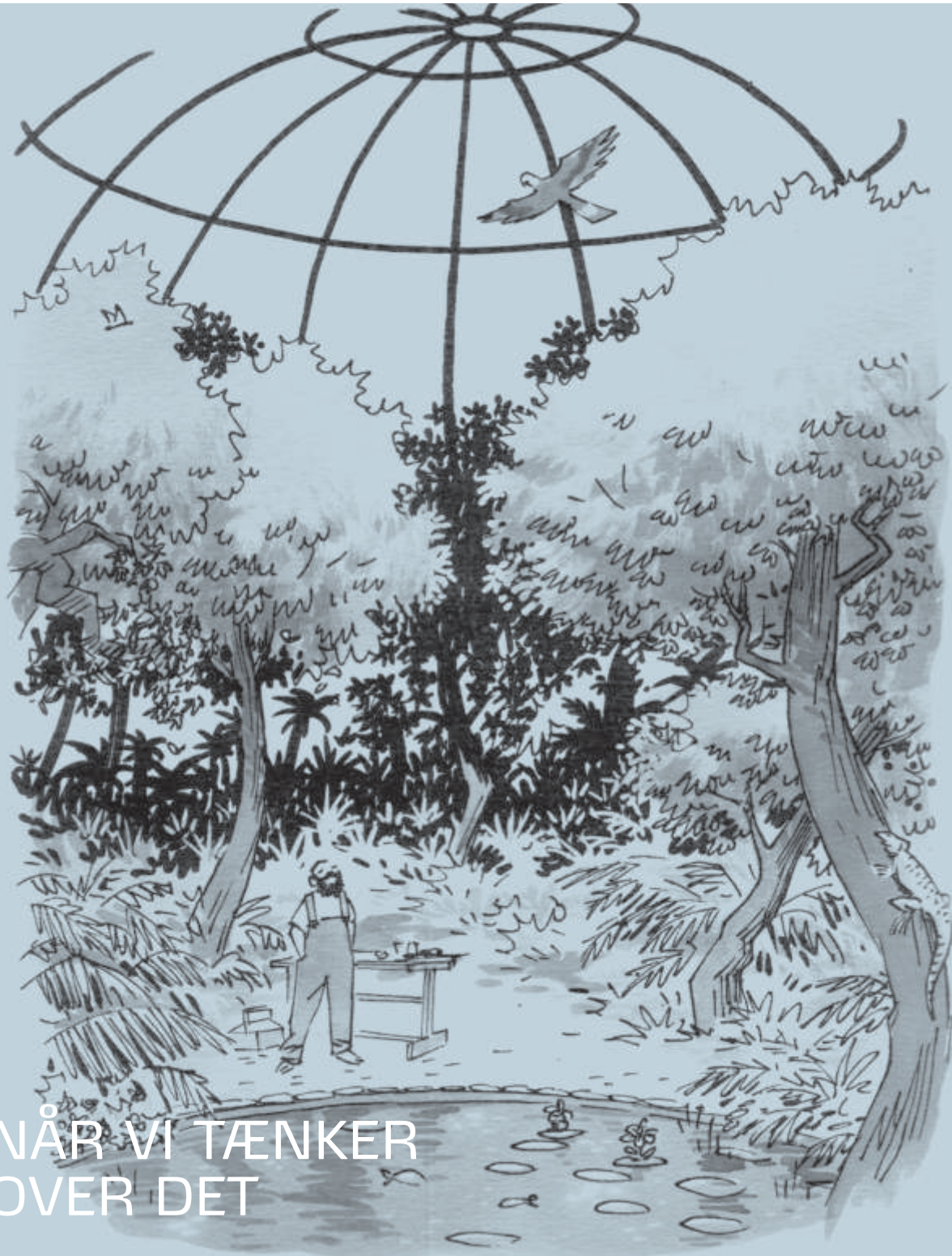
I kapitel 4 løber man ind i et nyt ord: Exergi. Det klinger ikke særlig godt på dansk, men det dukker hyppigere og hyppigere op i energidebatten, ofte som noget, der er omgivet af stor mystik. Det tager nogle sider at løfte sløret for denne mystik, men det er umagen værd, fordi exergi er nøglen til forståelsen af, hvordan man kan sætte tal på effektiviteten af forskellige anlæg og maskiner. Og i vore dage, hvor energieffektivitet er et nøgleord i energipolitiske programerklæringer, er det vigtigt, at de, der deltager i debatten, ved, hvor de største muligheder for at forbedre effektiviteten er at finde.

FYSISKE ENHEDER OG TAL

På side 149 findes en oversigt over energi-enhederne samt nogle talværdier, der kan give en fornemmelse af størrelsesforholdene.

AFKLARENDE SPØRGSMÅL OG KRITISKE KOMMENTARER

Alle er velkomne til at stille os spørgsmål om forhold, det ikke er lykkedes os at beskrive tilstrækkeligt klart og forståeligt. Og vi vil være meget taknemmelige for kritiske kommentarer og påpegninger af fejl og væsentlige mangler, vi måtte have gjort os skyldige i. Især hvis kritikken fremføres i offentlige medier.



NÅR VI TÆNKER
OVER DET

DEL 1

1. VÆKST OG VELFÆRD

Siden bøndernes frigivelse med stavnsbåndets ophævelse i 1788 - 1800 og indførelsen af den almindelige skolegang (undervisningspligt) i 1814 har borgere, arbejdere og bønder gennem målrettede politiske kampe, men uden revolution, udviklet det danske samfund, så det i rigdom nåede så vidt, at der ved udgangen af 1980'erne endnu var forholdsvis få, der havde for meget, og færre, der havde for lidt. Der var skabt et sammenhængende civilsamfund, et velfærdssamfund der havde rødder i Juni-grundloven af 1849, højskolerne, andelsbevægelsen og ikke mindst i arbejdernes faglige og politiske indflydelse gennem fagbevægelsen og Socialdemokratiet. Det var lykkedes at skabe velstand og at fordele velstanden nogenlunde rimeligt. Men den rigtigt store velstandsstigning, der begyndte i 1950'erne, kom ikke alene ved håndens og åndens arbejde. Uden nye hestekræfter var vi ikke nået så vidt.

1.1 DE NYE HESTEKRÆFTER

Det er svært at forestille sig, hvordan en økonomisk vækst af den art, vi har oplevet siden 1950'erne, kunne være blevet til noget, hvis der ikke i 1950'erne og 1960'erne var blevet fundet store olie-felter i USA, Mellemøsten og Sydamerika. Det er en geologisk tilfældighed i Jordens historie, at de overhovedet fandtes.

I dag bor vi i et samfund, der kun kan fungere i kraft af ubegrænsede tilførsler af billig olie.

I 1945 var der 600 000 arbejdsheste i Danmark. De trak de dengang 450 000 bønders plove, harver og selvbindere og mælkevognene fra staldene til de mange små andelsmejerier. I løbet af 1950'erne blev de naturlige hestekræfter afløst af benzin- og dieselmotorernes: i traktorer, mejetærskere og lastbiler. Mange bønder blev arbejdere i den hurtigt opvoksende industri. Den første motorvej, Helsingør-motorvejen, blev anlagt.

Udviklingen af velfærdssamfundet var begyndt. Den ældre generation husker, hvordan mange industriarbejdere, landarbejdere og små husmænd levede i årene efter krigen. Tove Ditlevsen har beskrevet livet i arbejderboligerne i forhuse og baghuse på Vesterbro og Nørrebro med lokummer i gårdene, hvor tuberkulosen lurede. I Matador så vi nogle glimt af arbejdernes liv som baggrund for borgerskabets. Hvis vi havde set ind i skolegården, havde vi blandt de mere velståendes børn set nogle forhutlede unger, der kom barfodede i skole. Privatbilen var forbeholdt direktøren, apotekeren, lægen og andre i det bedre borgerskab. Arbejdere og bønder blev, hvor de var, år for år. Men allerede i 1950'erne begyndte VW-boblen, den lille Fiat 500 og andre små biler at fylde op i gadebilledet blandt ældre biler, der havde overlevet krigen. Søndagsture på landet blev flere til del. Saneringen af byernes slumkvarterer kom i gang og tuberkulosen blev udryddet. Flere og flere fik råd til de udlandsrejser Eilif Krogagers Tjæreborgrejser og andre nyopdukkede rejsebureauer arrangerede.

I 1960'erne tog udviklingen fart. Der kom der for alvor gang i parcelhusbyggeriet rundt om hovedstaden og provinsbyerne. Det kunne lade sig gøre, fordi husene kunne varmes op med billig olie; kul ville jo være alt for besværligt og forurenende. Og fordi der hørte en bil til de fleste nye parcelhuse, så man(den) let kunne komme på arbejde langt væk. I 1960 var der 90 personbiler for hver 1000 indbyggere. I 1970 var der 225.

I dag har vi mere end 100 millioner olie-hestekræfter under motorhjelmen i vores to millioner biler. Og vi har flere hestekræfter i motoriserede plæneklippere, havefræsere og lystbådsmotorer end de 600 000 arbejdsheste kunne præstere i 1945. Dertil kommer mere end hundrede olie-hestekræfter i hver bus, lastbil og traktor og i hver af de tunge entreprenørmaskiner, der bruges til vejbyggerier og alle andre bygge- og anlægsarbejder.



FIGUR 1.1

Hvis ikke olien havde været så billig...



...havde vi måske fået byer, der havde været rarere at bo i.
Men hvor var elektriciteten kommet fra?

Uden billig olie i rigelige mængder fra de store oliefelter, der i 1950'erne og 1960'erne blev fundet i USA, Mellemøsten og Sydamerika, var denne udvikling ikke sket. Den begrænsede mængde olie, der ville have været til rådighed, ville have været forbeholdt de virksomheder, hvor den virkelig lettede en produktion, som ikke så let kunne elektrificeres: først og fremmest landbrug og tungt entreprenørarbejde, og selvfølgelig krigsmaskinerne i første række. Ingen ville have haft råd til at misbruge et så dyrebart brændstof som olie ved at brænde det af i primitive bål i oliefyr.

Vores verden i dag ville have set anderledes ud. Byudviklingen ville have taget en anden form. Sporvognene ville ikke være blevet nedlagt, men nok være blevet udviklede til komfortable transportmidler. Og vi ville nok have haft et tæt, elektrificeret jernbanenet med komfortable, hyppige persontog, og en effektiv, hurtig godstransport mellem byerne. Men hvor var elektriciteten kommet fra? Fra mange flere kulfyrede kraftværker? Fra atomkraftværker? Vindmølleindustrien havde nok ikke fået tid til at få fodfæste.

Den nye danske energiplanlægning under oliekriserne 1973 - 1980 beroede på tilfældigheder. Nemlig den tilfældighed, at livet i en fjern fortid tilfældigvis efterlod nogle dybe aflejringer, som blev til olie og gas. Og den tilfældighed, at en del af den olie og gas, der blev dannet under nutidens Nordsø, blev gemt til os under tætte bjergarter, der forhindrede olien og gassen i at undslippe til jordoverfladen. Men tilfældigvis er denne lækkerbissen ikke større, end at vi har kunnet spise toppen af den på 30 år. Olieproduktionen i Nordsøen er nu faldende⁴.

1.2 DET NÆSTE KAPITEL I HISTORIEN

Vores velfærdssamfund er en del af en global økonomi, der er i rivende udvikling på et uholdbart ressourcegrundlag.

Dette korte kapitel i historien er ved at være forbi. Den

hastige økonomiske vækst i Kina og Indien og formodentlig også snart i Rusland og Sydamerika kræver olie til millioner flere biler og lastbiler på tusinder af kilometer nye motorveje og til flere og flere flyvemaskiner og skibe. Og væksten i USA og Europa fortsætter omend i et langsommere tempo end i de nye store industrisamfund. Samtidigt stiger naturgasforbruget, så det i hurtigt voksende omfang må dækkes af oversøiske forsyninger, især fra Mellemøsten, transporteret som flydende gas i tankskibe. Og naturgasprisen stiger i takt med olieprisen.

Kinas og Indiens befolkninger udgør tilsammen en trediedel af Jordens befolkning. I Kina er olieforsyningen allerede et problem. Kina er derfor meget aktiv med at sikre sig olieforsyningskontrakter og deltage i olieefterforsknings- og udvindingsprojekter i Mellemøsten, Afrika, Sydamerika, Sibirien og Centralasien. Også i Indien tager industrialiseringen med tilhørende motorvejsbyggerier fart.

Hele verdensøkonomien bliver på den måde mere og mere afhængig af olie, og som beskrevet i kapitel 5 nærmer vi os hurtigt det punkt, hvor produktionen ikke længere kan følge med efterspørgslen. Og skulle det lykkes at forøge produktionen i takt med forbrugsstigningen i endnu 10 eller 20 år, vil situationen til den tid være endnu værre. For i en verdensøkonomi, hvor antallet af biler er vokset fra de nuværende omkring 700 millioner til 1000 eller 1500 millioner, og antallet af lastbiler og fly er vokset tilsvarende, vil en nedgang i olieproduktionen have endnu voldsommere virkninger. Og jo længere det lykkes at presse olieproduktionen i vejret, jo stejlere bliver nedturen, når det ikke længere kan lade sig gøre.

Dertil kommer, at det globale CO₂-udslip fra afbrænding af olie, naturgas og kul skal nedbringes. De lande, der har ratificeret Kyoto-aftalerne har forpligtet sig til at bremse stigningen i CO₂-udslippet. I EU er der opnået enighed om nedtrapninger eller begrænsninger, der skal resultere i, at udslippet af drivhusgasser fra EU-området i 2012 bliver 8% mindre, end det var i 1990. Men de formindskelser, Kyoto-aftalerne forpligter landene til at gennemføre, er langt fra

4) The International Energy Agency: World Energy Outlook 2002, Chapter 3.

tilstrækkelige til at bremse klimaændringer. Der skal meget mere til.

Vores velfærdssamfund er en del af en global økonomi, der således er i rivende udvikling på et uholdbart ressourcegrundlag. Vi kan ikke løse alle verdens problemer. Men hvis vi ikke her i landet med den rigdom og teknologiske kunnen, vi endnu råder over, og de demokratiske beslutningsgange, vi har tradition for, kan skabe et holdbart grundlag for vores velfærdssamfund, så kan det nok heller ikke lade sig gøre i andre lande. Vi må tage bestik af realiteterne i verdenssituationen og finde ud af, hvad der i praksis skal til for at skabe et holdbart velfærdsgrundlag her i landet. I håbet om, at vi finder løsninger, der også kan bruges i andre lande. Tiden er knap, for vækstproblemerne trænger sig på dag for dag. Spørgsmålet er, om vi magter det, eller om det næste kapitel i historien skriver sig selv med mennesker som ufrivillige aktører i en udvikling, der går sin egen gang.

1.3 VÆKSTENS MATEMATIK

Det vi kan lære af vækstens matematik er, at vækstens grænser synes langt væk, selvom de er tæt på. I en verden, hvor plads og ressourcer er begrænsede, kan det gå fremad og opad uden problemer, lige indtil det går helt galt.

Vandhyacinter formerer sig hurtigt. Lad os sige, at én plante bliver til 3 på 5 dage. Vi sætter én plante ud i en sø. Efter 5 dage er den blevet til 3. Efter 10 dage er hver af disse 3 blevet til 3, og så er der $3 \cdot 3 = 9$. Efter 15 dage er der $3 \cdot 3 \cdot 3 = 27$. Antallet efter 50 dage ($5 \cdot 10$) finder vi ved at gange med 3 ti gange. Det bliver 59049.

Lad os forestille os, at det er en meget stor sø, så der går 10 år, før 1/10 af dens overflade er dækket med vandhyacinter (figur 1.2). Hvor lang tid går der så, før hele søen er vokset til?

Efter 5 dage skal vi gange med 3, dvs. at så er 3/10 blevet dækket. Efter endnu 5 dage skal vi igen gange med 3. Så er

9/10 eller 90% blevet dækket. Så svaret er, at det kun tager ca. 11 dage.

Et sådant vækstforløb kaldes eksponentiel vækst. Det går langsomt i starten, men så tager væksten fart.

Lad os nu se på en udvikling, der forløber i en langsomme takt. Omtrent i samme takt som den økonomiske vækst, der har stået på i de sidste årtier. Lad os tænke os, at vi har en naturressource. En skov med gavntræ, se figur 1.3. Hvis der er 10 000 træer i skoven, og der fældes 100 hvert år, og der ikke plantes nye, så vil der gå 100 år, før der ikke er flere træer tilbage. Men hvis træforbruget vokser år for år, f.eks. med 3% om året, så fældningen sker hurtigere og hurtigere, så får vi et andet forløb⁵:

Det første år fældes 100 træer, næste år 103, næste igen 106, så 109, 113, 116 om året. Efter 20 år bliver det til 180 træer om året. Efter 31 år er der halvdelen af skoven tilbage. Derefter går der kun 16 år, før træfældningen er oppe på 400 træer om året, og det sidste træ fældes.

Eller sagt på en anden måde: Hvis træfældningen begyndte i 1980, ville 3/4 af træerne stå tilbage i år 2000. Men allerede i 2020 ville næsten hele skoven være væk.

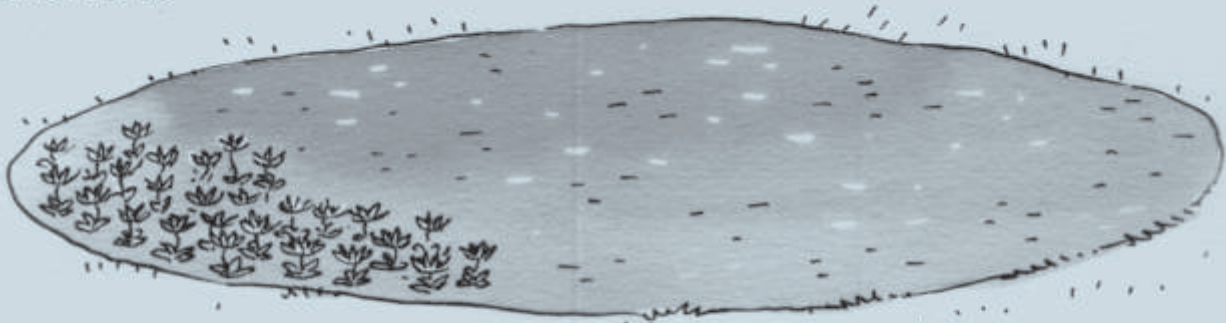
Sådan forsvandt store skove i Europa i 1600-tallet, hvor der var en kraftig vækst i træforbruget til uds melting af jern til artilleri og skibskanon, bygning af store krigsskibe og handelsflåder, brænding af mursten til slotte og herregårde og meget mere, og hvor skove blev ryddet for at få mere landbrugsjord. Den ressourcekrise, der opstod, da træ blev en mangelvare, blev løst med ny teknologi: Dampmaskinen blev opfundet. Med dampmaskiner kunne man skaffe kul til dampmaskiner, og med kul og dampmaskiner kom der med industrialiseringen gang i en ny eksponentiel vækst.

Med olie til benzin- og dieselmotorer og til kraftværker og oliefyr kom det til at gå endnu hurtigere. Som vist i figur 1.4 kunne væksten i olieforbruget i tiden fra 1930 til 1980 dækkes af nye store oliefund. Endnu er der mere end halvdelen tilbage af den samlede mængde olie det forventes, at der kan udvindes af alle verdens olieforekomster. Men med den nuværende vækst i olieforbruget på omkring 2% om

5) Vi kender det fra rentesregning. Hvis vi skylder penge og renten er 4% = 0.04 om året, skal vi hvert år gange vores restgæld med $1 + 0.04 = 1.04$, hvis vi ikke indbetaler renter og afdrag..

EKSPONENTIEL VÆKST er den form for vækst, man oplever, hvis man låner penge til en fast rente, og ikke betaler tilbage på lånet og heller ikke betaler renterne. Hvis lånet er på 1000 kr. og renten er 5% om året, skylder man efter 1 år $1000 \cdot 1.05 = 1050$ kr, efter 2 år $1050 \cdot 1.05 = 1103$ kr, og så videre. Efter 10 år er gælden 1629 kr, efter 20 år 2653 kr. Efter endnu 10 år bliver det til $1000 \cdot 1.05 \cdot 1.05 \cdot 1.05 \dots \cdot 1.05$ fyrre gange, eller 7040 kr.

EFTER 10 ÅR



EFTER 10 ÅR OG 10 DAGE



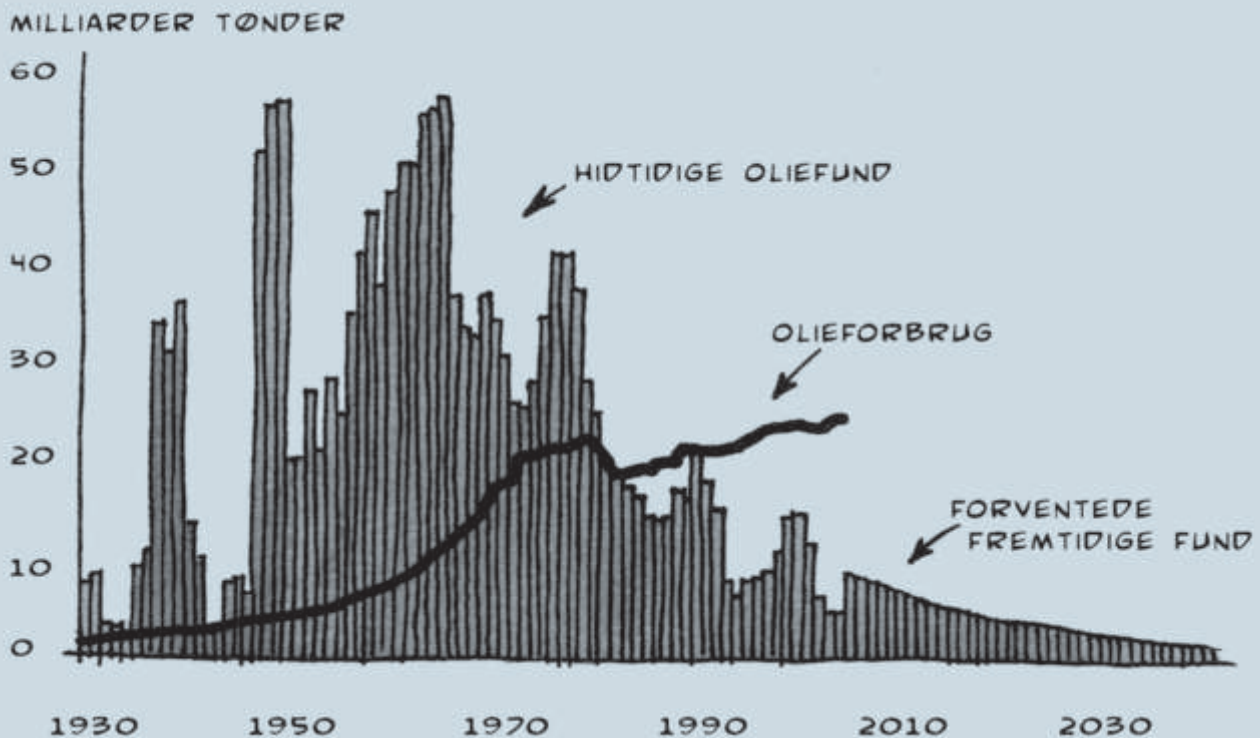
EKSPONENTIEL VÆKST

FIGUR 1.2. I en stor sø udsættes et par vandhyacinter. De formerer sig hurtigt. Hver plante bliver til 3 på 5 dage. Efter 10 år er 1/10 af søens overflade dækket af vandhyacinter. Det er tilsyneladende et overskueligt problem. Men så går der kun 10 dage, før næsten hele søen er dækket.



RESSOURCEFORBRUG VED EKSPONENTIEL FORBRUGSVÆKST

FIGUR 1.3 I en stor skov fældes træ til møbler. Efterspørgslen efter træ stiger, så antallet af træer, der fældes, hvert år vokser med 3%. Efter 20 år er 1/4 af skoven fældet. Der er endnu mange træer tilbage. Men der går kun 20 år mere, før der ikke er mere skov tilbage.



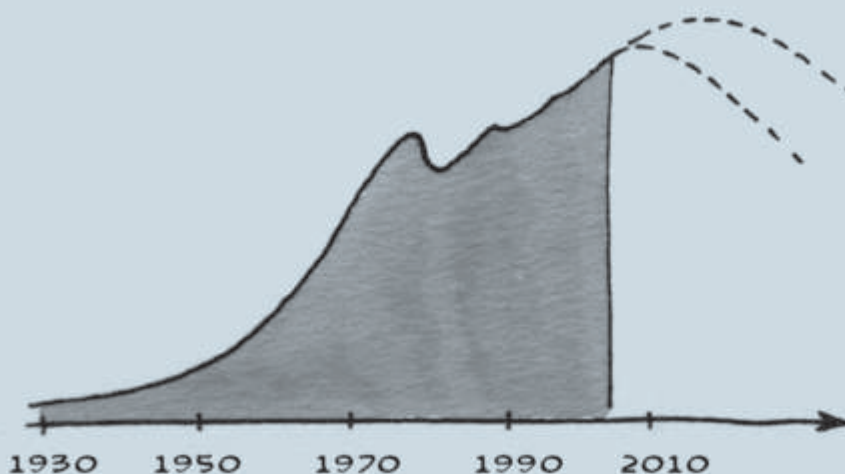
FIGUR 1.4 Oliegeologer og ingeniører forventer, at der fra de oliefelter, der indtil nu er fundet, i alt vil kunne udvindes 2–3000 mia. tønder olie (1 tønde = 157 liter), indbefattet de ca. 1000 milliarder tønder, der allerede er blevet udvundet. Figuren viser år for år, hvor meget der i alt forventes udvundet fra felter, der blev fundet i hvert år. Det ses, at de oliefelter, der blev fundet i årene fra 1940'erne til 1980'erne, tegner sig for langt den største mængde. Det vil sige, at det meste af den olie, der produceres i dag, kommer fra felter, der er 20–50 år gamle. I de sidste 20 år har nye fund ikke opvejet forbruget, så der tæres stadigt hurtigere på reserverne.

(Kilde: ExxonMobil, 2002, og Colin Campbell)

Én ting står klart: den billige olies tid er forbi.

"One thing is clear: the era of cheap oil is over."

David J. O'Reilly, Chairman & CEO, Chevron Corporation, i The Economist, 23. juli 2005



FIGUR 1.5 Verdens olieforbrug. Den voldsomme stigning i olieforbruget – bortset fra faldet under oliekriserne 1973–80 – skyldes, at der i verdens rige samfund er sket en økonomisk vækst, der først og fremmest er baseret på rigelig forsyning af billig olie. Olieproduktionen kan ikke fortsætte med at stige i de kommende årtier. Produktionen fra mange af de gamle oliefelter, der blev fundet i årene 1940–1980, er allerede faldende. De nye felter, der stadig findes, er ikke store nok til at opveje både den faldende produktion fra gamle felter og den fortsat stigende efterspørgsel.

året går der højst 10 - 15 år, før halvdelen er brugt. På det tidspunkt vil forbruget være steget med yderligere 30 - 45%, afhængigt af hvor lang tid, der går. Derefter vil produktionen ikke længere kunne forøges, men snart begynde at falde, fordi olien flyder langsommere, efterhånden som felterne bliver tømt, se figur 1.5. Mere herom i kapitel 5.

Med olieforbruget forholder det sig således anderledes end med træforbruget i eksemplet ovenfor. Forbruget af træ fra en skov kan vokse eksponentielt, indtil det sidste træ er fældet. Men olieforbruget kan kun vokse eksponentielt indtil cirka halvdelen af den mængde, der kan udvindes, er forbrugt. Derefter topper produktionen og dermed forbruget.

Det vi kan lære af vækstens matematik er således, at vækstens grænser synes langt væk, selvom de er tæt på. I en verden, hvor plads og ressourcer er begrænsede, kan det gå fremad og opad uden problemer, lige indtil det går helt galt.

Nogle tror, at global økonomisk vækst baseret på et stadigt voksende olieforbrug kan fortsætte langt ud i fremtiden. Men når man sammenholder befolkningstilvæksten med fordelingen på befolkningerne af den vækst i olieforbruget, der skal til (se figur 1.6 og 1.7), kan man se, at det ser ud til at gå helt galt.

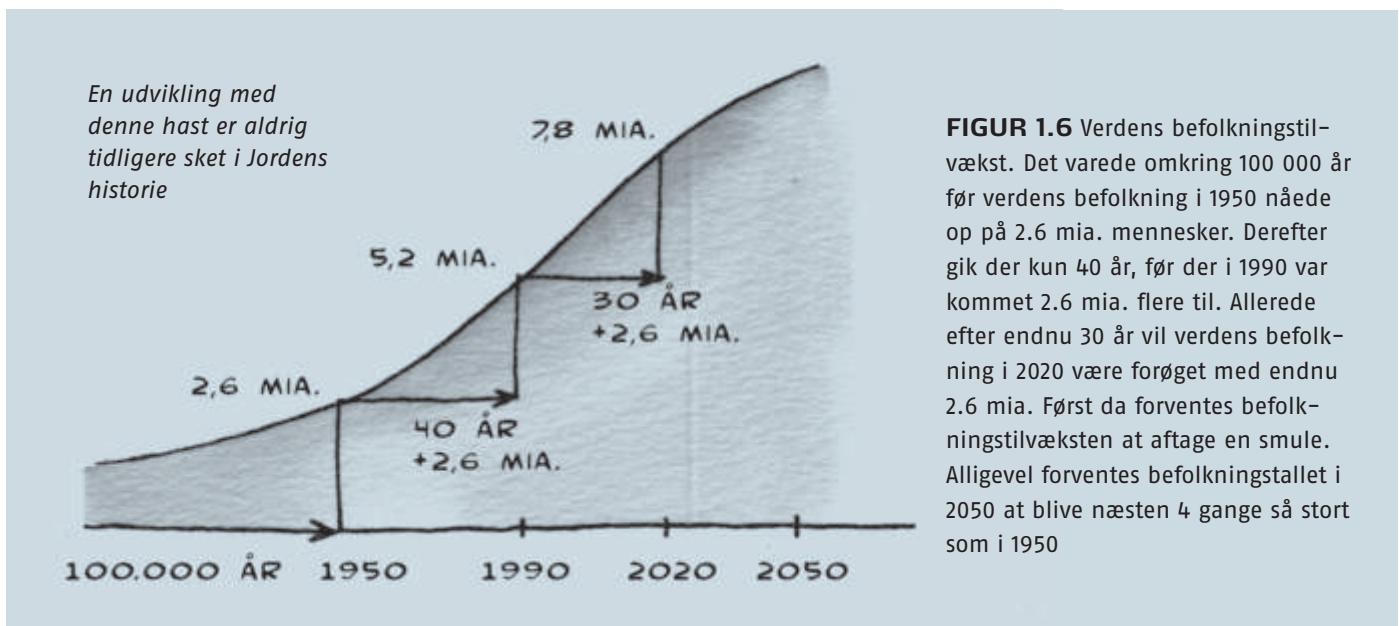
1.4 VÆKSTENS GLOBALISERING

Det minder om tiden før stavnsbåndets ophævelse i 1788 - 1800. Dengang sørgede fattige bønder og håndværkere for, at det rige mindretal af grever, baroner og herremænd blev rigeligt forsynet med fine klæder, god mad og fornemme møbler, som de kunne nyde i deres slotte og herregårde. Nu er det bare os - eller de fleste af os - der er grever, baroner og herremænd. De fattige bønder, arbejdere og håndværkere befinder sig langt væk.

For 50 år siden var det meste af det, der blev produceret her i landet, fødevarer, klæder, huse og meget andet til

dagligt brug. Alt det der var nødvendigt for enhver familie for at klare dagen og vejen og have lidt ekstra til pænt brug og fornøjelser. Eksport af smør og bacon - mest til England - og en voksende eksport af industrivarer indbragte fremmed valuta, så der efterhånden også blev råd til biler, benzin og olie til de mange oliefyr i villaer og nye parcelhuse. Nye veje skulle der også til i takt med byggemodningen af parcelhusgrunde rundt om byerne og den voksende landevejstransport mellem byer og landsdele. Der blev arbejdet for velfærd og velstand i familierne. Og med rigelig billig olie til entreprenørmaskiner og landbrugsmaskiner gik det hurtigt fremad, og det var allerede dengang billigt at tage bilen i stedet for bussen, toget eller cyklen. De fleste familier fik hurtigt bedre råd til det, der lå ud over de daglige fornødenheder. Hvad de ikke fik mere af, var tid. Og det skal huskes, at det hele ikke var gået så stærkt, hvis ikke kvinderne havde forladt de huslige arbejdspladser og fået beskæftigelse i industrien og den hurtigt voksende offentlige sektor. Det var en væsentlig del af teknologiudviklingen: Uden køleskabe, fryser, vaskemaskiner, el-komfurer, oliefyr, biler m.m. kunne kvinderne ikke have forladt de ulønnede hjemlige arbejdspladser i de hurtigt opvoksende parcelhuskvarterer; og hvis kvinderne ikke havde tjent en månedsløn hjem, var der ikke så hurtigt blevet råd til parcelhuse og alle disse ting.

Nu er tiderne skiftet. Der er varer i overflod overalt. Flere og flere bliver produceret af lavtlønnede andre steder på kloden. Der skal gøres en stor indsats for at få det hele solgt. Når vi køber en vare, betaler vi også løn til alle dem, der arbejder i reklamebranchen, og til alle medarbejderne på de reklamefinansierede TV- og radiostationer, gratisaviser, annonceblade og til dels til dagbladene og ugebladene medarbejdere. Og selvfølgelig også til funktionærer og arbejdere i landevejs-, søvejs- og flytransportvirksomheder og i grossistvirksomheder og detailhandel. Bondegårde og fabrikker er blevet afløst af indkøbscentre og kontorbygninger, hvor der med mus og tastatur arbejdes med køb og salg af varer og goder. Bankerne har meget arbejde ved computerskærmene med at holde styr på de tal - pengene - der



viser, hvor stor en del af kagen, vi hver især på den ene eller den anden måde har opnået ret til. Den offentlige sektor er suverænt den største arbejdsplads i fordelingsystemet.

Der produceres stadig varer her i landet, men det er stort set ligegyldigt, hvad der produceres, bare det kan afsættes på verdensmarkedet, inklusive hjemmemarkedet, til en pris, der ligger passende over udviklings-, produktions-, transport- og reklameudgifterne. Det er den såkaldt højteknologiske produktion med et stort vidensindhold, der sættes på.

I denne tid består økonomisk vækst således af

- en kraftigt voksende vareproduktion i lande, hvor bønder og industriarbejdere endnu ikke selv har penge til at købe de varer, de producerer.
- en stadigt hurtigere pengeomsætning i de utallige kontor- og varehuse i de rige lande.

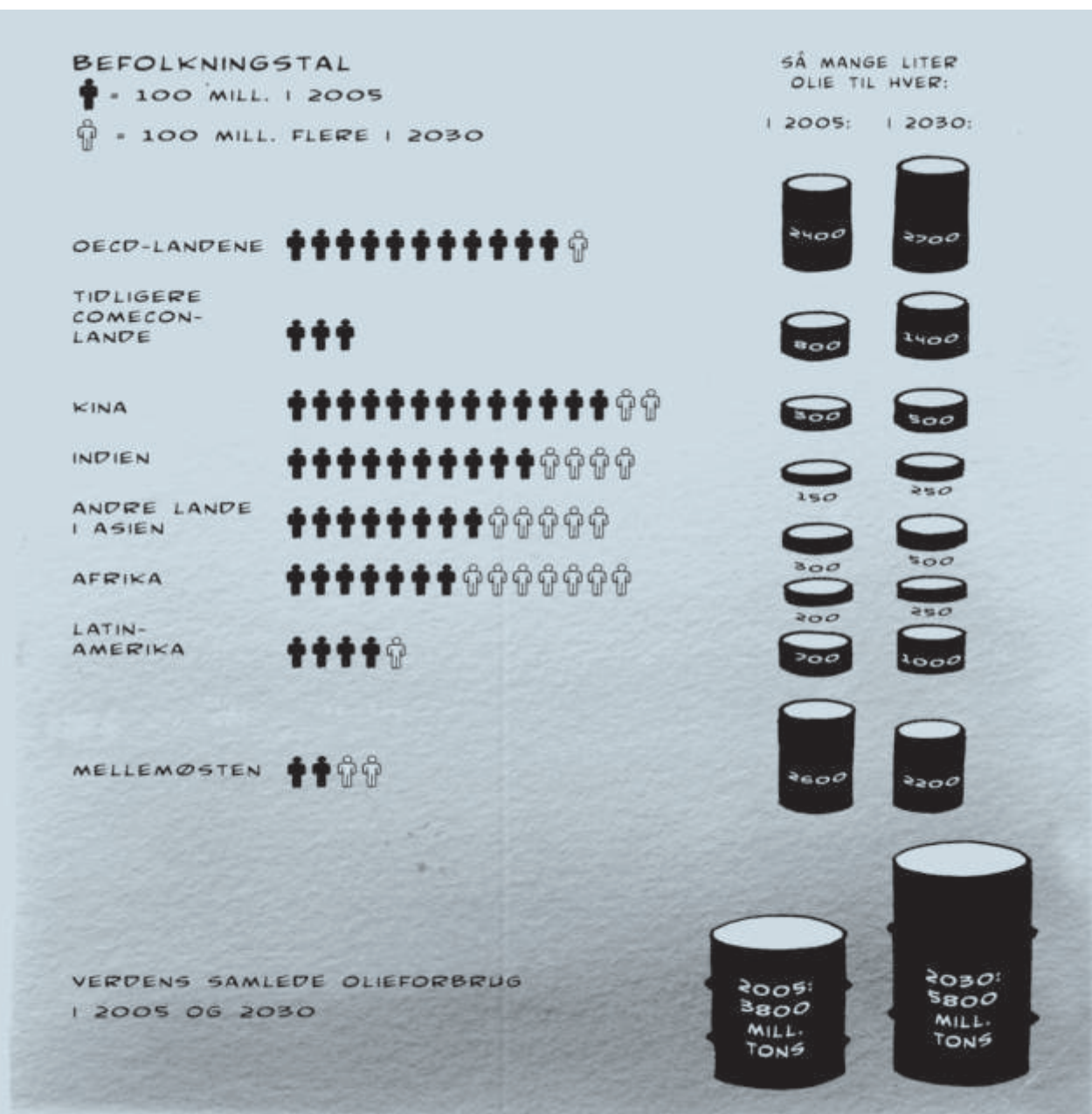
Velforsynede med billige varer kan de fleste af os i vores del af verden bruge vores tid på kontorarbejdspladser og i butikker - og en hel del af den i biler, busser, tog og fly. Nye

huse, køkkener og badeværelser kan vi også bruge arbejdstid på at bygge og installere.

Det minder om tiden før stavnsbåndets ophævelse i 1788 - 1800. Dengang sørgede fattige bønder og håndværkere for, at det rige mindretal af grever, baroner og herremænd blev rigeligt forsynet med fine klæder, god mad og fornemme møbler, som de kunne nyde i deres slotte og herregårde. Nu er det bare os - eller de fleste af os - der er grever, baroner og herremænd. De fattige bønder, arbejdere og håndværkere befinder sig langt væk.

Som økonomiske vismænd siger: Vi bliver rigere her i landet, når arbejdspladserne flyttes ud i lavtlønslandene. Helt klart. Men vi har det problem, at fordelingen af goderne i princippet sker i forhold til de lønindkomster, de enkelte borgere kan skaffe sig⁶. Hvis ikke alle kan få en arbejdsplads, er der nogle - eller mange - der ikke bliver herremænd. Umiddelbart skulle man tro, at der kunne skaffes arbejdsplads til alle ved at nedsætte arbejdstiden. Men det lader sig af flere grunde ikke gøre uden en revolution i den globale økonomiske kultur.

6) Kun i princippet. For når man først er kommet med på vognen, kan man skaffe sig store indtægter ved at tappe penge kredsløbet. Lånomlægninger til lavtforrentede lån har skæppet godt i kassen i mange familier, og husprisernes himelflugt har flyttet rundt på formuer. Arbejdsløse indtægter på aktiemarkedet er heller ikke at kimse af. Så arbejdsfri overførselsindkomster florerer, udover de, der over skattebilletten tildeles dem, der ikke er på en lønningssliste.



EN ULIGHED, DER IKKE KAN VARE VED

FIGUR 1.7 Denne figur viser, hvor mange mennesker, der bor i de rige og de fattige lande, og hvor mange flere de bliver i de næste 25 år. (OECD-landene er USA, Canada, Mexico, EU-landene+Norge, Japan, Australien og New Zealand. De tidligere COMECON-lande er de tidligere Sovjet-republikker og de østeuropæiske lande). Ved siden af er det vist, hvor mange liter olie, hver person forbruger, og hvor meget forbruget ville ændre sig frem til 2030, hvis udviklingen fortsatte som nu.

Befolkningstallene er fortsat kraftigt stigende i Mellemøsten, Afrika, Sydøstasien og Indien. Derfor medfører selv en beskeden stigning i olieforbruget per indbygger i disse lande en kraftig stigning i det samlede globale olieforbrug. I Mellemøsten vokser befolkningstallet så hurtigt, at forbruget per indbygger forventes at falde.

Olieforbrugstallene stammer fra det Internationale Energiagentur (IEA). IEA regner med, at det vil være muligt at forøge det globale energiforbrug med omkring 50% frem til 2030. Det betyder, at der i de næste 25 år skal produceres lige så meget olie som i hele det sidste århundrede. Hvis det skulle lykkes, må det forventes, at der til den tid sker et brat fald i olieproduktionen. Se kapitel 5.

Det kan være, at arbejderne i Kina, Bangladesh og Indien i mange år endnu vil være stavnsbundet til samleband og systuer, hvor de for en tier eller mindre om dagen knokler med at producere varer til vores butikker. Men vi kan se, at der i disse lande og i mange andre tredie-verdenslande og i de tidligere sovjet-republikker er en hurtigt voksende middelstand, der tilegner sig den samme velstand, som vi har tilegnet os.

Globaliseringen betyder således, at forskellen mellem rige og fattige ikke tegner sig mellem lande, men mellem befolkningsgrupper i de forskellige lande⁷. Man kunne forestille sig en udvikling i de næste årtier, hvor der i stedet for - som nu - 1 milliard rige og 5,5 milliarder fattige bliver 2 milliarder rige og 6 milliarder fattige. Med de rige og de fattige befolkninger nogenlunde ligeligt fordelt på alle verdens lande. Forhåbentlig dog med en noget mindre forskel mellem de riges og de fattiges levestandard end i dag.

1.5 ET NYT RESSOURCEGRUNDLAG FOR VELFÆRDSSAMFUNDET

Vores velfærdssamfund er nu så afhængigt af en meget skæv global produktions- og forbrugsfordeling og tilsvarende voldsomme skævfordelinger af forbruget af begrænsede ressourcer, at dets grundlag er spinkelt og hurtigt kan blive undermineret.

Vi skal huske på, at økonomisk vækst ikke behøver at være mere og mere af det samme. Væksten kan også bestå i forbedring, konsolidering og fremtidssikring af det, vi allerede har opnået.

Hvordan det end måtte gå, må vi regne med, at mindst én milliard mennesker i Kina, Sydøstasien, Indien, Mellemøsten, Tyrkiet, Sydamerika, Latinamerika, Mexiko og de tidligere sovjet-republikker er godt på vej til at få indkomster, der kunne tillade dem at leve, sådan som vi gør. Men der er ikke ressourcer til, at to milliarder mennesker kan leve på den måde, én milliard rige lever i dag. Det ville kræve noget i retning af en fordobling af olie- og naturgasproduktionen, og det kan ikke lade sig gøre. Og det ville betyde, at

risikoen for livstruende klimaændringer ville blive voldsomt forøget.

Det er realiteter, som vi må forholde os til. Vores velfærdssamfund er nu så afhængigt af en meget skæv global produktions- og forbrugsfordeling og tilsvarende voldsomme skævfordelinger af forbruget af begrænsede ressourcer, at dets grundlag er spinkelt og hurtigt kan blive undermineret. Det er urealistisk at tro, at velfærdssamfundets fremtid kun er bestemt af hvilken fordelingspolitik, der føres, hvad angår offentligt finansieret uddannelse, efterløn, folkepension, offentligt finansieret pleje af ældre, osv. Hvis vi ikke i tide tager vores forholdsregler, kan den kage, der er at fordele, blive kraftigt beskåret.

Vi skal huske på, at økonomisk vækst ikke behøver at være mere og mere af det samme. Væksten kan også bestå i forbedring, konsolidering og fremtidssikring af det, vi allerede har opnået. Pensionsopsparinger, efterlønsordninger og folkepensionstilsagn er tal i en computer, der viser, hvor stor en del af den fremtidige kage vi hver især har sikret os ret til. Men, lidt patetisk sagt: Tallene siger intet om størrelsen, smagen og livskvaliteten af den kage, der bliver til fordeling. Det, der i virkeligheden tæller, er, om vi kan finde den rette kageopskrift. Kagen skal ikke være for fed og sukkeret, men sund, velmagende og holdbar. Og dens ingredienser skal kunne frembringes uden et ressourceforbrug, der er så stort, at kagen kun kan bages én gang.

Først og fremmest skal vi sikre vores energiforsyning og nedtrappe CO₂-udslippet ved at finde en "opskrift" på nedtrapning af vores andel af en faldende global olie- og naturgasproduktion og af det "CO₂-tunge" kulforbrug. Vi skal finde en økonomisk og miljømæssigt fornuftig måde at indrette vores energisystem på, sådan at det kan komme til at udgøre et holdbart grundlag for et fremtidigt velfærdssamfund for børn, unge, voksne, ældre og gamle. Det er et frugtbart projekt, der vil sætte mange i nyttigt arbejde inden for og uden for kontorbygninger og butikker. Et projekt, der kun kan gennemføres, hvis der hersker en udbredt folkelig forståelse af, hvad det går ud på.

7) En rapport fra Sheffield University, England, viser, hvordan uligheden i velstand mellem London-området og det nordlige UK vokser. I ti-året fra 1991 til 2001 blev der ansat 1.7 millioner flere i finanssektoren i London-området. Både antallet af rige og antallet af fattige vokser. I 2001 tilhørte 24% af husholdningerne i UK kategorien "fattige". (People and Places: A 2001 Census Atlas of the UK. The Policy Press).

I Kina lever 60% af befolkningen i landdistrikterne, hvor gennemsnitsindkomsten er mindre end én dollar om dagen. De fleste af dem får nok ikke råd til en bil i deres levetid. Men Ford skønner, at 450 millioner mennesker i det østlige Kina i de kommende år vil have købekraft nok til at købe en bil, og der er i Kina bygget 34 000 km motorveje i løbet af de sidste 17 år (The Economist, June 4th 2005).

2. ENERGI I POLITISK OG ØKONOMISK TÆNKNING

Fremtidens historikere vil forsøge at forklare, hvordan det gik til, at dette samfund, der kaldte sig et videns- og informationssamfund, baserede dets energipolitik på meningsløse opgørelser og regnestykker.

Før den såkaldte oliekrise, som OPEC-landene⁸ iværksatte i 1973 - 1981, var "energi" ikke et ord i politisk sprogbrug. Energi var noget, man lærte om i fysiktimerne i skolen. Sådan er det ikke i vore dage. Som det fremgår af følgende indskud, er "energi" nu blevet et politisk anliggende:

Da Anders Fogh Rasmussens VK-regering trådte til i 2001 blev Energi&miljøministeriet og Energi&miljørådet nedlagt. Energipolitiske anliggender og energistyrelsen blev overført til Erhvervs- og Økonomiministeriet. I den nye VK-regering efter valget i februar 2005 blev energipolitikken og energistyrelsen en del af det nye Transport- og Energi-ministeriums ressortområde. Folketingets energipolitiske udvalg fortsatte. Selvom mulighederne for at føre dansk energipolitik er blevet kraftigt indskrænket i EU's liberaliserede energimarked, er energiforsyning og energiforbrug således stadig et politisk emne. Før Folketingets sommerferie 2005 fremlagde transport- og energiministeren et oplæg om "Langsigtet energistrategi frem mod 2025", som blandt andet omhandler vedvarende energi og energibesparelser. Oplægget er udarbejdet af energistyrelsen.

I dette indskud indgår ordet "energi" i 10 forskellige ord-sammensætninger: energipolitik, energistyrelsen, energimarked, energiforsyning,, energibesparelser, så man skulle kunne gå ud fra, at ordet har en fornuftig betydning, som alle er indforstået med. Ligesom det er nogenlunde klart, hvad landbrugs-, arbejds-, finans- og retspolitik drejer sig om. Men hvad gemmer der sig i virkeligheden bag ordet "energi", sådan som det bruges i politisk sammenhæng?

Svaret findes ikke i skolens fysikbøger. Der står jo, at "ener-

gi" er noget, der kan måles med et kalorimeter og med et voltmeter og et amperemeter, eller beregnes som f.eks. en billardkugles bevægelsesenergi. Og det er en vigtig læresætning i fysik, at "energi" ikke går tabt, men bevares i et lukket system, dvs. "noget", der er lukket inde i en fuldstændigt varmeisoleret kasse uden nogen forbindelse med omverdenen. Men det er jo ikke umiddelbart et politisk anliggende.

Svaret er, at "energi" i politisk og økonomisk tankegang er det, der holdes regnskab med i energistatistikkerne, nemlig brændsel (olie, gas, kul, halm, brænde, affald), elektricitet og varme (fjernvarme, centralvarme, elvarme, solvarme, varme i industrielle produktionsprocesser). Det er noget, der kan handles med i energimarkederne, og som man kan belægge med skatter og afgifter (måske lige bortset fra centralvarme og solvarme). Så er den ikke længere, vil de fleste politikere, økonomer og embedsmænd sige. Det svarer til den forklaring, at "købmændsvarer" er det, man kan købe hos købmanden.

Når "energi" således i politisk forstand forstås som det, der holdes regnskab med i energistatistikkerne, er det næste spørgsmål, hvordan disse regnskaber er opstået, og hvad de egentlig fortæller os. For at besvare det spørgsmål, må vi 30 år tilbage til oliekrisen i midten af 1970'erne.

2.1 DA "ENERGI" BLEV ET POLITISK ORD

Det var først under den første oliekrise midt i 1970'erne, at "energi" blev indført i den politiske sprogbrug.

Ordet "energi" optræder første gang i politisk sammenhæng ved afslutningen af anden verdenskrig, nemlig i navnet på den institution, der i 1946 blev oprettet i USA for at varetage administrationen af atomkraft til militæ-

8) OPEC står for: The Organisation of Oil Exporting Countries (Organisationen af olieeksporterende lande). OPEC blev grundlagt i Bagdad i 1960 af Irak, Iran, Saudi Arabien, Kuwait og Venezuela. Siden er mellemøstlandene Qatar og De Forenede Arabiske Emirater samt Indonesien, Alger, Libyen og Nigeria kommet til, så organisationen nu har 11 medlemslande. I 1973 fik Yom Kippur-krigen mellem Israel og Egypten-Syrien OPEC-landene til at afbryde olieeksporten til de vestlige lande. Det medførte en fire-dobling af verdensmarkedsprisen på råolie i 1973.

9) Én Joule er den internationale energienhed. Når der er tale om større mængder bruges enhederne MegaJoule, GigaJoule, TeraJoule eller PetaJoule. Mega = 1 million. Giga = 1 milliard. Tera = 1 trilliard = 1000 milliarder. Peta = 1000 trilliarder = 1000 000 milliarder. Se side 149.

re og civile formål: The Atomic Energy Commission. Det var en meget naturlig betegnelse for denne kommission, for energi er jo nøgleordet i atomfysik. Efterfølgende blev der oprettet atomenergikommissioner i mange industrialiserede lande. I Danmark blev Atomenergikommissionen oprettet i 1955. Dens vigtigste opgave var at etablere og administrere Forsøgsanlæg Risø, som blev bygget i 1956.

Det var imidlertid først efter oliekrisen i 1973, at "energi" blev indført i den politiske sprogbrug. Pludseligt blev de vestlige lande klar over, hvor afhængige deres økonomier var af olie og dermed af de olieproducerende landes produktions- og prispolitik. Det var nødvendigt at gøre denne afhængighed mindre. I Danmark blev el-værkerne hurtigt sat i gang med at skifte fra olie til kul. Der blev planlagt og iværksat en hurtig udbygning af naturgasnet og af fjernvarmenet til kraftvarmeforsyning for at komme af med så mange oliefyr som muligt. Også efterisolering af huse og indførelse af skærpede isoleringskrav i bygningsreglementet for nye huse kom på den politiske dagsorden. Og solvarme, vindmøller og biogasanlæg kom ind i billedet.

Da der således pludseligt blev brug for et ord, der dækker alle disse forskellige ting, blev "energi" indført i den politiske sprogbrug. Folketingets energipolitiske udvalg blev oprettet i 1975, Energistyrelsen i 1976, dengang under Handelsministeriet. I 1979 blev Energiministeriet oprettet, og energiplanlægning kom til som en ny sektor for offentlig planlægning. Kun transport blev holdt uden for den energipolitiske planlægning. Bilkørsel og landevejs-transport skulle ikke begrænses.

Det samme skete i de andre lande, "vi normalt sammenligner os med", dvs. OECD-landene. OECD's Internationale Energiagentur (IEA) blev oprettet i 1974, og USA fik sit energiministerium, Department of Energy, i 1977.

2.2 ENERGIREGNSKABERNE

Ligesom vand, whisky, kærnemælk og benzin måles i liter, måles el, fjernvarme, solvarme, og olie, gas og kul i MegaJoule⁹. Hvordan målingen sker i praksis, har menigmand og politikere, embedsmænd og økonomer ikke bekymret sig om. Men for at begribe hvad der måles, og hvad der ikke måles, må vi vide, hvordan målingen i princippet sker.

Nu skulle der holdes regnskab med alle disse forskellige ting. Det betød, at alt skulle måles i samme enhed. Ligesom man i et penge-bogholderi værdisætter alt i kroner og øre. Her kommer kalorimetret ind i billedet. Et kalorimeter er, som vi har lært i skolen, en godt isoleret vand-beholder. Lad os forestille os et stort kalorimeter, der indeholder én kubikmeter vand, se figur 2.1. Vandet kan varmes op på forskellige måder. For eksempel med en el-dypekoger; med varmt vand fra en solfanger, der ledes igennem en rør-spiral, der er neddykket i vandet; med hed røg-gas fra en olie- eller naturgasbrænder; eller simpelt hen ved at røre kraftigt rundt i vandet.

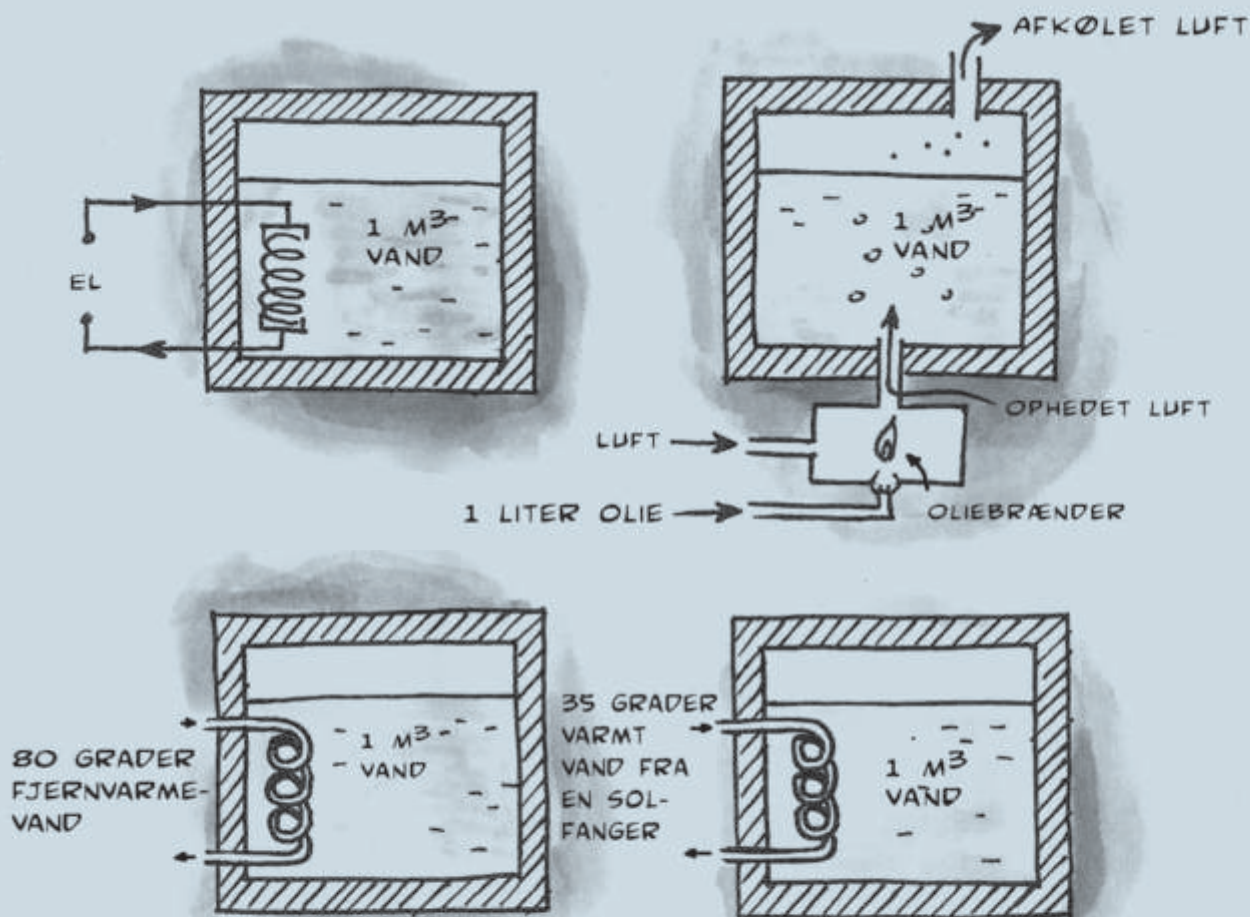
En kalorie er en gammel energienhed¹⁰. Én kalorie defineres som den energi, der skal tilføres 1 gram vand for at hæve dets temperatur 1 grad Celsius¹¹. Én kubikmeter er $100 \cdot 100 \cdot 100 = 1$ million kubikcentimeter. Dvs. at der skal tilføres det store kalorimeter 1 million kalorier for at opvarme vandet 1 grad. I vore dage bruger man en anden enhed, nemlig Joule (efter den engelske fysiker James Prescott Joule, 1818 - 1889). 1 kalorie = 4.2 Joule, så der skal 4.2 millioner Joule = 4.2 MegaJoule (Mega = million) til at opvarme vandet i kalorimetret 1 grad. Det er omtrent energien (brændværdi- en) af 100 g olie.

Med kalorimeteret kan vi nu måle alle former for energi i samme enhed, MegaJoule:

- Vi kan med en el-dypekoger varme vandet 10 grader op. Så har vi forbrugt 42 MegaJoule el¹².

10) Kalorie har sin oprindelse i tiden for et par hundrede år siden. Dengang tænkte man sig, at varme er en slags stof. Dette stof kaldte man "kalorie". Man forestillede sig, at når noget - for eksempel en beholder med vand - varmes op, så får det tilført mere af kalorie-stoffet. Det vil sige, at den temperatur, man måler med et termometer, viser, hvor meget kalorie, der er i for eksempel vandet. Det var på den tid en genial teori, der førte vidt (se f.eks. kapitel 7, afsnit 7.2 om varmepumper). Men for omkring 150 år siden, blev man klar over, at den er forkert.

Men selvom man har udskiftet måleenheden "kalorie" med enheden "Joule", spørger den gamle, forlængst forkastede kalori-teori stadig i vore dages energibalanceregnskaber. Det kan forklares ved, at den i al sin enkelhed passer så glimrende med nutidens opfattelse af energi som "varer", se figur 2.3.



FIGUR 2.1 ENERGIMÅLINGER MED KALORIMETER

Man kan ved hjælp af et kalorimeter måle energi i mange forskellige former. Ligesom man på en vægt kan veje mange forskellige ting, f.eks. en pose mel og en pose cement. Men de tal man finder, siger ikke noget om brugsværdien af det, man måler. Med elektricitet kan man drive et S-tog, holde sin computer i gang og meget andet. Med olie kan man flyve Jorden rundt. Men med fjernvarmevand kan man kun holde huset varmt, og med lunkent vand fra en solfanger kan man kun forvarme vandet til sit brusebad.

Et kalorimeter er en godt isoleret vandbeholder. Vi ser her på et stort kalorimeter, der indeholder 1 kubikmeter vand. Der medgår en energimængde på 4.2 MegaJoule (MJ) eller 1.17 kWh til at opvarme vandet 1 grad (Celsius). Når man ved det, kan man ved at måle, hvor mange grader vandet er blevet opvarmet, regne ud, hvor meget energi, der er blevet tilført. Man skal bare gange antallet af grader med 4.2 MJ.

Med en elektrisk dyppkoger kan man for eksempel varme vandet i kalorimetret 10 grader op. Så har man brugt 42 MJ el, nemlig $10 \text{ grader} \times 4.2 \text{ MJ/grad}$. Det samme el-forbrug får man, hvis man i stedet rører rundt i vandet med et elektrisk piskeris, indtil temperaturen er steget 10 grader. Energimæssigt er piskeriset nøjagtigt lige så effektivt – eller rettere ineffektivt – til vandopvarmning.

Man kan også varme vandet op ved at lade den ophelede luft fra afbrænding af 1 liter fyringsolie boble op gennem vandet, så det derved bliver afkølet (afgiver sin varme til vandet). Derved bliver vandet varmet 8.5 grader op. Vi finder på den måde, at energien i 1 liter fyringsolie er $8.5 \text{ grad} \times 4.2 \text{ MJ/grad} = 36 \text{ MJ}$. Denne energiværdi kaldes oliens brændværdi.

Hvis vandet varmes 10 grader op ved at lede 80 grader varmt fjernvarmevand gennem en rørs spiral i kalorimetret, er fjernvarme-forbruget lig el-forbruget til samme opvarmning, nemlig 42 MJ.

I stedet for fjernvarmevand kan man en tidlig forårsdag lede 35 grader varmt vand fra en solfanger gennem rørs spiralen indtil vandet er blevet opvarmet 10 grader. Så har solfangeren leveret 42 MJ.

- Vi kan varme vandet op ved at brænde 1 liter olie af (på en sådan måde, at al varmen fra olie-afbrændingen tilføres kalorimetret). Så stiger vandets temperatur ca. 8.5 grad. Dvs. at energien i 1 liter olie er $8.5 \text{ grad} \cdot 4.2 \text{ MegaJoule/grad} = \text{ca. } 36 \text{ MegaJoule}$. For naturgas finder vi, at energien i 1 kubikmeter gas er ca. 40 MegaJoule.
- Vi kan varme vandet 10 grader op ved at lede 80 grader varmt vand fra et kraftvarmeværks fjernvarmenet gennem en rørspiral, der er neddykket i kalorimeteret. Så har vi brugt lige så meget energi som med el-dyppekogeren, nemlig $10 \cdot 4.2 \text{ MegaJoule} = 42 \text{ MegaJoule}$.
- Eller vi kan i stedet på en tidlig forårsdag bruge 30 grader varmt vand fra en stor solfanger, så vi, før solen kommer lavt på himlen, på den måde får varmet vandet 10 grader op. Så har solfangeren leveret de 42 MegaJoule.

Kort sagt kan en "energimængde" af en hvilken som helst art bestemmes ved at måle, hvor mange grader den pågældende "energimængde" kan opvarme vandet i et kalorimeter. Om det er elektrisk overført energi, en vis mængde olie, gas, kul eller halm, fjernvarmevand fra et kraftvarmeværk eller varmt vand fra solfanger spiller ingen rolle. Men man behøver som bekendt ikke at have kalorimeteret fremme, hver gang man skal finde en "energimængde". El-måleren og varmemåleren er opfundet og energien (brændværdien) i en liter olie, en kubikmeter gas, et kilo kul og et kilo halm kan slås op i en brændværditabel.

Ligesom man fører bogholderi i kroner og ører, kan man således opstille energiregnskaber (eller energistatistikker), hvori man i MegaJoule (eller i Giga-, Tera- eller PetaJoule) opregner mange forskellige energimængder. Man kan opregne landets samlede energiforbrug; brændselsforbruget i kraft- og kraftvarmeværker og fjernvarmeværker og el- og varmeproduktionen i disse værker; ledningstab i fjernvarmeledninger og el-ledninger; brændselsforbrug, el-forbrug og varmemeforbrug i husholdninger og i de forskellige erhverv; energiforbrug til transport; osv. Spørgsmålet er nu, hvad disse regnskaber fortæller, og hvad de kan bruges til.

2.3 HVAD ER MENINGEN?

Det er rigtigt, at 60 PetaJoule vindkraft + 35 PetaJoule varmt vand + 150 PetaJoule i form af forskellige brændsler giver 245 PetaJoule ialt. Det er også rigtigt, at 60 liter benzin + 35 liter varmt vand + 150 liter fløde giver 245 liter i alt. Men værdimæssigt er det åbenbart meningsløse regnestykker.

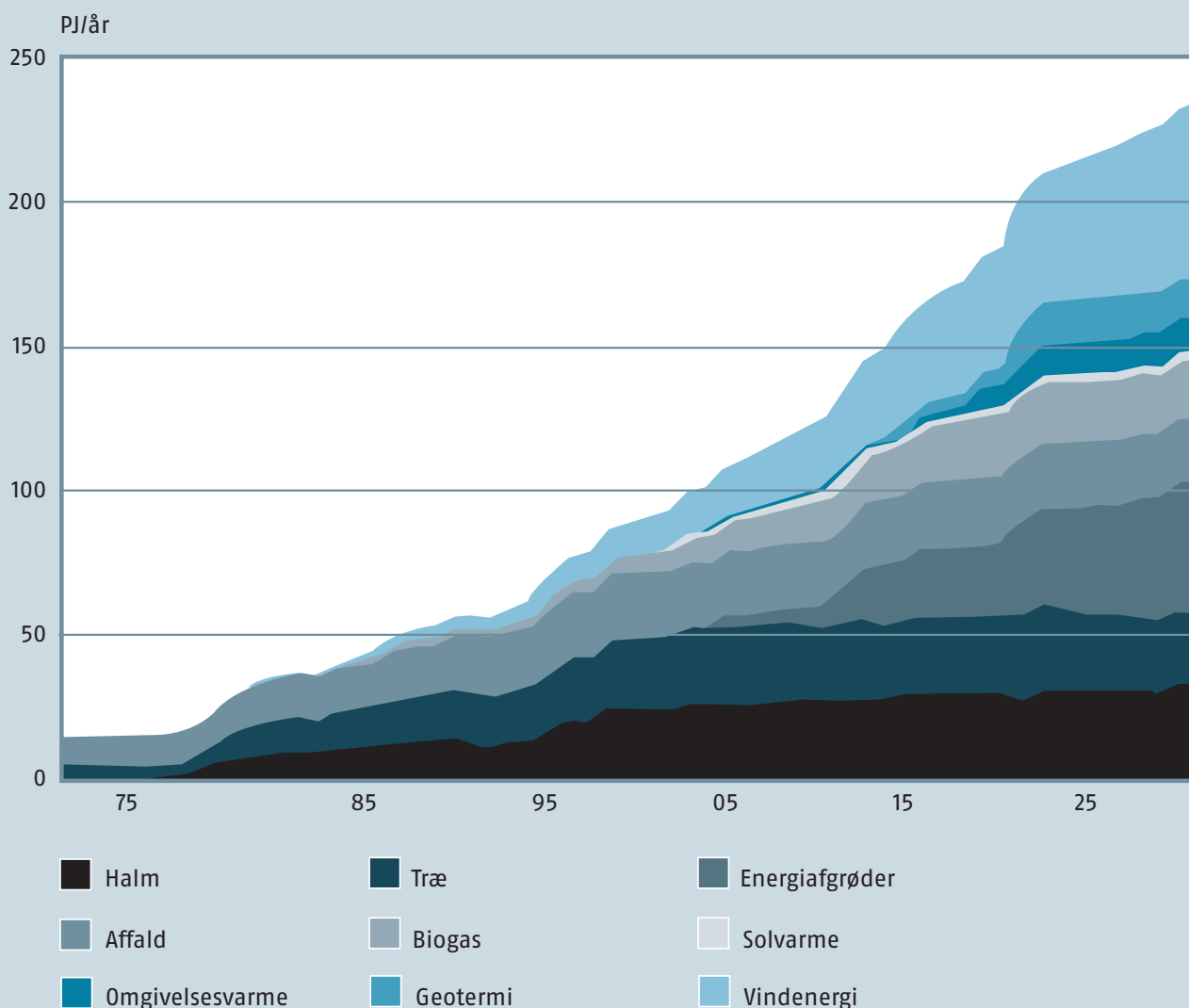
Som sagt i det foregående, skal de MegaJoule-tal, der lægges sammen i energiregnskaber og energistatistikker, forstås som "energimængder", der angiver, hvor meget vand, der kan varmes op f.eks. fra 5 til 10 grader, hvis energien bruges til vandopvarmning. De tal kan regnes ud og lægges sammen, så man får tal for landets samlede energiforbrug, den samlede energiproduktion fra vedvarende energikilder, energiforbruget i forskellige erhverv, osv.

Et sådant energi-bogholderi falder helt i tråd med økonomers måde at beskrive verden på. De værdisætter alt i kroner og ører og opgør årlige stigninger i brutto-nationalproduktet, produktionen i de forskellige erhverv, forbruget i husholdninger, osv. I tilsvarende energi-regnskaber kan de få opgørelser over energiforbruget målt i MegaJoule på kalorimeter-måden, og f.eks. beregne om det således målte energiforbrug stiger hurtigere eller langsommere end brutto-nationalproduktet.

Når Folketingets politikere diskuterer energipolitik og langsigtede energistrategier, er det alle disse regnskaber fra Energistyrelsen, Finansministeriet, Danmarks Statistik, m.fl. der lægges til grund for diskussionen. Så regnskaberne har betydning for de politiske beslutninger, der træffes. Men regnskaberne giver ikke politikerne den information og den forståelse af, hvad det drejer sig om, som de skal have for at træffe fornuftige beslutninger. Energipolitik drejer sig jo ikke om at sørge for, at vi fortsat kan varme vand op fra 5 til 10 grader, men om at sørge for, at samfundet fortsat kan fungere. At der er energi til landbrug, til industri, til person- og godstransport med hensigtsmæssige transportmidler, til et sundt indeklima i bygningerne, osv.

11) Til dem, der straks står af, når det begynder at smage af fysiktime, skal det siges, at det her kun drejer sig om at genfortælle noget, der er velkendt fra dyppekogeren og gaskomfuret i køkkenet, oliefyret i bryggerset, el-måleren og fjernvarmemåleren. Tallene og de små regnestykker i det følgende er ikke så vigtige. Bare det kommer frem, at energi i forskellige former på en simpel måde kan måles i samme enhed.

12) Som det fremgår af el-regningen, måles el-energi til daglig i kWh (kilowatt-timer = 1000 Watt-timer) i stedet for MegaJoule. Der går 3.6 MegaJoule på 1 kWh. Der skal således bruges $42/3.6 = 11.7 \text{ kWh}$ for at varme 1 kubikmeter vand i kalorimetret 10 grader op.



NÅR MAN LÆGGER ÆBLER OG PÆRER SAMMEN

FIGUR 2.2 Denne figur findes i bogen Energi 21 – Regeringens energihandlingsplan 1996. Den er et eksempel på, at man i officielle energiopgørelser lægger størrelser af vidt forskellig brugsværdi sammen. Her opsummerer man "vedvarende energi" til 245 PJ i 2030 (tallene på den vandrette akse er årstal). Det er klart, at denne sum ikke kan bruges til noget som helst. El fra en vindmølle er jo noget helt andet end varmt vand fra solfanger og halm fra en mark.

Det, der kaldes "omgivelsesvarme", er varme, som varmepumper optager fra atmosfæren eller havvand. Men det er meningsløst at medregne atmosfæren og havet som energikilder. Tænk, hvis vi kunne suge energi ud af luften og fjorden uden at "betale" mere end det, vi får ind. Det, der foregår i varmepumper, er forklaret i kapitel 7.

"Geotermi" står for udnyttelse af 50 – 100 grader varme, vandførende lag dybt i undergrunden. Man borer to rør ned i passende afstand. Med en pumpe, der presser vand ned gennem det ene rør og op gennem det andet, kan man få det varme vand til at cirkulere op til overfladen, hvor det afgiver varme til en varmepumpe (se kapitel 7), eller – hvis det er varmt nok – direkte til et fjernvarmenet. I Thisted har man i mange år haft sådan et anlæg, og der er også andre steder i landet mulighed for at udnytte varmt vand i undergrunden, bl.a. i København og Slagelse.

"ENERGIVARER"

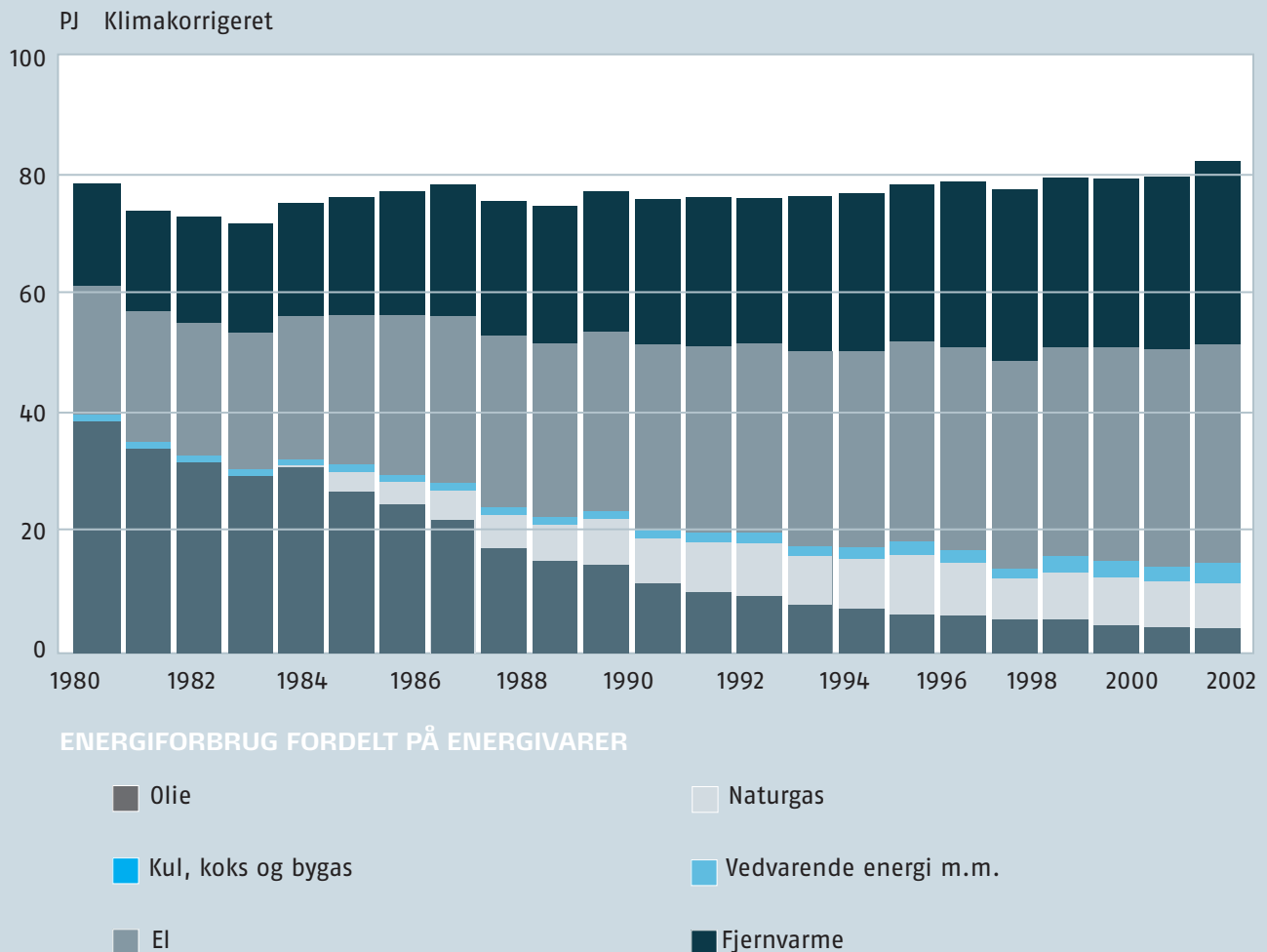
FIGUR 2.3 Denne figur findes i Energistyrelsens Energistatistik 2002. Den viser energiforbruget i handels- og serviceerhverv. (Enheden PJ på den lodrette akse står for PetaJoule. Peta er en milliard millioner, så 1 PJ er en milliard MegaJoule.)

Man kan se hvor meget el, der er blevet brugt. Hvor meget olie og naturgas, der er blevet brugt. Og hvor meget fjernvarme. Hvert for sig kan disse tal have interesse. Men summen af tallene har ingen interesse for noget praktisk formål. Ikke for virksomhederne, for priserne på de forskellige "energivarer" er jo meget forskellige. Heller ikke for Told&Skat, for de forskellige "energivarer" beskattes forskelligt. Og slet ikke for opgørelsen af det forbrug af brændsler og det CO₂-udslip, handel&service belaster samfundsøkonomien med. El-forbruget giver jo et helt andet brændselsforbrug end fjernvarme.

Alligevel laves sådanne opsummeringer for de forskellige erhverv og for husholdninger og transport. Det er ren skrivebordsfilosofi: Man tænker sig, at energi i forskellige former er forskellige varer, hvis energiværdi kan måles med et kalorimeter (se figur 2.1), ligesom andre vares værdi måles i kroner og ører. Så kan man hokus pokus lave energi-bogholderi, ligesom man laver penge-bogholderi.

Landets store penge-bogholderi, der har bruttonationalproduktet (BNP) på bundlinien, er også en sum af alle mulige forskellige ting. Lidt forenklet sagt er BNP summen af de nuværende pengeværdier af alle de forskellige ting og serviceydelser, der produceres, lige fra levende eksport-svin til computer-programmer, ansigtsløftninger, jobformidling og turistforplejning. Prissedlen på en vare angiver dens bytteværdi i forhold til andre varer.

Energiværdien af en kubikmeter vand, der er blevet opvarmet 8.5 grader, er den samme som brændværdien af en liter olie (se figur 2.1). Men her er der ikke tale om en bytteværdi, der giver nogen mening i praksis.



Figur 2.2 er taget fra *Energi 21 - Regeringens energihandlingsplan 1996*. Den viser, at der i denne energiplan indgår en kraftig vækst i anvendelsen af de energiformer, der under ét kaldes vedvarende energi. Op til 245 PJ (PetaJoule) frem til 2030, eller ca. en fjerdedel af det nuværende energiforbrug. Brændsler (halm, træ, energiafgrøder,¹³ affald og biogas) er lagt sammen med lav-temperatur varme fra solfangere, "omgivelsesvarme" og "geotermi"¹⁴ og elektrisk kraft fra vindmøller.

Det er rigtigt, at man kan beregne "energimængderne" fra disse forskellige energikilder som det antal MegaJoule eller PetaJoule, de kan levere til vandopvarmning fra 5 til 10 grader. Vindenergien giver ca. 60 PetaJoule i 2030, svarende til opvarmning af 3.3 milliarder kubikmeter vand fra 5 til 10 grader. Solvarme + "omgivelsesvarme" + "geotermi" omtrent 35 PetaJoule.

Det er rigtigt, at 60 PetaJoule elektrisk kraft fra vindmøller + 35 PetaJoule varmt vand + 150 PetaJoule i form af forskellige brændsler giver 245 PetaJoule. Det er også rigtigt, at 60 liter benzin + 35 liter varmt vand + 150 liter fløde giver 245 liter i alt. Men værdimæssigt er det åbenbart meningsløse regnestykker. Enhver ved jo, at elektrisk kraft og benzin også i energimæssig henseende er noget ganske andet end varmt vand. Og at elektrisk kraft er noget andet end halm, ligesom benzin er noget andet end fløde. Og vi lærte i skolen, at man ikke må lægge æbler og pærer sammen, hvis det ikke kun går ud på at beregne, hvor mange kilo, man skal bære hjem.

Figur 2.3 viser endnu et eksempel på en helt uinteressant opsummering af energiforbrug fordelt på "energivarer". Man bemærker ordvalget "energivarer" i stedet for "energiformer". Det viser, at "energi" i denne tid, hvor markedsideologien dominerer tankegangen, opfattes som "varer", der købes og sælges på markedet ligesom sko, biler, computere og gulerødder.

Selvom der er en afgørende forskel på "energi" og andre varer. Samfundets energisystem er det fælles grundlag for al vareproduktion og for alt det, som varerne bruges til.

2.4 HVAD ER FORKLARINGEN?

Den almindelige fysikundervisning i folkeskolen beskæftiger sig ikke med den del af fysikken, der handler om, hvordan livet på Jorden har kunnet udvikle sig i al dets mangfoldighed, og ikke med formålene med udnyttelse af de ressourcer, vi har til rådighed. Økonomer og embedsmænd, der opfatter energi som varer, udtænkte ideologien om de liberaliserede energimarkeder.

Hvis der i fremtiden er historikere, der vil skrive om vor tids historie, så vil de forsøge at forklare, hvordan det gik til, at dette samfund, der kaldte sig et videns- og informationssamfund, baserede dets energipolitik på meningsløse opgørelser og regnestykker. For eksempel at EU i 2001 vedtog et direktiv, der sagde, at 12% af medlemslandenes energiforbrug i 2010 skal dækkes af vedvarende energi, opgjort på den ovenfor beskrevne måde. I stedet for at fastsætte krav om nedtrapning af forbruget af olie, naturgas og kul, eller i det mindste en opbremsning af forbrugsvæksten. Det er jo det, det drejer sig om, og det kan ske på mange forskellige måder, herunder ved udnyttelse af forskellige vedvarende energikilder i forskelligt omfang. Men en målsætning om 12% vedvarende energi er af flere grunde ikke rationel.

Fremtidens historikere vil måske finde en væsentlig del af forklaringen deri, at den almindelige fysikundervisning i folkeskolen ikke beskæftigede sig med den del af fysikken, der handler om, hvordan livet på Jorden har kunnet udvikle sig i al dets mangfoldighed, og heller ikke med formålene med udnyttelse af de ressourcer, vi har til rådighed. Fysikundervisningen inddrog ikke den del af fysikken, der drejer sig om livets grundlæggende vilkår og vores teknologiske muligheder for at udnytte energiressourcer på en effektiv måde. Den overleverede et energibegreb, som er utilstrækkeligt for forståelsen af energipolitikens fysiske vilkår og teknologiske muligheder.

Dette energibegreb er tilsyneladende simpelt, og energiregnskaber baseret på dette energibegreb falder helt i tråd med økonomiske bogholderi-regnskaber, hvori de mest forskelligartede ting værdisættes i kroner og øre. I den økonomiske tankegang opfattes energi i forskellige former derfor som

13) Det kan være hurtigtvoksende pil.

14) "Omgivelsesvarme" er varme fra udeluft til varmepumper! "Geotermi" er varmt vand fra undergrunden.

varer, der ligesom alle andre varer kan handles på et marked. Således udtænkte økonomer og embedsmænd ideologien om de liberaliserede energimarkeder. Disse markeder beskrives i kapitel 12 og 13.

2.5 FORSKELLIGE “ENERGIKVALITETER”

Hvad er det for noget, der måles i MegaJoule, og som kan leveres i forskellige kvaliteter?

Der tales undertiden om energi som varer, der kan fås i forskellige kvaliteter. Elektrisk kraft opfattes som energi af en bedre kvalitet end varmt vand. Men så er energi da i hvert fald ikke et mål for en fysisk størrelse eller egenskab. For i fysikken er der ikke tale om forskellige kvaliteter af det, man måler. Temperatur måles i grader. Der er ikke tale om forskellige temperatur-kvaliteter. Masse måles i kg. Der er ikke tale om forskellige masse-kvaliteter. Hvad er det for noget, der måles i MegaJoule, og som kan leveres i forskellige kvaliteter? Det er energi, siger man, men hvad er energi for noget?

Det er ikke til megen hjælp at sige, at “energi er en termodynamisk tilstandsfunktion”, som ikke fås i forskellige kvaliteter. For det giver kun mening for dem, der har studeret den termodynamiske teoribygning. Men uden at gå så langt, kan man godt forklare, hvad der er tale om. Det forsøger vi i de følgende kapitler 3 og 4.

2.6 HVAD ER PROBLEMET?

Hvis man ikke forstår, hvad “energi” i virkeligheden betyder, risikerer man at komme til at lave en masse fejlinvesteringer. I kapitel 4 og 7 viser vi med en række eksempler, at de simple kalorimetrisk energiregnskaber i praksis fører tankerne på vildspor.

Hvis den globale olie- og naturgasproduktion stadig kunne forøges, så et stigende globalt forbrug kunne dækkes langt ud i fremtiden, og hvis vi ikke behøvede at bekymre os om klimaændringer på grund af CO₂-udslip, så kunne den energipolitiske rådgivning overlades til økonomer, og så var dis-

kussionen af energibegrebet i politisk og økonomisk tænkning mere af akademisk end af praktisk interesse. Men sådan er virkeligheden ikke. Inden for en overskuelig fremtid vil vi opleve, at olie- og gasproduktionen ikke kan dække efterspørgslen, og der er politisk enighed overalt i verden om, at CO₂-udslippet i de kommende år skal nedbringes i de industrialiserede lande og begrænses i udviklingslandene, og at der på lidt længere sigt skal ske en kraftig formindskelse af det globale udslip.

Derfor kommer vi til at bygge vores energisystemer om, så samfundet kan fungere med et meget mindre forbrug af olie, gas og kul. Denne ombygning er en kompliceret ingeniørmæssig opgave. På den ene side drejer den sig om vores bygninger, el-apparater, industrielle produktionsapparater, landbrug, transportmidler og den måde vores bysamfund er indrettet på. På den anden side om at indpasse andre energikilder (vindkraft, biomassebrændsler, solenergianlæg og måske også bølgemaskiner) i et forsyningssystem, der kan udnytte den stadigt skiftende el- og varmeproduktion fra disse energikilder på en effektiv måde.

Denne opgave bliver ikke løst på en økonomisk fornuftig måde, hvis man tror, at det bare drejer sig om at erstatte fossile brændsler med energi fra andre kilder for på den måde at få et simpelt energibalanceregnskab til at gå op på en anden måde. Hvis man ikke forstår, hvad “energi” i virkeligheden betyder, risikerer man at komme til at lave en masse fejlinvesteringer. Og så kan det enten blive meget dyrt at løse opgaven, eller også forbliver opgaven uløst - også af den grund.

Vi skal derfor i de næste kapitler beskæftige os med, hvad “energi” i virkeligheden betyder. Derefter viser vi i kapitel 4 og 7 med en række eksempler, at de simple kalorimetrisk energiregnskaber i praksis fører tankerne på vildspor. Også i kapitel 11, hvor vi ser på energisystemet i dets helhed, bliver det klart, at man ikke med et kalorimetrisk energibogholderi kan gøre rede for, hvordan ressourcerne udnyttes. Og i kapitlerne 12 og 13 om el-markedet påpeges det, at opfattelsen af elektrisk kraftoverførsel som en “vare” er i modstrid med den fysiske og tekniske virkelighed.

3. ENERGI PÅ JORDEN

Man kan forestille sig, at helt nye energi-teknologier, der er lige så avancerede som de reguleringsmekanismer, der styrer energiomsætningen i planter, dyrs og menneskers celler, en gang i fremtiden vil afløse de primitive fossile teknologier. Men med den hastighed, hvormed vi med disse primitive teknologier nedbryder de naturlige økosystemer og samtidigt udtømmer olie- og gasreserverne, risikerer vi, at det hele går galt, før de nye teknologier bliver til virkelighed.

Mennesker har altid måttet skabe sig en forståelse af det, der sker i den verden, de lever i. I årtusinder har utallige folkeslag og civilisationer på hver deres måde sat liv og død, det der skete i naturen omkring dem, og det de så på stjernehimlen, ind en verdensorden, hvor deres guder rådede. Først for fem hundrede år siden, i det 16. og 17. århundrede, opstod i Europa de naturvidenskaber, der udledte fysiske og senere kemiske og biologiske forklaringer på det, der sker omkring os. Senere blev den geologiske videnskab i stand til at kortlægge Jordens historie milliarder af år tilbage. I dag har vi en viden som aldrig før om den klode, vi lever på. Men de færreste betænker, hvilket vidunder det er.

Mennesket er det måske eneste væsen i universet, der i dets mange forskellige sprog kan tænke og forstå og tale om og nedskrive dets tanker og oplevelser og dets forståelse af sig selv og den verden, det lever i. Denne forståelse udspringer af erindringer og beretninger om det, der er sket i foregående år, århundreder og årtusinder. Og i den moderne tid også af den viden, den geologiske, biologiske og zoologiske forskning har indhentet om den usandsynlige udvikling, Jorden har gennemløbet fra den blev skabt og indtil det moderne menneske fandt de kræfter, der rundt omkring lå gemt i de lommer af fossile¹⁵ brændsler, livet i en fjern fortid har efterladt. Og fandt ud af at udnytte dem.

Mennesket af i dag har med de fossile brændsler fået hidtil usete kræfter til at gribe ind i de forunderlige samspil

mellem dyre- og plantelivet, muldjorden, atmosfæren og havene, der er vilkårene for det liv, vi kender. Mennesket af i dag udrydder dyre- og plantearter og fælder regnskoven. Dets landbrug forarmer muldjorden, og mennesker med kraftige maskiner fælder skove, så muldjord bortvaskes. Mennesket af i dag ændrer atmosfæren og nedbryder dens livsbeskyttende ozonlag. Og det tømmer havene for fisk. Mennesket af i dag med dets maskiner, der æder olie, naturgas og kul, er nye arter, der æder sig ind på alt andet.

Når man betænker den eventyrlige teknologiske udvikling af computer-teknologien og informationsteknologien, der i et stadigt hurtigere tempo er sket i de sidste 50 år, og den udvikling, der nu er på vej med nanoteknologien¹⁶, så må man sige, at de stempelmotorer, jetmotorer, dampmaskiner og olie- og naturgasfyr, hvormed vi udnytter energien i de fossile brændsler, er meget primitive teknologier.

Man kan forestille sig, at helt nye energi-teknologier, der er lige så avancerede som de reguleringsmekanismer, der styrer energiomsætningen i planter, dyrs og menneskers celler, en gang i fremtiden vil afløse disse primitive teknologier. Men med den hastighed, hvormed vi med disse primitive teknologier nedbryder de naturlige økosystemer og samtidigt udtømmer olie- og gasreserverne, risikerer vi, at det hele går galt, før de nye teknologier bliver til virkelighed.

Forestillingen om en fremtid, hvor livet, som i science fiction-film og computerspil, foregår i glashuse, underjordiske byer og atomdrevne luftfartøjer og rumskibe og i kolonier på andre, øde planeter, og alt andet liv er forhistorie, er urealistisk og i hvert fald ikke opmuntrende. Hvis vi ønsker, at livet på denne klode føres videre i dets utallige forunderlige former, må vi forstå livets vilkår og bestræbe os på at bevare det.

15) Fossil: af latin fossilis, noget der er udgravet af jorden.

16) Nanoteknologi er konstruktion af nye komplekse molekyler og molekulære strukturer, der ligesom de proteiner, der styrer livet i levende celler, kan virke som bittesmå robotter, som kan frembringe nye materialer, bruges i computere, bekæmpe virus og meget mere. Nanometer: en milliardtedel af en meter: 0.000 000 001 meter.

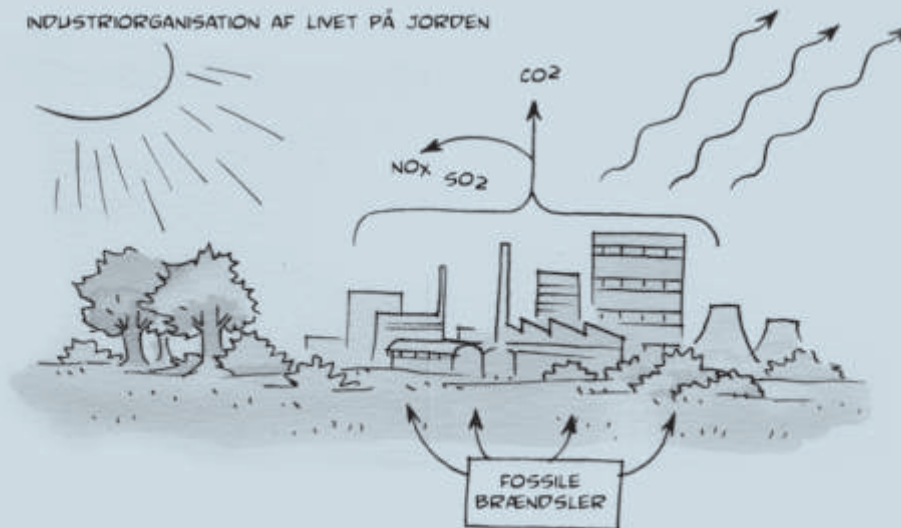
DEN GOLDE JORDOVERFLADE FOR MILLIARDER AF ÅR SIDEN



BIOLOGISK ORGANISATION AF LIVET PÅ JORDEN INDTIL FOR 100-200 ÅR SIDEN



INDUSTRIORGANISATION AF LIVET PÅ JORDEN



LIVETS OG ATMOSFÆRENS UDVIKLING

FIGUR 3.1 Livet og atmosfæren har gennem milliarder af år udviklet sig i et fantastisk samspil. I kraft af solstrålingen og Jordens rotation om sin egen akse, der frembringer en temperaturforskel mellem nat og dag, har levende organismer ændret atmosfærens sammensætning, og den ændrede sammensætning af atmosfæren har skabt nye livsbetingelser. På den måde fremkom den fantastiske mangfoldige biologiske organisation af livet på Jorden. På et tidspunkt i denne udviklingsproces, skete de aflejringer af organisk materiale, som blev til de fossile brændsler. Til sidst kom mennesket til. Til allersidst udviklede mennesket teknikker, hvormed det kunne udnytte de fossile brændsler. Dermed fik det magt til på et øjeblik at forandre alt. Hvordan kommer det næste billede i rækken til at se ud?

3.1 LIVET, ATMOSFÆREN OG DE FOSSILE BRÆNDSLER

Det nøje samspil mellem livets og atmosfærens udvikling er en fantastisk kemisk proces. Når man tænker over den, forstår man, at livet her på Jorden består i et forunderligt samspil mellem alt det, der sker i atmosfæren, i havene og på landjorden.

I begyndelsen, for 4 eller 5 milliarder år siden, var Jorden en livløs planet (figur 3.1). En gold stenmasse omgivet af en atmosfære, der hovedsageligt bestod af vanddamp, brint, ammoniak og methan¹⁷. De grundstoffer, alle levende celler hovedsageligt består af, nemlig kulstof, kvælstof, brint og ilt, fandtes i denne atmosfæres molekyler. Men hvordan det gik til, at de blev sammensat - organiserede - i de meget mere komplekse organiske molekyler (aminosyrer), som levende celler består af, er uvist. At levende celler ikke havde kunnet bestå og formere sig uden Jordens rotation i sollyset, er imidlertid utvivlsomt.

Måske var livets opståen en tilfældig og helt usandsynlig begivenhed i universet. Og måske er de former, det udfoldede sig i - fra de første éncellede organismer til flercellede alger og senere til planter, krybdyr, fisk og pattedyr - også resultater af tilfældige mutationer, der frembragte nye artsvarianter, som blev "stamfædre" til nye familier i livets stamtræer. Mange former uddøde, når livsbetingelserne ændrede sig. Og livet ændrede livsbetingelserne, først og fremmest fordi det ændrede atmosfærens sammensætning.

Man kan forestille sig, at organiske molekyler i de første milliarder af år efter deres opståen formerede sig i kraft af sollyset og fyldte havene, som således blev til en "organisk suppe". Derved ændredes atmosfærens sammensætning, idet ammoniakens kvælstof og methanens kulstof blev brugt som ingredienser i "suppen". Denne "suppe" gav næring til de første primitive organismer, der ligesom bakterier i et biogasanlæg kunne leve uden ilt - der var ingen fri ilt i atmosfæren. Idet suppen blev "spist" af disse organismer, blev der udledt store mængder CO₂ til atmosfæren¹⁸.

Senere udviklede der sig meget mere komplekse organismer, som grønne alger, der er i stand til at udnytte solstrålingen til at optage CO₂ fra atmosfæren og spalte den i kulstof (C) og fri ilt (O₂). Algevæksten medførte således, at der blev udledt fri ilt til atmosfæren, samtidigt med at dens indhold af CO₂ blev formindsket. Af afgørende betydning for livets videre udvikling var det også, at nogle iltatomer blev udledt som ozon (O₃), som i atmosfærens øverste lag dannede et skjold mod den ultraviolette del af solens stråling¹⁹.

Antracit, den fineste form for stenkul, stammer fra aflejringer af organisk materiale fra planter, der levede i havet så tidligt som for 2.5 milliarder år siden. Først for ca. 400 millioner år siden skete den for livet på Jorden afgørende udvikling af planter, der kunne leve på landjorden. Det meste stenkul stammer fra tørv, dannet af planterester for ca. 300 millioner år siden²⁰.

I nogle i Jordens udviklingshistorie korte perioder for 100 - 150 millioner år siden var klimaet meget varmt, og der skete en voldsom algevækst i havene. Algerne bundfældedes, nogle steder i dybe kløfter, hvor vandet var iltfattigt, og organismene derfor ikke gik i forrådnelse, men blev bevaret under sand og ler, der blev udvasket fra floderne. Nogle steder blev disse organiske aflejringer i senere geologiske perioder overlejret med andre bjergarter, så de kom ned i store dybder. Det organiske materiale i disse aflejringer blev i tidens løb omdannet til olie eller naturgas.

I alt dette plantemateriale, som siden blev til kul og olie og naturgas, blev der opsamlet store mængder af kulstof fra atmosfærens kuldioxid (CO₂). Senere blev der også opsamlet store mængder CO₂ i de små skaldyr, der aflejredes og blev til kalk- og kridtformationer. Plante- og dyrelivets udfoldelse afstedkom således gennem hundreder af millioner af år en fuldstændig ændring af atmosfærens sammensætning: Den atmosfære, hvori plante- og dyrelivet udfoldede sig i de sidste millioner år, og som vi stadig lever i, blev skabt.

17) Methan (CH₄) er hovedbestanddelen i naturgas og biogas.

18) Fremstillingen i dette og næste afsnit bygger på Barry Commoner's bog *The Closing Circle*, 1971, Chapter 1, The Ecosphere.

Dette nøje samspil mellem livets og atmosfærens udvikling er en fantastisk kemisk proces. Når man tænker over den, forstår man, at livet her på Jorden består i et forunderligt samspil mellem alt det, der sker i atmosfæren, i have og på landjorden. Ozonlaget øverst i atmosfæren, som også blev skabt i samspillet mellem liv og atmosfære, beskytter livet mod den ultraviolette del af solstrålingen, som er kilden til alt liv på Jorden. Vindene og havstrømmene fordeler solvarmen på breddegraderne. Atmosfærens CO₂ og vanddamp sørger for at begrænse varmeudstrålingen. Målinger af atmosfærens CO₂-indhold på den nordlige halvkugle viser, at det svinger i takt med plantevæksten om sommeren og planternes henfald om vinteren. Men de viser også, at industrisamfundets ovne, kraftværker og motorer, der æder sig ind på olien, gassen og kullet i jordskorpen, er kommet til som nye, primitive væsener, som igen ændrer atmosfærens sammensætning.

3.2 I DRIVHUSET

Der skete ikke noget energiforbrug i de hundreder af millioner af år, hvor livet udfoldede sig i en vældig produktion af organisk materiale i form af planter og dyr. År for år var der balance mellem energien i den solstråling, der ramte Jorden, og Jordens varmeudstråling til universet.

I det foregående kapitel 2 beskæftigede vi os med den forståelse af ordet "energi", der i denne de fossile brændslers tidsalder ligger til grund for den energipolitiske og økonomiske tænkning. Med den forståelse i tankerne, skulle man tro, at den vældige produktion af planter, træer, fisk, fugle og pattedyr, der har udfoldet sig igennem hundreder af millioner af år, har krævet et enormt energiforbrug. Det er jo et almindeligt omkvæd i indledningerne til energipolitiske redegørelser og energiplaner, at energitilførsler er nødvendige for vækst og udvikling - underforstået, at energi er noget, der forbruges.

Lad os nu gå bare 55 år tilbage til en dansk bondegård i 1950 med køer, svin, fjerkræ og heste. Over taget på laden

kørte en vindmølle (en såkaldt klapsejler), der trak kværne og andre maskiner. Hver dag leverede bonden mælk til mejeriet og æg til købmanden og med nogle ugers mellemrum køer, svin og fjerkræ til slagteriet, hvis slagteren ikke kom ud på gården. Små 200 000 gårde og husmandssteder af denne art producerede føden til 4 millioner danskere og leverede mælk og svin til en landbrugseksport, der tegnede sig for størstedelen af landets eksportindtægter. Hvad var energiforbruget i dette landbrug? Svaret er: Praktisk taget nul. Der skete intet i dette landbrug, der i nogen fornuftig mening kunne kaldes et energiforbrug. Men landbruget producerede energi i form af fødevarer til forbrug i byerne og til eksport. Og samtidigt kunne husdyrbesætningen vokse fra det ene år til det næste.

Der skete således ikke noget energiforbrug i de hundreder af millioner af år, hvor livet udfoldede sig i en vældig produktion af organisk materiale i form af planter og dyr. År for år var der balance mellem energien i den solstråling, der ramte Jorden, og Jordens varmeudstråling til universet. Planter visnede og dyr døde, men nye voksede op i stedet. Der var ikke noget energiforbrug.

Hvordan kan forandring, udvikling og produktion ske uden energiforbrug? Det kan fortælles som en lille historie (se figur 3.2):

I et stort rundt drivhus, endnu større end det store væksthus i botanisk have i København, bor en fingerfærdig mand - ligesom Robinson Crusoe, der reddede sig i land på Stillehavsoen. Han har en værktøjskasse, som og skruer og en drejebænk, og han har masser af tid til at iagttage livet og finde på ting, han kan lave. Planter og træer vokser omkring et stort vandbassin i midten af drivhuset. Der er fugle i træerne og fisk i vandet. Det er en Paradisets have med rigeligt at spise. Affald er der ikke noget af, for alle ekskrementer og planterester går ind i kredsløbet som næringsstoffer for de næste generationer.

Om dagen bliver der meget varmt i drivhuset, så der fordampes en hel del vand fra bassinet, jorden og planterne. Vanddampen fordeler sig i luften. Når det bliver koldt om natten kondenseres vanddamp på glaspladerne i loftet, og det regner ned over planterne og bassinet.

19) Som bekendt er ozonlaget i store områder nu blevet delvist nedbrudt på grund af menneskers udledning af ozonnedbrydende gasser, især freon-forbindelser fra bl.a. kølemaskiner.

20) Encyclopedia Britannica, Coal.

FIGUR 3.2 I drivhuset er det sollyset og temperaturforskellen mellem nat og dag, der gør livet muligt. Om dagen bliver det varmt, og de grønne planter kan udnytte solstrålingen og luftens kultveilte (CO_2) til at opbygge nye celler. Vand og mineraler får de gennem deres rødder.

Om dagen fordampes en masse vand fra søen og planternes og træernes blade. Om natten falder temperaturen udenfor. Når der bliver køligt oppe under taget, fortættes vanddampen til regn.

I løbet af natten afgiver drivhuset lige så meget varme, som det har opsamlet om dagen.

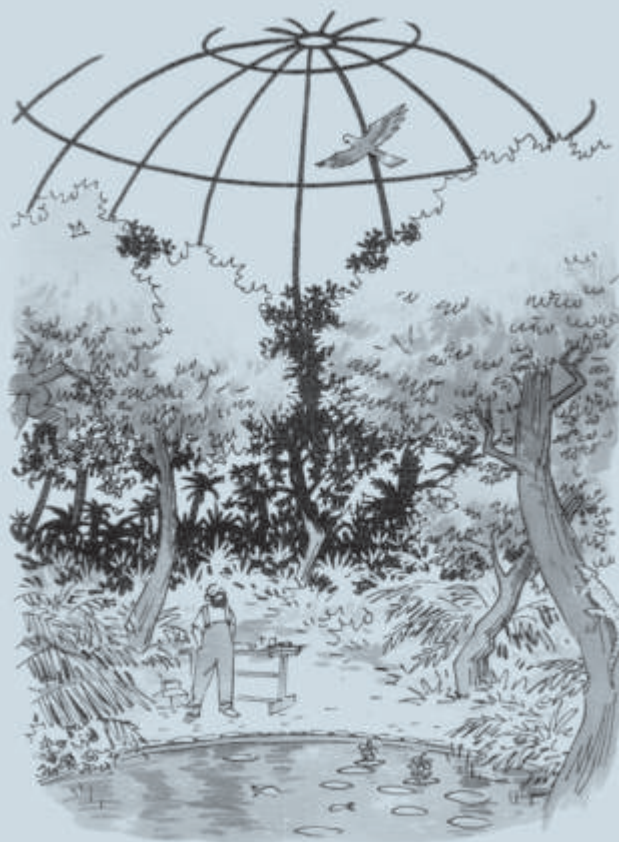
Der forbruges ikke noget. Når noget visner og dør, kommer noget nyt til.

Livet i drivhuset er ikke uforanderligt. Manden kan med sit værktøj og sin fantasi lave om på indretningen. Lave sig en udsigtsplads og et bassin oppe under taget, hvor han kan opsamle regnvandet og bruge det til at drive en vandmølle, der kan løfte ham op i en elevator.

Det træ, han har brugt, kommer igen i nye træer. Livet går videre som før.

Forskellen er, at det, manden har lavet, går til i tidens løb, hvis manden ikke holder det ved lige. Det kan ikke som plante- og dyrelivet genskabe sig selv.

Når en fugl flyver og planter spirer, sker der en energiomsætning. Alt er energi. Men kun med vandmøllen og elevatoren bliver det til at få øje på. I vores verden er det kun den grove energiomsætning i maskiner og bål, vi har øje for. Selvom det er det, der sker i det små og fine i de biologiske organismer, vi lever af.



En dag får manden en idé. Han vil lave en vandmølle. Han fælder nogle træer, bygger et stillads og laver et stort fladt vandbassin - et vandreservoir - oven over trætoppene. Om morgenen, når regnen har fyldt vand i dette bassin, åbner han et skot, så vandet i et vandfald styrter ned i bassinet på jorden nedenfor. Det er flot at se på, men ellers ikke til gavn. For at udnytte den kraft, der er i det nedstyrtende vand, laver han nu et vandmøllehjul og leder vandet gennem en slids ned til møllehjulet. Nu kan han udnytte vandkraften til at drive sin drejebænk.

I de næste år drejer han kunstfærdige sceptre til et rækværk omkring bassinet og til gelændere til trapper op til udsigtsplatforme, hvorfra han nøjere kan iagttage fuglelivet, og komme op og rense vandreservoiret for alger og fugleekskremitter. En dag finder han på at lave en elevator, så vandmøllen kan trække ham op til vandreservoiret.

Efter nogen tid er det træ, han har brugt, blevet erstattet af ny trævækst. De forandringer, der er sket i kraft af hans nye teknologi, består i de konstruktioner, han har lavet, og de udsmykninger, han har frembragt. Alt andet er, som det var før.

Året igennem har drivhuset optaget lige så meget varme fra solstrålingen i dagtimerne, som det om natten har afgivet ved varmestråling og varmeledning til luften udenfor. Energiregnskabet balancerer. Der forbruges ikke energi i drivhuset.

Hvad er det så, der holder det hele i gang og gør forandring og udvikling mulig?

Det er temperaturforskellen mellem nat og dag.

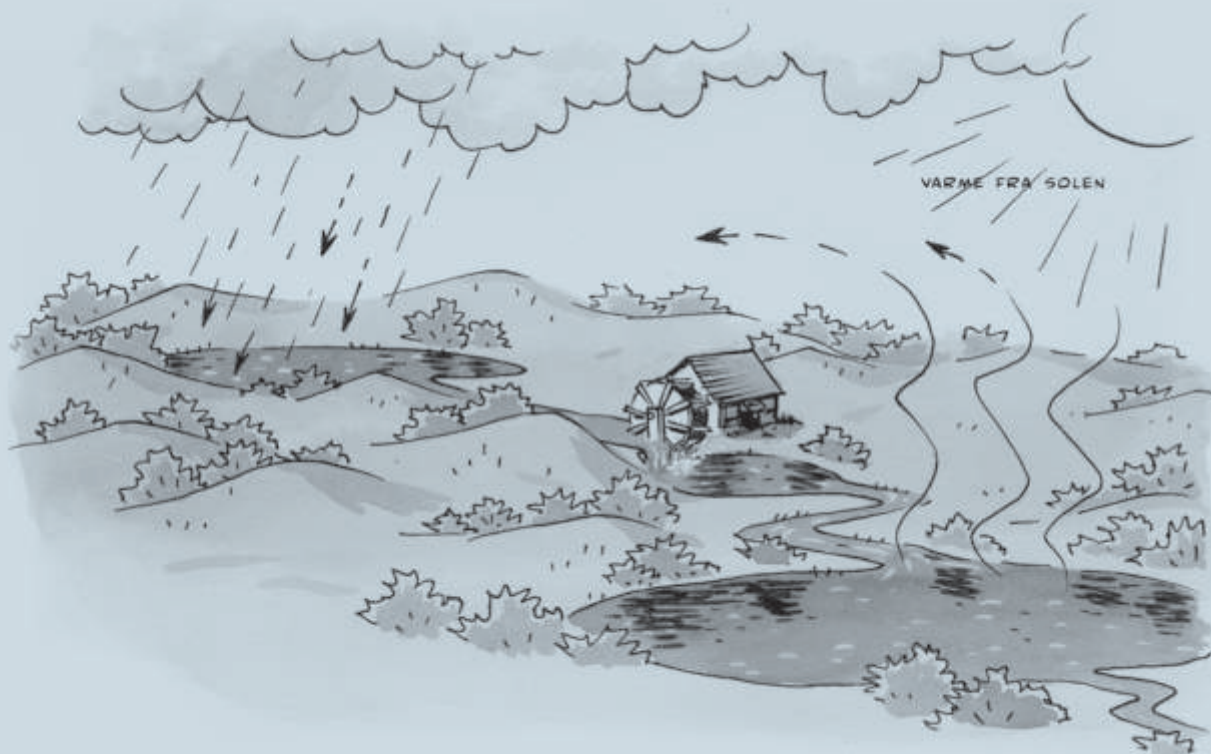
Hvis det hele tiden var varmt i drivhuset ville luften blive mættet med vanddamp og planter og dyr ville ikke kunne komme af med den varme, der, som vi ved, opstår i alle levende organismer, når de omsætter næringsstoffer: Det bliver varmt i kompostbunken, og hvis vi ikke kunne komme af med kropsvarmen, ville vi hurtigt afgå ved døden. Hvis solen hele tiden skinnede på drivhuset fra den samme position på himlen, eller hvis drivhuset blev tildækket med et tykt lag isoleringsmateriale, ville livet derinde hurtigt uddø. Men når det bliver varmt om dagen og koldt om natten, kan planter og dyr om natten komme af med den energi, de om dagen optager fra sollyset. Således kan

livet ikke blot gå videre, men udvikle sig i nye former. Der kan opstå nye arter, og som det nye i Jordens udviklingshistorie er der opstået en art - mennesket - der med redskaber og maskiner kan frembringe nye former og nye redskaber og maskiner.

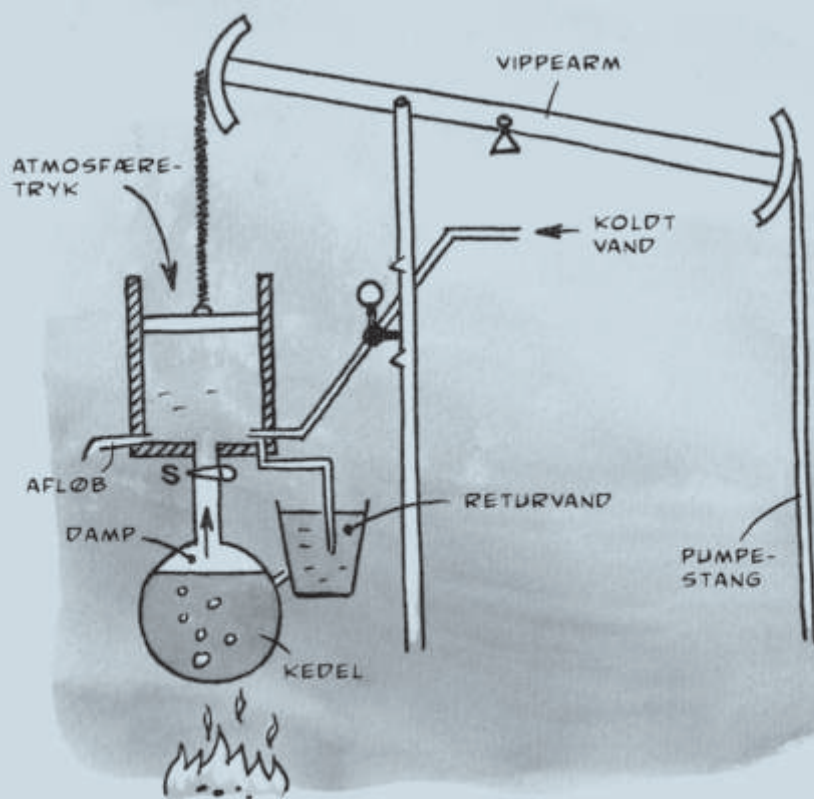
I sin bane om solen og sin rotation om sin egen akse virker hele Jorden som et drivhus. Ligesom temperaturudsvingene i drivhuset hæmmes af dets glastag, hæmmes temperaturudsvingene på Jorden af store mængder vanddamp og små mængder CO₂, CH₄ (methan), lattergas m.fl. i atmosfæren. Som beskrevet i afsnit 3.1 ovenfor, er atmosfærens sammensætning af disse luftarter samt hovedbestanddelene: ilt og kvælstof nøje afstemt i samspillet mellem livets og atmosfærens udvikling. Klimaet på de forskellige årstider på de forskellige steder på Jorden - dvs. temperaturer og temperaturforskelle mellem dag og nat, nedbørsmængder og vindstyrker - passer nøje til de planter og dyr, der lever de forskellige steder.

Jordens atmosfære og livet på Jorden og havstrømmene, ikke at forglemme, er én stor organisme, der har udviklet sig i en helhed, hvor alt afhænger af og er bestemt af noget andet i den store mekanik. Denne organisme holdes i live af temperaturforskellen mellem nat og dag og mellem ækvatorbæltet og polarregionerne. Temperaturforskellene skyldes Jordens rotation i solstrålingen, der bevirker, at den høj-frekvente indstråling fra solen, der er 5 500 grader varm, om natten afløses af lav-frekvent varmestråling fra Jorden til universet.

Det er således ikke den "energi" - målt med et kalorimeter (se figur 2.1) - der med solstrålingen når Jordens atmosfære og overflade, der er afgørende. Det er den energi, som ligger i temperaturforskellen mellem dag og nat, det handler om. Der er her tale om en anden betydning af ordet "energi" end den, vi lærte i skolen, og som politikere og økonomer, som beskrevet i afsnit 2.3, har i tankerne. Det kommer vi nærmere ind på i kapitel 4. Først skal vi se, hvordan industrisamfundet opstod af temperaturforskelsmaskiner i mindre skala.



FIGUR 3.3 Ligesom i drivhuset (figur 3.2) er det temperaturforskelle mellem jorden og atmosfæren og mellem høje og lave luftlag, der holder gang i det vandkredsløb, der kan udnyttes i vandmøller og vandkraftværker. Den væsentlige forskel mellem disse naturlige varmemaskiner og dampmaskinerne i kraftværker er, at temperaturforskellen mellem en dampmaskines kedel og kølevand er meget større end temperaturforskellene i de naturlige kredsløb.



FIGUR 3.4 Principskitse af den første dampmaskine: Newcomen's dampmaskine fra 1712. Her er det temperaturforskellen mellem det kogende vand i dampkedlen og det kolde vand, der driver vand-damp-kredsløbet. Når ventilen S åbnes, fyldes cylinderen med damp, medens stemplet går op. Når stemplet er helt oppe lukkes for dampen, og koldt vand ledes ind i cylinderen. Det får dampen til at kondensere. Derved bliver der undertryk i cylinderen, så atmosfærens tryk på stemplet med stor kraft trykker stemplet ned og hæver pumpestangen. Fordi der er undertryk i cylinderen, kan den laves af træ, som en tønne.

3.3 TERMODYNAMIK

Maskiner, der virker i kraft af temperaturforskelle kalder man varmemaskiner. Det store kredsløb med vandmøllen er en stor naturlig varmemaskine. Den videnskab, der beskæftiger sig med sådanne maskiner, kaldes termodynamik (termo: varme; dynamik: af græsk dynamis: kraft)

Et sted i det danske bakkelandskab strømmer et vandløb gennem en slugt fra en sø, der ligger højt, til en sø, der ligger lavt (se figur 3.3). Når det løber ud i den lavtliggende søs næsten stillestående vand bremses det op. Opbremsningen sker i strømhvirvler, hvori bevægelsesenergien i den fremadrettede strøm omsættes til bevægelsesenergi i de roterende bevægelser i hvirvlerne. Idet hvirvlerne opløses, bliver vandet en lille smule varmere - vandmolekylernes kaotiske bevægelser bliver en smule hurtigere.

Engang i gamle dage opførte en møllebygger en vandmølle i slugten. Møllehjulet bremser vandstrømningen, så vandets hastighed efter møllen bliver lidt mindre. Møllen opsamler så at sige noget af vandstrømningens bevægelsesenergi og udnytter den til at drive kværnen, så den ene sæk korn efter den anden bliver malet til mel. Selvom møllens tunge aksler og tandhjul af træ bliver smurt med fedt og talg, bliver de varmet lidt op af gnidningen mellem aksler og lejer og mellem tandhjulenes tænder. Især sker der en opvarmning af kværnstenene, der gnider tungt mod hinanden, og af kornet, der knuses til mel.

Hvad enten vandmøllen er der eller ej, bliver vandløbets bevægelsesenergi således i den sidste ende omsat til en ganske lille opvarmning. Vandmøllen bevirker kun, at opvarmningen af søens vand bliver en lille smule mindre, fordi møllen formindsker den hastighed, hvormed vandstrømmen når ud til søen. I stedet sker der en lille opvarmning i vandmøllens maskineri. Men disse små temperaturforskelle udjævnes hurtigt i den store atmosfære, hvori det hele foregår.

Præcist som i drivhuseksemplet (figur 3.2) er der kommet noget nyttigt (eller fornøjeligt) ud af forløbet: Kornet er ble-

vet til mel uden at noget er blevet forbrugt eller noget andet er blevet forandret, udover lidt slitage på møllemaskineriet. Det, der er sket, er, at naturens materialer er blevet organiseret på en nyttig måde ved opførelsen af vandmøllen.

Under alle omstændigheder ender al bevægelsesenergi - ligesom elektrisk kraft og alle andre former for energi - som varme ved omtrent samme temperatur som atmosfærens. Men med teknisk snilde kan man ændre ved forløbet, så man får noget nyttigt ud af det.

Lad os nu fra en høj bakketop anskue situationen i et større perspektiv og over længere tid. Opvarmningen fra solstrålingen får vand fra søerne til at fordampe. I højere luftlag, hvor temperaturen er lavere, kondenserer vanddampen, og under de rette omstændigheder dannes vanddråber, der er så store, at de falder som regn. Idet noget af regnen falder over den højtliggende sø, bliver det vand, der er ført bort fra søen gennem vandløbet, erstattet af regnvandet. Kredsløbet er sluttet. Det kan vare ved så længe solen skinner og Jorden roterer om sin akse.

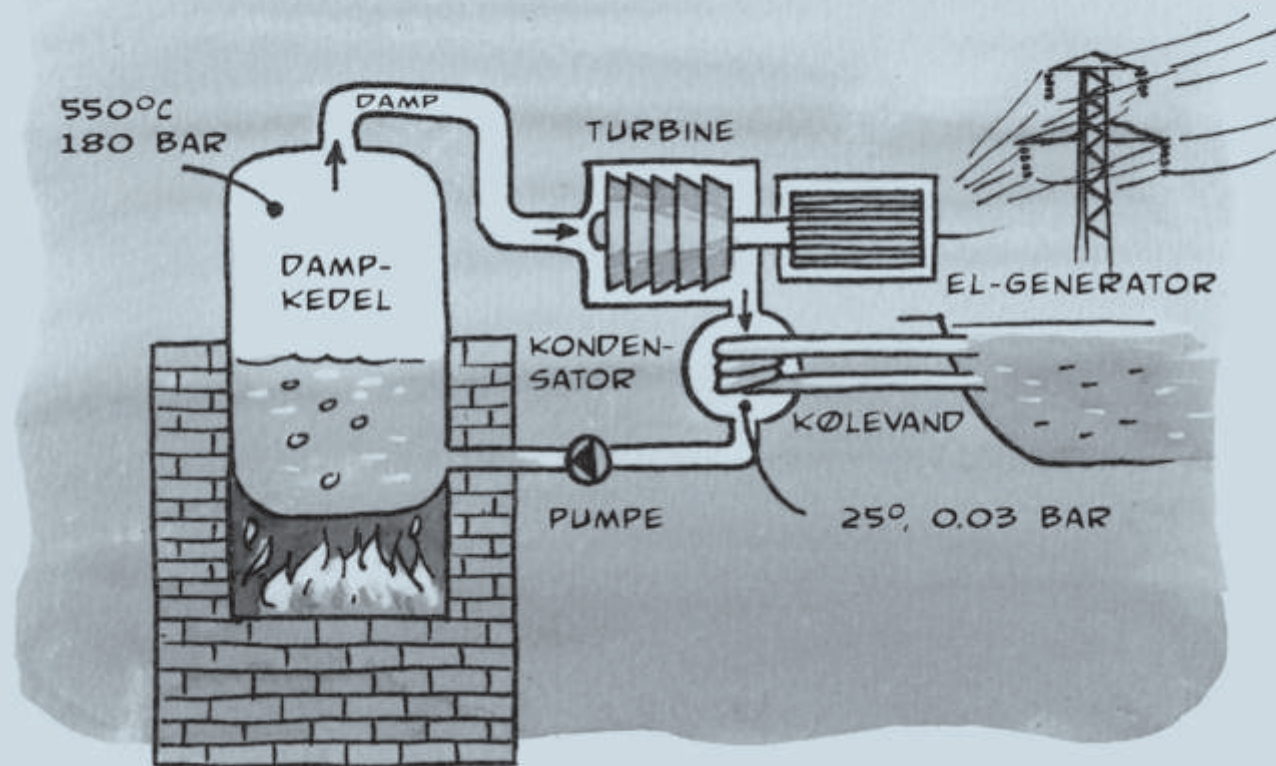
Det er temperaturforskellen mellem søen, hvorfra vandet fordamper, og de koldere højere luftlag, hvor vanddampen kondenserer, der driver værket. Den energioverførsel, der sker mellem et område med en højere temperatur og et område med lavere temperatur kalder man varme - thermós på græsk (termometer: varmemaal, men retteligt en temperaturmåler). Maskiner, der virker i kraft af temperaturforskelle, kalder man varmemaskiner. Det store kredsløb med vandmøllen er således en stor naturlig varmemaskine. Den videnskab, der beskæftiger sig med sådanne maskiner kaldes termodynamik²¹ (termo: varme; dynamik: af græsk dynamis: kraft).

Videnskaben termodynamik var ukendt i de gamle vandmøllers tid. Den blev først udviklet, da varmemaskiner, der arbejdede med meget større temperaturforskelle, blev opfundet: dampmaskinerne. Som vi skal se i det følgende virker dampmaskinerne efter det samme princip som den naturlige varmemaskine.

21) Der er her tale om den oprindelige såkaldte klassiske termodynamik, der beskæftiger sig med varmemaskiner. Denne videnskab blev grundlagt af Sadi Carnot i slutningen af 1820'erne, se kapitel 4, afsnit 4.5. Senere blev den videreudviklet til den såkaldte statistiske termodynamik, der beskæftiger sig med processer på det molekulare plan. Da det hele drejer sig om at kontrollere procesforløb (regulering og styring) blev den statistiske termodynamik i 1940'erne sammenflettet med den moderne informationsteori. Kontrol kræver information, sådan som

man kan se det i moderne biler, der er udstyret med mikrocomputere, der holder øje med alt lige fra bremsekraft på hjulene (ABS) til airbags. Det kræver også information til en computer om motorbelastning og omdrejningstal at styre gearskiftet i en VW Lupo 3L, sådan at dieselforbruget holdes nede på 3 liter per 100 km.

Denne figur er en modificeret udgave af en figur i en ELSAM-brochure fra 1980'erne.



FIGUR 3.5 Damp turbinekraftværk. I de store dampmaskiner i nutidens kraftværker er stemplet erstattet med en damp-turbine, der driver el-generatoren.

I kedlen koger vandet ved en temperatur på 350 grader og et tryk på 180 bar. Dampen varmes yderlige op (overhedes) til ca. 550 grader.

I kondensatoren er der et dybt undertryk, omkring 0.03 bar og en temperatur på kun ca. 25 grader.

Det store trykfald får dampen til at strømme gennem turbinen i en rasende fart. Man kan sammenligne damp-turbinen med en vindmølle, men "dampvindstyrken" er mange gange større end vindstyrken i en storm. Når dampen er kondenseret i kondensatoren, pumpes kondensvandet tilbage til kedlen.

Jo større temperaturforskel og dermed større trykforskel, der er mellem dampkedlen og kondensatoren, jo mere elektrisk kraft får man ud af det brændsel, der brændes af for at holde vandet i kedlen i kog. Men der er tekniske grænser for hvor høje temperaturer og tryk et sådant anlæg kan holde til, og når trykket kommer over 220 bar ændres vandets egenskaber.

Man kan derfor kun delvist udnytte den høje temperatur på over 1500 grader, der kan frembringes i brændkammeret. Over halvdelen af den elektriske kraft, man med den helt ideelle maskine kunne have fået ud af forbrændingen af brændslet, går derfor tabt på grund af tekniske begrænsninger.

Tabet skyldes, at man ikke kan udnytte den store temperaturforskel mellem brændkammeret og kedlen. Det viser sig ved, at el-produktionen bliver mindre og varmeafgivelsen til kølevandet større end i en mere ideel maskine. Men den varme, der afgives til kølevandet, udgør ikke i sig selv et tab. Maskinen virker jo i kraft af varmeafgivelsen ved lav temperatur til kølevandet. Og vand ved en temperatur på omkring 20 grader har ingen brugsværdi.

I et såkaldt kraftvarmeværk (se figur 8.1) hæves kondensatortemperaturen så meget, at kølevandet bliver varmt nok til radiatorer i huse. Så falder el-produktionen lidt på grund af den lidt mindre temperaturforskel mellem kedel og kondensator. Til gengæld kan man komme af med de meget ineffektive olie- og naturgasfyr (se kapitel 4, tabel 4.1) ved at bruge husenes radiatorer til at køle kraftværket med.

3.4 INDUSTRISAMFUNDETS ENERGI

Det var den kompakte kraftproduktion, der muliggjorde den industrielle udvikling. Et damplokomotiv kan trække mere end hundreder af heste. En lille benzinmotor på 10 hestekræfter kan ligge i bagagerummet på en bil.

Den første brugbare dampmaskine blev bygget i England i 1712. Den var konstrueret af jernhandleren Thomas Newcomen (1663 - 1729) til brug i miner, hvor den erstattede heste som drivkraft til pumper, der holdt mineskakterne tørre. Figur 3.4 viser, hvordan maskinen virkede i kraft af luftens tryk på et stempel, hvorunder der blev skabt et undertryk ved at få damp til at kondensere²².

I årene 1765 - 1790 udviklede den skotske ingeniør James Watt (1736 - 1819) den dampmaskine, der siden blev til lokomotiver og blev brugt i skibe og i alle de fabrikker, der skabte industrisamfundet. I modsætning til Newcomen's maskine, som virkede ved undertryk i cylinderen, virker Watt's maskine ved, at damp under tryk ledes ind i cylinderen, så kraften og bevægelsen fremkommer ved dampens pres på stemplet. Som man kan se det på et damplokomotiv, er stemplet forbundet til en plejlstang, der driver hjulene. Før stemplet trækkes tilbage, ledes dampen ud af cylinderen til en kondensator, hvori vandet kondenseres og derpå pumpes tilbage til dampkedlen. Kondensatoren kan virke som en rørspriral, der er neddykket i koldt vand. I nutidens dampmaskinekraftværker er cylinder og stempel erstattet med damp-turbiner, se figur 3.5.

Thomas Newcomen var ikke videnskabsmand, og der lå ingen videnskabelig teori til grund for hans opfindelse. Kun praktiske erfaringer og snilde. Heller ikke James Watt havde nogen teoretisk forklaring på, hvordan dampmaskinen virkede, selvom hans mange målinger af dampens egenskaber hjalp ham til at forbedre dampmaskinens effektivitet.

Det var den franske ingeniør og videnskabsmand Sadi Carnot (1786 - 1832), der udledte den teoretiske forklaring på dampmaskinens virkemåde. I en epokegørende afhand-

ling om "Ildens bevægende kraft"²³, udgivet i Paris i 1824, forklarede han det almindelige princip i dampmaskinens virkemåde. Princippet er, at maskinerne, hvordan de end er konstruerede, virker i kraft af temperaturforskellen mellem ilden under dampkedlen og det kolde vand, der får dampen til at kondensere, efter at den har udøvet sit tryk på stemplet. Det var således Carnot, der lagde grundlaget for videnskaben termodynamik (se afsnit 3.3 ovenfor).

Dette princip: at temperaturforskelle kan drive kredsløb, processer og maskiner, er netop det, vi i afsnittet ovenfor beskrev som det princip, der forklarer livets udvikling og opretholdelse på Jorden. Forskellen mellem livsprocesserne og dampmaskinen er, at dampmaskinen virker ved en temperaturforskel, der er meget større end de temperaturforskelle, der er tale om i de naturlige kredsløb. Ved forbrænding af kul, olie eller naturgas i fyr under dampkedler kan temperaturen komme op over 1000 grader. Med en sådan temperaturforskel i forhold til omgivelsernes temperaturer - dvs. udeluftens temperatur eller temperaturen i en flod eller en fjord - kan man frembringe kræfter, der er meget større end de kræfter, manden i drivhuset (figur 3.2) kan frembringe med de meget mindre temperaturforskelle, der opstår i drivhuset. Men selvfølgelig, hvis drivhuset er tilstrækkeligt stort, ville man kunne få vand nok i kredsløbet til at drive en vandmølle, der kunne levere lige så meget kraft som en dampmaskine. Det ville bare kræve et meget stort vandreservoir oppe under drivhustaget.

Vandmøllen i drivhuset virker præcist ligesom moderne vandkraftværker. Ligesom temperaturforskellene i drivhuset driver vandkredsløbet (fordampning efterfulgt af kondensering), driver temperaturforskellene i atmosfæren det kredsløb, hvori vand fordamper fra havene og kondenserer som regn. Noget af regnen opsamles i vandkraftværkernes højtliggende vandreservoirer.

Et vandkraftværk med et stort reservoir og en stor faldhøjde fra reservoiret ned til floden, der fører vandet ud mod havet, kan producere mere kraft end et stort dampmaskinekraftværk. Men der er en væsentlig forskel mellem vand-

22) Det kan vises ved et simpelt eksperiment: Kom lidt kogende vand i et syltetøjsglas. Luk glasset med et stykke husholdningsfolie med en elastik omkring glasskraven. Sæt glasset ned i koldt vand. Idet vanddampen i glasset kondenserer opstår der et undertryk, så folien buler ned under luftens tryk. Derfor, sæt aldrig varmt vand i køleskabet. Du får det måske aldrig lukket op igen.

23) *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*. På dansk: Overvejelser om ildens bevægende kraft og om de maskiner, der er velegnede til at udnytte denne kraft.

kraft og dampmaskinekraft, nemlig det areal, der kræves til produktionen.

I 1957-59 blev der bygget et stort vandkraftværk ved Kariba på Zambezi-floden, der løber mellem Zimbabwe og Zambia. Den 128 meter høje Kariba-dæmning opstemmer flodens vand i et reservoir, som dækker et areal, der er omtrent så stort som Jylland. Tusinder af mennesker blev tvangsforflyttet fra deres landsbyer, da landet blev oversvømmet. Dette vandkraftværk producerer ca. 7 milliarder kWh om året. De 10 store kulfyrede dampmaskinekraftværker i Danmark producerer 3 gange så meget (ca. 21 milliarder kWh om året). Det siger noget om, hvor kompakt kraftproduktionen i dampmaskiner er i forhold til kraftproduktion, der kan opnås i naturens kredsløb. Der kan på et lille areal og med relativt små maskiner udløses kræfter, der i naturens kredsløb kræver meget mere plads²⁴.

Det var den kompakte kraftproduktion, der muliggjorde den industrielle udvikling. Et damplokomotiv kan trække mere end hundreder af heste. En dampmaskine i et skib kan give mere fremdrift end hundreder af kvadratmeter sejl. De kræfter, der skal til for at trække et stålvalseværk, kunne kun fås fra dampmaskiner. I benzin- og dieselmotorerne, der kom til i begyndelsen af 1900-tallet, er kraftproduktionen endnu mere kompakt. En lille benzinmotor på 10 hk kan ligge i bagagerummet på en bil. Men den leverer lige så stor en kraft som 10 heste og som én af de mange vandmøller med tunge møllehjul og vældige drivaksler og tandhjul af træ, der i gamle dage fandtes langs de danske åer og vandløb.

3.5 MASKINERNE FREMBRINGER DERES FOSSILE BRÆNDSTOFFER

Uden kul ingen dampmaskiner, og uden dampmaskiner ingen kul. Uden diesel- og benzinmotorer ingen diesel og benzin, og uden diesel og benzin ingen diesel- og benzinmotorer.

Det var samspillet mellem livets og atmosfærens udvikling, der i én stor organisk proces frembragte både de

levende dyre- og plantearter og den atmosfære, vi har i dag. Og i dette samspil skete der tilfældigvis aflejringer af alge- og planterester, som gennem et tidsrum på millioner af år blev til de fossile brændsler. Et tilsvarende samspil mellem udvindingen af fossile brændsler og de maskiner, der "æder" disse brændsler, ser vi i industrisamfundets udvikling. Dampmaskinerne skulle have kul, og for at udvinde og transportere større og større kulmængder, skulle man have dampmaskiner. Uden kul ingen dampmaskiner, og uden dampmaskiner ingen kul.

Senere skulle der bruges dieselolie til at fodre motorerne i de boretårne og oliebrønde, der frembragte olie, i olieferledningernes pumpeværker og i olietankere. Og der skulle bruges diesel og benzin til at fodre de firehjulstrækkere, skibe, helikoptere og fly, der var nødvendige for at finde oliefelterne i uvejsomt terræn og under havoverfladen. Så uden diesel- og benzinmotorer ingen diesel og benzin, og uden diesel og benzin ingen diesel- og benzinmotorer. Og det skal tilføjes, at uden diesel- og benzinmotorer var atomkraften ikke blevet udviklet.

3.6 OLIEPRODUKTION FRA SOLLYSET

Med snart 9 milliarder mennesker og 1 milliard biler på Jorden, er der ikke plads til at opsamle så meget sollys, som der skal til for år for år at producere den mængde olie, der kræves for at fortsætte denne samfundsudvikling.

Af planter som raps og soya kan man udvinde olie, og alkohol (ethanol), der kan bruges som brændstof i benzinmotorer, kan udvindes ved gæring af sukkerrør, korn m.fl. Planter kan således udnytte sollyset til at producere olie eller alkohol, som kan erstatte olie. Men solstrålingen er relativt svag. Ellers ville den slå os ihjel. Så der skal store arealer til at frembringe betydelige mængder olie fra planter. Hvis en familie med en stor parcelhushave på 750 kvadratmeter plantede haven til med korn og hvert år gødgede den med kunstgødning, ville den hvert år kunne udvinde ca. 200 liter ethanol af det høstede korn. Men der medgår

24) Kraftproduktion i naturens kredsløb eller ved direkte udnyttelse af solstrålingen kaldes "vedvarende energi". For at få en kraftproduktion fra vindmøller, der er lige så stor som produktionen i Danmarks 10 store kul- eller naturgasfyrede dampmaskinekraftværker, skal man bygge noget i retning af 2500 kæmpevindmøller med en tårnhøjde på 70 meter. Det svarer til én for hver 150 meter langs den jyske vestkyst fra Skagen til grænsen. Hvis den samme produktion skulle opnås ved direkte udnyttelse af solstrålingen ved hjælp af solceller (el-producerende sol-

fangere), så skulle et areal på størrelse med Storkøbenhavn dækkes med solceller. Så i forhold til vindkraft og solkraft fylder de 10 store dampmaskinekraftværker ikke ret meget.

Bemærk at man ikke bare kan erstatte dampmaskinekraftværker med vind- og solkraft, for vinden blæser ikke i takt med el-forbruget og solen skinner kun en gang imellem om dagen.

en brændstofmængde svarende til 120 liter ethanol til at dyrke kornet og fremstille ethanol. Så slutregnskabet bliver en netto-produktion på ca. 80 liter ethanol.

Hvis det samlede nuværende brændstofforbrug til personbiler, varebiler, lastbiler og busser skulle dækkes af bio-brændstoffer, kunne vi ikke nøjes med det danske landbrugsareal, men vi måtte inddrage både Skåne og Slesvig-Holsten for at producere en så stor mængde biobrændstoffer. Så hvis biobrændstoffer skal spille en større rolle som drivmiddel til køretøjer, skal vi køre færre kilometer om året og længere på literen.

Der er i dag godt 2 mio. personbiler i Danmark. Hvis antallet ikke forøges, og vi regner med, at de i gennemsnit kan nøjes med at køre 15 000 km om året, og de i de kommende 15 år udskiftes med nye biler, der i gennemsnit kører 30 km på en liter, så bliver brændstofforbruget i personbiler 1 mia. liter i 2020. Dertil kræves ca. 10 000 kvadratkilometer landbrugsareal, eller ca. 40% af det samlede danske landbrugsareal. Og så mangler vi varebiler, lastbiler, busser og tog.

Så selv hvis vi kraftigt formindsker brændstofforbruget til transport, skulle vi bruge det meste af landbrugsarealet for at indfange så meget sollys, at brændstofforbruget til transport kunne dækkes.

Lad os forestille os, at det årlige brændstofforbrug per bil overalt i verden blev formindsket tilsvarende, sådan at det globale olieforbrug til transport ikke vokser, selvom antallet af biler i de kommende 10 år vokser fra 700 mio. til 1000 mio., og der også bliver flere busser, lastbiler, landbrugsmaskiner, flyvemaskiner osv. Hvis det globale olieforbrug til transport i så fald skulle dækkes af olieproduktion fra sollyset, så skulle et areal på størrelse med Canada og USA (uden Alaska), svarende til en trediedel af det nuværende globale landbrugsareal²⁵, tilplantes med afgrøder, hvoraf der kan udvindes biodiesel eller alkohol til biler - når der regnes med, at der i gennemsnit kan produceres 50% mere brændstof per hektar end under danske forhold.

Forudsat at arealerne bliver gødet - hvilket kræver naturgas til kunstgødning - og kunstvandet i tørre områder²⁶.

Disse tal kan tjene til at give et indtryk af den koncentration af drivkraft, menneskeheden for en kort tid har fået til rådighed i form af olie fra fossile olieklender. Vores samfund og økonomiske udvikling er baseret på og derfor afhængig af den olie, der stammer fra algers optagelse af sollys gennem millioner af år for omkring 100 millioner år siden. Med snart 8 milliarder mennesker og 1 milliard biler på Jorden, er der ikke plads til at opsamle så meget sollys, som der skal til for år for år at producere den mængde olie, der kræves for at fortsætte denne samfundsudvikling.

Det nuværende danske landbrug er ikke en energimæssig overskudsforretning. Den energi, der kommer ud i form af korn og kød til fødevarer og halmoverskud til brændsel, er ikke meget større end den energi, der kommer ind i form af importerede foderstoffer, diesel til landbrugsmaskinerne og brændsel til at producere den elektricitet, der forbruges i staldene. Hvis landbrugets energiregnskab skal forbedres, er det mest naturligt, at det sker ved, at landbruget selv producerer brændstoffet til landbrugsmaskinerne i form af rapsolie eller biodiesel, ligesom det tidligere selv producerede foderet til hestene. Og ved at det med biogasdrevne motorer selv dækker sit el-forbrug.

25) Det samlede globale landbrugsareal er på 5 mia. hektar = 50 mio. kvadratkilometer.

26) I USA og EU ville produktion af biodiesel i en mængde svarende til 5% af det nuværende olie forbrug til transport i disse lande kræve et areal svarende til 20% af det samlede landbrugsareal. (Gilbert og Perl: Energy and Transport Futures. Juni 2005)

4. ENERGI TIL ARBEJDE

Det græske ord 'etymos' betyder det, der er virkeligt, sandt. 'Etymologi' er den videnskab, der beskæftiger sig med ordenes oprindelige, sande betydning. Derfor er en god etymologisk ordbog til stor hjælp, når man skal forstå, hvad man taler om.

Slår man op under 'energi' i Niels Åge Nielsens *Dansk etymologisk Ordbog* (Gyldendal, 1966), henvises man til at se under 'værk'. Der står der, at 'værk' - tysk: 'werk'; engelsk: 'work' - stammer fra det ældgamle indoeuropæiske ord 'uergon'. Når man siger 'uerg', kan man godt høre, at det er det samme ord som 'værk' og 'work'. På græsk blev det til 'ergon' og 'en-ergon' og 'energeia', som betyder evnen til at udføre en aktivitet eller et arbejde. 'energias' betyder at være aktiv eller effektiv: energisk.

I daglig tale bruger vi ordet 'energi' i den oprindelige betydning 'energeia': evnen til at præstere noget, yde et arbejde, i-værk-sætte. Som når vi siger, "Det har jeg ikke energi til", "Han er meget energisk", "Man bruger meget energi, når man løber". Og vi er helt klar over, at energi skal fornyes, efterhånden som den forbruges henad vejen. Men det passer ikke med, at vi i skolen lærer at energien bevares i et såkaldt "lukket system", dvs. inden for et område, der er helt isoleret fra omverdenen.

Vi er jo godt klar over, at hvis vi blev indeslættet i et stort rum, der er helt isoleret fra omverdenen, så ville vores evne til at udføre arbejde snart gå tabt, selvom der i rummet var et forråds-kammer med mad og drikke og benzin til en el-generator, der kan producere elektricitet til vores maskiner. Vi ville uddø, om ikke af iltmangel, så fordi forrådene slipper op. Så vi ved, at energi - i den oprindelige betydning, hvori vi til daglig bruger ordet - bliver brugt op. Men vores fysiklærer vil stå udenfor og sige, at energien er bevaret i det lukkede system, hvori vi afgår ved døden. Det er ikke fordi vores fysiklærer vrøvler. Det er fordi han eller hun bruger ordet i en anden betydning end den oprindelige og dagligdags.

Om lidt lægger vi fysikbogen på hylden, så vi uden at skele til dén kan bruge ordet "energi" i dets oprindelige og dagligdags betydning. Senere tager vi den frem igen, for at se lidt nøjere på, hvad "energi" betyder i fysikkens sprogbrug. Men først skal vi minde om, hvad ordet "arbejde" betyder i fysikken. For det er i den betydning, ordet vil blive brugt i det følgende.

4.1 ARBEJDE

I fysikken er "arbejde" en simpel størrelse, som man kan forstå som den præstation, der består i at løfte en tung genstand.

I fysikken er "arbejde" det, der sker, når noget flyttes eller løftes under påvirkning af en kraft. Sådan som når en tung genstand løftes. Når man for eksempel løfter en indkøbskurv fuld af varer op på hylden ved kasseapparatet, påvirker man den, som man kan mærke, med en kraft opad og udfører et fysisk arbejde. Størrelsen af dette arbejde beregnes i fysikken som kraften - lig tyngdekraften på kurven - ganget med den højde kurven løftes: $\text{kraft} \cdot \text{løftehøjde}$. Arbejde er således en simpel fysisk størrelse, som man kan forstå som den præstation, der består i at løfte en tung genstand (et lod). Hvis loddet hænger i en fjedervægt, som er fastgjort til en snor, der går gennem en trisse oppe under loftet, er det nemt at måle både loddets vægt og den højde, man løfter det ved at trække i snoren. Og så kan man let beregne størrelsen af det arbejde, man har udført, ved at gange vægten med løftehøjden. Hvis loddet løftes 2 meter er arbejdet dobbelt så stort, som hvis det kun løftes én meter. Og hvis dets vægt fordobles, bliver arbejdet også fordoblet²⁷.

Arbejde kan selvfølgelig også ske på mange andre måder: Ved at trække i årene på en robåd; ved at løfte lodder i et motionscenter; eller ved at gå op ad en trappe. Men i den sammenhæng, vi her beskæftiger os med arbejde, kan vi altid nøjes med at tænke på et lod, der hejses op, se figur 4.1.

27) Måleenheden for kraft er N (Newton). Et lod med massen 1 kilogram påvirkes af tyngdekraften med en kraft på 9.81 N. Det er den tyngdekraft, man føler, når man holder loddet i hånden. Det arbejde, der udføres, når et lod på 1 kilogram løftes 1 meter, bliver derfor $\text{kraft} \cdot \text{vej} = 9.81 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 9.81 \text{ Nm} = 9.81 \text{ Joule}$. Så når man trækker en spand vand, der vejer 10 kilogram op af en brønd, der er 8 meter dyb, udfører man et arbejde på $10 \cdot 9.81 \text{ N} \cdot 8 \text{ m} = 785 \text{ Nm} = 785 \text{ Joule}$.

FIGUR 4.1 ARBEJDE

Enheder:

Masse: kg, kilogram

Kraft: N, Newton. Der skal en kraft på 9.81 N til at løfte et lod med massen 1 kg.

Arbejde: Nm, Newton*meter. Hvis tyngdekraften på et lod er 1 N, og loddet løftets 1 m, er det udførte arbejde $1 \text{ N} \cdot 1 \text{ m} = 1 \text{ Nm}$.J, Joule. I stedet for Nm bruges normalt enheden J. $1 \text{ J} = 1 \text{ Nm}$.

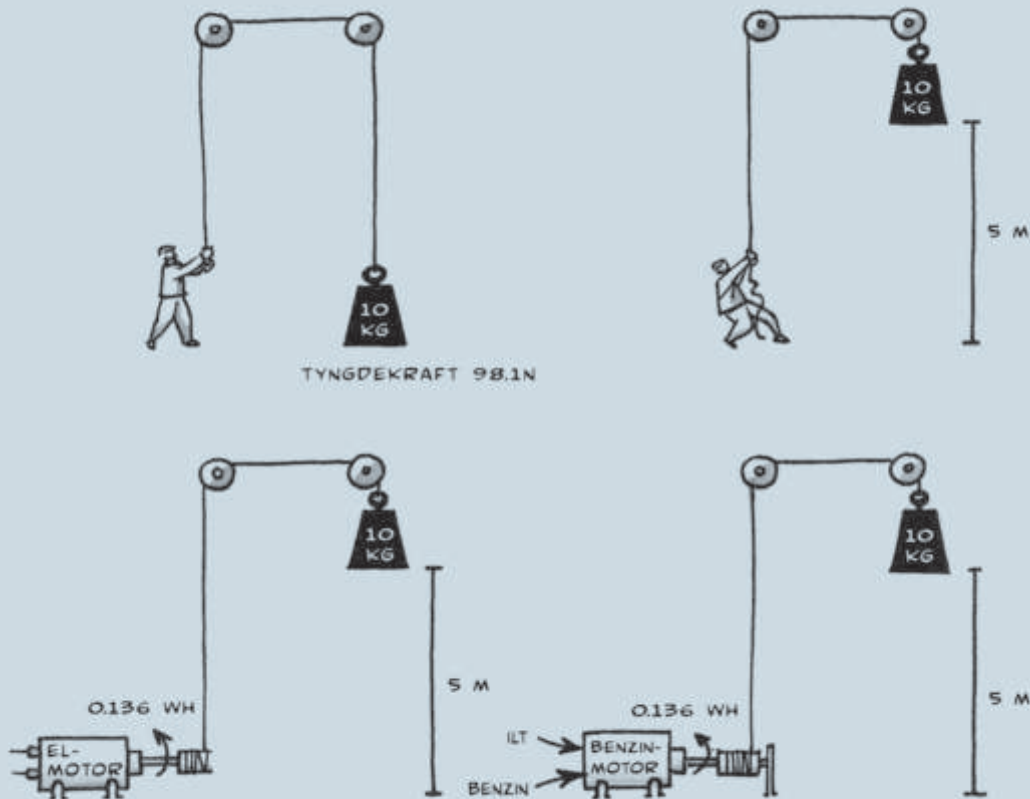
Effekt: J/sek, Joule per sekund. Arbejde der præsteres i løbet af 1 sekund.

W, Watt. I stedet for J/sek bruges normalt enheden W. $1 \text{ W} = 1 \text{ J/sek}$.

kW, kiloWatt = 1000 W

1 kWh er det arbejde, der præsteres i løbet af 1 time, når effekten er 1 kW.

1 kWh = 3.6 MJ (1 MJ = 1 mio. J)



En mand hejser et lod med en masse på 10 kg 5 m op. (Eller en spand med 10 liter vand).

Tyngdekraften på loddet er $10 \cdot 9.81 \text{ N} = 98.1 \text{ N}$.

Det arbejde, han udfører, er $98.1 \text{ N} \cdot 5 \text{ m} = 490.5 \text{ Nm}$ eller 490.5 J (Joule).

I stedet for manden kan en el-motor med et spil udføre arbejdet.

El-motoren overfører ikke hele den elektriske kraft, den modtager fra el-nettet, til mekanisk kraft til spillet. En lille del går tabt som varme i motoren.

Hvis 10% går tabt, bruges $490.5 \text{ J}/0.9 = 545 \text{ J} = 0.000545 \text{ MJ} = 0.000151 \text{ kWh}$ elektrisk kraft til at løfte loddet 5 meter.

Det er 0.151 Wh eller lige så meget som en lavenergipære på 15 W bruger på $1/100$ time = 36 sekunder.

En benzinmotor med en nyttevirkning på 20% (dvs. at 20% af benzinens energi bliver til mekanisk arbejde) bruger kun 0.055 gram benzin til at løfte loddet.

(Benzins brændværdi er $43.8 \text{ MJ/kg} = 43\,800 \text{ J/gram}$).

Muskelarbejde tæller ikke meget, når det sammenlignes med det arbejde, der præsteres af el-motorer og benzinmotorer.

4.2 ENERGIEIA

Energieia er arbejdsydelsesevne i kraft af en uligevægtstilstand. Energieia går ustandseligt tabt og skal ustandseligt fornyes for at opretholde livet og holde samfundet i gang.

For at undgå ord-forvirring bruger vi i det følgende det græske ord 'energeia', når vi taler om "energi" i ordets oprindelige betydning: evnen til at udføre en aktivitet eller et arbejde.

Kapiteloverskriften over det foregående kapitel 3: Jordens energi og afsnits-overskrifterne: Udviklingens energi og Industrisamfundets energi skal nu læses som: Jordens energieia, Udviklingens energieia og Industrisamfundets energieia, for det er energieia, det handler om i det kapitel.

Når kaffen bliver kold, kommer den i temperatur-ligevægt med luften i stuen. Et stort træ kan hver dag suge spandevand af vand op gennem stamme og grene til bladene. Det sker i kraft af kemiske uligevægtstilstande - spændinger - i dets celler. Om vinteren slapper træet af. Energieia er arbejdsydelsesevne i kraft af en uligevægtstilstand. Det er energieia, vi har brug for, og energieia går ustandseligt tabt og skal ustandseligt fornyes for at opretholde livet og holde samfundet i gang. Som beskrevet i kapitel 3 er det sollyset og Jordens rotation om sin egen akse, der hele tiden genopretter alle de uligevægtstilstande, der udgør klimaet og livet på Jorden. For det er livets fysiske grundlov, at i et lukket system, dvs. i et system, der er fuldstændigt isoleret fra dets omverden, vil alt, der er i uligevægt, efterhånden komme i ligevægt. Systemet vil afgå ved døden.

I verden omkring os har vi energieia i fem velkendte former:

- som temperaturforskelle, for eksempel mellem dampen i en dampmaskine og atmosfæren, men først og fremmest i atmosfæren. Illustreret i figurerne 3.3, 3.4 og 3.5.
- som højdeforskelle, som de der udnyttes i vandkraftværker.
- som de hastighedsforskelle mellem vinden og jordoverfladen, der driver vindmøllerne.
- som elektriske spændingsforskelle mellem polerne i et

batteri og mellem el-nettets ledninger og mellem ledninger og jorden.

- som trykforskelle. For eksempel udnyttes trykforskellen mellem en kompressors tryktank og atmosfæren til at drive trykluftværktøj. Stempelmotorer drives af den store trykforskel mellem cylinderen og krumtaphuset, som opstår, når brændstoffet antændes.
- som kemisk uligevægt. Når noget brænder, skyldes det kemisk uligevægt (et kemisk potentiale) mellem to luftarter, for eksempel mellem luftens ilt og et brændstof, som i en luft-benzin-blanding. Først og fremmest består alt liv i kemisk uligevægt i cellerne i alle levende organismer. I brændselsceller udnyttes kemisk uligevægt mellem ilt og brint eller andre stoffer til at frembringe en elektrisk strøm i elektrokemiske processer, der kan minde om det, der foregår i levende celler (se kapitel 8, figur 8.4).

I alle tilfælde er der tale om uligevægt på grund af forskelle mellem forskellige områder eller dele af systemet. Et system, hvor alt er i ligevægt - dvs. hvor intet kan ske i kraft af temperaturforskelle, højdeforskelle, elektriske spændingsforskelle, trykforskelle eller kemiske potentialforskelle - er dødt²⁸. Alt i denne verden drejer sig derfor om at opretholde uligevægtstilstande og erstatte uligevægtstilstande, der henfalder til ligevægt, med nye uligevægtstilstande.

Det er alt sammen velkendt. Noget vi kan se og føle. Den varme kaffe i koppen er i uligevægt med luften i stuen og bliver kold, hvis den får lov at stå. I termokanden sker udligningen af temperaturforskellen langsommere. Når vi har stampet i pedalerne op ad bakke, har vi i kraft af højden fået energieia til turen ned på frihjul. Den lille el-motor i køkkenmaskinen, kan i kraft af spændingsforskellen mellem stikkontaktens poler trække mere kraft fra el-nettet, end vi kan præstere med højre hånd. Når cyklen punkterer, udløses trykforskellen mellem slangen og atmosfæren, og når den er lappet, skal vi med cykelpumpen præstere et arbejde for at få den pumpet op igen. Når vi tænder et blus på et gaskomfur, ophæves den kemiske uligevægt mellem gassen og luftens ilt i en hed, lysende flamme.

28) Vi ser her bort fra atomare processer som de, der foregår i atomkraftværkers reaktor og i atombomber.

4.3 ENERGIEN BEVARES. ENERGEIA GÅR TABT

Der er åbenbart, at energieia er noget andet end den energi, der holdes regnskab med i energi-bogholderierne. Energien bevares ligegyldigt, hvad der sker, men energieia går tabt. Selv en cykelrytter på Tour de France må hvile sig og genoplade efter dagens etape.

I fysikbogen står der, at i et lukket, fuldstændigt isoleret rum er energien konstant - forbliver uændret - ligegyldigt hvad der er i rummet, og hvad der sker i rummet (se figur 4.2). Det er 1. hovedsætning i den del af fysikken, der kaldes termodynamikken. Den er tilsyneladende meget simpel, ligesom den sætning, der siger at den samlede masse (målt i kilogram) af det, der er i rummet, er konstant²⁹. For skoleeleven er der bare den forskel, at hun/han har en umiddelbar fornemmelse af, hvad masse er, men ikke nogen umiddelbar fornemmelse af, hvad energi er.

Om massen af noget er stor eller lille, kan man mærke, når man skal flytte det eller løfte det. At sparke til en stor sten er anderledes end at sparke til en lige så stor fodbold. At en sæk cement har en større masse end en lige så stor sæk spagnum, kan man mærke, når man løfter sækkene. Så eleven kan godt forstå, hvad det betyder, at den samlede masse af de forskellige ting i et rum, bliver ved at være den samme, så længe rummet holdes lukket, så der ikke kommer noget ind eller ud.

Den energi, der tales om, er derimod noget mærkeligt, uhåndgribeligt. Det er noget, der kan findes i forskellige former som varmeenergi, bevægelsesenergi, elektrisk energi, m.fl., og som kan overgå fra én form til en anden. Summen af de energier, der findes i de forskellige former, er ifølge 1. hovedsætning konstant. Men hvad de tal, der lægges sammen, i virkeligheden betyder, er det ikke så nemt at begribe.

Alligevel kan man godt lære at aflæse energi-tallene og lægge dem sammen. Det er ligesom med penge. Børn lærer tidligt at lægge tallene på pengesedler, mønter og bankkon-

ti sammen og at forstå, at summen er et tal, der er helt afgørende for de muligheder, de har for at få del i goderne. Efterhånden bliver de klar over, at de tal, der bliver skrevet på ens bankkonto, afhænger af, hvor heldig eller snedig man er i vores samfunds matadorspil. På samme måde kan de i fysiktimen lære at lave energiregnskaber uden at spekulere over, hvad de tal, de lægger sammen, egentlig betyder. Ligesom i pengebogholderiet skal tallene balancere.

Der er åbenbart, at energieia er noget andet end den energi, der holdes regnskab med i energi-bogholderierne. Energien bevares ligegyldigt, hvad der sker, men energieia går tabt (se figur 4.2). Selv en cykelrytter på Tour de France må hvile sig og genoplade efter dagens etape. Og når benzintanken er tom, er den energieia, der var i den kemiske uligevægt mellem benzinen og luftens ilt pist og uigenkaldeligt væk. At energien bevares er uinteressant for ethvert menneskeligt formål. At energieia går tabt og hele tiden må fornyes er derimod det grundlæggende princip i livet her på Jorden. Vores store problem er, at vi ikke kan forny den energieia, der var til rådighed i de fossile brændsler, vi har forbrugt.

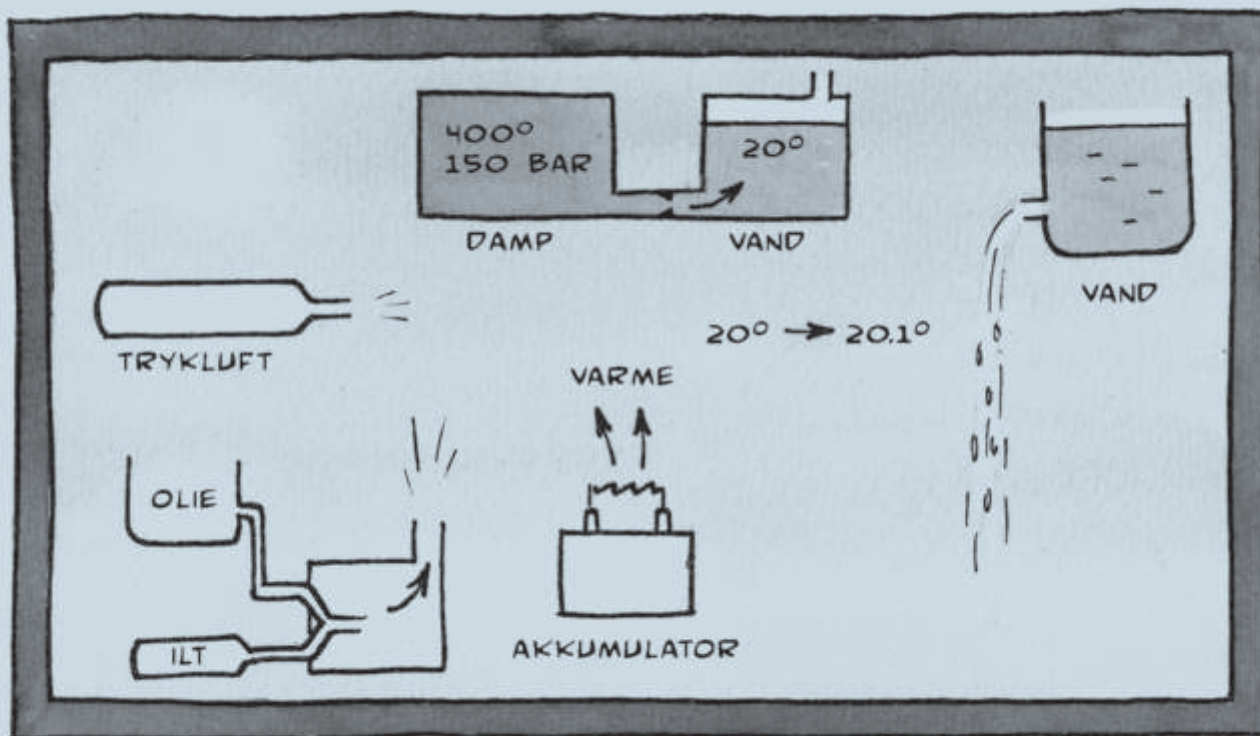
4.4 JOULE'S FORSØG - ENERGIENS BEVARELSE

Joule skriver et sted: "Idet jeg tror, at kun Skaberen magter at udrydde noget, fastholder jeg, at enhver teori ifølge hvilken, kraft (vis-viva) forsvinder, nødvendigvis er forkert".

I begyndelsen af dette kapitel så vi, at det oprindelige ord, som i vore dage er blevet til ordet "energi", har rødder langt tilbage i sprogenes historie. Hvordan er det gået til, at det nu bliver brugt i en anden betydning?

For at besvare dette spørgsmål, skal vi tilbage til den første halvdel af 1800-tallet. Dengang havde man endnu ikke fundet svaret på spørgsmålet om, hvad varme er for noget, selv om fysikere og kemikere i 200 år havde beskæftiget sig med dette spørgsmål. Den fremherskende teori var, at varme er et stof, kaldet kalorie. Ifølge denne teori, optager materialer og væsker kalorie-stoffet, når de bliver varmet op, og afgiver

29) Her forudsætter vi, at der ikke foregår atomare processer med store energiladninger, der ændrer den samlede masse i rummet.



FIGUR 4.2 ENERGIEIA GÅR TABT - ENERGIEN BEVARES

Her har vi et stort rum, meget større end det kan vises i denne tegning. Rummet er helt lukket, og fuldstændigt varme-isoleret. Temperaturen i rummet er 20 grader.

I rummet er der energieia i forskellige former:

- Kemisk i form af olie og ilt
- Elektro-kemisk i form af en opladet bilakkumulator
- Trykforskel mellem luften i en trykluffflaske og luften i rummet
- Temperatur- og trykforskel mellem højtryksdamp og koldt vand
- Højdeforskel mellem en vandbeholder oppe under loftet og gulvet

Energieia i alle disse former er noget, vi kan få noget nyttigt ud af.

Hvis vi nu bare:

- brænder olien af
- kortslutter akkumulatoren gennem el-spiralledning
- åbner ventilen på trykluffflasken
- lader dampen boble op gennem det kolde vand, og lader vandet køle af
- lukker vandet ud af vandbeholderen

så er det hele gået tabt, uden at der er kommet noget nyttigt eller fornøjeligt ud af det. Der er ikke mere energieia tilbage. Alt, hvad der er i rummet "er afgang ved døden". Alt er i ligevægt.

Men energien i det store rum er bevaret. For – som vi har lært i skolen – energien er konstant i et lukket system. Temperaturen er bare steget med 1/10 grad.

I ethvert levende eller teknisk system forbruges energieia hele tiden. Det gælder om at få så meget nyttigt eller fornøjeligt som muligt ud af det, dvs. at undgå unødige tab. Jo bedre det lykkes, jo mere effektivt udnytter vi de energieia-ressourcer, vi har.

det, når de afkøles. Nogle af de eksperimenter, der afkræftede denne teori, blev udført i 1840'erne af den engelske fysiker James Prescott Joule (1818-1889), han der har lagt navn til den enhed, energi nu måles i.

Figur 4.3 viser i princippet ét af Joule's eksperimenter. Her optræder lod og snoretræk igen, ligesom i afsnit 4.1 ovenfor. Når lodderne bevæger sig nedad, bremses de af propellerne, der pisker rundt i vandet i vandbeholderen (et kalorimeter). Joule kunne nu til egen og andres forundring måle, at vandet blev varmet op, selvom der åbenbart ikke var blevet tilført det noget kalorie-stof, sådan som man forestillede sig, at det skete, når opvarmningen skete med ild.

På den tid kaldte man bevægende kræfter, som de der blev frembragt ved hånd- og hestekraft, i dampmaskiner, vandmøller og vindmøller, for *vis-viva*: *vis* betyder kraft og *viva* levende (latin), altså levende kraft. *Vis-viva*³⁰ har værdi i produktionsmaskinerierne og i dagligdagen. Lodderne i Joule's eksperiment har *vis-viva*, når de er hejset op, men ikke, når de er sænket ned på jorden.

Joule så nu i sine eksperimenter en bekræftelse af sin tro på, at mennesker ikke kan få noget til at forsvinde i denne verden. Han skriver et sted: "Idet jeg tror, at kun Skaberens magter at udrydde noget, fastholder jeg, at enhver teori, ifølge hvilken kraft (*vis-viva*) forsvinder, nødvendigvis er forkert". I pagt med sin tro drager han den slutning, at loddernes *vis-viva* (arbejdsevne) ikke er blevet til ingenting, men er blevet omsat til varme.

Det, der er bevaret, er åbenbart ikke *vis-viva*, for der er ikke meget *vis-viva* at hente i det kun lidt opvarmede vand. Det er noget uhåndgribeligt, der først findes i de løftede lodder og derpå i det lidt opvarmede vand. Dette uhåndgribelige kaldte Joule *energi*, og indførte dermed dette gamle ord i fysikken - i en helt anden betydning end den oprindelige.

Joule blev således ud fra en religiøs betragtning ophavsmand til det banebrydende fysiske princip, at "noget", der er måleligt i forskellige former, bevares i et lukket system. Det er termodynamikkens 1. hovedsætning, han havde

opdaget. Hvis dette "noget" ikke var blevet kaldt "energi", havde vi stadig haft dette ord til rådighed i dets oprindelige betydning, og så var mange misforståelser blevet undgået.

Det er, som om Joule i sit laboratorium havde lukket sig ude fra virkeligheden i den praktiske verden. Som om han ikke tænkte på, at der i hans eksperiment skete nøjagtigt det samme, som når en bondekone trækker en spand vand op af en brønd, bliver stukket af en bi og slipper håndtaget, så spanden falder ned igen. For han troede næppe, at det ville trøste konen, at han havde opdaget, at hendes arbejde med at trække spanden op ikke var spildt, men faktisk havde bevirket, at vandet i brønden var blevet en lille smule varmere.

4.5 GRÆNSER FOR DET OPNÅELIGE

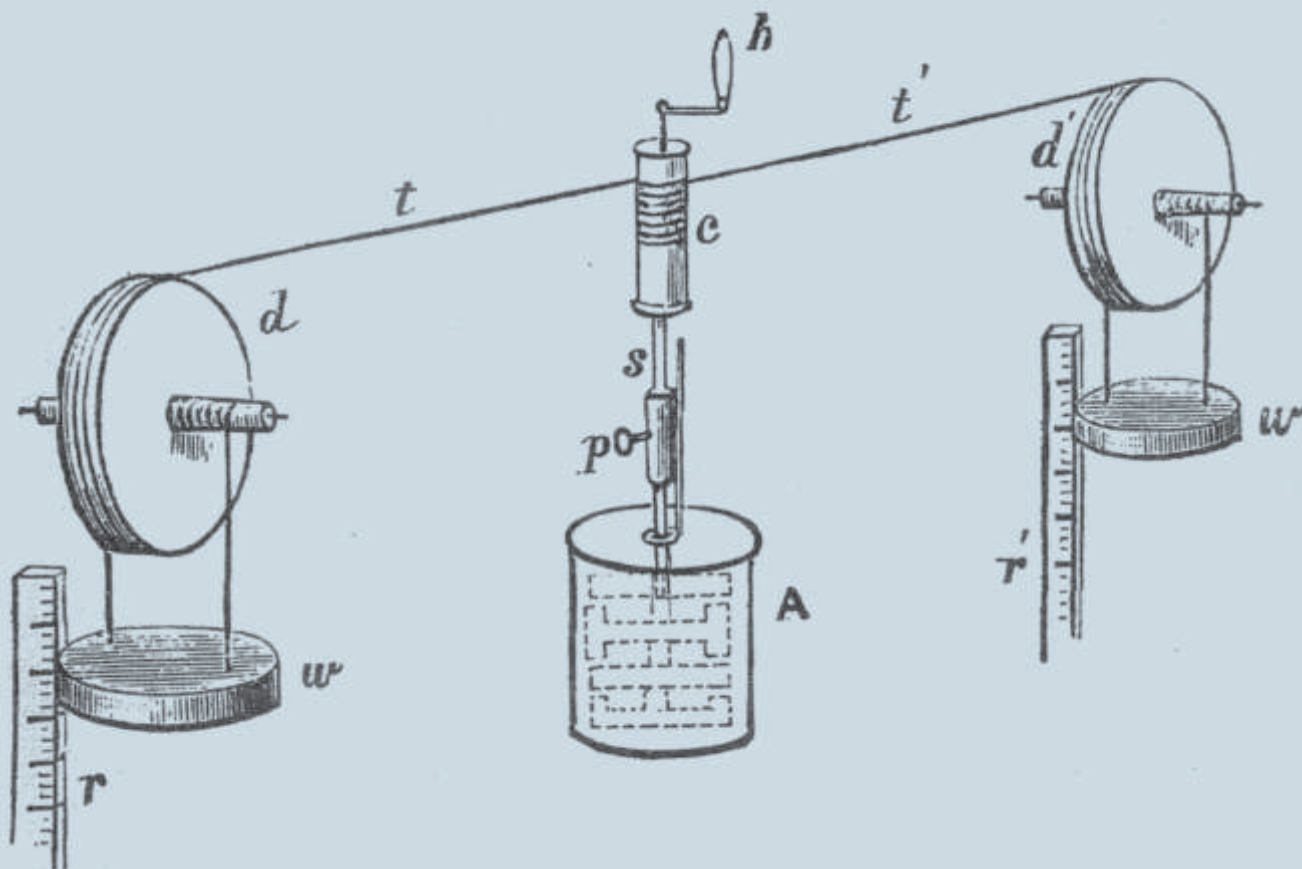
Der er en øvre grænse for, hvor højt noget menneske evner at springe.

Det er lige så umuligt at måle arbejdsydelsesevne (energeia), som det er at måle vand med et målebæger med hul i. Men man kan beregne evnen som den øvre grænse for det opnåelige.

I det foregående afsnit 4.2 indførte vi det gamle græske ord *energeia* for arbejdsydelsesevne, og illustrerede dets almindelige praktiske betydning med en række eksempler, der viser, at *energeia* er arbejdsydelsesevne i kraft af uligevægtstilstande. Vi har ikke forklaret, hvordan arbejdsydelsesevne kan beregnes, for det er ikke så nødvendigt for at forstå, hvad der er tale om. I de ingeniørvidenskaber, der beskæftiger sig med konstruktion af maskiner, som omsætter *energeia* i én form til *energeia* i en anden form, er det imidlertid vigtigt at kunne beregne den *energeia* - arbejdsydelsesevne - en maskine får tilført på den ene side (input), og hvor meget der kommer ud på den anden side (output). For forskellen mellem input og output er et tab, der angiver maskinens effektivitet. Jo mindre tabet er, des mere effektiv er maskinen naturligvis.

Som vi skal se i dette og det næste afsnit, er det også vigtigt, at ikke-professionelle forstår, hvad det drejer sig om. I alle

30) *Vis-viva* er datidens ord for *energeia*.



FIGUR 4.3 JOULES FORSØG

Denne gamle tegning viser i princippet den forsøgsopstilling, den engelske fysiker James Joule i 1840'erne brugte til de målinger, der førte til hans opdagelse af "energiens bevarelse".

Med lodderne og målestokkene kunne han måle det arbejde (se figur 4.1), der gennem snoretrækket blev overført til piskeriset i vandbeholderen (et kalorimeter, se figur 2.1).

Han opdagede så, at vandet blev varmet op – temperaturen steg – når der blev rørt rundt i det. Det var på den tid en overraskende opdagelse. Han opdagede også – det var ikke så overraskende – at temperaturstigningen i vandet blev større, når han forøgede det arbejde, der blev overført gennem snoretrækket. Hvis han f.eks. fordoblede arbejdet ved at fordoble loddernes vægt eller lade dem glide dobbelt så langt ned, så blev temperaturstigningen præcist dobbelt så stor.

Måling af arbejde havde længe været velkendt i den mekaniske fysik, men hvad varme egentlig var for noget, var på den tid endnu uklart. Man vidste ikke rigtigt, hvad det egentlig var for noget, man kunne måle med et termometer. Men hvad end varme er for noget, viste Joule's forsøg, at arbejde kan omsættes til varme.

Når loddernes arbejdsevne er "forbrugt" – ved at lodderne har bevæget sig helt ned på gulvet – er der i stedet kommet mere varme i vandbeholderen. Ligesom man kan veksle Euro til kroner, kan man på den måde veksle arbejde til varme. Bogholderiet balancerer. Der er ikke gået noget tabt.

Dette "noget", som ikke går tabt, kaldte Joule (desværre) energi. Han havde opdaget et fundamentalt bevarelsesprincip i den verden, vi lever i. Men ved at kalde det princippet om energiens bevarelse, fratog han ordet "energi" dets oprindelige betydning: energieia.

Når man definerer "energi" på den Joule'ske måde, kan man opstille energibogholderier, ligesom man opstiller pengebogholderier. Det kan alle være med til. I energipolitik tæller man derfor energi på den Joule'ske (kalorimetriske) måde.

energipolitiske programerklæringer er energieffektivitet jo et nøgleord. Så for at undgå misforståelser må vi forstå, hvad "effektivitet" i denne sammenhæng betyder i praksis. Derfor må vi have en idé om, hvordan man kan sætte tal på det, det drejer sig om, nemlig energieia. Ellers bliver vi stående ved de mindre relevante kalorimetriske energibalance-regnskaber.

Man er nødt til at beregne energieia, for man kan ikke måle energieia. Det er ikke som med vægt og rumfang, der kan måles med en vægt og et målebæger, eller som med energi, der kan måles med et kalorimeter (se figur 2.1). Det skyldes, at der i alt hvad der sker i denne verden sker tab af energieia. Det gælder også i et hvilket som helst apparat eller en hvilken som helst maskine, man kunne finde på at lave til at måle energieia med.

Da det er umuligt at lave et tabsfrit energieia-måleapparat, er det lige så umuligt at måle energieia i MJ, som det er at måle vand i deciliter med et målebæger med hul i. Men man kan tænke sig, at man kunne lukke hullet - at man kunne lave et tabsfrit apparat. Og så kan man faktisk beregne det måleresultat, man vil få med et sådant tænkt apparat.

Mærkeligt? Ja, det tør man nok sige. Det er mærkeligt, at mennesker kan tænke sig til noget, der ikke eksisterer, og så ved at regne på det ikke-eksisterende finde talstørrelser, der har praktisk betydning i den virkelige verden. Den genistreg er den franske ingeniør Sadi Carnot (1786-1832, se afsnit 3.4 ovenfor) ophavsmand til. I videnskaben udspringer en genistreg som regel af det rigtige spørgsmål. Så det gælder om at stille det rigtige spørgsmål.

På Carnot's tid konkurrerede ingeniører på livet løs om at konstruere mere og mere effektive dampmaskiner, det vil sige maskiner, der kunne præstere mere og mere arbejde for hver ton kul, man fyrede ind i dem. Det gjaldt jo om at bruge så lidt kul som muligt til at trække en togstamme fra A til B. Ligesom computere i vore dage bliver hurtigere og hurtigere år for år, blev dampmaskinerne dengang mere og mere effektive. Carnot's geniale spørgsmål var: Er der en øvre

grænse for, hvor meget arbejde man med en varmemaskine³¹ kan få ud af en ton kul³²? En grænse som selv den dygtigste ingeniør ikke med nogen form for varmemaskine vil kunne overskride.

Hans svar er i dets enkelhed ligeså genialt som hans spørgsmål. Han konstaterede, at enhver varmemaskine yder et arbejde i kraft af en temperaturforskel. Alle steder, hvor der er en temperaturforskel, kan der præstere et arbejde i kraft af temperaturforskellen. Hvis temperaturforskellen ikke udnyttes til at præstere et arbejde, er man gået glip af et arbejde, man kunne have fået. Der sker et tab. Derfor gælder det om at holde temperaturforskellene så små som muligt alle de steder i maskinen, hvor varme overføres fra et område eller kredsløb til et andet. I en varmemaskine som den viste dampmaskine i figur 3.5 skal, for eksempel, temperaturforskellen mellem flammen i fyret, hvor kullene forbrændes, og dampkedlen være så lille som muligt. Og temperaturforskellen mellem dampen, der kondenseres i kondensatoren, og kølevandet, skal være så lille som muligt.

Ud fra disse betragtninger drager Carnot den slutning, at den øvre grænse for det arbejde, man med nogen tænkelig varmemaskine kan få ud af en ton kul, er det arbejde, der præstere af en tabsfri maskine, og at temperaturforskellene mellem alle områder og kredsløb må være uendeligt små i en tabsfri maskine. En sådan maskine kan ikke laves i virkeligheden. Den er en tankekonstruktion.

Der er øvre grænser for hvor højt, vi kan nå, og hvor meget vi kan høste i denne verden. Lige bortset fra spekulationsgevinster på finansmarkederne. En højdespringer kan træne sig op til at klare nogle centimeter mere end sidste år, men ingen kan træne sig op til at springe over rundetårn. Der er en øvre grænse - en absolut største højde - på et sted under 4 meter for, hvor højt noget menneske evner at springe. Der er også øvre grænser for hvor meget hvede, der kan høstes på én hektar jord, ligegyldigt hvor meget der gødes og vandes. Vi kan bare ikke regne præcist ud, hvor højt det vil kunne lykkes et menneske at springe, eller hvor meget hvede, der vil kunne høstes på en mark.

31) En "varmemaskine" betyder her en maskine af en eller anden art, der ligesom en dampmaskine præstere et arbejde i kraft af en temperaturforskel.

32) Det forudsættes her, at kullet har en bestemt brændværdi (MJ/tons), og at temperaturen i det brændkammer, hvor kullet forbrændes, er givet.

For varmemaskiner gælder det derimod, som Carnot viste, at man kan beregne den øvre grænse for, hvor meget arbejde, der med nogen tænkelig maskine ville kunne præsteres i kraft af en bestemt temperaturforskel mellem to områder - for eksempel mellem kedlen og kondensatoren i en dampmaskine som den, der er vist i figur 3.5. Eller rettere, hvor meget arbejde, der ville kunne præsteres for hver MJ varme, der afgives fra det område, der har den højeste temperatur.

Senere lærte man, hvordan man ud fra målelige størrelser kan beregne den øvre grænse for det arbejde, der med nogen tænkelig maskine - ikke nødvendigvis en varmemaskine - vil kunne opnås i kraft af en bestemt uligevægtstilstand, der skyldes en temperaturforskel, en trykforskel eller kemisk uligevægt (f.eks. mellem et brændstof og luftens ilt, se afsnit 4.2 ovenfor). Når der er tale om højdeforskelle, hastighedsforskelle, eller elektriske spændingsforskelle, er den øvre grænse for det arbejde, der ville kunne præsteres, lettere at beregne.

4.6 ET NYT ORD: EXERGI

Exergi er et mål for noget begribeligt, nemlig energieia, som det i nogle tilfælde er lidt svært at beregne. Energi er en ubegribelig størrelse, som det er let at måle med et kalorimeter.

Exergi er det i praksis relevante mål for den nytteværdi, der kan tilskrives en bestemt uligevægtstilstand i form af en temperaturforskel, en højdeforskel, en trykforskel, en elektrisk spændingsforskel eller kemisk uligevægt mellem to stoffer.

I den almindelige energidebat går det ikke an at bruge det gode gamle græske ord energieia. Man ville risikere at energiministeren tog det som et skældsord, hvis man kaldte hende eller ham for energieiaminister. Men man kan ofte få lydhørhed, hvis man taler om exergi, for det er i de senere år blevet et fint ord i debatten. Hvis man endda forstår, hvad det betyder, kan man bidrage til at nedbryde den tankemæssige lydmur, der i de senere år er blevet opbygget i form af de kalorimetriske energibalanceregnskaber (se kapitel 2).

Ordet exergi skyldes den slovenske ingeniør og fysiker

Zoran Rant (1904-1972). Han indførte det i 1956 som et nyt ord, der betegner den absolut øvre grænse for, hvor meget arbejde, der vil kunne opnås fra et system, der befinder sig i en bestemt uligevægtstilstand. Det vil sige, at ingen maskinkonstruktør, hvor genial og dygtig hun eller han end måtte være, på nogen måde kan konstruere en maskine eller et anlæg, der præsterer et større arbejde. Som betegnelse for denne øvre grænse indførte han et nyt ord: exergi.

Betydningen af dette ord er siden blevet omgivet med megen mystik og ærefrygt, som om det er noget, som kun de indviede kan forstå. Det er underligt, for som vi har set, er det lettere at begribe, hvad energieia betyder, end hvad energi egentlig er for noget. Og exergi er blot den talværdi, der angiver, hvor meget energieia, der er til rådighed i en bestemt uligevægtstilstand, der skyldes en temperaturforskel, en højdeforskel, en elektrisk spændingsforskel, en trykforskel eller en kemisk uligevægt mellem to stoffer. Forstået som den absolut øvre grænse for det arbejde, der i kraft af uligevægtstilstanden kan præsteres med nogen tænkelig maskine.

For eksempel: Den exergi, der i Jordens atmosfære findes i en liter benzin³³, er den absolut øvre grænse for det arbejde, der med nogen tænkelig maskine ville kunne præsteres ved hjælp af en liter benzin. Dvs. ligegyldigt hvor snedigt man konstruerer maskinen (motoren) vil man aldrig kunne få mere arbejde ud af benzinen end det, dens exergi-værdi angiver. Det er værd at vide for motorkonstruktører, for så kan de se, hvor langt de med en forbedret motorkonstruktion er nået op ad skalaen mod det absolutte (men i praksis uopnåelige) maksimum.

En almindelig bilmotor omsætter kun omkring 20% af den forbrugte benzins exergi til mekanisk arbejde gennem gearkassen til hjulene, dvs. at dens effektivitet kun er ca. 20%. En stor langsomtgående dieselmotor kan have effektivitet på omkring 50%. Men i enhver maskine vil der ske tab af arbejdsydelsesevne, så effektiviteten kommer aldrig op på 100%.

Grunden til at exergi ikke optræder i folkeskolens fysikbøger er nok, at de målinger og beregninger, der skal til for at

33) Lidt mere præcist: Den øvre grænse for det arbejde, der kan opnås ved udnyttelse af den kemiske uligevægt mellem benzin-molekylerne, der hovedsageligt består af kæder af kulstofatomer (C) og brintatomer (H), og luftens ilt (O_2), dvs. ved fuldstændig omsætning af benzin-ilt-blandingen til kulstøv (CO_2) og vand (H_2O).

34) Meget kort: Absolut temperatur er temperaturen målt ud fra det absolutte nulpunkt, som er den tilstand, hvor alle molekylebevægelser er bragt til standsning - stoffet er så at sige frosset så dybt ned som overhovedet muligt. Enheden for temperaturer målt ud fra det absolutte nulpunkt betegnes K (Kelvin). Det absolutte nulpunkt ligger på -273.15 grader C (Celsius), så temperaturen målt i K findes ved at addere 273.15 til temperaturen målt i C. Entropi er et mål for graden af uorden, sammenblanding eller tilfældighed i et

bestemme en exergi-værdi, som ovenfor nævnt er mere komplicerede end den simple kalorimetrisk måling, der skal til for at bestemme en energi-værdi (se kapitel 2, figur 2.1). Vi kan ikke her forklare, hvordan en exergi-værdi beregnes, for så skulle vi først præcist definere betydningen af to målelige størrelser, der ud over energi-værdien indgår i beregningen, nemlig absolut temperatur og entropi. Og så ville dette kapitel blive alt for langt³⁴.

Exergi er et mål for noget begribeligt, nemlig energieia, som det i nogle tilfælde er lidt svært at beregne. Exergi er en ubegribelig størrelse, som det er let at måle med et kalorimeter.

Heldigvis afviger exergi-værdien af et kilo olie eller kul eller en kubikmeter naturgas kun nogle få procent fra den brændværdi (energi-værdien), der kan måles med et kalorimeter³⁵. Så til brug for almindelige overslagsberegninger, kan man finde den omtrentlige exergi-værdi i en brændværditabel. For elektrisk kraftoverførsel er exergi-værdien nøjagtigt lig det producerede eller forbrugte antal kilowatt-timer. En ideel el-motor, hvor der ikke sker nogen opvarmning af motorens kredsløb, kan jo ved at løfte et lod præstere et arbejde, der netop er lig motorens el-forbrug (se figur 4.1).

Exergi i kraft af temperaturforskelle beregnes udfra temperaturerne og temperaturforskellene. Vi skal ikke her udlede beregningsformlen, men kun give et par eksempler på beregningsresultater:

En tidlig forårsdag kan det blive lunt, selvom isen i fjorden endnu ikke er helt væk. Luften kan f.eks. være 10 grader, medens vandet er 0 grader. Lad os nu tænke os, at vi har en kubikmeter vand i en vandbeholder. Hvis vandet er 10 grader varmt, er det i temperaturligevægt med atmosfæren. Da der ikke er nogen temperaturforskel, er vandets exergi i forhold til atmosfæren lig nul. Men i forhold til vandet i fjorden er der en lille temperaturforskel på 10 grader og derfor en lille exergi-værdi. Med en meget langsomtgående dampmaskine, hvor der i stedet for vand bruges en væske af samme art som i et køleskab, kan temperaturforskellen udnyttes til at præstere et arbejde.

Hvis vandet nu varmes op til 50 grader, får det i kraft af

temperaturforskellen på 40 grader en exergi-værdi i forhold til atmosfæren og en lidt større exergi-værdi i forhold til fjorden. Men forøgelsen af exergi-værdierne er meget mindre end forøgelsen af vandets energi. Vandets energi er blevet forøget med 40 grader $\cdot 1$ kilokalorie/kg $\cdot 1000$ kg = 40 000 kilokalorier = 46.5 kWh (167 MegaJoule)³⁶, men dets exergi er kun blevet forøget fra 0 til 3 kWh (11 MegaJoule) i forhold til atmosfæren og fra 0.8 til 3.8 kWh (2.9 til 13.7 MegaJoule) i forhold til fjorden. (Exergi-værdien i forhold til fjorden er lidt større end i forhold til luften, fordi temperaturforskellen er lidt større.)

Man kan godt fornemme, at den øvre grænse for det arbejde, man kan få ud af en kubikmeter varmt vand ved 50 grader er lille - meget mindre end de 46.5 kWh elektrisk arbejdsydelsesevne, der forbruges, hvis vandet opvarmes med en elektrisk dyppekoger. Så den exergi, der forbruges i form af el-forbrug i dyppekogeren, er meget større, end den exergi, der opnås ved opvarmning af vandet. Mindre end 10% af el-forbruget (= elektrisk exergi) er "blevet overført" til vandet. Mere end 90% er gået tabt.

Hvis vi i stedet har 118 liter vand i en trykbeholder, og bruger den elektriske dyppekoger til at opvarme vandet til 350 grader, bruger vi også 46.5 kWh elektrisk energi (= elektrisk exergi). Men vandets exergiværdi i forhold til atmosfæren er nu 16 kWh, så en stor del, nemlig 34%, af den elektriske exergi er "blevet overført" til vandet. Det er ikke overraskende, for man kan umiddelbart fornemme, at en mindre vandmængde med en høj temperatur og under et stort tryk (her 150 atmosfære damptryk i trykbeholderen) kan yde et betydeligt arbejde, medens der ikke er meget at hente i en større mængde vand, med en temperatur, der kun ligger lidt over atmosfærens.

Som beskrevet i afsnit 4.2 går alle livsprocesser og alle tekniske energiprocesser ud på at frembringe eller opretholde uligevægtstilstande af forskellig art. Til enhver uligevægtstilstand hører en exergi-værdi, som er den absolut øvre grænse for det arbejde, der kan præstere ved at nedbryde uligevægtstilstanden. Omvendt angiver exergi-værdien den absolut nedre grænse for den arbejdsydelse, der skal til for at

system. Jo, mere uorden/kaos, des større er entropi-værdien. Tænk for eksempel på et rum, hvor der står to beholdere, én med ilt og én med kvælstof. Der er her en vis orden, som er frembragt af en maskine, der kan adskille luftens ilt og kvælstof. Når beholderne åbnes, så ilt og kvælstof igen blandes i luften, ophæves denne orden. Derved forøges systemets entropi.

Livet består i hele tiden at genskabe en utrolig mangfoldighed af komplekse organismer, hvor atomer og molekyler er ordnede i fantastiske strukturer. Når organis-

mer nedbrydes, forøges entropien, men livsprocesserne sørger for reorganisering og dermed igen en formindskelse af entropien.

35) Det er fordi, den opnåelige flammetemperatur ved forbrænding af disse brændstoffer er meget høj, omkring 2000 grader.

36) 1 kilokalorie = 0.001163 kWh. 1 kWh = 3.6 MegaJoule

opbygge uligevægtstilstanden. Exergi er derfor det i praksis relevante mål for den nytteværdi for menneskelige formål og behov, der kan tilskrives en bestemt uligevægtstilstand i form af en temperaturforskel, en højdeforskel, en trykforskel, en elektrisk spændingsforskel eller kemisk uligevægt mellem to stoffer.

4.7 EFFEKTIVITET OG TAB

Når politikerne fremhæver "energieffektivitet" som noget vigtigt, mener de, at vi skal kravle højere op på "effektivitetsstigen". Derfor må vi vide hvilket trin, vi står på, og hvor mulighederne for at forbedre vores position er at finde.

I alle energipolitiske programerklæringer her i landet og fra EU-kommissionen tales om energieffektivitet, som det meget vigtige. Det, man mener, er, at man ikke skal spille mere energi end nødvendigt.

I den situation, vi nu er kommet i, hvor olie- og gasforbruget bliver nedtrappet og CO₂-udslippet skal formindskes kraftigt i de kommende år, er det vigtigt at vide, hvor de største tab - det største spild - sker. Ellers kan det blive unødigt dyrt at formindske brændselsforbruget og CO₂-udslippet, fordi der investeres i de forkerte ting.

At man udnytter ressourcerne effektivt betyder, at man opnår det, man ønsker, med så lille et forbrug som muligt. For cykelrytteren og racerkøreren gælder det om at få mest mulig fremdrift ud af den energieia, han starter op med. Det kan der tjenes store penge på. Vi andre, der kigger med på tv-skærmene, bekymrer os ikke ret meget om at få så meget som muligt ud af de energieia-ressourcer, vi betaler for til el- og varmforsyningsselskaberne, til olie- og gasselskaberne og på tankstationerne. For de fleste i vores nuværende samfund udgør disse udgifter en så beskeden del af budgettet, at det nemme og flotte vejer meget tungere end det mere effektive, der kræver lidt mere omtanke ved køb og brug. Selvom det mere effektive betaler sig, endda med dagens lave el- og brændselspriser.

Det er åbenbart, at "energieffektiviteten" på landevejene

er lille. Den kan fordobles ved at lave biler, der kan køre længere på en liter benzin eller diesel. Når der er tale om produktion og forbrug af el og varme, hersker der derimod uklarhed over, hvor tabene sker. For at få klarhed over det, må vi gøre os klart, hvad vi i denne sammenhæng mener med "tab" og "effektivitet".

I de forskellige maskiner og anlæg, der bruges til at udnytte energieia til nyttige eller fornøjelige formål, er der et tab af energieia, når vi ikke får så meget som muligt ud af den mængde, der forbruges. For at sætte tal på det tab, der sker i en bestemt proces, maskine eller anlæg, må vi kunne måle eller beregne, både hvor meget energieia, der forbruges, og hvor meget, der produceres. Med andre ord, hvor meget, der kommer ind i maskineriet, og hvor meget, der kommer ud. Forskellen mellem de to tal er tabet. Forholdet mellem dem er effektiviteten:

Hvis vi kalder værdien af den energieia, der tilføres maskineriet eller processen, for "input", og værdien af det, der kommer ud, for "output", er

Tabet = Input - Output

og Effektiviteten = Output/Input

Input er altid større end output, så tabet er altid større end nul, og effektiviteten er altid mindre end 1.

Output er det, der er brug for. Input er det, der forbruges for at få dette output. Så jo mindre vi forbruger for at få det, vi ønsker, jo mindre er tabet, og jo større er effektiviteten. Det passer godt med den måde, vi bruger ordene på i dagligdagen.

Man kan forestille sig en "effektivitetsstige". På det nederste trin, helt nede ved jorden, står der nul. På det øverste står der 1 eller 100%. Der er ikke lige stor afstand mellem trine. Man skal kun løfte benet en lille smule for at komme op på 10%-trinet. Det kræver ikke store anstrengelser at nå op på 20%. Der er længere afstand mellem de næste trin op til 30 og 40%. Derefter skal man virkeligt strække sig ud for at komme op på 50 eller endda 60%. De højeste trin op til 100% kan selv de længste arme ikke nå.

Når politikerne fremhæver energieffektivitet som noget

vigtigt, mener de, at vi skal kravle højere op på "effektivitetsstigen". Derfor må vi vide hvilket trin, vi står på, og hvor mulighederne for at forbedre vores position er at finde. Vi må have sat tal på effektiviteterne.

De tal, der sættes ind i tabs- og effektivitetsligningerne, er exergi-værdierne af input og output. Som forklaret i det foregående afsnit er exergi-værdien et tal, der angiver det absolut største arbejde, man med nogen tænkelig maskine kan få ud af en bestemt ressource. For eksempel er exergi-værdien af en liter fyringsolie det absolut største arbejde (se figur 4.1) - dvs. den øvre grænse for det arbejde - man med nogen tænkelig maskine ville kunne få ud af olien. Som nævnt i afsnit 4.5 kan man regne ud, at dette tal er omtrent lig den brændværdi af olien, man kan måle med et kalorimeter (se figur 2.1), nemlig ca. 36 MJ.

Olie bruges endnu mange steder til at opvarme vand i centralvarmeanlæg i huse. Hvis fremløbstemperaturen til radiatorerne skal være 60 grader og returtemperaturen til oliefyret er 30 grader, skal der bruges $4.2 \text{ MJ/grad} \cdot 30 \text{ grader} = 126 \text{ MJ}$ til at opvarme 1 kubikmeter vand (se figur 2.1). Dvs. at for hver kubikmeter vand, der cirkulerer gennem anlægget, skal oliefyret bruge $126 \text{ MJ}/36 \text{ MJ}$ per liter olie = 3.5 liter olie. Dertil kommer et skorstenstab på ca. 15% i et godt justeret oliefyr. Det giver i alt 4.1 liter olie, så exergi-værdien af input er ca. $4.1 \cdot 36 \text{ MJ} = 148 \text{ MJ}$.

Exergi-værdien af output er den øvre grænse for det arbejde man med nogen tænkelig maskine (dampmaskine) ville kunne få ud af en temperaturforskel fra 30 til 60 grader i et vandkredsløb³⁷, eller omvendt den nedre grænse for det arbejde, der skal præsteres for at oparbejde denne temperaturforskel i vandkredsløbet (ved en udetemperatur på 0 grader). Med en varmepumpe kan man ved at præstere et arbejde oparbejde eller opretholde en temperaturforskel, se figur 7.2. Ved en udetemperatur på 0 grader kan det beregnes, at den nedre grænse for det arbejde, der skal præsteres for at opvarme 1 kubikmeter vand fra 30 til 60 grader er $4.2 \text{ MJ/grad} \cdot 30 \text{ grader} \cdot 0.14 = 126 \text{ MJ} \cdot 0.14 = 18 \text{ MJ}$, så exergi-værdien af output er 18 MJ.

Oliefyret klarer således opvarmningen fra 30 til 60 grader

med en effektivitet på $18 \text{ MJ}/148 \text{ MJ} = 0.12 = 12\%$ ved en udetemperatur på 0 grader.

Opvarmningsopgaven, bliver "nemmere", hvis temperaturerne er lavere. Hvis huset i stedet for radiatorer har gulvvarme, behøver fremløbstemperaturen til gulvslangerne kun at være 30 grader og returtemperaturen bliver 20 grader. I dette tilfælde bliver oliefyrets effektivitet endnu mindre, nemlig kun ca. 7%.

Som sagt kan effektiviteten ikke på nogen måde komme op på 100%. Men når effektiviteten af en opvarmningsteknik er så lav som oliefyrets, er der åbenbart tekniske muligheder for at finde en mere effektiv teknik. Flammen i oliefyret er alt for kraftig - har alt for høj temperatur - til brug til lavtemperatur opvarmning. Det kan sammenlignes med at bruge en gummiged til at flytte en papkasse med fjer. Et eksempel på en mere effektiv teknik er vist i kapitel 7, figur 7.3, der viser, hvordan opvarmningsopgaven med temperaturer på 40 grader frem og 30 grader retur (gode store radiatorer i et godt isoleret hus) kan klares med en effektivitet på 25%³⁸.

Hvis man i det system, der er vist i figur 7.3, bruger en højtemperatur-brændselscelle (se afsnit 8.4) i stedet for en gasmotor, kan man opnå en effektivitet på ca. 33%.

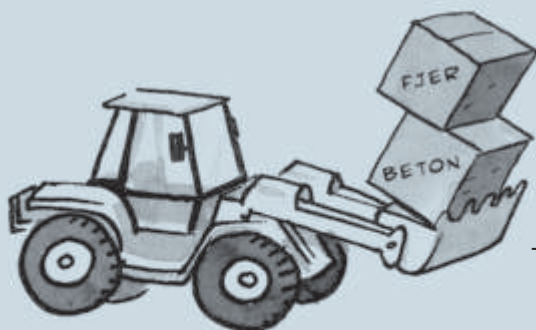
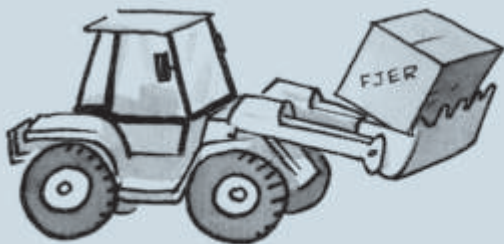
Så længe en del af landets el-produktion sker i kul- eller naturgasfyrede kraftværker, sådan at el-forbruget i el-opvarmede huse medfører en forøget el-produktion i kraftværkerne, klarer el-radiatorer rumopvarmningsopgaven med en effektivitet på omkring 6%.

Effektiviteten af elværkernes moderne kul-, gas- eller oliefyrede kraftmaskiner er betydeligt større end effektiviteten af anlæg, der kun skal klare vandopvarmning ved lave temperaturer. Det er fordi det i disse kraftmaskiner er lettere og i hvert fald billigere at udnytte den energieia, der skal til for at producere elektrisk kraft.

Det er ligesom med den store gummiged: Den er rimeligt effektiv, når opgaven er at flytte betonklodser på 1 kubikmeter, for det kræver kraft (ligesom el-produktion kræver kraft). Men hvis maskinen skal være rimeligt effektiv til at løfte papkasser på 1 kubikmeter fyldt med fjer (svarende til

37) At der med små temperaturforskelle kan opnås en arbejdsydelse er illustreret i figur 3.2 og figur 3.3, der viser "naturlige temperaturforskelsmaskiner".

38) Tallet kan ikke aflæses af figuren. Det beregnes med en lidt indviklet formel, hvori temperaturerne indgår.



FIGUR 4.4 DET INEFFEKTIVE OG DET EFFEKTIVE

Det er ineffektivt at skyde spurve med kanoner og at løfte fjer med en gummiged.

Når man ser en gummiged løfte en betonklods i skovlen, ser man den vældige kraft, der udløses, når olie forbrændes i en dieselmotors cylindre. At bruge det tunge maskineri til at løfte en kasse med fjer er ikke effektivt. Det er bedre at tage betonen og fjerne i samme løft.

Ligesom det er ineffektivt at bruge oliens kraft til at løfte fjer med en gummiged, er det ineffektivt at bruge oliens kraft til rumopvarmning ved at varme vand op i et oliefyr.

Og ligesom der er brug for kraft til det tunge løft, er der brug for kraft til at frembringe elektrisk kraft i et kraftværk (se figur 3.5).

Når kølevandet fra kraftværket bruges til rumopvarmning fra et fjernvarmenet (se figur 8.1), "tages det tunge (frembringelse af elektrisk kraft) og det lette (vandopvarmning) i samme løft". Man undgår oliefyret – "fjerløftningen med gummigeden".

Opgave	Anlæg (teknik)	Effektivitet
Rumopvarmning Radiatortemperaturer: 60 grader frem 30 grader tilbage	El-radiatorer	ca. 6%
	Oliefyr	ca. 12%
	Gasmotor+varmepumpe, se figur 7.3	ca. 25%
	Højtemperatur-brændselscelleanlæg + varmepumpe	ca. 33%
	El-patron i fjernvarmenet	ca. 11%
El-produktion	Moderne dampturbinekraftværk, se fig.3.5	ca. 47%
	Højtemperatur-brændselscelleanlæg	ca. 65%
El-produktion og rumopvarmning (temperaturer som ovenfor). I forholdet 40 MJ el/55 MJ varme fra værket	Dampturbine-kraftvarmeverk, se fig. 8.1	ca. 46%
	Gasmotor-kraftvarmeverk	ca. 46%
	Kraftvarmeverk med højtemperatur- brændselscelleanlæg+varmepumpe	ca. 60%

TABEL 4.1 Effektivitetsskalaen går fra 0 til 100%. Effektiviteten af et anlæg eller en maskine kommer aldrig op på 100%, for der vil altid ske tab af energieia i maskineriet.

Det giver kun mening at sammenligne effektiviteter af anlæg, der klarer den samme opgave.

Der er regnet med et varmetab i fjernvarmeledninger fra kraftvarmeverker til huse på 20%.

Effektiviteten af el-radiatorer gælder på tidspunkter, hvor der produceres el i kraftværker, så el-forbruget medfører en øget produktion i disse værker. Tallet for "El-patron i fjernvarmenet", gælder på tidspunkter, hvor ingen kraftværker er i gang. (Kraftværker er brændselsfyrede el-produktionsenheder, hvor kølevarmen ikke udnyttes).

Brændselsceller er beskrevet i afsnit 8.4.

lav-temperatur varme), skal skovlen tages af og hydrauliktrykket bringes meget lavt ned, og maskineriet skal køre på et meget lavt omdrejningstal. Alligevel er og bliver maskineriet for tungt grej til at klare opgaven på effektiv måde. Det kræver lettere, mere raffineret og dyrere maskineri at opnå en høj effektivitet af anlæg, der kun skal klare lav-temperaturopvarmning.

Men selvfølgelig, hvis betonen og fjerene løftes på én gang i samme skovl, kan begge løfte-opgaver klares på én gang med en rimelig god effektivitet. Det er i princippet det, der er for-delen ved kraft-varme-produktion. Figur 3.5 viser, hvordan el-produktion i et dampturbine-kraftværk foregår. Det svarer til bulldozeren, der løfter betonklodser. Figur 8.1 viser, hvordan man i kraftvarmeverker så at sige får varmeproduktionen (fjerene) med i samme løft.

Tabel 4.1 giver en hurtig oversigt over de effektiviteter, der kan opnås med forskellige opvarmnings- og el-produktionsteknikker. Når regeringen i sin "Energistrategi 2025" (juni 2005) siger, at den vil give mulighed for "forbrug af el i fjernvarmesystemerne", og samtidig pointerer vigtigheden af "effektiv energianvendelse", må man gå ud fra, at den mener "brug af el-drevne varmepumper i kraftvarme-fjernvarmesystemerne". El-patroner i fjernvarmenet udmærker sig ikke ved en høj effektivitet, se tabellen.

4.8 UDVIKLINGEN SKRIDER FREM - DER ER INGEN VEJ TILBAGE

Hvis alle processer var reversible, dvs. tabsfri, kunne tiden gå tilbage. Så kunne vi gennemløbe historien herfra tilbage til Jordens skabelse.

Man kan forestille sig processer, hvor der ikke sker tab af energieia. For eksempel kan man forestille sig et lod, der hænger helt oppe under loftet i et snoretræk, som er forbundet til en vandpumpe. Loddet bevæger sig lige så langsomt ned mod gulvet, og vandpumpen, der trækkes af loddet gennem snoretrækket, pumper samtidigt vand op i en beholder oppe under loftet. Hvis det hele forløber langsomt og gnid-

ningsløst, så ingen dele i mekanikken bliver varme på grund af gnidning, og der ikke opstår nogen hvirvler i vandet, så vil der i det oppumpede vand være lige så meget energieia, som i loddet, da det hang oppe under loftet. Der er ikke sket noget tab af energieia. For hvis vandet lige så langsomt og uden sprøjt og hvirvler løber tilbage gennem en vandmølle, der gennem snoretrækket løfter loddet op under loftet igen, er vi tilbage i den situation, vi startede med. Dette er et simpelt mekanisk eksempel på det, man kalder en reversibel³⁹ proces: En proces, der kan løbe begge veje uden tab af energieia.

I virkelighedens verden findes der ingen reversible processer. Hvis alle processer var reversible, kunne tiden gå tilbage, så vi kunne gennemløbe historien herfra tilbage til Jordens skabelse. Det, vi kalder udvikling, er alt det, der sker i mangfoldigheden af ikke-reversible (også kaldet irreversible) processer, hvori energieia går tabt. I de naturlige livsprocesser genskabes energieia i de årlige kredsløb i kraft af solens stråling og Jordens rotation om sin egen akse. De fossile brændsler, vi forbruger, går uigenkaldeligt - irreversibelt - tabt.

Udviklingen på Jorden er skredet frem gennem milliarder af år, undertiden gennem omvæltninger frembragt af vulkanudbrud, jordskælv, nedslag af kæmpe-meteor, istider og andre katastrofer. I det sidste århundrede er der sket en helt ny form for omvæltning, nemlig gennem de irreversible processer, der sker i de hundreder af millioner af diesel- og benzinmotorer og olie-, gas- eller gasfyrede kraftværker, som har forlenet mennesket med aldrig før sete kræfter til at forandre verden. Her er der tale om irreversible processer, der ikke kun har frembragt de samfund af storbyer, vejnet, lufthavne, havne og fabrikker, vi nu lever i, men også har medført udryddelse af mange arter og en fremadskridende ændring af atmosfæren.

Denne udvikling kaldes økonomisk vækst, men vi ved ikke, hvor den fører hen. Vi ved, at den ikke kan fortsætte i kraft af de fossile brændsler, for vi har allerede brugt så meget af olie- og naturgasreserverne, at produktionen snart vil begynde at falde. Men vi ved ikke, hvad der så vil ske - medmindre mennesker formår at bringe udviklingen under kontrol.

39) Reversibel: af latin revertere, vende om. R på gearstangen i bilen: Reverse.



OLIETIDEN

DEL 2

5. DET SORTE GULD

Som vi skal se, viser det sig ved nærmere eftertanke, at den optimistiske vurdering af væksten i olieproduktionen i de kommende år må gøre os meget pessimistiske og bekymrede for samfundsøkonomiens grundlag på bare lidt længere sigt.

Mange har hørt eller læst, at der endnu er olie nok til 40 års forbrug, men ikke forklaringen på, hvad det betyder. Det betyder, at hvis al olien fandtes i en kæmpe stor tønde, og der hvert år blev tappet lige så meget som i år, så ville det tage 40 år at tømme tønden. En restauratør, der har et lager af en speciel fadøl på 400 liter, kan lave det samme regnestykke. Hvis han hver dag sælger 10 liter, har han nok til 40 dage. Så enkelt er det bare ikke med olien. Af flere grunde. Olien findes ikke i en tønde med en aftapningshane, men i mere eller mindre porøse lag af sandsten, kridt og lignende dybt under jordoverfladen. Man kan ikke med sikkerhed vide, hvor meget olie der findes og hvor meget af den, der kan eller vil blive udvundet. Og forbruget er ikke det samme hvert år, men i disse år kraftigt stigende.

Derfor er det meningsløst og vildledende at sige, at der endnu er olie nok til 30, 40 eller 50 års forbrug. Det drejer sig ikke om, hvor meget olie, der findes. Det drejer sig om hvor meget, der vil kunne produceres år for år i de kommende år. Problemet er, at den tid nærmer sig, hvor den årlige produktion ikke længere vil kunne dække en hastigt stigende efterspørgsel.

Diskussionen af dette problem, som er af afgørende betydning for samfundsudviklingen i de kommende år, foregår mellem to fløje. Optimister og pessimister. Som vi skal se, viser det sig ved nærmere eftertanke, at den optimistiske vurdering af væksten i olieproduktionen i de kommende år, må gøre os meget pessimistiske og bekymrede for samfundsøkonomiens grundlag på bare lidt længere sigt.

5.1 OLIEUDVINDING

I nogle år løber olien op i en lind strøm, men en dag bliver strømmen langsommere, fordi trykket i undergrunden begynder at falde.

Olie findes i mere eller mindre porøse lag af sandsten, kridt og lignende dybt under jordoverfladen. Nogle steder i revner og sprækker i hårde lag. Under olien er lagene mættet med vand. Vandtrykket er højt i de store dybder, så når man borer et hul ned i de olieførende lag - en oliebrønd - presser vandet olien op gennem brønden. Mange steder må man dog hjælpe til med en pumpe, sådan som man ser det på billeder af oliebrønde med vippearmspumper. I nogle år løber olien op i en lind strøm, men en dag bliver strømmen langsommere, fordi trykket i undergrunden begynder at falde. For at holde trykket oppe kan man pumpe vand ned under olielagene⁴⁰. En anden måde at få mere olie op på, er at "stikke snabelen" længere ud i oliefeltet. Det gør man med en ret fantastisk boreteknik, der gør det muligt at bore dybt ned og så dreje boret, så det fortsætter vandret henimod områder, hvor der endnu er noget at tappe.

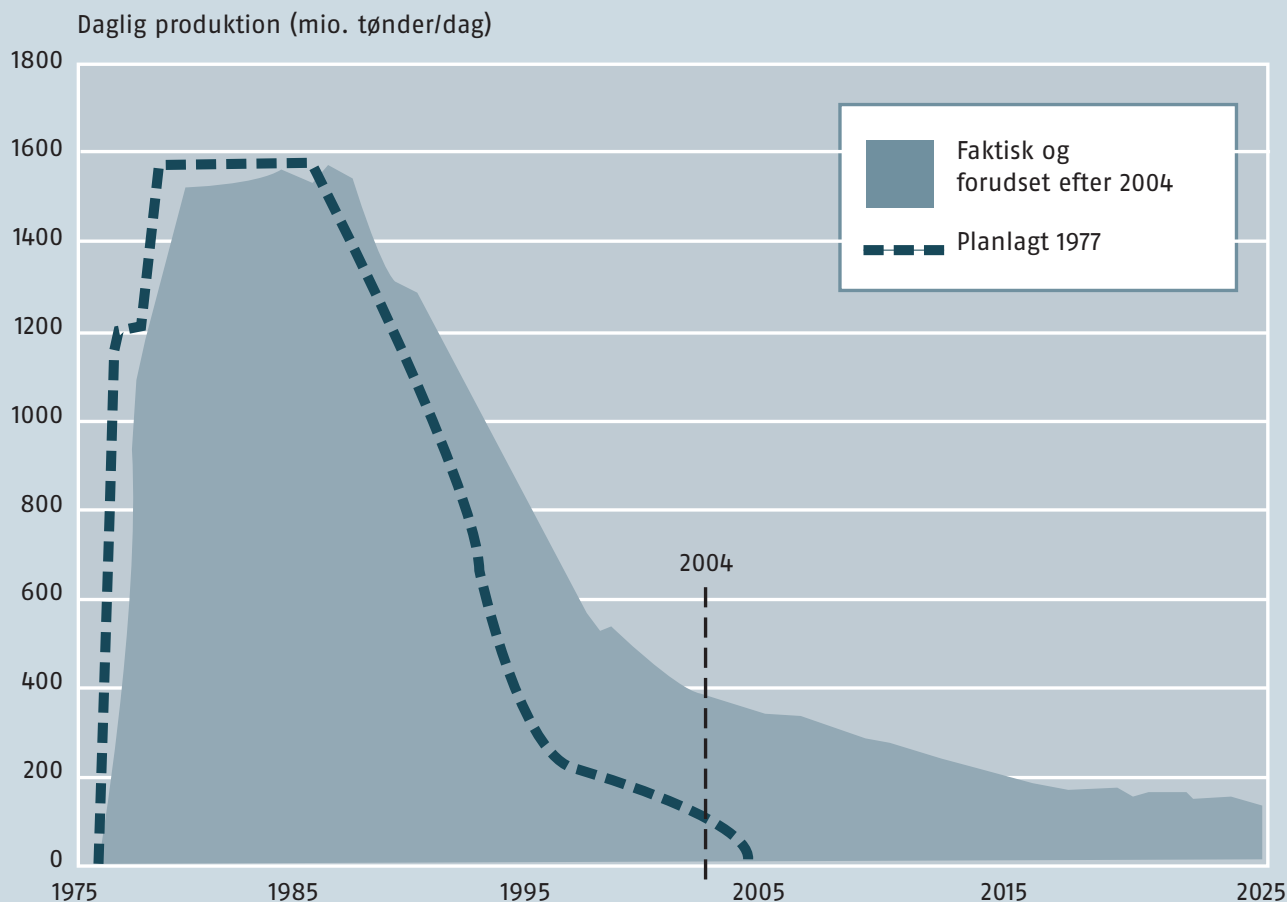
Trykforøgelse ved nedpumpning af vand er forholdsvis billigt. Især i Saudi Arabien er denne metode blevet brugt i mange oliefelter på et tidligt tidspunkt i deres levetid. Derved har man i flere felter kunnet holde et konstant tryk og dermed en konstant produktion i flere årtier. Andre, mere avancerede teknikker til at bringe mere olie op, er dyrere, så olieselskaberne bruger dem normalt først, når produktionen fra et felt begynder at falde. Derved kan de gøre faldet i produktionen mindre stejlt, men kun sjældent opnå en længerevarig forøgelse af produktionen.

Jo mere vand, der pumpes ned for at opretholde trykket, jo mere vand bliver der efterhånden i den olie, der kommer

40) Nogle steder er der naturgas i lagene over de olieførende lag. Der kan man i stedet for vand pumpe gas ned for at hæve trykket. Det er også muligt at udskille CO₂ af røgen fra kulfyrede kraftværker og pumpe den ned i oliefelter. Hvis den bliver dækket, kan man både få mere olie op og formindske CO₂-udslippet til atmosfæren.

41) Seismo: græsk for rystelse eller jordskælv. Seismisk opmåling sker ved, at man detonerer en sprængladning og måler, hvordan trykbølgen gennem jorden tilbagekastes fra de forskellige lag i undergrunden.

PRODUKTION I BP'S OLIEFELTER I PRUDHOE BAY, ALASKA



FIGUR 5.1 Olieproduktion i BP's oliefelt i Prudhoe Bay, Alaska. Produktionen startede i 1976. Den stiplede kurve viser det forløb, man forventede (planlagte), efter at produktionen var kommet i gang i 1977. "Bjerget" viser, hvordan det gik frem til 2004 (den lodrette streg), og hvordan det forventes at gå i de kommende år.

Den årlige produktion voksede i løbet af nogle få år til 1500 mio. tønder om dagen. I de næste 10 år fra 1980 til 1987 steg produktionen kun svagt. Så skete der – som forventet – et brat fald. Ved hjælp af avancerede udvindingsteknikker lykkedes det at udvinde mere olie end oprindeligt forventet og derved gøre faldet mindre stejlt.

Produktionsforløbet for store oliefelter varierer, men det starter typisk med en ret stejl stigning efterfulgt af en kortere varig udfladning og derpå et mere eller mindre brat fald. En undtagelse er verdens største oliefelt, Ghawar feltet i Saudi Arabien. Her toppede produktionen i 1981, men det er derefter lykkedes at opretholde trykket ved indpumpning af vand, så produktionen derefter har kunnet holdes nogenlunde konstant på et lidt lavere niveau. Hvornår produktionen i Ghawar feltet begynder at falde, er et af de store spørgsmål i vurderingen af udsigterne for verdens olieproduktion i de kommende år.

op. I de danske felter i Nordsøen udgør vand ca. 30% af det, der pumpes op. Øget vandindhold er tegn på, at olieproduktionen er på vej ned. I felter med vandrette borer kan nedturen blive meget brat, når vandet trænger ind i de vandrette rør.

Figur 5.1 viser et typisk eksempel på forløbet af olieudvindingen fra et stort oliefelt. Først stiger produktionen hurtigt. Derpå flader den ud og begynder så at falde. Med moderne avancerede udvindingsteknikker er det lykkedes at udvinde mere olie og gøre faldet mindre stejlt, end man tidligere havde forventet. Men nedgangen i produktionen er uafvendelig.

5.2 OLIERESERVER

Den største usikkerhed i opgørelsen af de globale oliereserver er nok, at de nationale olieselskaber i Mellemøsten, hvor de største oliereserver findes, ikke ligesom de private olieselskaber i de vestlige lande er forpligtede til at fremlægge realistiske reserveopgørelser.

Det er klart, at det er svært at regne ud hvor meget olie, der i den sidste ende vil blive udvundet fra et oliefelt. Selvom det med moderne seismiske opmålingsmetoder⁴¹ er muligt at kortlægge oliefelter dybt nede i undergrunden, kan man ikke nøjagtigt vide, hvor meget olie, der befinder sig under jorden. Man ved heller ikke, hvor meget det vil kunne betale sig at udvinde. Det kan i nogen grad afhænge af olieprisen i de kommende år. Og man kan ikke med sikkerhed vide, hvor meget der vil kunne udvindes, selvom olieprisen skulle blive meget høj. Der er eksempler på, at forventninger om øget udvinding med avancerede teknikker er blevet gjort til skamme. Uventet vandindtrængning har tværtimod fået produktionen til at falde.

Alligevel har olieselskabernes aktionærer krav på at vide, omtrent hvor meget de selskaber, de har aktier i, har tilbage i deres oliefelter. Det spiller jo en væsentlig rolle for aktiekursen. Derfor skal de private olieselskaber hvert år

opgøre deres reservebeholdninger. Det kræver en regel for, hvordan en reserve skal opgøres. Reglen er, at den olie-reserve, der findes i et oliefelt, opgøres som den mængde olie, det vil være økonomisk fordelagtigt at udvinde med de i dag kendte udvindingsteknologier.

Da man ikke kan vide, hvor stor denne mængde er, deler man opgørelserne op i tre dele:

- 1) Sikre (påviste) reserver (eng.: proven reserves). Det er de mængder, man med sikkerhed forventer at kunne udvinde fra sine oliefelter⁴².
- 2) Sandsynlige reserver. Det er yderligere mængder, der skulle være en god chance for at få oven i købet.
- 3) Mulige reserver. Det er endnu yderligere mængder, det med en god portion held måske kan være muligt at udvinde.

I årenes løb er "de sikre reserver" i mange oliefelter vokset, fordi nogle af "de sandsynlige reserver" har vist sig at kunne udvindes, og dermed er blevet til "sikre reserver". På den måde er der sket en vækst i de opgjorte globale reserver, selvom olieforbruget år for år har tæret på reserverne, fordi nye fund ikke har været store nok til at dække forbruget, se figur 1.4 i kapitel 1.

Den største usikkerhed i opgørelsen af de globale oliereserver er nok, at de nationale olieselskaber i Mellemøsten, hvor de største oliereserver findes, ikke ligesom de private olieselskaber i de vestlige lande er forpligtede til at fremlægge realistiske reserveopgørelser. Derfor kan udenforstående ikke vide hvor store reserver, de faktisk råder over. Der er rejst begrundet tvivl om, hvorvidt de offentliggjorte reserver faktisk vil kunne udvindes.

Den mængde olie, der i alt vil kunne udvindes fra alle verdens oliefelter, anslår såkaldte optimister til omkring 3000 mia. tønder. De såkaldte pessimister regner med omkring 2000 mia. Dertil kommer nogle hundrede mia. tønder olie i form af kondensater fra naturgasproduktionen. Af denne samlede oprindelige mængde er der nu brugt ca. 1000 mia. tønder⁴³.

42) Man husker skandalen, da Shell i 2004 måtte erkende, at de havde ansat deres sikre reserver 20% for højt.

43) 1 tønde = 157 liter = 0.157 kubikmeter. For at få en idé om de størrelser, der er tale om, kan vi omregne gennemsnittet af den optimistiske og den pessimistiske vurdering af den tilbageværende oliemængde til kubikmeter. Så får vi noget i retning af 300 mia. kubikmeter. Det er omkring 45 000 liter til hvert menneske på Jorden, hvis alle fik lige meget. Men det gør de jo langtfra. Godt én mia. mennesker i de rige lande bruger nu omkring 2.3 mia. kubikmeter om året ud af et samlet globalt forbrug på 4.8 mia. kubikmeter. Det giver omkring 2.5 mia. til fordeling blandt de andre 5.5 mia. mennesker (I disse tal er olie fra naturgaskondensat medregnet).

5.3 FORBRUG OG PRODUKTION I DE KOMMENDE ÅR

Nøjere opgørelser af situationen, som den tegner sig i de kommende år, tyder på, at det er muligt at klare en forbrugsstigning på 2% om året i 3-4 år.

Olieforbrug og produktion balancerer stort set år for år. Det vil sige, at det i den sidste ende er forbruget i alverdens biler, busser, lastbiler, flyvemaskiner, skibe, oliefyr, osv., der bestemmer den årlige produktion. Det globale forbrug steg i 2004 med 3.6%, fra 79.5 til 82.3 mio. tønder om dagen. I år og næste år forventes en noget mindre stigning på omkring 2%.⁴⁴ Spørgsmålet er, hvor længe produktionen kan forøges.

Man må regne med, at produktionen fra oliefelterne topper, når omkring halvdelen af den oprindelige mængde er udvundet⁴⁵. Der er i de sidste hundrede år forbrugt ialt ca. 1000 mia. tønder. Så hvis der er 1000 mia. tønder tilbage, er vi tæt på at have forbrugt halvdelen. Hvis vi doubler op og regner med, at der er 2000 mia. tønder tilbage, er der endnu 14 år at løbe på, hvis forbruget fortsat stiger med 2% om året. For så går der ikke mere end 14 år, før der er brugt yderligere 500 mia. tønder, se figur 5.2. Nogle forventer, at det med moderne teknikker vil lykkes at udskyde det tidspunkt, hvor produktionen topper. Men hvis det lykkes, bliver faldet, efter at toppen er nået, mere stejlt. Dette er illustreret i figur 5.3.

Nøjere opgørelser af situationen, som den tegner sig i de kommende år, tyder på, at det er muligt at klare en forbrugsstigning på 2% om året i 3-4 år. Olieproduktionen er allerede faldende i mange af verdens olieproducerende lande. Det gælder også for produktionen i Nordsøen. Hvert år falder den samlede produktion i disse lande med ca. 1 mio. tønder/dag⁴⁶. Det vil sige, at de andre olieproducerende lande hvert år skal forøge deres produktion med 1 mio. tønder/dag bare for at holde den globale produktion konstant. Derudover skal de dække en årlig forbrugsstigning på ca. 2% eller 1.7 mio. tønder/dag. Alt i alt skal de lande, der endnu har mulighed for at forøge deres produktion, hvert år præstere en produktionsstigning på mindst 2.7 mio. tønder/dag. Der er grænser for,

hvor længe dette kan lade sig gøre. Saudi Arabien har budgetteret med 15-18 mia. dollar (ca. 100 mia. kr) til forøgelse af landets produktionskapacitet med 1.6 mio. tønder/dag, fra 11 til 12.6 mio. tønder/dag, i løbet af de næste 4 år⁴⁷. De andre lande, som endnu har mulighed for at forøge deres produktion, skal så klare en årlig produktionsstigning på 2 mio. tønder/dag. Det er en årlig stigning på ca. 4% af deres nuværende produktion. Det lader sig næppe gøre i ret mange år.

Det skal bemærkes, at prognoserne for de kommende 5 år er forholdsvis sikre. Det tager nemlig normalt 5-7 år at forbedre og igangsætte produktionen fra et nyt oliefelt. Da det vides, hvor mange nye udvindingsprojekter, der er sat i gang, og omtrent hvor meget hvert af de nye felter vil kunne producere, kan man få et godt skøn for den nye produktion, der kommer til. Billedet kan ændres til den ene eller den anden side. Der kan ske uventede produktionsforøgelser i nogle af de eksisterende eller nogle af de nye felter, men der kan også indtræde uventede fald i produktionen. Dertil kommer, at sabotage af olieanlæg, krig eller politiske konflikter kan hæmme produktionen i Mellemøsten, Centralasien eller Sydamerika. Men foreliggende beregninger tyder på, at en forbrugsvækst på 2% om året ikke vil kunne opretholdes længere end til 2009 eller 2010.

5.4 UHELDSSVANGER OPTIMISME

En flok høns og en hane på en ø langt ude i havet finder en dag 100 tønder korn, der er skyllet i land fra et forlist skib. De er ikke flere, end at de kan leve af græsset og de andre planter, der vokser på øen, og ormene i jorden. Men nu er der mad til mange flere. De får flere kyllinger. Kyllingerne vokser op og får flere. De bliver store og fede af det rigelige korn. Efter en tid kan der snart ikke være flere høns og kyllinger på øen. Og der begynder at blive knaphed på korn. Det, der er tilbage, er blevet spredt og trampet ned i jorden, så det er svært at finde. Nu er hønsene blevet alt for mange til at leve af det, der vokser på øen. De har allerede udryddet en stor del af plantevæksten.

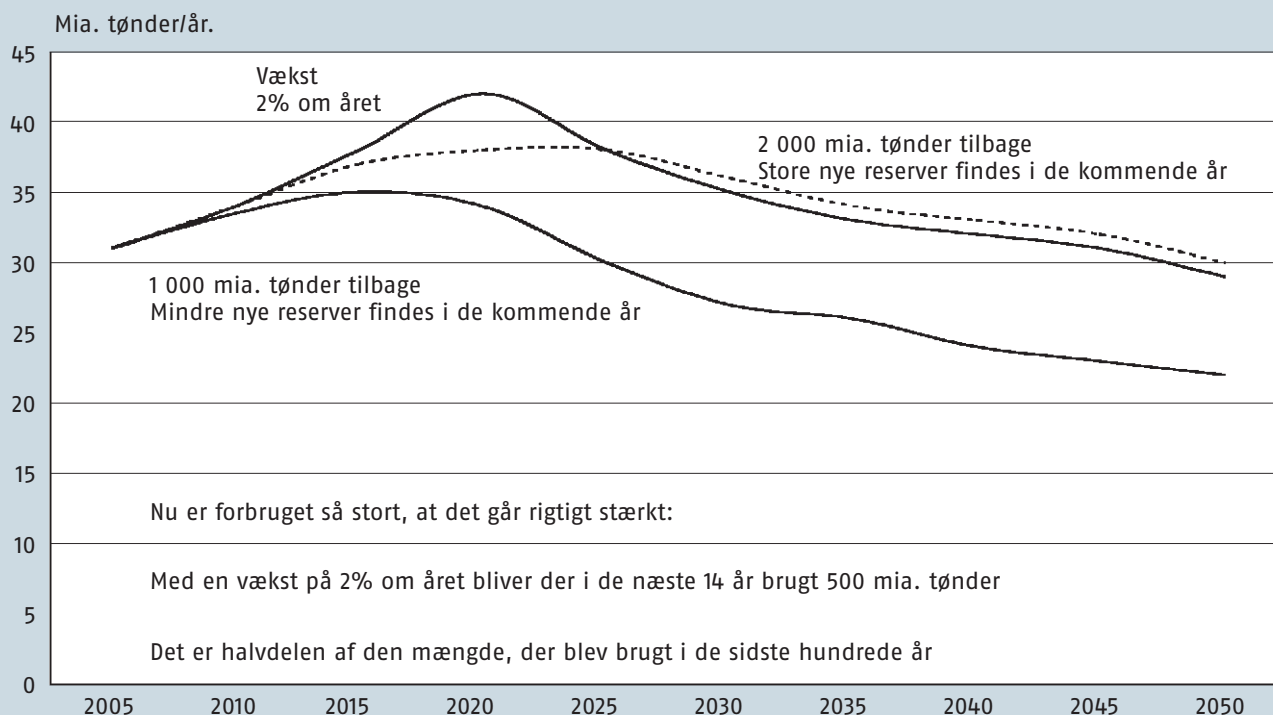
Hvis de kun havde fundet 10 tønder korn, var de ikke kommet helt så galt af sted.

44) Det Internationale Energiagentur. <http://omrpublic.iea.org/> 30.7.2005

45) I USA (uden Alaska) toppede olieproduktionen i 1970. På det tidspunkt var omkring halvdelen af USAs reserver opbrugt. Efter 1970 har produktionen været faldende år for år. Produktionskurverne fra store oliefelter, der nu er ved at være udtømte, viser - med nogle uregelmæssigheder - det samme forløb. Produktionen har været faldende, efter at halvdelen af de oprindelige reserver er blevet udvundet.

46) Opgørelser foretaget af Chris Skrebowski, redaktør af Petroleum Review (UK). www.globalpublicmedia.com/transcripts/379 .

47) Oil&Gas Journal Online <http://ogj.articles> 26.04.2005.



FIGUR 5.2. Kurverne viser tre scenarier for den fremtidige olieproduktion.

Forudsætningerne for det ene scenarie – den øverste kurve – er:

- At der i fremtiden kan produceres ialt omkring 2000 mia. tønder olie fra oliefelterne, sådan som forventet af de såkaldte optimister blandt økonomer og olieeksperter.
- At den årlige tilgang af nye reserver i de kommende år bliver noget større end gennemsnittet for de sidste 10 år.

Forudsætningerne for det andet scenarie – den nederste kurve – er:

- At den fremtidige produktion fra oliefelterne ikke kan blive 2000, men – som forventet af andre fremtrædende olieeksperter – kun omkring 1000 mia. tønder.
- At den årlige tilgang af nye reserver i de kommende år bliver lidt mindre end gennemsnittet for de sidste 10 år.

I begge scenarier er der indregnet en samlet olieproduktion fra naturgaskondensat og tjæresand m.m. på 750 mia. tønder.

Den stiplede kurve viser et tredje scenarie, hvor forbrugsstigningen formindskes, sådan at produktionen hele vejen igennem kan dække efterspørgslen, under samme optimistiske forudsætninger som for den øverste kurve. Det ville give lavere oliepriser.

Det skal bemærkes, at mange fremtrædende olieeksperter forventer, at produktionsfaldet efter toppene bliver stejlere end vist i denne figur.

Det Internationale Energiagentur (IEA) regner i 2005 med, at produktionen vil kunne dække efterspørgslen frem til 2030 – forudsat at forbruget kun stiger med 1.3% om året, og at produktionen i Mellemøsten frem til 2030 stiger til 45 mio. tønder om dagen. Året før, i 2004, regnede IEA med, at en forbrugsstigning på 1.6% om året kunne klares ved, at produktionen i Mellemøsten steg til 53 mio. tønder om dagen.

IEA regner også med, at der i de næste 25 år kan tilvejebringes ny produktionskapacitet af samme størrelse som den nuværende kapacitet, dels til erstatning af produktion fra felter, der er på nedtur, dels til dækning af forbrugsstigningen. Hvis det skulle lykkes at "presse citronen så hårdt", må man regne med, at nedgangen, når produktionen er toppet, bliver meget stejl.

De såkaldte optimister tror, at olieproduktionen fra oliefelterne vil kunne dække et stadigt voksende forbrug i flere årtier endnu. Men et stadigt voksende olieforbrug betyder flere olieædende biler, flyvemaskiner, osv. Så hvis forbruget og dermed produktionen fortsat vokser i flere årtier fremover, bliver verdensøkonomien mere og mere afhængig af olie. Indtil den dag, hvor produktionen ikke længere kan følge med. Så ender det som med hønsene på øen.

Denne ulykkelige situation kan kun undgås ved, at de rige samfund sørger for, at forbrugsstigningen formindskes så meget, at det bliver efterspørgslen og ikke produktionskapaciteten, der fremover bestemmer, hvor meget der produceres år for år. Så det bliver et købers marked i stedet for et sælgers, og produktionen topper, fordi forbruget topper, ikke fordi det ikke er muligt at producere mere olie.

Dette kræver, at der, medens der endnu er olie nok, bliver udviklet og markedsført biler, der kan køre langt på literen eller slet ikke bruger olie; at der indføres el-drevne kollektive transportmidler; og at oliefyr erstattes med andre opvarmningsformer. Alt sammen ved brug af sådanne teknologier, at CO₂-udslippet samtidigt formindskes.

Hvis det høje skøn for den mængde olie, der vil kunne produceres i fremtiden (2000 mia. tønder) holder stik, og der kommer store nye reserver til i de kommende år, så er der en 5-10 år til at iværksætte sådanne fornyelser og derved opnå, at der fremover er olie nok til at dække efterspørgslen, se figur 5.2. Hvis det nærmere er det lave skøn (1000 mia. tønder), der holder stik, så bliver det meget hurtigt produktionskapaciteten, der kommer til at bestemme forbruget. Og den vil næppe kunne stige med 2% om året, indtil den topper om en halv snes år.

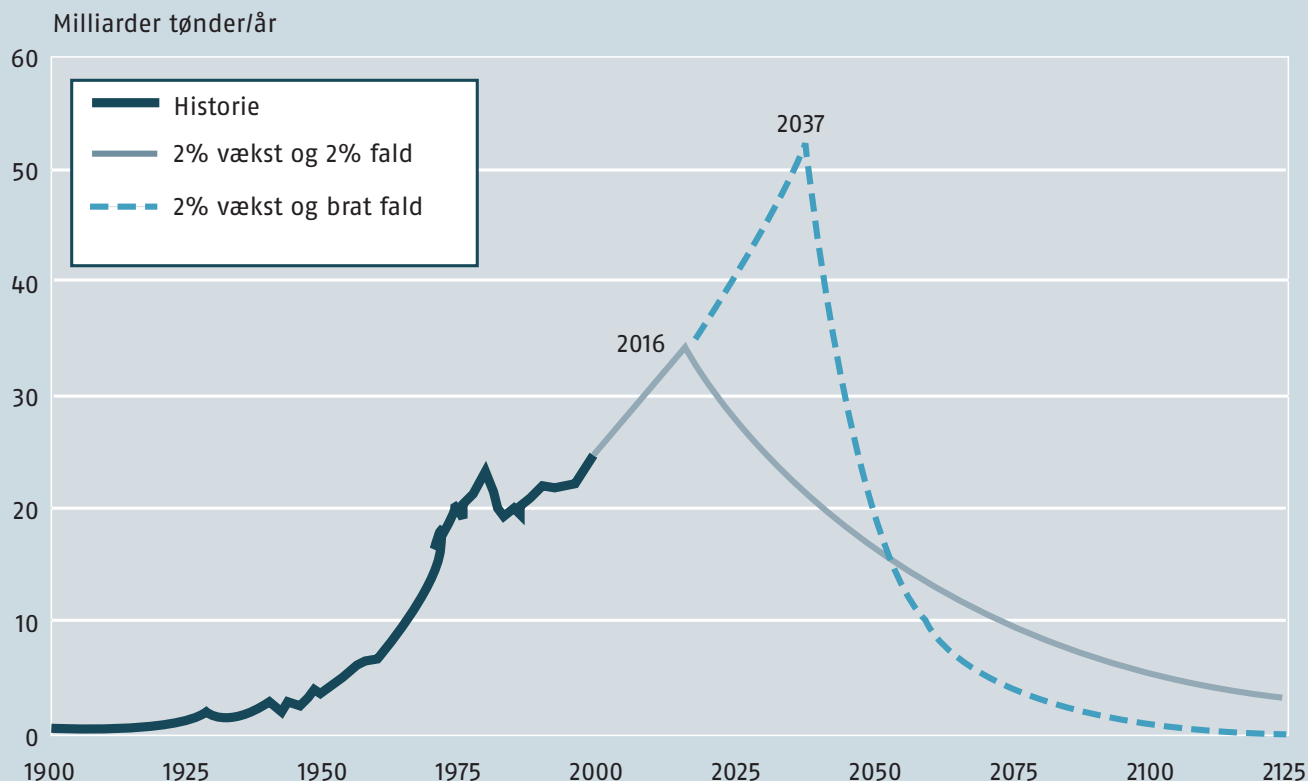
I en markedsstyret samfundsøkonomi opfører mennesker sig som hønsene på øen. De vælger hele tiden det, der for tiden er det billigste og nemmeste. Problemet er derfor, at olieprisen bliver ved med at være lav nok til at holde væksten i gang, lige indtil produktionen topper. En oliepris, der er lav nok til at holde væksten i gang, vil nemlig fortsat være

meget større, end produktionsomkostningen. Først når produktionen ikke længere kan forøges lige så hurtigt som efterspørgslen, stiger prisen, indtil efterspørgslen kommer ned på det, olieselskaberne kan levere. Jo længere tid, der går, før det sker, jo værre er det. For en fortsat stigning i olieforbruget betyder, at verdensøkonomien år for år bliver mere og mere afhængig af olie: Flere biler, fly, osv. Jo mere olieforbrugende isenkram vi har, jo dårligere står vi, når verdensøkonomien skal omstilles fra en årlig vækst i olieforbruget på 2% til et årligt fald på 2%. Vi kommer galt afsted ligesom hønsene på øen.

De såkaldt optimistiske forventninger om, at olieproduktionen fra oliefelterne suppleret med olie fra tjæresand m.m. vil kunne dække et stadigt voksende forbrug i flere årtier endnu, viser sig ved en sådan nærmere eftertanke at give grund til pessimisme. De rigtige optimister er dem, der tror, at det trods alt lykkes de rige samfund på kloden at regulere markedsmekanismen, sådan at der ikke bliver brug for mere olie, end olieindustrien kan levere.

Det amerikanske energiministerium (US Department of Energy) har fremstillet en figur, der trækker vækstproblemet endnu skarpere op end figur 5.2. Denne figur, der er her gengivet i figur 5.3, gør det helt klart, at situationen kan blive katastrofal, hvis det ikke lykkes at bremse væksten i forbruget af olie fra oliefelterne i god tid før produktionen topper. Problemets alvor fremgår også af det citat fra en rapport fra Science Applications International Corporation til US Department of Energy, der er gengivet i det indledende afsnit i næste kapitel (kapitel 6).

TO KATASTROFE-SCENARIER



FIGUR 5.3. Denne figur viser to katastrofe-scenarier, det ene værre end det andet. Den er fremstillet af det amerikanske energiministerium (US Department of Energy, Energy Information Administration (EIA), 2000). Kurverne viser hele verdens hidtidige og fremtidige årlige produktion i mia. tønder. Da de blev tegnet i 2000 var produktionen (= forbruget) ca. 26 mia. tønder om året. Nu i 2005 er vi allerede kommet op over 30 mia. tønder om året.

Det antages i disse scenarier, at der i alt fra år 1900 og et stykke ind i det 22. århundrede vil kunne produceres i alt 3 000 mia. tønder, svarende til den øverste kurve i figur 5.2. Denne mængde er lig med arealet under kurverne. Den mængde, der i alt er blevet produceret siden år 1900, er ca. 1000 mia. tønder, lig arealet under den fedt optrukne del af kurverne. Endvidere er det antaget, at forbrugsvæksten bliver på 2% om året i de kommende år.

Hvis det antages, at produktionsfaldet, efter at toppen er nået, bliver på 2% om året, som vist ved den fuldt optrukne kurve, kan produktionsstigningen kun fortsætte indtil år 2016. Arealet under kurven skal jo være 3000 mia. tønder.

Hvis man forestiller sig, at det kunne lykkes at forøge produktionen med 2% om året helt frem til 2037, som vist ved den stiplede kurve, ville næsten al den olie, der kan udvindes, være forbrugt, når produktionen topper. Faldet efter toppen ville så blive næsten lodret. Og der ville på det tidspunkt være tre gange så mange biler, fly, landbrugsmaskiner osv. i verden.

Som nævnt i afsnit 5.3 ovenfor, voksede olieforbruget i 2004 med 3.6%.

6. TRANSPORT

Bilen og olien er som pen og blæk. Men der er kun ét blækhus. Papiret er vores land. Bilen har overalt trukket sine spor. Med en bred pen og mange klatter. I løbet af de sidste 50 år er alt forandret. Der er ikke blevet sparet på blækket. Nu skraber pennen mod blækhusets bund, når den dyppes. Blækhuset er ved at være halvt tomt. Der er mindre på pennen ved hvert dyp.

Vil andre motorer kunne erstatte benzin- og dieselmotorerne, ligesom kuglepennen erstattede pen og blæk? Vil andre brændstoffer kunne erstatte olien?

Oliekrisen i 1970'erne gjorde energi til et politisk anliggende. Siden har energiforbruget til transport været noget, man har talt om, men ikke gjort noget ved. Energi-besparelser med el-sparepærer, mere energieffektive køleskabe, nye "energiruder" i vinduerne, tykkere isoleringsmåtter på loftet og fjernvarme fra et kraftvarmeværk griber ikke ind i den daglige moderne livsstil. Det gør vindmøller heller ikke.

Med bilen er det anderledes. Bilen er blevet en afgørende del af vores samfunds kultur og økonomi. Og bilindustrien er en international industri, som ikke uden videre lader sig påvirke af danske energibesparelsesønsker. EU-Kommissionen har indgået en aftale (COM(95) 689 Final, 2005) med bilfabrikkerne i Europa, Japan og Korea om, at det gennemsnitlige CO₂-udslip fra nye biler solgt i EU skal nedbringes fra det nuværende udslip på ca. 170 g/km til 140 g/km i 2008/2009. Det svarer til at nye biler i 2008/2009 skal kunne køre ca. 19 km/liter i gennemsnit mod ca. 16 km/liter i 2003. Hvis dette lykkes, er det EU's målsætning, at nye biler i gennemsnit kan køre 22 km/liter i 2012. Men det vil kun medføre en mindre formindskelse af det gennemsnitlige benzin- eller diesel-forbrug, for mange af de biler, der kører i dag, vil også køre i 2012, og de mere energiøkonomiske biler forventes først at komme på markedet i 2008. Og hvis benzin- og dieselpriserne ikke stiger voldsomt, er det ikke sikkert, at de mest energiøkonomiske modeller, der trækker gennem-

snittet opad, vil blive dem, der sælger bedst. Her i landet fremmer det ikke interessen for brændstoføkonomiske biler, at de største udgifter til bilkørsel er de store statsafgifter ved køb af bilen og de deraf affødte store kaskoforsikringspræmier.

EU-Kommissionen forestiller sig ikke, at CO₂-udslippet, uanset aftalen med bilfabrikanterne, bliver formindsket, fordi olieproduktionen inden for en overskuelig fremtid ikke længere kan følge med efterspørgselsstigningen, og at benzin- og dieselprisen derfor bliver så høj, at efterspørgslen begrænses til de mængder, der kan leveres. Men det er udsigten til den situation, vi må forholde os til. For som det advarende siges fra Amerika:

Kulminationen af verdens olieproduktion stiller USA og hele verden overfor et risiko-håndteringsproblem uden fortilfælde. Når kulminationen nærmer sig vil priserne på flydende brændsler og prisudsvingene vokse dramatisk, og hvis der ikke i tide tages forholdsregler til at imødegå problemerne, vil de økonomiske, sociale og politiske omkostninger få et omfang uden fortilfælde. Der eksisterer bæredygtige og gennemførlige valgmuligheder både på forsynings- og efterspørgselssiden, men hvis de skal have væsentlige virkninger, skal de igangsættes mere end et årti før olieproduktionen topper.

Citatet er det første afsnit i Executive Summary i en rapport udarbejdet af Robert L. Hirsch et al., SAIC (Science Applications International Corporation), til US Department of Energy, februar 2005:

The peaking of world oil production presents the U.S. and the world with an unprecedented risk management problem. As peaking is approached, liquid fuel prices and price volatility will increase dramatically, and, without timely mitigation, the economic, social, and political costs will be unprecedented. Viable mitigation options exist on both the supply and

demand sides, but to have substantial impact, they must be initiated more than a decade in advance of peaking.

Det er på den baggrund, vi i dette kapitel gør os nogle overvejelser om den motoriserede transport i nutidens samfund. I kapitel 9 omtaler vi kort nogle tekniske muligheder for at skaffe ny drivkraft til fremtidens transportmidler, og i kapitel 11, afsnit 11.10, opregner vi de mange forskellige forhold, der har indflydelse på energiforbruget til person- og godstransport. I kapitel 15, afsnit 15.4, sætter vi tal på de forandringer på transportområdet, der er forudsat i scenarie-eksemplerne.

6.1 FRA HESTEHOVE TIL STEMPLER TIL ... ?

Der skulle kun to personers praktiske snilde til hurtigt at konstruere de billige og temmeligt simple motorer, der med olien kom til at forandre verden. Ingen forudgående langvarige forsknings- og udviklingsprojekter. Så let går det ikke med at finde andre slags bilmotorer, der ikke bruger olie.

Udvindingen af fossil olie - stenolie, på engelsk petroleum (peter: sten) - begyndte for ca. 150 år siden. I Rumænien i 1857, i USA (i Pennsylvanien) i 1859 og lidt senere i Rusland - i nærheden af Baku ved det Kaspiske hav. Derefter varede det ikke længe før benzinmotoren og dieselmotoren blev opfundet.

I 1876 konstruerede den tyske ingeniør Nikolaus Otto (1832 - 1891) firetakts-benzinmotoren. Allerede i 1885 kørte en anden tysk ingeniør Karl Benz (1844 - 1929) sin første tur i en benzinmotordrevet vogn. En tredje tysk ingeniør Rudolf Diesel (1858 - 1913) tog i 1892 patent på dieselmotoren, og i 1912 sejlede verdens første dieselmotordrevne skib, ØK's Selandia, ud på sin jomfrurejse fra København.

Det gik stærkt, fordi de nødvendige teknikker til fremstil-

ling af de nye motorer allerede var til rådighed. Når man kunne lave cylindre, plejlstænger og lejer til kulfyrede dampmaskiner i lokomotiver, skibe og fabrikker, kunne man også lave dem til benzin- og dieselmotorerne. De teknikker, der skulle bruges i industrialiseringens nye olietid, var blevet udviklet i kultiden. På gader og veje kunne man nu uden de store tekniske problemer skifte hestehovenes langsomme trap-trap-trap ud med motor-stemplernes lynhurtige bum-bum-bum. Spændte benzinmotorer og dieselmotorer for hestevognene.

På gamle billeder fra tiden omkring første verdenskrig ser man tydeligt, at personbilen er kareten og lastbilen den hestetrukne arbejdsvogn, bare med motor-stempler i stedet for hestehove. Siden er faconen på bilen blevet lavere og mere strømlinet - så den er blevet mindre komfortabel at komme ind og ud af, bortset fra London-taxaen - og den moderne masseproducerede bil er teknisk mere raffineret. Men teknologien er grundlæggende uforandret.

Det er tankevækkende, at verdensøkonomien i de sidste 100 år i den grad har været bestemt af den tilfældighed, at mennesker for 150 år siden fandt olie, der tilfældigvis blev frembragt af algeaflejringer, der skete i perioder med helt usædvanlige klimaforhold for 90 - 150 millioner år siden (se kapitel 3, afsnit 3.1). Og at der kun skulle to personers - Otto's og Diesel's - praktiske snilde til hurtigt at konstruere de billige og temmelig simple motorer, der med olien kom til at forandre verden. Ingen forudgående langvarige forsknings- og udviklingsprojekter. Så let går det ikke med at finde andre slags bilmotorer, der ikke bruger olie.

Nu forskes der på livet løs overalt i verden - og ikke mindst i Kina - for at udvikle brændselsceller drevet af brint, træsprit eller naturgas, der kan produceres til en overkommelig pris. Men efter mange års forskning lader praktisk brugbare resultater stadig vente på sig. Også udvikling af batterier til el-biler beskæftiger en hærskare af forskere. Så det er åbenbart ikke så let at opfinde et alternativ til den simple stem-

pelmotor. Det siger noget om, hvor let og billigt vi mennesker er kommet afsted med at tilegne os de milliarder af hestekræfter, hvormed vi har forandret verden.

6.2 DE ELEKTRISKE TRANSPORTMIDLER

Elektriske tog, sporvogne og trolleybusser er langt de mest energi-effektive og miljøvenlige transportmidler.

I Europa var privatbilen indtil 1950'erne forbeholdt de velhavende. Almindelige mennesker havde cyklen og de offentlige transportmidler. På jernbanerne blev de kulfyrede damplokomotiver på hovedbanerne først i 1950'erne udskiftet med diesellokomotiverne. Men i byerne bredte de elektriske kollektive transportmidler sig. I 1900 blev verdens første elektrisk drevne metro åbnet i Paris. Elektrificeringen af verdens ældste metro, London Underground fra 1863, begyndte i 1902. De elektriske sporvognslinier blev udbredt i alle de større byer. I Danmark i København, Aarhus og Odense, suppleret med elektriske trolleybusser og dieseldrevne busser. Også el-bilen blev opfundet. Omkring 1900 byggede den danske ingeniør Rasmus Illum batteridrevne el-varevogne til sin bror A.C. Illums nye varehus på strøget i København. Men el-bilen kunne ikke klare sig i konkurrencen med den billige benzin. Så den udvikling gik hurtigt i stå.

De elektriske sporvogne kører endnu i mange af Europas storbyer. Blandt andre i Lissabon, Prag, Dublin, Warszawa, Stockholm og i flere af de tyske byer. I nogle byer er sporvejsnettet blevet udbygget i de senere år. Men i Danmark blev skinnerne revet op i 1960'erne og sporvognene udskiftet med dieselbusser. Den elektrisk drevne transport omfatter nu kun S-togene, mini-metroen, banestrækningerne fra Helsingør over København til Malmø og fra København til Padborg.

Elektriske tog, sporvogne og trolleybusser er langt de mest energi-effektive og miljøvenlige transportmidler. Hvis det skal lykkes at nedtrappe olieforbruget og CO₂-udslippet uden at sætte velfærden over styr, bliver det nødvendigt at tage disse transportmidler i brug i stort omfang.

6.3 BILSAMFUNDET

Der er nu omkring 700 millioner biler i verden. Om få år vil der være en milliard, hvis den igangværende udvikling fortsætter. Men den gør den nok ikke.

Bilen befordrer dagliglivet i de udstrakte parcelhuskvarterer rundt om bykerne, i de tilhørende indkøbscentre og sportshaller og i de store virksomheder i nærheden af motorveje og større udfaldsveje. Intet hus uden carport, intet indkøbscenter og ingen institution eller virksomhed uden en stor parkeringsplads. Der kan anlægges cykelstier, så børn kan cykle i skole, men de færreste kan cykle til deres arbejdsplads, især ikke hvis der er småbørn, der skal afleveres og hentes i en vuggestue eller børnehave, og varer, der skal bringes hjem fra indkøbscentret. Det er et bilsamfund. Det virker ikke uden bilen. I hvert fald ikke med den hast, der skal til for at betale bilen og alt det andet.

Også kommunegrænserne er blevet bestemt af bilen. De gamle sognekommuner passede til den afstand, der på rimelig tid kunne tilbagelægges med hestevogn og af en hjemmesygeplejerske på cykel. Med kommunalreformen i 1970 blev kommunestørrelserne tilpasset bilen. Kommunesammenlægningen i 2006 afspejler de afstande, mange mennesker i vore dage dagligt tilbagelægger bag rattet til og fra arbejde og indkøb.

Flyvemaskinen er også blevet en del af vores samfunds kultur og virkemåde. Og når man ser ned fra en flyvemaskine under indflyvning til en storby kan man se strømmene af biler og lastbiler, der bevæger sig ad veje, motorveje og gader som myrer omkring en myretue og ind imellem standser for at suge næring fra tankstationernes benzin- og dieseltanke. Der er fortsat vækst i trafikken. Køerne i morgentrafikken på indfaldvejene bliver lidt længere år for år. Alverdens lande bliver år for år mere og mere afhængige af den olieredne motoriserede transport og samfærdsel. Ikke kun i de største udviklingslande, Kina og Indien, bygges tusinder af kilometer nye motorveje.

Der er nu omkring 700 millioner biler i verden. Om få år vil

der være en milliard, hvis den igangværende udvikling fortsætter. Men den gør den nok ikke. For der er grænser for, hvor længe væksten i olieforbruget, der nu er over 2% om året, kan fortsætte. Når olieproduktionen topper og derpå begynder at falde, stiger prisen, indtil forbruget tilpasser sig produktionen. Det vil i første omgang sige, at de der har dårligst råd til at betale en høj pris, nedsætter deres bilkørsel, deres forbrug af ferierejser med fly og deres forbrug af varer og fødevarer fra andre lande og verdensdele, indtil olieforbruget balancerer med den lavere produktion. Hvad det kommer til at betyde for vores økonomi og verdensøkonomien i det hele taget, og hvilke krige, kampen om ressourcerne vil sætte i gang, er ikke til at forudsige. Men det vil ikke komme til at gå stille af, hvis vi ikke er klædt på til omstillingen.

I denne tid, hvor der tales meget om værdier, kan dette give grund til at tale om, hvad vi værdsætter mest.

6.4 FART, KILOMETERTAL OG ØKONOMI

+ 20 km/t = + 20% større brændstofforbrug.

Der er muligheder for at nedsætte brændstofforbruget til bilkørsel fra dag til dag. Man kan sætte hastigheden ned. På motorveje kan man spare 20% af forbruget i personbiler ved at sætte hastigheden ned med 20 km/t. Men det meste benzin og diesel brændes af i byområder og på landeveje, hvor der med de nuværende biler ikke er noget at vinde ved at sætte hastigheden ned under de nuværende fartgrænser. I de nyere dyre biler kan noget spares ved at slå airconditioneringen fra. Men de største besparelser opnås ved at nedsætte antallet af kørte kilometer. Flere i samme bil. Færre unødige ture. Mere hjemmearbejde.

Spørgsmålet er, hvordan de forskellige familieøkonomier og virksomhedsøkonomier vil blive påvirkede, når brændstofpriserne vokser, indtil den globale efterspørgsel falder til det, en stagnerende eller faldende produktion kan klare.

6.5 DET OLIE-INDUSTRIELLE KOMPLEKS

Olieindustrien og bilindustrien er gået hånd i hånd. Den ene har trukket den anden med sig, så de tilsammen har sørget for, at forbruget af denne verdens dyrebare oliereserver er sket så hurtigt som muligt. Ikke fordi de har haft ondt i sinde. Det er bare sådan markedsøkonomien virker.

Det verdensomfattende kompleks, der består af olieindustrien på den ene side og bil- og flyindustrien på den anden, kan vi kalde det olie-industrielle kompleks. Disse industrier er verdens største. De mødes på tankstationerne og ved flyvepladsernes olietanke. De er ikke opstået for at sikre en bæredygtig udvikling, men for at tjene penge. De afhænger af hinanden. På den ene side skal olieselskaberne hele tiden kunne afsætte den olie, de har investeret milliarder i at producere, til en pris, der giver overskud. På den anden side skal der være olie nok til de millioner af biler og fly, der hvert år kører af fabrikkernes samleband.

På den ene side investerer et olieselskab i et nyt oliefelt i forventning om, at investeringen kan tjenes ind igen så hurtigt, at der opnås et tilfredsstillende afkast. Man kan ikke lade et nyt felt ligge brak. Derfor er selskabernes beslutninger om investeringer i nye felter bestemt af, hvor meget de kan forvente at få for olien. Og det er et spørgsmål om den daglige efterspørgsel i forhold til den daglige produktion. Prisen har ikke noget med produktionsomkostningerne at gøre. Hvis udbuddet bare er lidt større end efterspørgslen falder prisen hurtigt. Omvendt farer den opad, når udbuddet er lidt for lille. I de tyve år fra begyndelsen af 1980'erne til 2000 er prisen svinget omkring 20 dollars per tønde bortset fra et enkelt år, hvor den faldt til 10 dollars per tønde. Prisen kunne holdes nogenlunde konstant, fordi de store olieproducenter i OPEC havde så stor produktionskapacitet i overskud, at de kunne regulere udbuddet på verdensmarkedet.

På den anden side investerer en bilfabrik i udvikling og opreklamering af en ny model i tillid til, at der vil være billig olie nok til alle de nye biler. De sælger motorkraft og komfort. Så

meget som muligt, så billigt som muligt, for der er skarp konkurrence på markedet. En ny lettere bil med mindre motorkraft sælger ikke på et marked, hvor olien er billig. Og det har den været i de sidste 50 år, bortset fra de 8 år under oliekriserne fra 1973 - 1981. I flyindustrien er brændstoføkonomien en væsentlig faktor både af tekniske og økonomiske grunde. Men hastigheden er mere vigtig end brændstofforbruget.

På den måde er olieindustrien gået hånd i hånd med bilindustrien og flyindustrien. Den ene har trukket den anden med sig, så de tilsammen har sørget for, at forbruget af denne verdens dyrebare oliereserver er sket så hurtigt som muligt. Ikke fordi de har haft ondt i sinde. Det er bare sådan markedsøkonomien virker.

Hvis oliereserverne tilfældigvis havde været mindre eller mindre lettilgængelige, så den årlige produktion, der kunne opnås, havde været mindre, ville både olieindustrien og fly- og bilindustrien have indrettet sig på de vilkår. Så ville flyvemaskinerne have fløjet langsommere og bilfabrikkerne ville have konkurreret om at komme langt på literen. Og om at udvikle køretøjer, der slet ikke bruger olie.

6.6 OP AD BAKKE

Der er ingen anden energikilde i sigte, der tilnærmelsesvist er så let at udvinde, transportere, lagre og bruge som olie.

Bilen og olien er som pen og blæk. Men der er kun ét blækhus. Papiret er vores land. Bilen har overalt trukket sine spor. Med en bred pen og mange klatter. I løbet af de sidste 50 år er alt forandret. Der er ikke blevet sparet på blækket. Nu skraber pennen mod blækhusets bund, når den dyppes. Blækhuset er ved at være halvt tomt. Der er mindre på pennen ved hvert dyp.

Der er meget olie tilbage, men efterhånden som trykket i de store gamle oliefelter falder og kun få og mindre nye felter kommer til (se figur 1.4), bliver det sværere og sværere og

dyrere og dyrere at dække den hurtige vækst i forbruget. Hvad skal vi stille op, når olieproduktionen ikke længere kan dække efterspørgslen? Vil andre motorer kunne erstatte benzin- og dieselmotorerne, ligesom kuglepennen erstattede pen og blæk? Vil andre brændstoffer kunne erstatte olien?

“Stenalderen ophørte ikke på grund af mangel på sten. Oliealderen vil ikke ophøre på grund af mangel på olie”. Denne ofte citerede sætning skyldes vistnok den berømte Sheik Yamani, som styrede OPEC under oliekriserne 1973 - 81. Den er udtryk for en tro på, at olieretiden er et normalt led i de menneskelige samfunds fortsatte teknologiske udvikling.

Det tog århundreder, før bronzen havde afløst flintestenen i alle hjørner af Europa og Asien. Det skete selvfølgelig, fordi det er meget lettere at støbe bronzeredskaber og -våben end at hugge dem ud af flintesten. Der var ingen tidsnød, for der var flintesten nok. Sådan er det ikke med olien. Der er ingen anden energikilde i sigte, der tilnærmelsesvist er så let at udvinde, transportere, lagre og bruge som olie. Og der er ingen form for motor, der er så let og billig at fremstille som benzin- og dieselmotoren. Dertil kommer, at vi er i tidsnød, for der kan snart ikke produceres olie hurtigt nok til at dække det enorme forbrug, vi har indrettet os på.

Når vi betragter teknologiudviklingen op gennem historien, ser vi, at tekniske fremskridt stadig har gjort livet lettere - for nogle i hvert fald. Først hjulet. Så fra håndkraft til hestekraft. Fra årer til sejl. Fra hestekraft til kulfyrede dampmaskiner. Og til sidst fra dampmaskiner til nutidens benzin- og dieselmotorer. Der har været medvind hele vejen, og på den sidste strækning - olieretiden - er det gået så nemt som på friløb ned ad bakke. Men det fortsætter ikke på den måde. Hvis der ikke uventet dukker noget helt nyt op, bliver det herfra op ad bakke i modvind. Det kan være meget sundt og bringe os op til nye udsigter i et smukkere landskab. Men hvis vi prøver at slæbe de 5 mio. ton stål, der bare her i landet kører rundt på vejene, op ad den næste bakke, taber vi pusten.





ENERGITEKNIK

DEL 3

7. OM AT SPILDE MINDRE HEN AD VEJEN

Hvis der ikke havde været overflod, så brændselspriserne i de sidste 50 år havde været meget højere, var andre forsyningsteknologier og transportmidler blevet udviklet, og vores økonomi og dagligdag var blevet indrettet på en anden måde. Så havde vores samfund i dag set anderledes ud. Vi kunne være blevet velstående på en anden, mere smart måde - uden at have spildt så mange ressourcer hen ad vejen.

Oven i købet at brænde dyrebar olie og naturgas af i primitive bål i olie- og naturgasfyr for at holde en temperatur på 20 grader i stuen, ville ingen finde på, hvis der ikke var overflod.

Det gælder om at få så meget nytte og fornøjelse ud af de kræfter, vi har, og dem vi kan finde omkring os. Man kommer hurtigere frem, når man ror i en slank, velformet båd, end når man ror i en firkantet kasse. Det er mere effektivt. Der går ikke så mange kræfter tabt til bare at skubbe vandet væk og hvirvle det rundt. Mennesker har i tidens løb gjort nogle opfindelser, der virkelig har sparet kræfter og tid: Hjulet, først og fremmest. Og sejlskibet, vindmøllen og vandmøllen. Så cyklen, hvorpå vi uden større anstrengelser fire-fem-dobler vores hastighed i forhold til gang. Og symaskinen, der gør det hundrede gange hurtigere at sy en søm. Også den hestetrukne selvbinder, som både mejede og bandt kornet i neg og derved sparede mange timers drøjt arbejde med le og rive, var en smart, ressourcebesparende konstruktion.

Siden har det skortet på den slags smarte opfindelser. For på det seneste har mennesker i denne verdens rige enklaver med kul og olie og dampmaskiner og motorer fået en sådan overflod af billig drivkraft, at de kan frådse med den. Man må jo nok sige, at der er overflod i forhold til, hvad mennesker nogensinde tidligere har haft, når man hver dag kan transportere sig ene mand med 100 kilometer i timen i en mindre dagligstue på et par tons. Og så endda i biler, der er lavet til kun at klare 15 kilometer eller mindre på en liter benzin, selvom man kan lave dem, så de kan klare det dobbelte eller tre-dobbelte. Oven i købet at

brænde dyrebar olie og naturgas af i primitive bål i olie- og naturgasfyr for at holde en temperatur på 20 grader i stuen, ville ingen finde på, hvis der ikke var overflod. For ikke at tale om elvarme, der svarer til at varme vand op ved at røre rundt i det med et elektrisk piskeris (elforbruget er nøjagtigt det samme).

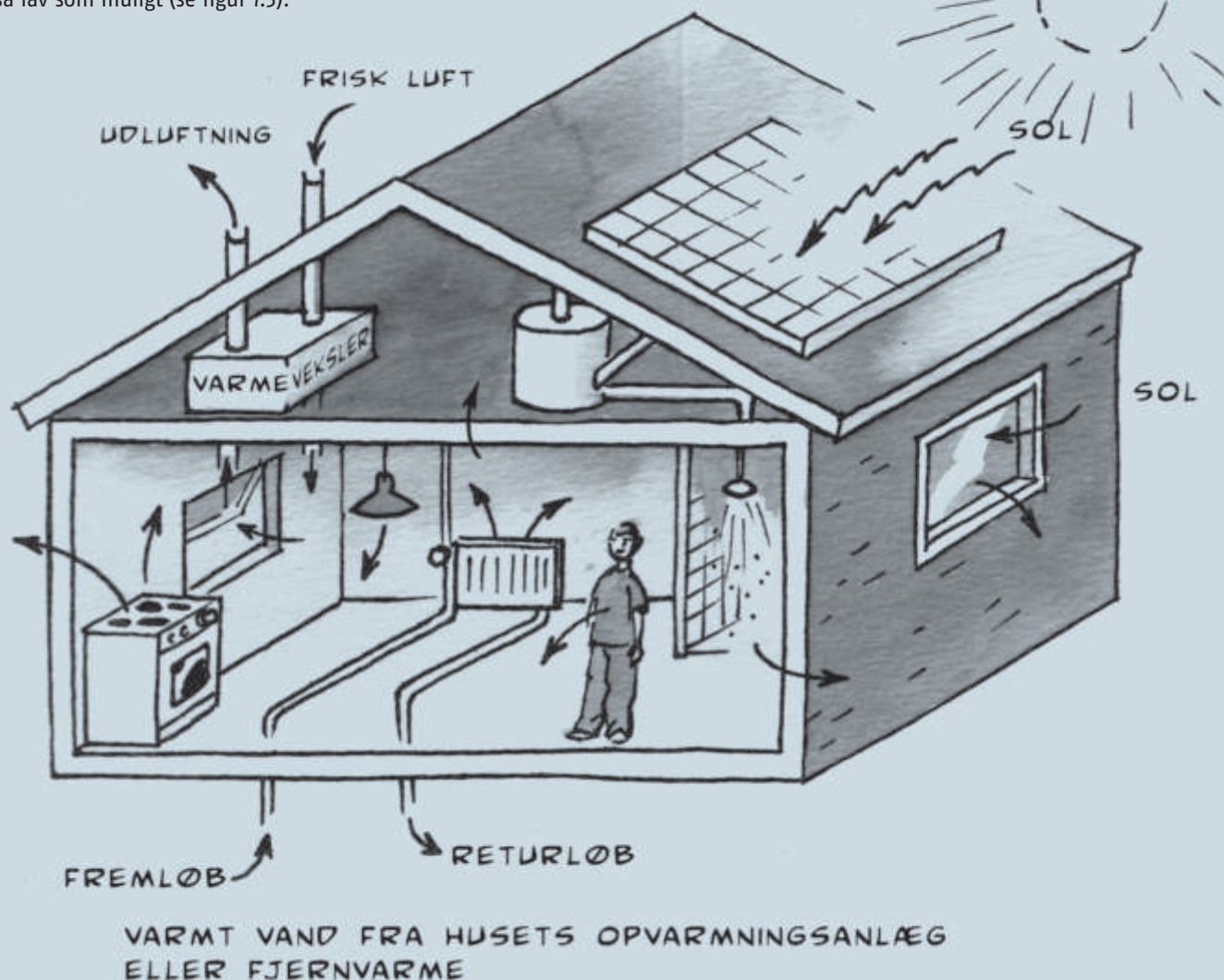
Ressourceforbrug og ressourcespild afhænger af, hvor let og billigt ressourcerne kan fremskaffes. Vi indretter vores økonomi og dagligdag derefter og vælger de el- og varme-forsyningsteknologier og transportmidler, det kan betale sig at bruge, med de brændselspriser, vi nu har. Hvis der ikke havde været overflod af fossile brændsler, havde brændselspriserne i det sidste 50 år været meget højere. Og så var andre forsyningsteknologier og transportmidler blevet udviklet, og vores økonomi og dagligdag var blevet indrettet på en anden måde. Så havde vores samfund i dag set anderledes ud. Vi kunne være blevet velstående på en anden, mere smart måde - uden at have spildt så mange ressourcer hen ad vejen.

Energibesparelser er et kedeligt ord. Det er rigtigt, at fråds med ressourcerne giver helt unødige problemer uden at give fornøjelser, der står i noget rimeligt forhold til de problemer, vi skaber os ved at frådse. Men at lade være med at ødsle pengene (ressourcerne) væk, plejer man ikke at kalde sparsommelighed.

Vi kan på to måder gøre livet lettere i de kommende år og i den fremtid, de, der nu er børn og unge, skal leve i: 1) Vi kan i vores daglige adfærd holde igen med helt unødigt spild. 2) Vi kan udvikle bedre, mere energieffektive teknologier, der kan give os den samme komfort, de samme lettelser i dagligdagen og de samme fornøjelser med et betydeligt mindre ressourceforbrug. At kalde en sådan teknologiuudvikling "energibesparelser" kaster et kedsommeligt skær over den krævende og spændende teknologiske udfordring, det er. En udfordring der tilmed kan give beskæfti-

FIGUR 7.1 BYGNINGERS VARMEBALANCE

Hvis opvarmningen sker på en effektiv måde, er det vigtigt, at radiatortemperaturen er så lav som muligt (se figur 7.3).



Pilene viser "varmestrømmene" i et hus. Rummene afgiver varme til luften uden for gennem ydervægge, loft og vinduer og ved udluftning. El-apparater og personer afgiver varme til rummene. Solstrålingen gennem vinduer luner også indendørs. Nogle husejere har installeret en varmeveksler på loftet (et varmegenvindingsanlæg), hvori luft, der ved udluftning blæses gennem anlægget, opvarmer den friske luft, der strømmer ind i huset. Når det er koldt udenfor, er varme fra radiatorerne nødvendig for at holde en passende indetemperatur på omkring 20 grader.

Hvis huset varmes op med et oliefyr eller et naturgasfyr, gør det ikke noget, at radiatortemperaturen er høj, f.eks. 60 –70 grader. Det arbejde, den afbrændte olie eller gas kunne have præsteret, går tabt i fyret, ligegyldigt om vandtemperaturen i kedler er 40 eller 80 grader.

Hvis opvarmningen derimod sker ved en mere effektiv udnyttelse af det arbejde, olien eller gassen kan præstere, sådan som vist i figur 7.3, spiller radiatortemperaturen derimod en stor rolle. Det samme gælder, hvis opvarmningen sker med fjernvarme fra et kraftvarmeværk, især hvis kraftvarmeværket er udstyret med en varmepumpe, se figur 7.2 og 7.3.

Hvis husets isolering forbedres, kan radiatortemperaturen sænkes, fordi radiatorerne ikke skal afgive så meget varme. Man kan også installere større radiatorer, som kan afgive den samme varme ved en lavere temperatur. Gulvvarme er en god løsning, fordi temperaturen i gulvvarmerørerne ikke skal være meget højere end 25 grader.

gelse med frugtbart arbejde til mange, hvis vi for alvor tager den op.

I dette kapitel skal vi beskæftige os med den tekniske side af sagen. Her gælder det om at få øje for de steder og processer, hvor der er mulighed for at formindske tab af de ressourcer i form af brændsler og andre former for energieia (se afsnit 4.2), der driver værket.

7.1 BYGNINGER OG EL-APPARATER

Man må håbe, at familier i el-opvarmede huse ikke falder for el-sparkampagnernes opfordringer til at anskaffe lav-energi el-apparater. Et gammelt el-slugende køleskab er jo så god en el-radiator som nogen.

På vore breddegrader består en stor del af opgaven i at sørge for, at der er et sundt og behageligt indeklima i vores bygninger. Det vil sige at holde en nogenlunde konstant indetemperatur - ca. 20 grader - i de rum, vi opholder os i, selvom udetemperaturen er betydeligt lavere. Kort sagt, at opretholde en varierende temperaturforskel mellem inde og ude. Dertil kommer opvarmning af vand til de varme haner. En anden stor del af opgaven består i at sørge for god indendørs belysning til arbejde og andre aktiviteter og at sørge for kraft til vores mange forskellige el-apparater: køleskabe, fryser, vaskemaskiner og tørretumbler, el-komfurer, tv-apparater, computere, osv.⁴⁸

De varmebidrag, der indgår i varmebalanceregnskabet for et hus med en konstant indetemperatur på 20 grader, er vist i figur 7.1. For at regnskabet går op ved en bestemt udetemperatur (f.eks. 0 grader), skal varmen fra radiatorerne være lig varmeafgivelsen til omgivelserne gennem ydervægge, vinduer, loft og gulv - minus varmen fra el-apparater (lig el-forbruget), fra solstråling gennem vinduer og den varme, husets beboere afgiver.

I de i kapitel 2 omtalte energibalanceopgørelser og energistatistikker indgår det såkaldte netto-varmeforbrug, som er den varme, der afgives fra husenes radiatorer. Energifor-

bruget i husholdninger, butikker og kontorer (det såkaldte slutforbrug) opgøres som netto-varmeforbruget plus el-forbruget. Lad os nu forestille os, at en familie foretager alle de el-besparelser, den kan komme afsted med: udskifter alle deres el-pærer med lavenergipærer og deres køleskab, fryser og vaskemaskine med markedets bedste lavenergi-modeller; sørger for at cirkulationspumpen i centralvarmesystemet ikke bruger mere strøm end nødvendigt; økonomiserer mere med brug af vaskemaskinen, og bliver lidt flittigere til at bruge tøjsnoren i stedet for tørretumbleren.

El-apparaterne afgiver varme (de virker ligesom el-radiatorer), og formindsker derfor netto-varmeforbruget. Så en dag, hvor der er brug for varme fra radiatorerne, bliver energiregnskabet (for eksempel):⁴⁹

	Før el-besparelser	Efter
Netto-varmeforbrug	60 kWh	64 kWh
El-forbrug	10 kWh	6 kWh
Slut-energiforbrug i alt	70 kWh	70 kWh

Det kalorimetrisk opgjorte energiforbrug (se figur 2.1) påvirkes således ikke af el-besparelserne. Hvis huset er el-opvarmet, dvs. at netto-varmebidraget kommer fra el-radiatorer er det klart, at der intet er vundet ved el-besparelserne. De flytter bare en del af el-forbruget fra el-apparater til el-radiatorer. Så man må håbe, at familier i el-opvarmede huse ikke falder for el-sparkampagnernes opfordringer til at anskaffe lav-energi el-apparater. Et gammelt el-slugende køleskab er jo så god en el-radiator som nogen. Eller rettere sagt: El-sparkampagnerne skal først og fremmest tage sigte mod udskiftning af el-radiatorer med en langt mere energioekonomisk opvarmningsteknik (se afsnit 7.2 nedenfor).

Hvis huset er opvarmet med et naturgasfyr bliver el-besparelsen modregnet i et større naturgasforbrug. Det giver en ændring i husets bidrag til landets samlede brændselsforbrugs- og CO₂-regnskab. I afrundede tal får vi:

48) I stedet for at tale om apparaterne taler man i dansk nysprog om de "energitjenester" (på engelsk: energy services), disse apparater yder. Ud fra den betragtning, at det i sidste ende ikke er apparaterne, det drejer sig om, men de "tjenester", apparaterne yder. Det er selvfølgelig rigtigt. Men at bage et brød kræver en ovn. Og det gælder om at lave ovnen, så der bruges så lidt el, gas eller andet brændsel som muligt til bagningen - indenfor en rimelig økonomisk ramme. Det får man ikke sagt ved at kalde bagning af et brød en "energitjeneste". På den

anden side kræver det ikke energi at få tørret sit våde vasketøj. Det kræver kun en tøjsnor. Så det er urimeligt at kalde den "tjeneste", en elektrisk tørretumbler yder, en "energitjeneste". Det, det drejer sig om, er at formindske el- eller gasforbruget i de forskellige apparater, der nødvendigvis skal til for at opnå de forskellige "tjenester", og så vidt muligt lade være med at bruge apparater, hvor de ikke er nødvendige for at opnå "tjenesterne". Når jeg skal hen til nærkøbmanden, kan jeg tage min cykel. At kalde tilbagelæg-

	Før el-besparelser		Efter	
Naturgasforbrug	5.4 kubikmeter	CO ₂ 12 kg	6 kubikmeter	CO ₂ 13 kg
Kulforbrug i kraftværker ⁵⁰	3.5 kg	8 kg	2.1 kg	5 kg
CO ₂ -udslip i alt	20 kg		18 kg	

Fordi el-produktion i kulfyrede kraftværker er CO₂-mæssigt "dyrere" per kWh end varmeproduktion i naturgasfyr, giver el-besparelserne i dette tilfælde en formindskelse af landets samlede CO₂-udslip. Hvis huset er opvarmet med et oliefyr, bliver CO₂-formindskelsen mindre, fordi afbrænding af olie giver et større CO₂-udslip end afbrænding af en tilsvarende mængde naturgas.

Her har vi et simpelt eksempel, der tydeligt viser, at det kalorimetriske energibalanceregnskabs slut-energiforbrug ikke siger noget om det, det hele drejer sig om, nemlig ressourceforbruget i form af forskellige brændsler. Og dette ressourceforbrug er i høj grad bestemt af den teknik, der anvendes til at frembringe varmen fra radiatorerne eller gulvvarmespiralerne. Det ser vi nærmere på i de følgende afsnit.

7.2 VARMEPUMPER

En varmemaskine, f.eks. en dampmaskine, er en maskine, der præsterer et arbejde i kraft af en temperaturforskel (se f.eks. figur 3.5). Omvendt er en varmepumpe en maskine, der kan opbygge og opretholde en temperaturforskel i kraft af det arbejde, den får tilført. Princippet er vist i figur 7.2.⁵¹

Den temperaturforskel, der er tale om, kan være forskellen mellem stuetemperaturen og temperaturen i et køleskab eller en fryser, der står i stuen. Eller det kan være forskellen mellem stuetemperaturen og luften udenfor.

Når det gælder om at holde en temperatur, der er lavere end temperaturen i omgivelserne (f.eks. 5 grader i køleska-

be eller -18 grader i fryser, der står i rum, hvor temperaturen er 20 grader), kalder vi opgaven køling. Når det derimod gælder om at holde en temperatur, der er højere end i omgivelserne (f.eks. 20 grader indendørs, når det er 0 grader udenfor), kalder vi opgaven opvarmning. For varmepumpen kommer det ud på ét.

Den tekniske forskel på køling og opvarmning er, at køleopgaven kun kan løses med en eller anden form for varmepumpe, medens opvarmningsopgaven også kan løses med simple teknik, f.eks. med et bål i et olie- eller naturgasfyr.

I begyndelsen af 1800-tallet, da princippet i varmemaskiner og varmepumper blev opdaget (se afsnit 3.4), opfattede man varme som et stof, man kaldte kalorie. Man kunne så forestille sig, at en varmemaskine drives af en kaloriestrøm fra et højt temperaturniveau til et lavt niveau, ligesom et vandkraftværk drives af en vandstrøm fra en højtliggende sø til en flod eller fjord længere nede. Omvendt kan man forestille sig varmepumpen som en pumpe, der pumper kalorier op fra et lavere til et højere temperaturniveau, ligesom en vandpumpe, der pumper vand op i et vandtårn. Senere blev man klar over, at kalorie-teorien slet ikke passede. Men kalorie-forklaringen kunne bruges et langt stykke henad vejen, og den giver et meget godt billede af det, der foregår.⁵²

Det arbejde (målt i MJ), manden i figur 7.2 skal præstere - i virkeligheden det arbejde, en el-motor skal præstere - for at "pumpe" 1 MJ varme fra udeluften ind i stuen er kun omkring 1/3 - 1/4 MJ afhængigt af, hvor effektiv varme-

gelsen af distancen en "energitjeneste" er lidt forskruet. Men når nærkøbmanden bliver udkonkurreret af et nyt supermarked 10 km væk, tager jeg bilen. Den giver mig en "energitjeneste", der bliver til noget. På den måde kan man sige, at mere og mere bliver til "energitjenester", men det er ikke det, der ligger i ordet. Så når man tænker over det, viser det sig, at ordet energitjenester ikke bidrager til at gøre det mere klart, hvad det drejer sig om.

49) En dag i sommertiden, hvor radiatorerne er lukkede, er netto-varmeforbruget nul, og varmen fra el-apparater gælder det bare om at komme af med gennem åbne vinduer. Men radiatorerne er åbne de fleste af årets timer, og i sommertiden, hvor de er lukkede, er el-forbruget ikke så stort som om vinteren. Så det her viste regnskab er ikke helt forkert på årsbasis.

FIGUR 7.2 VARMEPUMPEN

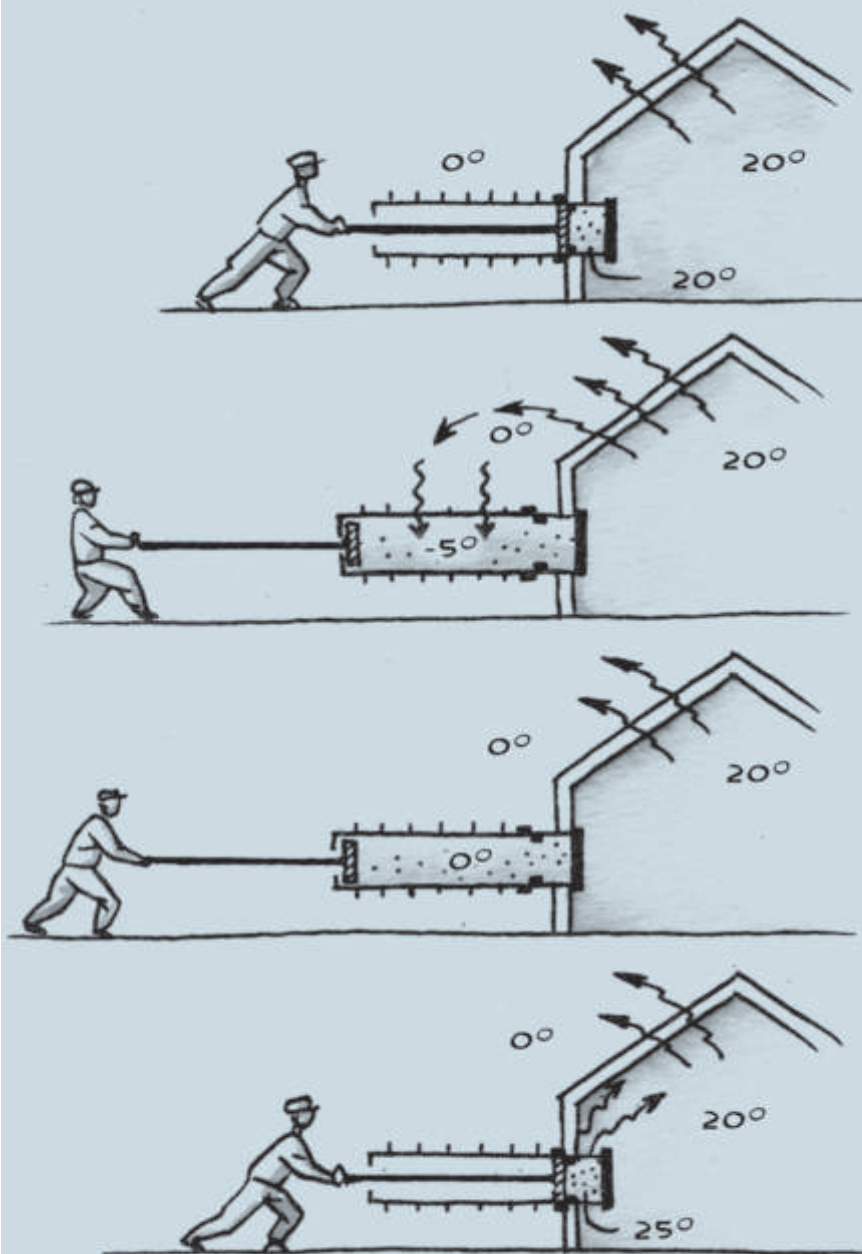
I ethvert køleskab sidder en eldrevet varmepumpe. Ved – så at sige – at pumpe varme fra køleskabet til det rum, den står i, sørger den for at holde en temperaturforskel på ca. 15 grader mellem køleskabet og rummet. En sådan varmepumpe kan naturligvis også bruges til at holde en temperaturforskel mellem rummene i et hus og luften udenfor.

Når man pumper sin cykel, kan man mærke, at pumpen bliver varm. Luft opvarmes ved sammenpresning. Omvendt, hvis man slipper luften ud af ventilen, kan man mærke, at den er kølig. Luft bliver koldere, når den pludseligt udvider sig ud i et større rum. Det er i princippet på den måde, en varmepumpe virker.

1) Stemplet er i bund. Luften er presset sammen i den del af cylinderen, der er ført ind i huset. Der har den været et stykke tid, så dens temperatur er nu den samme som i huset, 20 grader.

2)-3) Manden trækker hurtigt stemplet ud. Luften udvider sig og afkøles til -5 grader. Luften i cylinderen optager varme fra luften. Efter et stykke tid er den blevet varmet op til udetemperaturen, 0 grader.

3)-4) Manden trykker hurtigt stemplet ind. Luften opvarmes ved sammenpresningen (komprimeringen) til 25 grader. Den afgiver nu varme til rummet. Efter et stykke tid er den kølet ned til rumtemperaturen, 20 grader. Kredsløbet er sluttet. Det gentages fra 1).



På den måde kan man med arbejde opretholde en temperaturforskel. Her mellem inde og ude. Det er vigtigt at være opmærksom på, at jo højere temperatur, der skal frembringes ved sammenpresningen af luften, jo større arbejde skal der præsteres. Her varmes luften kun op til 25 grader. Hvis den skulle varmes op til 50 grader, skulle der præsteres et meget større arbejde. Når opvarmning af et hus helt eller delvist sker ved hjælp af en varmepumpe, er det derfor vigtigt, at holde radiatortemperaturen så lav som muligt, se figur 7.3.

I de virkelige varmepumper bruges ikke luft, men væsker, der hurtigt fordamper ved optagelse af varme ved et lavt tryk og en lav temperatur, og efter kompressionen afgiver varme ved kondensation ved et højere tryk og en højere temperatur. Kompressoren drives af en elmotor.

pumpen er, og af ude- og indetemperaturen. Man siger, at varmepumpen har en "effektfaktor" på f.eks. 3, hvis der "pumpes" 3 MJ varme ind i stuen for hver MJ arbejde (MJ el), der forbruges.

Der er ikke noget mærkeligt i, at man får 3 eller 4 MJ varme for 1 MJ el. Varme er jo noget andet end det arbejde, der præsteres af den elektriske kraft. Som skitseret i figur 7.2 går energibalanceregnskabet nydeligt op. Hvis arbejdet er 1 MJ og varmen til stuen er 3 MJ, optager varmepumpen 2 MJ fra udeluften. Man kan sige, at varmepumpen genoptager eller recirkulerer noget af den varme, huset afgiver til udeluften.

Det er derimod mærkeligt, at varmepumper for eksempel i energiforskningsprogrammer er optrådt under overskriften "Vedvarende energi", og at den varme, varmepumper optager fra udeluften, i officielle energiopgørelser kaldes "omgivelsesvarme" og medregnes som "Vedvarende energi" på linie med vindkraft, halm m.m. (se figur 2.2). Det kan kun forklares ved, at den gamle kalori-teori stadig spøger omkring skrivebordene, selvom den afgik ved døden for 150 år siden.

Det, det drejer sig om, er at opretholde en temperaturforskel. Det kan man, som illustreret i figur 7.2, klare med en arbejdsindsats. Det interessante er, hvor meget arbejde, der skal præsteres, for det kræver nogle ressourcer. Så er den historie ikke længere.

7.3 NATURGAS OG VARME

Det husets beboere har brug for er en temperaturforskel: en højere temperatur inde end ude. Hvor meget naturgas, det kræver, er et spørgsmål om hvilken teknik, der anvendes.

I et almindeligt naturgasfyr i et parcelhus kan mere end 90% af gassens brændværdi udnyttes til opvarming af vandet i centralvarmekredsløbet og varmtvandsbeholderen - næsten 100% hvis skorstenen udstyres med en røggaskon-

densator, så der sendes mindre varm vanddamp ud i atmosfæren. Man siger, at nytteværdien af gasfyret er næsten 100%. Det betyder i almindelig sprogbrug, at så kan man ikke få mere varme ud af den forbrugte gas. Men det er helt forkert. Man kan konstruere et andet, mere effektivt opvarmningsanlæg, der løser opgaven med et meget mindre gasforbrug. Med et radiatorareal, der er så stort, at en radiatortemperatur på 40 grader er tilstrækkelig (eller med gulvvarme), kan man med en lille gasmotor, der trækker en varmepumpe, få den samme varme med mindre end det halve gasforbrug, når det ikke er meget koldt udenfor. Se figur 7.3.

Her er vi igen tilbage til de kalorimetriske energibalanceregnskaber. Det er rigtigt, at der med naturgasfyret sker en omsætning af 1 MJ i form af naturgas til knap 1 MJ i form af varmt vand. Men som vist i figur 7.3 betyder det ikke, at man ikke kan få mere end 1 MJ varmt vand ud af 1 MJ naturgas. For varmt vand er jo noget helt andet end naturgas. Med naturgas kan man få en motor til at arbejde. Det kan man ikke med varmt vand med samme energi. Så naturgassens arbejdsydelsesevne - energieia (se afsnit 4.2) - er stort set gået tab i naturgasfyret.

Som sagt i kapitel 2 er der ikke noget galt med energibalanceregnskaberne som sådan. De siger bare ikke i sig selv noget om, hvor effektivt systemet fungerer. Man kan se, at regnskabet balancerer, men ikke om man med en anden teknik kan få det til at balancere med mindre omkostninger. Det er præcist som en virksomheds pengebogholderi. Der er balance mellem indtægter og udgifter+overskud og mellem aktiver og passiver. Men det siger ikke noget om mulighederne for at udskifte produktionsapparatet med et mere effektivt, så virksomhedens regnskab kommer til at balancere med mindre udgifter og større overskud.

Det, beboerne i det naturgasopvarmede hus efterspørger (har brug for), er en temperaturforskel: en højere temperatur inde end ude. Den mængde naturgas, det kræver, er et spørgsmål om, hvilken teknik, der anvendes. Motor-varmepumpe-teknikken er en mere effektiv teknik end det sim-

50) Selvom en stor del af elproduktionen sker i kraftvarmeværker og vindmøller, er det el-produktionen i kraftværkerne, der her skal regnes med. For det er i almindelighed den, der ændres, når el-forbruget ændres. Hvis kraftvarmeværker og vindmøller kan dække hele elforbruget og mere til, bliver regnestykket anderledes.

51) Der findes også en anden type varmepumper, der omsætter en temperaturforskel på et højere niveau til en temperaturforskel på et lavere niveau. De kaldes absorptionsvarmepumper. De kan blandt andet bruges til at udnytte den hede skorstensrøg i kraftvarmeværker. Det er mere effektivt, dvs. giver et større bidrag til fjernvarmeproduktionen, end det man kan få med en varmeveksler.

FIGUR 7.3 INEFFEKTIVE OG EFFEKTIVE OPVARMNINGSTEKNIKKER

Her ser vi på to forskellige teknikker til ved brug af naturgas at holde en indetemperatur på 20 grader, når det er koldt udenfor (i dette eksempel lige på frysepunktet). Vi antager, at der i løbet af en vis tid skal afgives 100 MJ fra husets radiatorer.

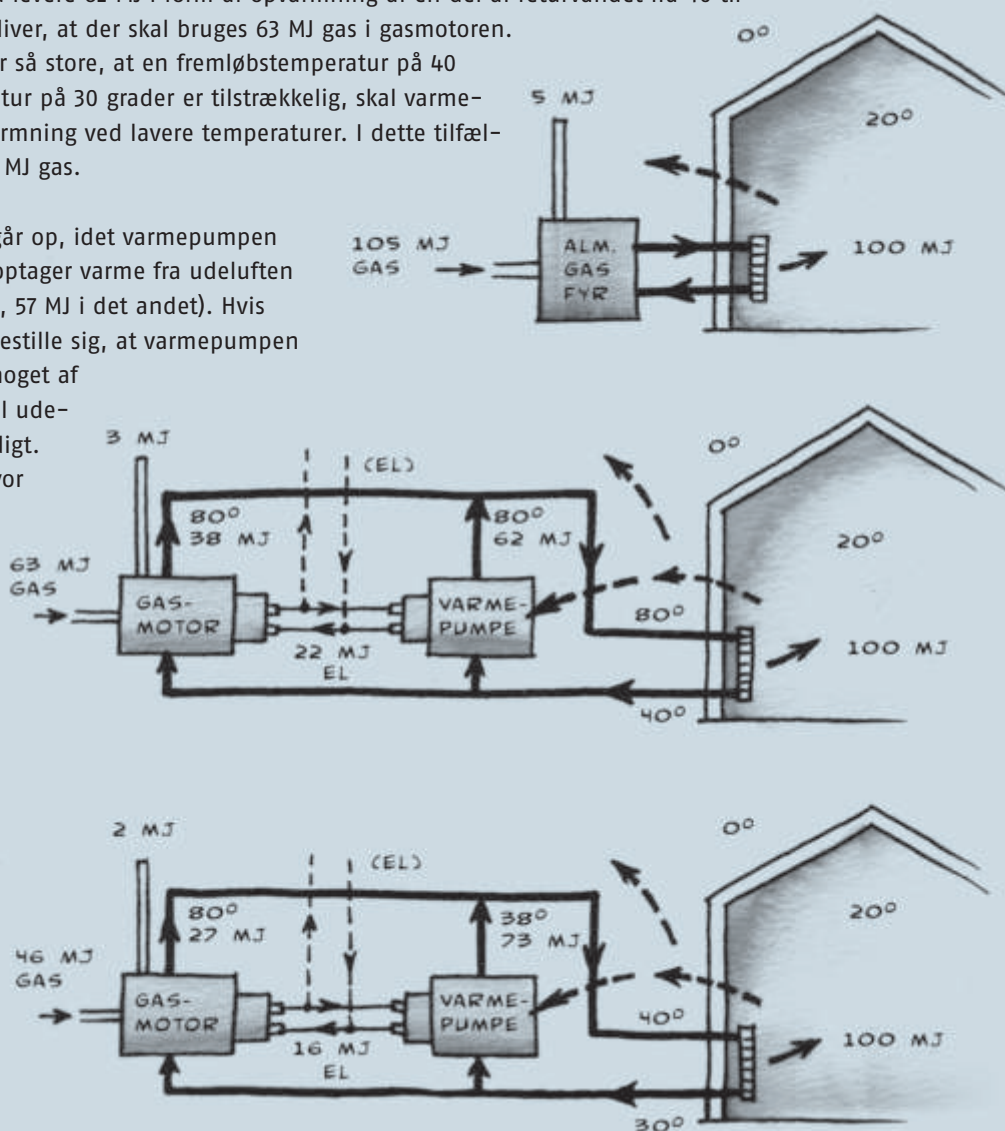
1) Vi kan brænde gassen af i et simpelt bål, sådan som det sker i et almindeligt naturgasfyr. Hvis den varme røggas, der ledes ud gennem skorstenen tegner sig for ca. 5% af gasforbruget, skal vi brænde 105 MJ gas af for at få 100 MJ fra radiatorerne.

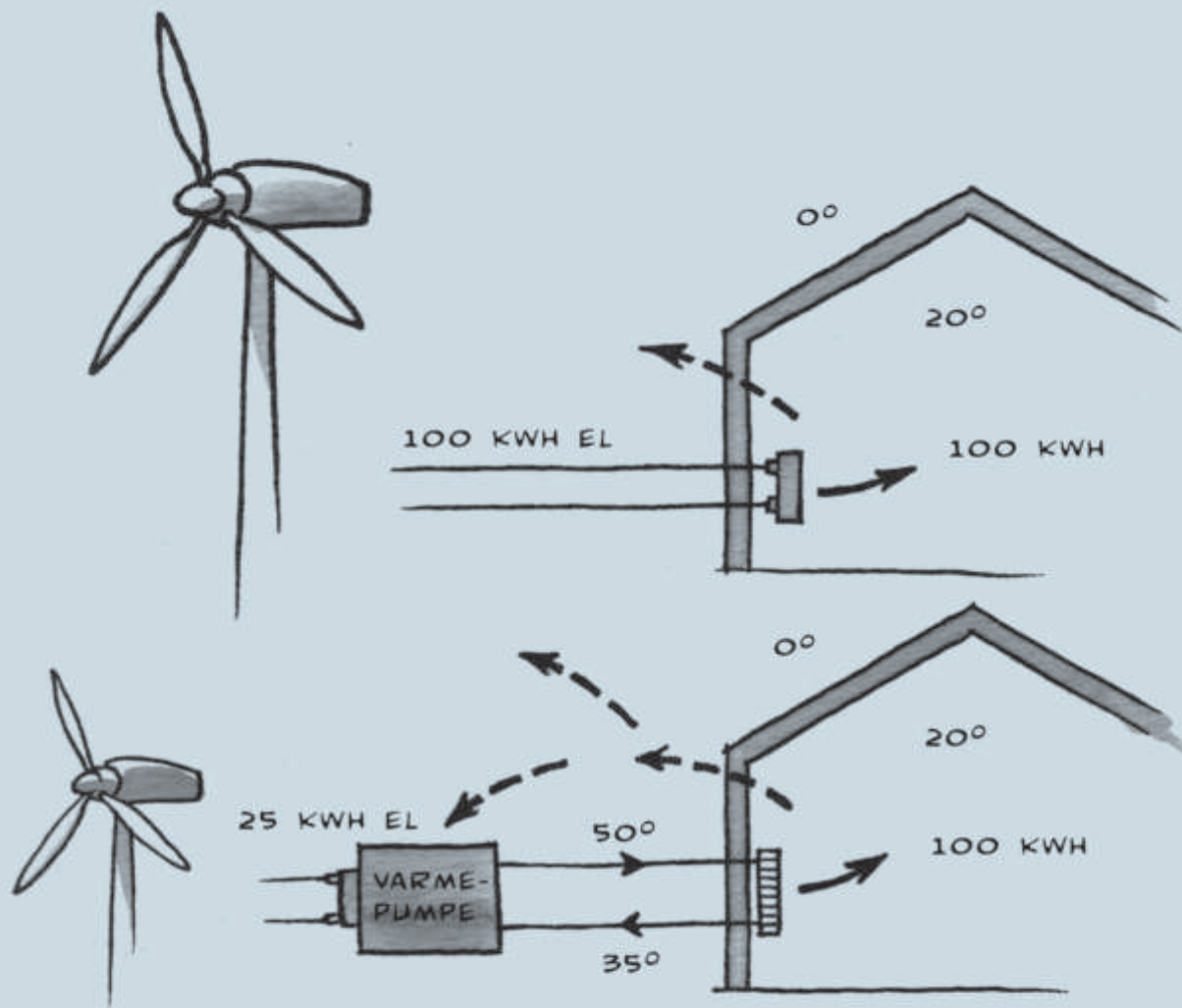
2) Vi kan installere en lille gasmotor med el-generator og en varmepumpe, der får strøm fra generatoren. En del af returvandet fra radiatorerne bruges som kølevand i gasmotoren, som opvarmer vandet til 80 grader. En anden del passerer igennem varmepumpen, der opvarmer det så meget, at blandingen af kølevandet fra motoren og det opvarmede vand fra varmepumpen får den rette fremløbstemperatur til radiatorerne. (I praksis vil vandkredsløbene være lidt anderledes og mere komplicerede end vist på figurene).

Hvis husets radiatorarealer er forholdsvis små i forhold til den varme, de skal afgive, skal radiatortemperaturen være forholdsvis høj. Det kan så være nødvendigt med en fremløbstemperatur på 80 grader, og vi kan antage, at returtemperaturen så bliver 40 grader. I dette tilfælde skal varmepumpen varme returvandet op til 80 grader. I kraft af 22 MJ el fra gasmotoren kan den så levere 62 MJ i form af opvarmning af en del af returvandet fra 40 til 80 grader. Slutresultatet bliver, at der skal bruges 63 MJ gas i gasmotoren.

3) Hvis radiatorarealerne er så store, at en fremløbstemperatur på 40 grader og en returtemperatur på 30 grader er tilstrækkelig, skal varmepumpen præstere en opvarmning ved lavere temperaturer. I dette tilfælde skal der kun bruges 46 MJ gas.

Energibalanceregnskabet går op, idet varmepumpen (som antydnet på figuren) optager varme fra udeluften (40 MJ i det første tilfælde, 57 MJ i det andet). Hvis man har lyst, kan man forestille sig, at varmepumpen genoptager (recirkulerer) noget af den varme huset afgiver til udeluften. Men det er ligegyldigt. Det handler jo kun om, hvor meget brændsel, der skal bruges, for at opretholde temperaturforskellen mellem inde og ude.





FIGUR 7.4 EL-ØKONOMI

Hvis vindmøller var billige, og der var ubegrænset plads til dem på steder, hvor de ikke generer nogen, ville der være råd til at varme huse op med el-radiatorer, der får strøm fra vindmøller.

Men vindmøller er ikke særligt billige, og de fleste vil helst være fri for dem i deres nabolag. Af økonomiske og andre grunde, gælder det derfor om at klare sig med så få vindmøller – eller rettere så lidt vindkraft – som muligt. Man skal ikke ødsle med den elektriske kraft, møllerne producerer.

Hvis man i stedet for el-radiatorer installerer almindelige centralvarmeanlæg og varmer centralvarmevandet op med elektrisk drevne varmepumper, kan man klare sig med meget mindre vindkraft.

Figuren tjener kun til at illustrere det almindelige princip, at det er billigere og bedre at formindske el-forbruget – også i el-apparater og maskiner – end at blive nødt til at bygge endnu flere vindmøller. Det er jo ikke sådan, at nogle huse kan få deres el fra vindmøller og andre fra kraftværker. Alle huse får el fra nettet og spændingen i nettet opretholdes af kraftværker og vindmøller i forening. Det er meningsløst at spørge om, hvor ens el kommer fra.

Hvis flere vandværker pumper vand op i det samme vandtårn, kan man jo heller ikke vide, hvor det vand, man tapper fra tårnet er kommet fra.

Men så længe der produceres el i kul- eller naturgasfyrede kraft- og kraftvarmeværker, kan man være sikker på, at man formindsker brændselsforbrug og CO₂-udslip ved at formindske sit el-forbrug, og omvendt forøger forbrug og udslip, hvis man forøger sit el-forbrug. Vindmøllerne producerer lige meget el, så det er kraftværksproduktionen, der ændres.

ple naturgasfyr. Denne teknik kan selvfølgelig også anvendes i fjernvarmeanlæg, som jo blot er store centralvarmeanlæg, der forsyner mange huse. Se figur 8.2.

7.4 VINDKRAFT OG VARME

I dette tilfælde er der ikke noget fysisk ressourceforbrug og heller ikke noget CO₂-udslip forbundet med at opretholde den ønskede temperaturforskel mellem inde og ude - udover de ressourcer, der medgår til at fremstille vindmøllen, opvarmningsanlægget og isoleringsmaterialerne i huset, og det CO₂-udslip, der sker ved fremstillingen af disse ting.

Når vinden blæser gennem et træ og derved bremses op - dvs. mister noget af sin bevægelsesenergi - falder det os ikke ind at tale om et ressourcetab. Hvis vinden i stedet bremses op af en vindmølles vinger, taler vi heller ikke om et ressourceforbrug. Det, der er tale om, er, at der er investeret i en vindmølle, der uden et fysisk ressourceforbrug frembringer en ressource i form af elektrisk kraft. Når vindmøllen en dag er slidt op, kan den udskiftes med en ny. Så i den forstand er der tale om en fornyelig energikilde - vedvarende energi, som man siger.

Lad os nu for diskussionens skyld forestille os, at vindmøllen er opført med det ene formål for øje at holde varmen i et hus, dvs. at sørge for, at der er en passende indetemperatur på ca. 20 grader, selvom det er koldt udenfor. En dag, hvor udetemperaturen er på frysepunktet, skal den altså sørge for at opretholde en temperaturforskel på ca. 20 grader mellem inde og ude. Varmeomsætningen i huset er vist i figur 7.1.

Antag at der under de omstændigheder - 0 grader ude, 20 grader inde - er en varmeafgivelse fra huset til dets omverden på 120 kWh per døgn (det er 432 MJ/døgn).⁵³ Varmeafgivelsens størrelse er i høj grad et spørgsmål om økonomi. Den afhænger af, hvor meget der er investeret i isolering, og om der eventuelt er installeret et såkaldt varmegenvindingsanlæg⁵⁴.

Hvis solen skinner, bidrager solstrålingen gennem vinduerne til opvarmningen. Det samme gør varmeafgivelsen fra elektriske apparater. Så hvis familien har købt lavenergi el-apparater og lamper, der ikke afgiver så meget varme, fås et mindre varmebidrag derfra.

Lad os antage at bidragene fra sol og el-apparater plus et mindre bidrag fra kropsvarme udgør 20 kWh per døgn. Husets opvarmningsanlæg, der skal drives af vindmøllen, skal så levere 100 kWh for at dække resten af den samlede varmeafgivelse på 120 kWh.

Det billigste opvarmningsanlæg vil være el-radiatorer. Hvis den løsning vælges, skal vindmøllen være så stor, at den netop kan levere 100 kWh til radiatorerne i de pågældende døgn. Et almindeligt energiregnskab viser, at el-radiatorerne udnytter den elektriske kraft fra vindmøllen 100%. Det vil sige, at der ikke sker noget "energitab", når vindkraften udnyttes på den måde. Men det passer ikke med, at man med en anden teknik - varmepumpen - kan opretholde temperaturforskellen mellem inde og ude med en fjerdedel af det el-forbrug, der skal til, hvis der bruges el-radiatorer, se figur 7.4. Man vil jo ikke om nogen anden produktionsproces sige, at den udnytter ressourcerne 100%, hvis man med et andet maskineri kan opnå det samme resultat med et ressourceforbrug, der er fire gange mindre.

Hvis man i stedet for el-radiatorer installerer et varmepumpeanlæg til at klare opvarmningen, kan man nøjes med en mindre vindmølle. Så selvom varmepumpeanlægget er dyrere end el-radiatorer, kan det alt i alt være en billigere løsning.

I dette tilfælde er der ikke noget fysisk ressourceforbrug og heller ikke noget CO₂-udslip forbundet med at opretholde den ønskede temperaturforskel mellem inde og ude, udover de ressourcer, der medgår til at fremstille vindmøllen, opvarmningsanlægget og isoleringsmaterialerne i huset, og det CO₂-udslip, der sker ved fremstillingen af disse ting. For ejeren af huset og vindmøllen drejer det sig derfor om at finde den billigste løsning: Et billigt opvarm-

52) Selvom kalorie-teorien ikke har hold i virkeligheden, gemmer den sig endnu i tankegangen bag de kalorimetriske energibalanceregnskaber, der er omtalt i kapitel 2. Nu taler man bare om Megajoule i stedet for kalorier. Man siger også, at "der er (for) mange kalorier" i et stort stykke wienerbrød.

53) Man plejer at kalde varmeafgivelsen for "varmetab", men det er ikke det helt rigtige ord. Huset skal jo afgive den varme, der kommer fra sollys gennem vinduer mennesker, husdyr og el-apparater. Så det går ikke an at pakke det altfor meget ind i isoleringsmåtter. Men der er selvfølgelig et tab, hvis varmeafgivelsen er unødigt stor.

54) Det er en varmeveksler, hvori varm luft, der blæses ud af huset, bruges til at opvarme den indgående friske luft, se figur 7.1.

ningsanlæg og en dyrere vindmølle eller et dyrere opvarmingsanlæg og en billigere vindmølle. I begge tilfælde skal det tages i betragtning, at investering i bedre varmeisolerende af huset medfører, at der skal investeres mindre i vindmøllen.

7.5 VINDMØLLER I DET SAMLEDE ENERGISYSTEM

Vindkraft er i praksis en begrænset og bekostelig ressource.

Den kan sammenlignes med sejlføringen på et stort sejlskib. Det gælder om at få mest mulig nytte ud af de sejl, skibet kan bære.

Lad os nu i stedet for at se på et enkelt hus med en vindmølle se på hele samfundets energisystem og tænke på alle de vindmøller, der kan bidrage til den elektriske kraftforsyning. Der er så ikke kun tale om huse med individuelle opvarmningsanlæg. I fremtiden kan elektrisk kraft også blive udnyttet til varmeproduktion i kraftvarmeværker og fjernvarmeværker. I dette samlede energisystem er vindkraft ikke uden miljøomkostninger. De landlige miljøer belastes af store vindmøller i lange rækker og i vindmølleparker. Det kan diskuteres om havvindmøllerne på Middelgrunden pynter på udsigten fra Københavns havn. Fjernere liggende havmølleparker som for eksempel på Horns Rev i Vesterhavet ud for Blåvands Huk generer vist ingen. Men der er grænser for, hvor mange havvindmøller, der kan placeres på egnede lavvandede områder.

Man skal også huske på, at det er ret ligegyldigt om Danmark (hvis grænse gennem Øresund ved skæbnens tilskikkelse blev draget med Freden i København i 1660 og mod Tyskland ved folkeafstemningen i 1920) dækker en stor del af sit kraftbehov med vindkraft fra havvindmøller i Østersøen og Nordsøen. Det drejer sig jo ikke kun om, at skære ned på forbruget af fossile brændsler i dette

lille land. Kystnære områder i Østersøen og Nordsøen, der er egnede til placering af havvindmøller, udgør en geografisk ressource for alle de millioner af mennesker, der bor omkring Østersøen og ved Nordsøen. Bare i de nordtyske delstater, der grænser ud til havene, bor der tre gange så mange mennesker som i Danmark. Tanken om et Europa, der løser de store fælles problemer i fællesskab, må skrinlægges, hvis hvert land, hvad naturressourcer angår, hytter sig bag de lande- og territorialfarvandsgrænser, der blev draget som et resultat af fordums krige.

Under alle omstændigheder er vindkraft i praksis en begrænset og bekostelig ressource. Den kan sammenlignes med sejlføringen på et stort sejlskib. Det gælder om at få mest mulig nytte - dvs. fart - ud af de sejl, skibet kan bære. Derfor skal skibet have den rigtige form, og bunden må ikke være begroet med alger og muslinger, der skaber unødigt modstand. Når vi bygger et energisystem, hvor vindkraft ligesom sejlene giver en stor del af drivkraften, gælder det også om at få mest mulig nytte ud af den. Det får vi ikke, når en betydelig del af den elektriske kraft, der frembringes i energisystemet, medgår til at dække et unødigt el-forbrug i el-apparater og el-radiatorer. Ved at fjerne unødigt el-forbrug får vi - ligesom når vi ved kølhauling skraber og maler skibsbunden - mere kraft til rådighed til nyttige formål, blandt andre til at drive vores transportmidler. Det er vigtigt, for når der ikke længere er olie og gas nok til at holde farten, gælder det om at få mest muligt ud af det begrænsede sejlareal.

Dette gælder ikke kun for vindkraft, men også for solenergikilder og biomassebrændsler. Der er tale om begrænsede ressourcer, som det gælder om at få mest mulig nytte af.

8. KRAFT- OG KRAFTVARMEVÆRKER

Det var oliekrisen i 1973, hvor råolieprisen pludseligt blev firedoblet, der satte gang i udskiftning af oliefyr i de store byer med fjernvarme fra kraftværker, som nu blev kaldt kraftvarmeværker.

I de øvrige, ikke naturgasforsynede byer og landområder, forblev olie- og kulfyrede fjernvarmeværker og oliefyr den fremherskende opvarmningsform - indtil de decentrale kraftvarmeværker kom til i slutningen af 1980'erne og begyndelsen af 1990'erne, og olie og kul i fjernvarmeværker blev erstattet med halm og flis.

Da kommuner og andelsselskaber i de første årtier af det 20. århundrede byggede lokale dieselmotordrevne jævnstrøms-el-værker i store og små byer var det helt naturligt, at man så vidt muligt udnyttede kølevandet fra motorerne til opvarmning af bygninger, dvs. at man brugte bygnings radiatorkredsløb som kølere. Dengang blev det ikke kaldt "decentral kraftvarme", for det hele blev født centralt, og det var ikke særligt bemærkelsesværdigt, at man ikke brugte hav- eller åvand men radiatorer i husene til at køle motorerne med.

Efter krigen var mange af de lokale el-værker blevet nedslidt. Kommuner og andelsselskaber slog sig sammen i større selskaber (Elsam i Jylland-Fyn, IFV og SEAS på Sjælland-Lolland-Falster), der byggede store oliefyrede vekselstrøms-kraftværker til erstatning for de mange små lokale jævnstrømsværker. El-produktionen blev centraliseret.

Olien var billig, så i løbet af 1950'erne bredte oliefyrene sig ud over landet og alle de nye parcelhuse, der blev opført i 1960'erne og begyndelsen af 1970'erne, blev udstyret med oliefyr. De allerede eksisterende fjernvarmenet i de store byer (København, Aarhus, Ålborg, Odense, Esbjerg) blev opretholdt, men ikke udbygget.

Det var oliekrisen i 1973, hvor råolieprisen pludseligt blev

firedoblet, der satte gang i udskiftning af oliefyr i de store byer med fjernvarme fra kraftværker, som nu blev kaldt kraftvarmeværker. I den landsdækkende energiplanlægning, der blev sat i gang i slutningen af 1970'erne blev landet delt op i 1) kraftvarmeområder i og omkring de større byer med store kraftværker, 2) naturgasområder i små og større byer og byområder, hvor der skulle udlægges naturgasnet til forsyning af naturgasfyr i huse og industrier, 3) områder med både kraftvarme og naturgas, og 4) de øvrige byer og landområder, hvor olie- og kulfyrede fjernvarmeværker og oliefyr forblev den fremherskede opvarmningsform - indtil de decentrale kraftvarmeværker kom til i slutningen af 1980'erne og begyndelsen af 1990'erne, og olie og kul i fjernvarmeværker blev erstattet med halm og flis.

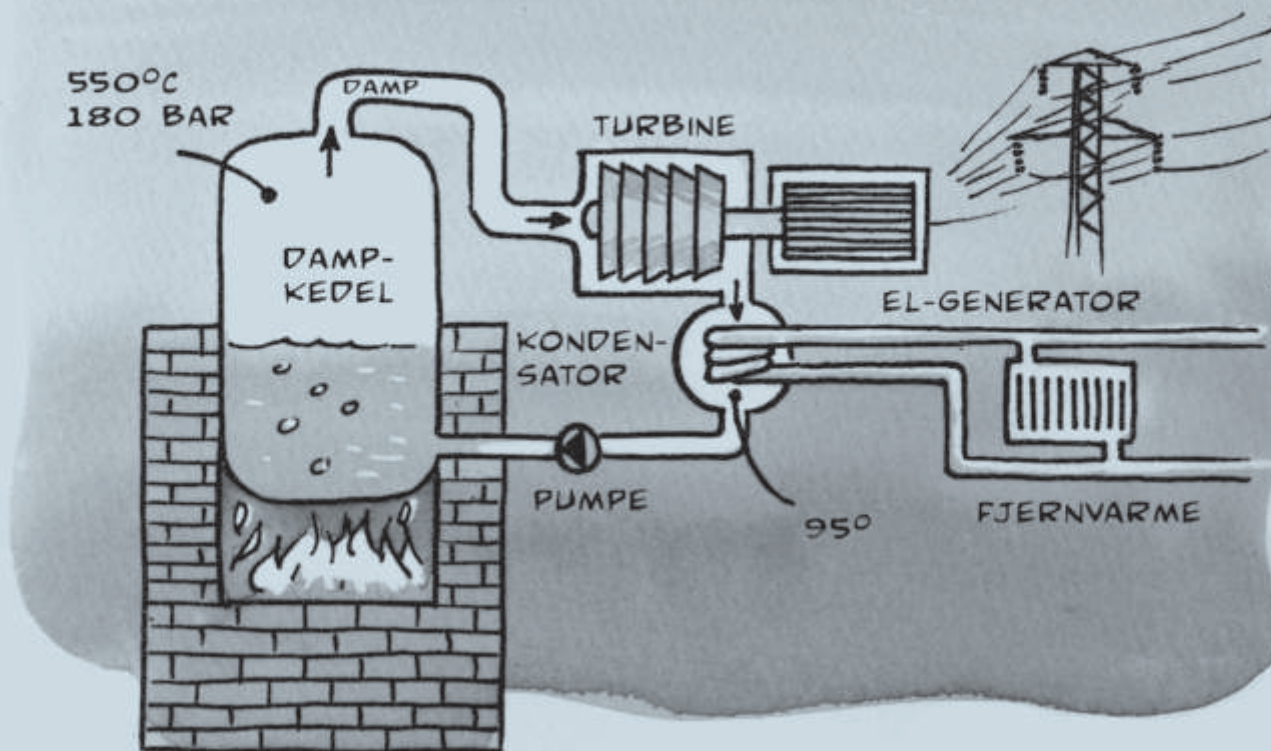
8.1 DAMPTURBINE-KRAFTVÆRKER

Afgivelsen af varme fra et dampturbine-kraftværks dampkondensator til havvandet er en betingelse for, at værket overhovedet kan producere elektrisk kraft. Så det er ikke rimeligt at kalde denne helt nødvendige varmeafgivelse for et tab.

Et kraftværk er et anlæg, der producerer elektrisk kraft, dvs. bidrager til at opretholde en konstant spændingsforskel mellem el-nettet og jorden. De danske kraftværker er kul- eller naturgasfyrede dampturbineværker, se kapitel 3, figur 3.5. I nogle kulfyrede værker fyres der også med halm, flis eller træpiller.

Alle de danske kraftværker ligger ved vandet. Disse dampturbine-kraftværker virker i kraft af temperaturforskellen mellem flammerne i brændkammeret og kølevandet fra fjorden eller havet. Kølevandet sørger for at holde temperaturen i dampturbineanlæggets dampkondensator på ca. 30 grader, så dampen kondenserer ved et lavt tryk. Det er mange kubikmeter kølevand, der hvert minut strømmer

Denne figur er en modificeret udgave af en figur i en ELSAM-brochure fra 1980'erne.



FIGUR 8.1 KRAFTVARMEVÆRK (SAMMENLIGN MED KRAFTVÆRK, FIGUR 3.5)

Billedet viser et såkaldt kraftvarmeværk, her et damp turbine-kraftvarmeværk. Det virker på helt samme måde som det kraftværk, der er vist i figur 3.5, bortset fra, at det her er radiatorerne i huse i kraftværkets omegn i stedet for havvand, der sørger for at holde en kondensatortemperatur, der er meget lavere end temperaturen i dampkedlen. Man kan sige, at man i stedet for havvand bruger fjernvarme-radiator-kredsløbet til at køle kraftværket med. På den måde skal der ikke bruges ret meget brændsel til også at klare rumopvarmningen.

Hvis værket skal producere lige så meget el som det, der er vist i figur 3.5, bliver brændselsforbruget noget større (ca. +15%), fordi temperaturforskellen mellem dampkedlen og kondensatoren er mindre. Hvis der f.eks. skal produceres 720 GJ el i timen (en el-effekt på 200 MW), skal kraftværket (figur 3.5) bruge ca. 1800 GJ brændsel i timen (1 GJ = 1000 MJ). For at producere den samme el-effekt skal kraftvarmeværket bruge ca. 2100 GJ – mindre jo lavere fjernvarmetemperaturen er. Fjernvarmeproduktionen bliver ca. 1200 GJ.

Ved at bruge $2100 - 1800 = 300$ GJ mere brændsel opnår man på den måde, at sende ca. 1200 GJ varme ud i fjernvarmenettet. Noget i retning af 20% af denne varme afgives af fjernvarmerørene til jorden. Tilbage bliver ca. 950 GJ, som afgives fra radiatorerne til rummene i husene. Hvis denne varme skulle produceres i olie- eller naturgasfyr, skulle der bruges ca. 1100 GJ brændsel. Det er næsten 4 gange mere end det ekstra brændselsforbrug på 300 GJ, der skal til for at producere varmen i kraftvarmeværket.

De fleste mindre decentrale kraftvarmeværker er naturgasfyrede gasmotor-værker. De fleste af gasmotorerne er firetakts stempelmotorer. De skal køles ligesom motoren i en bil. Med ekstra varme fra udstødningsgassen kommer kølevandstemperaturen op på over 80 grader, så den er høj nok til at man kan bruge radiatorerne i de huse, der er tilkøbt kraftvarmeværkets fjernvarmenet, til at nedkøle kølevandet til ca. 40 grader, før det kommer tilbage til motoren. På den måde klarer man opvarmningen af husene uden noget ekstra brændselsforbrug.

forbi kondensatoren og opvarmes nogle få grader, idet der tilføres energi fra den kondenserende damp.

I de almindelige energibalanceregnskaber (omtalt i kapitel 2, afsnit 2.2) optræder denne energi, der med kølevandet føres ud i havet, som et energitab. Men det er en løjerlig opfattelse. Af to grunde: For det første fordi afgivelsen af varme fra kondensatoren til kølevandet er en betingelse for, at værket overhovedet kan producere elektrisk kraft. Så det er ikke rimeligt at kalde denne helt nødvendige varmeafgivelse for et tab. For det andet har den varme, der ved en temperatur på omkring 30 grader afgives fra kondensatoren ikke nogen som helst værdi (exergi-værdien i forhold til kølevandstemperaturen er praktisk taget nul, se afsnit 4.6 og 4.7). Så intet af værdi går tabt.

Af den arbejdsydelsesevne (målt ved exergi-værdien), der tilføres kraftværket i form af det anvendte brændsel, kommer kun 40 - 50% ud af generatorerne i form af elektrisk kraft. Det tab, der således sker i værket, skyldes især tab af arbejdsydelsesevne i fyret og mellem fyret og dampkedlen på grund af den store temperaturforskel (jfr. afsnit 4.5 - 4.7). Temperaturforskellen mellem kondensatoren og kølevandet er så lille, at den ikke spiller nogen stor rolle.

8.2 DAMPTURBINE-KRAFTVARMEVÆRKER

Merforbruget af brændsel i et dampturbine-kraftvarmeværk modsvares rigeligt af den brændselsbesparelse, der opnås, når opvarmning med individuelle olie- og/eller naturgasfyrr erstattes med opvarmning med kølevand fra dampturbine-kraftvarmeværket.

Mod at bruge lidt mere brændsel end i kraftværket får man fjernet et meget større brændselsforbrug i individuelle olie- og/eller naturgasfyrr.

Figur 8.1 viser princippet i et dampturbine-kraftvarmeværk. Forskellen mellem et dampturbine-kraftværk (figur 3.5) og et dampturbine-kraftvarmeværk er, at man i et kraftvarmeværk i stedet for havvand bruger vandkredsløbet gennem fjernvarmeledninger og centralvarmekreds-

løb i husene til at køle dampkondensatoren med.⁵⁵ Da fjernvarmetemperaturen selvfølgelig skal være højere end havvandstemperaturen (den ligger på 80-100 grader i de nuværende fjernvarmeanlæg), bliver kondensatortemperaturen højere end i et kraftværk. Da temperaturforskellen mellem dampkedlen og kondensatoren således bliver mindre, får man mindre elektrisk kraft ud af det indfyrede brændsel. I de nuværende danske værker bliver el-produktionen formindsket med omkring 10% i forhold til et havvandskølet kraftværk, mindre jo lavere fjernvarmetemperaturen er. Man skal altså bruge lidt mere brændsel for at få den samme el-produktion.

Merforbruget af brændsel i dampturbine-kraftvarmeværket modsvares imidlertid rigeligt af den brændselsbesparelse, der opnås, når opvarmning med individuelle olie- og/eller naturgasfyrr erstattes med opvarmning med kølevand fra dampturbine-kraftvarmeværket. Mod at bruge lidt mere brændsel end i kraftværket får man fjernet et meget større brændselsforbrug i individuelle olie- og/eller naturgasfyrr.

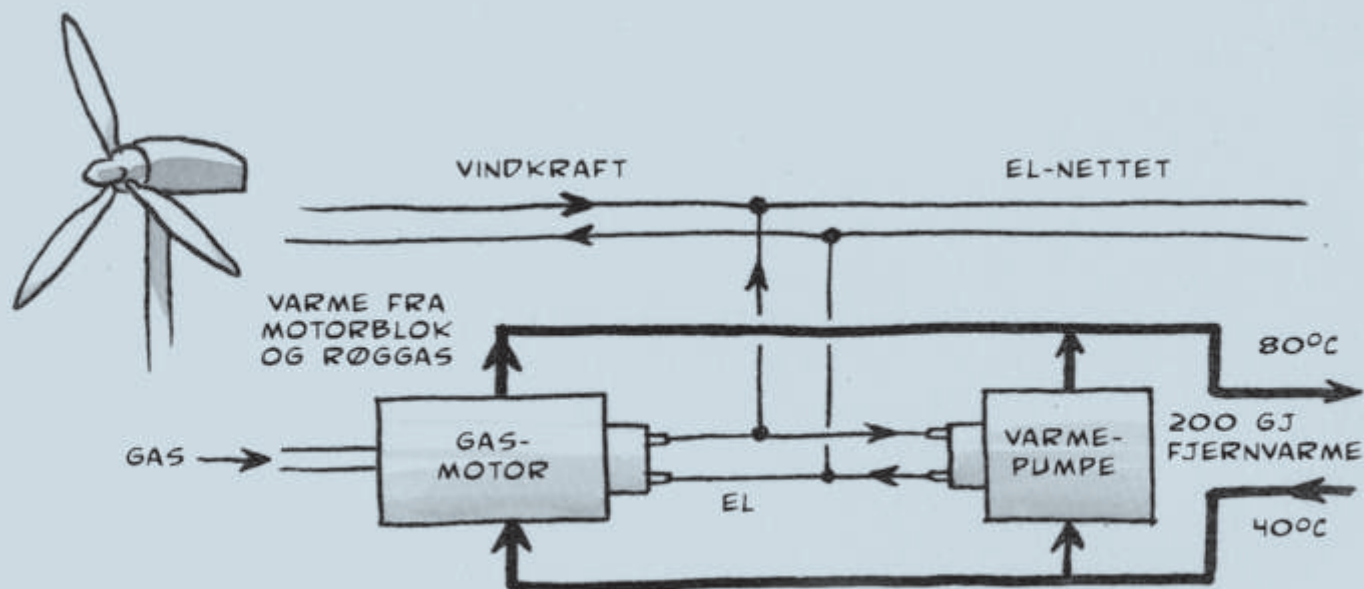
8.3 DECENTRALE STEPELMOTOR-KRAFTVARMEVÆRKER

Når et fjernvarmeværk udskiftes med et decentralt kraftvarmeværk, sparer man i landets samlede energiregnskab hele fjernvarmeværkets brændselsforbrug.

De store dampturbine-kraftvarmeværker ved de store byer kaldes centrale kraftvarmeværker. I slutningen af 1980'erne startede opførelsen af mindre og små kraftvarmeværker i provinsbyer og landsbyer, de såkaldte decentrale kraftvarmeværker. Dermed blev en betydelig del af el-produktionen decentraliseret: Den blev flyttet ud, hvor der er huse nok til at køle maskineriet i et mindre kraftværk.

I de fleste af de mindre decentrale kraftvarmeværker er maskineriet en gasmotor: en stor stempelmotor ligesom dem, der bruges i skibe. I disse motorer skal kølevandstem-

⁵⁵ De danske dampturbine-kraftvarmeværker er indrettet med flere turbinetrin, sådan at den mængde damp, der tages ud fra de første turbinetrin til kondensering i den fjernvarmekølede kondensator kan varieres. Sådanne værker kaldes udtagsværker. De kan virke både som kraftværker og som kraftvarmeværker.



FIGUR 8.2 KRAFTVARMEVÆRK MED VARMEPUMPE

I kraftvarmeværker kan man koble en stor, el-drevet varmepumpe til kraftmaskinen (her en gasmotor) på samme måde som vist i figur 7.3. Derved opnår man den fordel, at forholdet mellem el-produktionen og varmeproduktionen kan reguleres på en energi-effektiv måde. Det har man brug for at kunne i et energisystem, hvor der er så mange vindmøller og kraftvarmeværker, at den el, der bliver produceret en kold blæsende dag, overstiger den el-effekt, der er behov for.

Når man har investeret store beløb i vindmøller, skal de jo helst ikke standses, når der er god vind, bare fordi kraftvarmeværkerne, når det er koldt, kommer til at producere en masse el for at klare opvarmningen af de huse, der er tilkøbt deres fjernvarmenet.

Lad os sige, at et kraftvarmeværk med varmepumpe en dag skal klare en fjernvarmeproduktion på 200 GJ (200 000 MJ). Hvis denne varme skal komme fra motorens kølekredsløb og udstødningsgas, kommer motoren til at producere 145 GJ = 40 MWh el. Hvis det blæser, kan det ske, at der ikke er behov for så meget el fra kraftvarmeværket. Så sættes varmepumpen i gang. Den bruger en del af den el, motoren producerer, og da den nu bidrager til fjernvarmeproduktionen, behøver motoren ikke at afgive så meget varme.

Hvis f.eks. el-produktionen til el-nettet skal halveres til 22 MWh, skal motorens el-produktion sættes ned fra 40 til 26 MWh, hvoraf 6 MWh bruges i varmepumpen. Så får man i alt den samme fjernvarmeproduktion på de 200 GJ. Motoren giver 130 GJ, varmepumpen 70 GJ. (Tallene afhænger af motorens el-nyttsevirkning, varmepumpens effektivitet og udetemperaturen).

Man kan også i nogle timer standse motoren, og drive varmepumpen med el fra el-nettet. Så optræder kraftvarmeværket som el-forbruger i stedet for som el-producent.

Vi skal ikke her komme ind på de tekniske forhold i forbindelse med denne regulering. Det skal kun nævnes, at det i praksis er mindre heldigt, at køre en gasmotor på nedsat belastning. Den kører mest effektivt på fuld last. Derfor er det en fordel at fordele produktionen på flere motorer, så man kan stoppe og starte én eller flere motorer, i stedet for at lade én motor køre på dellast. Dette kan man opnå ved at samkøre produktionen i flere små kraftvarmeværker.

peraturen (ligesom i en bilmotor) være forholdsvis høj, omkring 80 grader. Man behøver altså ikke - som i damp-turbine-kraftværker - at forøge kølevandstemperaturen for at kunne bruge radiatorerne i husene til at køle maskineriet. Og man kan få lidt ekstra varme ud i fjernvarmenettet ved at nedkøle den udstødningsgas (røggas), maskinen sender op gennem skorstenen.

I områder med disse decentrale kraftvarmeværker får man således varme i radiatorerne uden noget ekstra brændselsforbrug. Der skal jo produceres elektrisk kraft, og så er man jo nødt til at køle maskinerne. Og det klarer man så med radiatorerne og til dels med fjernvarmerørene, der afgiver en del varme til jorden.

Også her skal det bemærkes, at de nyttevirkningstal, der beregnes ud fra de almindelige energibalanceregnskaber, er misvisende. I et almindeligt fjernvarmeværk med en naturgasfyret kedel, omsættes op til 100% af naturgassens energi (brændværdi) til energi i form af varmt vand i fjernvarmerørene. Så siger man, at fjernvarmeværkets nyttevirkning er omtrent 100%. Men i et almindeligt decentralt gasmotor-kraftvarmeværk kommer ca. 40% af naturgassens energi ud i form af elektrisk kraft og ca. 60% ud i form af varme. Det giver også en nyttevirkning på 100%. Og så kunne man jo tro, at kraftvarmeværket hverken er bedre eller dårligere end fjernvarmeværket. Men det passer åbenbart ikke. For landets samlede brændselsforbrug til el-produktion forøges ikke ved at flytte en del af produktionen ud i decentrale kraftvarmeværker.⁵⁶ Det vil sige, at når et fjernvarmeværk udskiftes med et decentralt kraftvarmeværk, sparer man i landets samlede energiregnskab hele fjernvarmeværkets brændselsforbrug. Derfor er det åbenbart vildledende at sige, at man har samme nytte af fjernvarmeværket som af kraftvarmeværket.

Hvis et kraftvarmeværk udstyres med et varmepumpeanlæg (se afsnit 7.2), kan man som vist i figur 8.2 regulere værkets el-produktion i forhold til dets varmeproduktion. Det er en fordel i et energisystem med en stor varierende el-produktion i vindmøller. Med et sådant motor-varme-

pumpeanlæg kan man uden nogen el-produktion få den samme fjernvarmeproduktion som i et fjernvarmeværk med det halve brændselsforbrug.

Hvis gasmotoren udskiftes med et høj-temperatur brændselscelleanlæg (se nedenfor) bliver brændselsforbruget endnu mindre.

8.4 BRÆNDELSCELLER

Brændselsceller er en fællesbetegnelse for mange forskellige typer af apparater, hvori kemisk uligevægt mellem et brændstof og luftens ilt udnyttes til at frembringe elektrisk kraft ad elektro-kemisk vej. En brændselscelle har ingen bevægelige dele. Den har form som en plade, der indeholder en elektrolyt og i nogle tilfælde en protonmembran eller en katalysator. Brændselsceller kan fremstilles i små og store størrelser og flere celler kan sættes sammen til et større kraftværk.

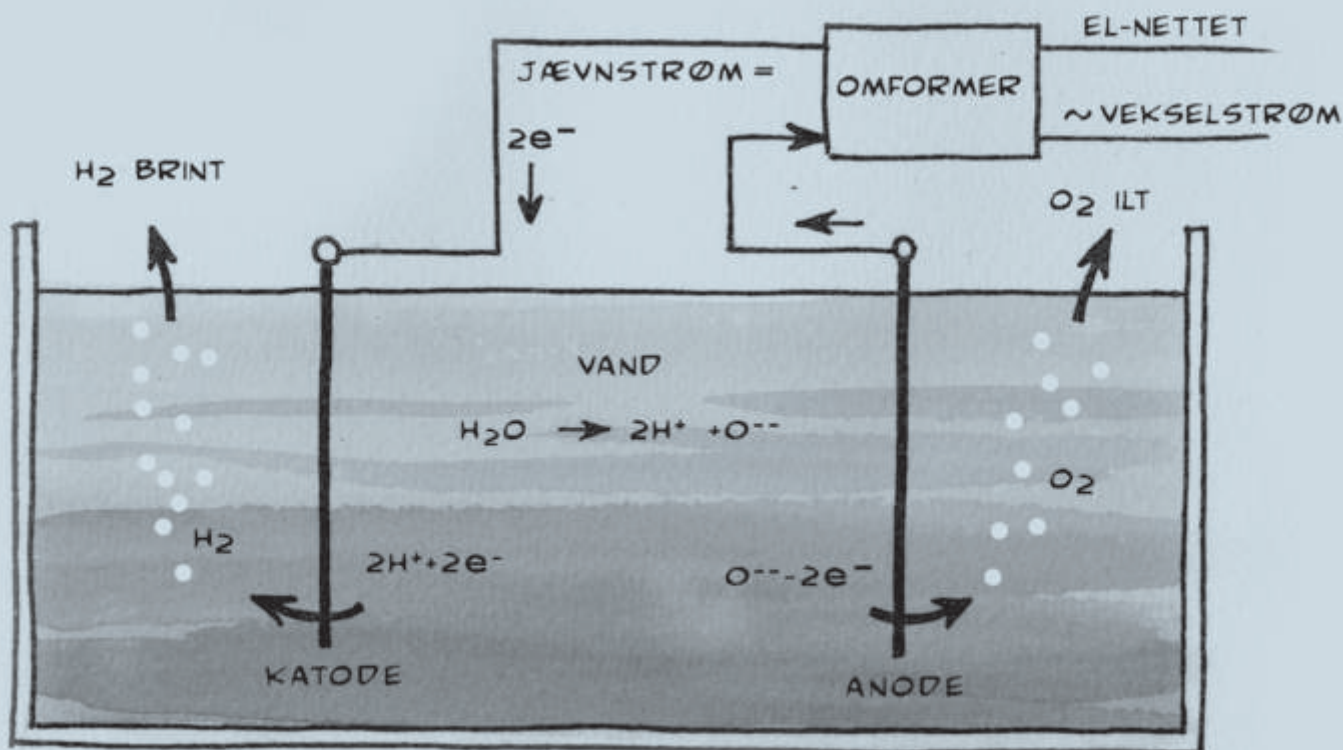
Ligesom i et batteri eller en akkumulator frembringes den elektriske strøm i en elektro-kemisk proces, hvorunder elektroner frigives ved den ene pol (den såkaldte anode) og gennem et elektrisk kredsløb vandrer til den anden pol (den såkaldte katode), se figur 8.4. Forskellen er, at et batteri eller en akkumulator skal lades op, for senere at kunne give strøm, medens en brændselscelle hele tiden skal have tilført brændstof til den ene pol (anoden) og ilt til den anden pol (katoden). Slutresultatet af processen er, at ilt og brint forener sig ved katoden og bliver til vand, idet den kemiske uligevægt mellem brændstoffet og iltens udløses i en elektrisk spændingsforskel.

Nogle brændselsceller bruger brint som brændstof (figur 8.4), andre bruger methanol (træsprit). Brint kan fremstilles på mange måder: Ved elektrolyse af vand (se figur 8.3), ved spaltning af naturgas, ved ophedning af kul og vand, m.fl. Methanol kan fremstilles af kultveilt (CO₂) og brint eller kultveilt og naturgas.

Nogle brændselsceller virker ved meget høje temperaturer (omkring 900 grader). Ved at lade dem indgå i et kredsløb med en gasturbine⁵⁷ kan man opnå en meget høj effek-

56) Dette gælder dog kun på tidspunkter, hvor det for at dække det indenlandske el-forbrug plus en ønsket el-eksport er nødvendigt at producere el på kraftværker, hvis el-nyttgevirkning ikke er væsentligt større end de decentrale kraftvarmeværkers.

57) En gasturbine er en jetmotor, hvor udstødsgassen i stedet for at drive en flyvemaskine frem bruges til at drive en turbine, der kan trække en el-generator. I en turbojet-flyvemaskine driver gasturbinen en propel i stedet for en el-generator.



**FIGUR 8.3 ELEKTROLYSE: BRINT OG ILT AF VAND
KNALDGAS-FORSØGET**

Vand er noget af det mest stabile man har. De to brintatomer (H_2) og det iltatom (O), et vandmolekyle (H_2O) består af, hænger godt sammen i et solidt ægteskab, uden andre atomers indblanding i parforholdet. Heldigvis, for hvis et vandmolekyle ikke blev ved at være et vandmolekyle, men enten blev splittet ad eller optog andre atomer, ville livet, som vi kender det, aldrig være blevet til noget.

Men mennesker har selvfølgelig fundet ud af, at man med vold og magt i form af elektrisk strøm kan splitte vandmolekylerne ad. Med elektricitet fra el-nettet er det meget nemt. Man behøver kun en omformer fra vekselstrøm til jævnstrøm, en balje vand og to store søm. Sømmene virker som elektroder. Det ene er den såkaldte anode, det andet er den såkaldte katode. (I industrielle elektrolyseanlæg opnås en større effektivitet med mere kompliceret elektro-kemisk teknologi).

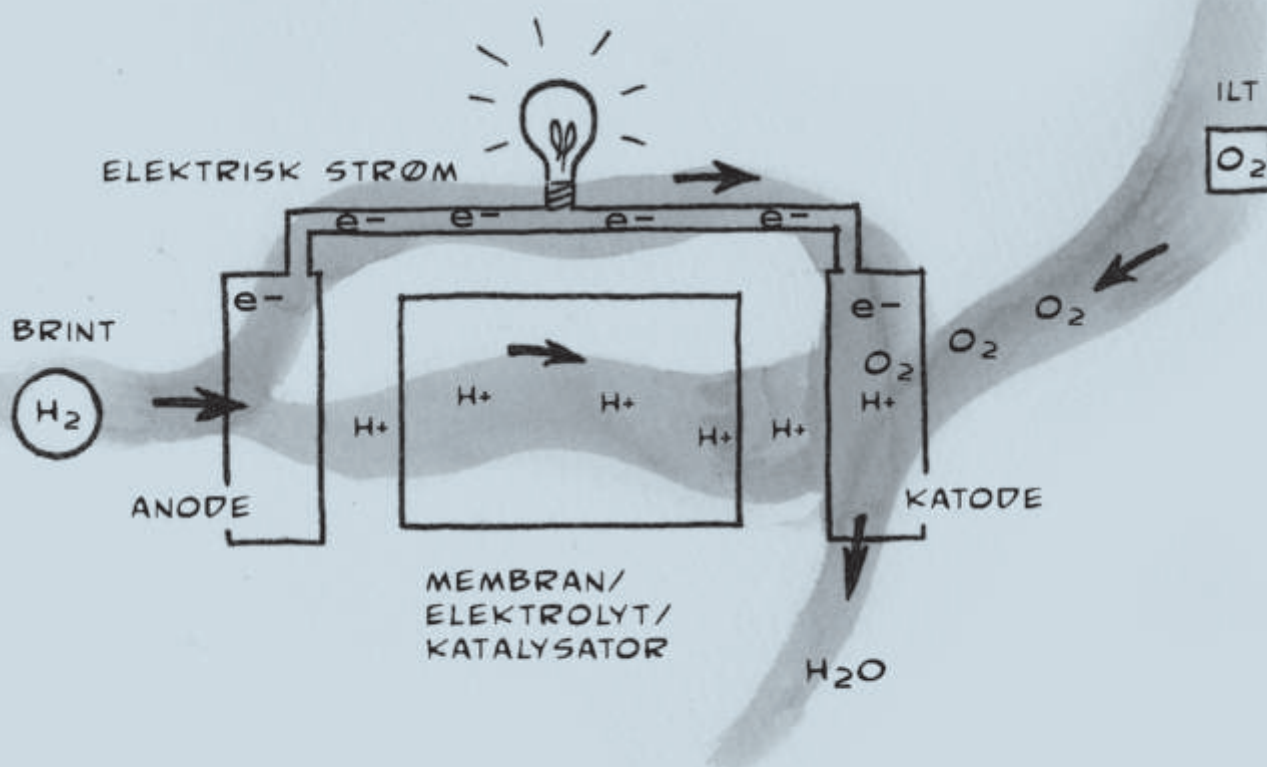
Et molekyle består af atomkerner omgivet af negativt ladede elektroner (e^-). I et vandmolekyle er de to brintatomer og iltatomet fælles om to elektroner. Det er det fællesskab, der holder dem sammen.

Elektrisk strøm er en strøm af elektroner gennem en elektrisk ledning eller et andet ledende materiale som de to søm. Strømmen drives af en spændingsforskel, der frembringes i kraftværker og vindmøller.

Man kan forestille sig spændingsforskellen som et "overtryk" af elektroner ved den ene pol (anoden) og et "undertryk" ved den anden pol (katoden), sådan at elektronerne suges rundt fra anoden gennem ledningen og omformeren til katoden – hvis de altså kan slippe igennem vandet. Det kan de, fordi "elektronsuget" splitter vandmolekylerne ad. Iltatomet snupper de to elektroner i molekyle-fællesskabet (bliver til O^{2-}) og suges over til anoden, hvor det afleverer dem, forener sig med et andet iltatom, og bliver til et almindeligt iltmolekyle. Brintmolekylet mangler nu de to elektroner, som iltatomet har snuppet (det bliver til $2H^+$). Elektronerne er blevet suget over til katoden, så brintatomet må derhen og hente dem. Det optager dem, og bliver til et almindeligt brintmolekyle.

Denne proces kan man se ved, at der bobler brint op ved katoden og ilt ved anoden.

Det er nemt at genforene brint- og iltmolekylerne til vand. Man kan bare sætte en tændstik til blandingen. Men man kan også gøre det på en sådan måde, at man får noget af den elektriske kraft, der er blevet brugt til at splitte dem ad, tilbage. Men det er ikke så nemt. Se figur 8.4.



FIGUR 8.4 BRINT-ILT-BRÆNDELSCELLER

I en brændselscelle sker der det omvendte af det, der sker i et elektrolyseanlæg (se figur 8.3). Elektrolyseanlægget bruger strøm. Brændselscellen producerer strøm.

Brint- og iltatomer vil gerne genforenes i vandmolekyler ($2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$). Så gerne, at de ved genforeningen udløser en masse energi. Hvis de får frit løb, kan de slet ikke styre sig. Det kan man høre i det knald, det giver, når man sætter en tændstik til en blanding af ilt og brint. Hvis man kan holde styr på dem, så genforeningen sker under ordnede forhold, kan man i stedet for et knald få dem til at afgive energien som en elektrisk strøm. Sådanne ordnede forhold skaber man i en brændselscelle.

I elektrolyseapparatet (figur 8.3) er det en elektrisk spændingsforskel, frembragt af kraftværker og vindmøller, der så at sige suger elektroner fra vandmolekylerne, så de mister deres sammenhængskraft og splittes i brint og ilt. I brændselscellen er det omvendt. Her er det de adskilte brint- og iltmolekyler, der ved genforening til vand frembringer en elektrisk spændingsforskel, som driver en elektrisk strøm (en elektronstrøm). Det vil sige, at brændselscellen virker som et kraftværk.

Figuren er et meget, meget forenklet billede af processen. Den viser kun det grundlæggende princip. Kunsten er at få brintmolekylerne ved anoden til i al stilhed at afgive elektroner og derpå vandre over til katoden. Der mødes de med iltmolekylerne. De slår sig sammen til vandmolekyler, idet de i fællesskab optager de elektroner, der har været turen rundt i det elektriske kredsløb. Det er her, spændingen opstår. Tiltrækningen mellem de brintatomer, der mangler en elektron, og iltmolekylerne er så stor, at de suger de elektroner til sig, som de skal bruge for at blive genforenede. På den måde "suges" elektronerne gennem kredsløbet, så der kommer lys i lampen og sød musik opstår, hvis der også er sluttet et musikanlæg til.

Problemet er, at det ikke er så let at få brintmolekylerne til at afgive deres elektroner og vandre over til katoden. Det kræver en indviklet konstruktion med membraner, katalysatorer og en passende elektrolyt.

tivitet (el-virkningsgrad ca. 65%)⁵⁸ for det samlede anlæg. Sådanne brændselscelle-gasturbineanlæg vil være velegnede til brug i decentrale kraftvarmeværker og som mindre kraftvarmeanlæg i huse i naturgasforsynede områder.

Andre brændselsceller virker ved lave temperaturer (under 100 grader). Med brint eller methanol som brændstof er de velegnede til brug i biler og busser. Men deres effektivitet kommer ikke meget over ca. 40%. Nu skal strømmen fra brændselscellen gennem en spændingsomformer og en elmotor før kraften når frem til hjulene, og undervejs skal en del bruges til opladning af et batteri, der tjener som en stødpude til udjævning af brændselscellens el-produktion, så den ikke skal køre op og ned, når der skiftevis trædes på speederen og bremsen. I alle disse dele sker der et tab af elektrisk kraft. Effektiviteten af det samlede fremdriftssystem kommer derfor ned på ca. 30%. Det er godt og vel 50% mere end effektiviteten af fremdriftssystemet i en bil med en almindelig benzinmotor årgang 2005.

En mellemting mellem en lav-temperatur brændselscelle og et batteri er under udvikling i Kina.⁵⁹ Denne "brændselscelle" bruger en zink-plade som "brændsel". I princippet sker der i en sådan brændselscelle det samme, som når man skruer zink-klodser på bunden af skibe for at undgå at galvanisk strøm æder andre metaldele. Den elektriske strøm frembringes ved, at zinken afgiver elektroner og bliver oxyderet til zinkoxyd ved optagelse af ilt fra luften. Når en zinkplade er blevet omdannet til zinkoxyd, bliver den udskiftet med en anden zinkplade, der er fremstillet af zinkoxyd fra brugte plader. På den måde genbruges zinken. Til genoparbejdningen af zinkpladerne fra zinkoxyd bruges elektrisk strøm ligesom ved brintfremstilling ved elektrolyse af vand. Zink-brændselscellen virker således i princippet på samme måde som en brint-brændselscelle med brint, der er fremstillet ved elektrolyse af vand. Men zink er meget lettere at håndtere end brint.

8.5 MINI-KRAFTVARMEVÆRKER TIL NATURGASFORSYNEDE HUSE

I naturgasforsynede områder kan man få meget mere ud af naturgassen ved at bruge den i små gasmotorer eller brændselsceller i de enkelte huse. Små naturgasfyrede stempelmotor-kraftvarmeværker til erstatning af individuelle naturgasfyr er allerede på markedet. I fremtiden bliver naturgasdrevne brændselsceller måske så billige, at de med fordel kan erstatte stempelmotorer. Ligesom decentrale kraftvarmeværker kan mini-kraftvarmeværker udstyres med varmepumper, så det bliver muligt at regulere deres el-produktion i forhold til deres varmeproduktion (se figur 8.2).

Nogle forestiller sig, at man i et fremtidigt "brintsamfund" kan have små brintdrevne brændselscelle-kraftvarmeværker. Men hvis der i det danske energisystem bruges elektrisk kraft til at fremstille brint ved elektrolyse (se figur 8.3), og der findes et brint-distributionssystem, er det en besynderlig fremgangsmåde først at bruge elektrisk kraft til brintfremstilling og derefter bruge brinten til at producere elektrisk kraft i brændselsceller - også når kølevarmen fra brændselscellerne bruges til rumopvarmning. Det man opnår, er et dyrt, tabsgivende el-brint-el-kredsløb, der kaster noget varme af sig.

Argumenter for en sådan fremgangsmåde går på, at "brint er fremtidens energibærer", og at man ved at "lagre elektricitet i form af brint" kan regulere el-forsyningen i takt med det varierende forbrug, selvom en stor del af el-produktionen sker i vindmøller med en stadigt varierende produktion. Men det forudsætter, at brinten kan lagres. Og hvis det kan lade sig gøre på en rimeligt billig og håndterlig måde, skal brinten bruges i biler og busser. Det er dér, der er brug for drivmidler, efterhånden som olieforbruget nedbringes. Der er ingen grund til at lave dyre, tabsgivende el-brint-el-kredsløb til el-regulering og varmeforsyning. Det kan gøres meget billigere og mere effektivt med varmepumper og varmelagre.

58) Effektivitet: se afsnit 4.7

59) www.powerzinc.com

9. DRIVKRAFT TIL TRANSPORTMIDLER

Den meget omtalte vision om et fremtidigt "brintsamfund" er en vision om et samfund, hvor der er råd til en ligeså ringe energieffektivitet i transportmidler, som i dag. Men den energi, der skal til, kommer ikke lige så let og billigt som olie.

Ingen ved, hvad der i fremtiden vil kunne erstatte benzin- og dieselmotorerne. På det kortere sigt er det urealistisk at forestille sig at ret mange af den lille milliard motorer, der ligger i biler, busser, landbrugsmaskiner, flyvemaskiner og skibe, bliver udskiftet med andre fremdriftsmidler, der ikke bruger olie. Men man kan forestille sig, at høje oliepriser skaber et marked for biler, der kan køre dobbelt så langt på literen, som de nuværende, og at biodiesel og alkohol kan bremse nedgangen i brændstofproduktionen en smule (se kapitel 3, afsnit 3.6). Problemet er, at olieprisen kan blive ved at være lav helt frem til det tidspunkt, hvor produktionen ikke længere kan følge med efterspørgslen. Så ryger prisen til vejrs. Og i mellemtiden er endnu flere olieslugende biler kørt af bilfabrikkernes samleband. Så bliver der økonomisk krise, og i den situation bliver det endnu vanskeligere at få de olieslugende biler udskiftet med mere energi-økonomiske. Den historie er allerede fortalt i kapitel 5.

Det går ikke an at lade stå til og afvente, at visionen om et fremtidigt "brintsamfund", hvor benzin- og dieselmotorerne er blevet udskiftet med brint-brændselsceller, måske engang i fremtiden bliver til virkelighed. Fornylelsen af vores transportmidler og transportinfrastrukturer i olietidens sidste årtier er en teknisk udfordring, der aldrig før er set mage til.

9.1 MERE ENERGIØKONOMISKE TRANSPORTMIDLER

Hvordan det end går, er der ingen tvivl om, at de billigste teknikker til at nedtrappe olieforbruget i transportmidler er den lettere bil med den mere energi-økonomiske motor,

og mere godstransport med tog og skibe i stedet for lastbiler. På den anden side af Atlanten er der som bekendt meget større muligheder for at nedtrappe olieforbruget på den måde end på vores side. Men disse teknikker slår ikke til på lidt længere sigt.

Hvis den globale økonomi udvikler sig, sådan at flere og flere mennesker rundt om i verden får indtægter, der giver dem samme muligheder for at efterspørge biler og flyrejser, som vi har, så går der sandsynligvis ikke mange år, før olieproduktionen ikke længere kan dække efterspørgslen - selvom de nuværende biler i løbet af de næste 10 - 15 år blev udskiftet med mere energi-økonomiske.

Derfor er det på høje tid, at vi kommer i gang med at finde ud af, hvordan vi i fremtiden kan transportere os selv og vores varer og gods med andre teknikker end benzin- og dieselmotoren. Under den betingelse, at vi også skal klare en kraftig nedtrapning af CO₂-udslippet.

9.2 OVERFØRSEL AF ELEKTRISK KRAFT TIL TRANSPORTMIDLER

Hvad transport ad gader, veje og jernbaner angår, vil alle de nye tekniske muligheder, der kan komme på tale, være baseret på direkte eller indirekte overførsel af elektrisk kraft til hjulene.

Den mest effektive måde er direkte gennem køreledninger til tog, sporvogne og trolleybusser. På den måde opnås en effektivitet på ca. 80%, dvs. at ca. 80% af den elektriske kraft til transport, der produceres i kraftværker, kraftvarmeværker, vindmøller m.fl., når frem til transportmidlernes hjul.

Dernæst kommer kraftoverførsel ved opladning af batterier til el-biler. På den måde kan der opnås en effektivitet på ca. 60%.

En indirekte, mere kompliceret og meget mere tabsgivende kraftoverførsel består i først at omsætte elektrisk kraft til kemisk energi (det kan ske ved elektrolyse af vand, se figur 8.3; eller på anden måde som f.eks. ved oparbejdning af zinkilte til zink, se afsnit 8.4 ovenfor) og derpå bruge den kemiske energi i brændselsceller i køretøjer. På den måde bliver effektiviteten ca. 20%⁶⁰. Den meget omtalte vision om et fremtidigt "brintsamfund" er en vision om et samfund, hvor der er råd til en ligeså ringe energieffektivitet i transportmidler, som i dag. Men den energi, der skal til, kommer ikke lige så let og billigt som olie.

En ny spændende mulighed er RUF-systemet. RUF står for Rapid Urban Flexible - et hurtigt, fleksibelt transportsystem til byer. Det består af elektriske biler og minibusser, der lokalt kan køre hver for sig på gader og veje, og som på lidt længere strækninger på hovedfærdselsårer kører op på en højbaneskinne (et monorail), hvor føreren kan slappe af, mens el-batterierne lades op fra en slæbekontakt. Når man nærmer sig målet, kører man ad en rampe ned på gaden og fortsætter som i en almindelig elektrisk bil. Systemet, som er udviklet af den danske ingeniør og opfinder Pelle R. Jensen, har tiltrukket sig stor opmærksomhed



60) I den såkaldte "brintpille" opsuges ammoniak, lavet af brint og kvælstof fra luften. Ved opvarmning af pillen frigøres brinten til brug i en brændselscelle. Der er energitab både ved fremstillingen af ammoniak og ved frigørelse af brinten.

i udlandet, bl.a. i USA og Indien.⁶¹ Men her i landet har det endnu ikke ladet sig gøre at skaffe de forholdsvis beskedne midler, der skal til for at bygge en prøvestrækning.

Den elektriske kraft, der skal overføres til transportmidler, skal skaffes til rådighed på en sådan måde, at kravene om nedtrapning af landets - og verdens - samlede CO₂-udslip opfyldes. Det kan ske ved en kombination af

1) el-besparelser i bygninger og virksomheder, herunder udskiftning af el-radiatorer med mere effektive opvarmingsanlæg;

2) mere vindkraft og i fremtiden måske også el-produktion i bølgemaskiner og solceller;

3) udskiftning af gasmotorer i kraftvarmeværker med højtemperatur brændselscelleanlæg, der har en højere el-virkningsgrad (se afsnit 8.4 ovenfor); og

4) udskiftning af individuelle naturgasfyr med naturgasfyrede mini-kraftvarmeværker.

På den måde kan der frembringes et "el-overskud", der kan tilgå transportmidler.



61) Se www.ruf.dk

TEKNISKE
OG SAMFUNDSØKONOMISKE
UDVIKLINGSMULIGHEDER

DEL 4

10. ENERGISYSTEMETS SAMMENSÆTNING

En energipolitisk strategi er en plan, der udstikker hovedretningslinier for en ønsket udvikling af energisystemet i de næste årtier. I praksis er den et investeringsprogram, der viser hvilke investeringer, man vil foretage for at opfylde de energipolitiske målsætninger.

Hvis det ikke skal blive unødigt dyrt på grund af fejlinvesteringer, skal man vide, hvordan man vil indrette systemet. Og man skal vide, hvilke investeringer, der giver mest for pengene.

Det er for dyrt at bygge et 100 000 ton containerskib om til et sejlskib og at sætte et spand heste for en 20-ton lastbil.

Rigelige forsyninger af billig olie, naturgas og kul har til ladet os at indrette vores energisystem på den letteste og billigste måde. Biler og alt andet på hjul for sig. Landbrug for sig. Industrier hver for sig. El-værker for sig. Vindmøller for sig. Varmeforsyning for sig. Uden nogen sammenhæng mellem disse forskellige dele af det samlede system - mellem de forskellige "sektorer", som man kalder dem. Bortset fra den ikke uvæsentlige sammenkobling af el- og varmeproduktion i områder med fjernvarmeforsyning fra kraftvarmeværker.

Opdelingen i en el-sektor, en varmesektor, en transportsektor, en industrisektor m.fl. ligger til grund for Energistyrelsens energistatistikker; for lovgivning og regler om afgifter, tilskud, CO₂-kvoter m.m.; og for de organisationer der varetager el-forsyningsselskabers, vindmøllejejes, fjernvarmeselskabers, naturgasselskabers og andre sektors interesser.

Når der ikke længere er rigelig olie og naturgas på verdensmarkedet stiger priserne indtil de er blevet så høje, at forbruget kommer ned på de mængder, der kan leveres.

Prisen på kul vil stige tilsvarende. Jo mere verdensøkonomien er afhængig af olie og gas, jo højere prisstigninger skal der til for at formindske forbruget. Den økonomiske nedtur, der følger, vil fremskynde nedtrapningen af

CO₂-udslippet, for der bliver ikke råd til at afbrænde så meget fossilt brændsel. Men det er ikke den måde, vi ønsker at gøre det på. Vi ønsker naturligvis at gøre os mindre afhængige af de fossile brændsler og dermed nedtrappe CO₂-udslippet på en samfundsøkonomisk fornuftig måde. Derfor må vi i gang med at ombygge vores energisystem.

Det sektoropdelte systems økonomi er baseret på rigelige forsyninger af billige brændsler. Det er blevet til i en tid, hvor CO₂-udslippet ikke blev taget i betragtning. Dette system kan ikke fungere på en samfundsøkonomisk fornuftig måde, når brændslerne ikke længere er rigelige og billige, og CO₂-udslippet skal være meget mindre. Der skal nye konstruktioner til, når samfundsøkonomien skal baseres på andre ressourcer. Det er for dyrt at bygge et 100 000 ton containerskib om til et sejlskib og at sætte et spand heste for en 20-ton lastbil.

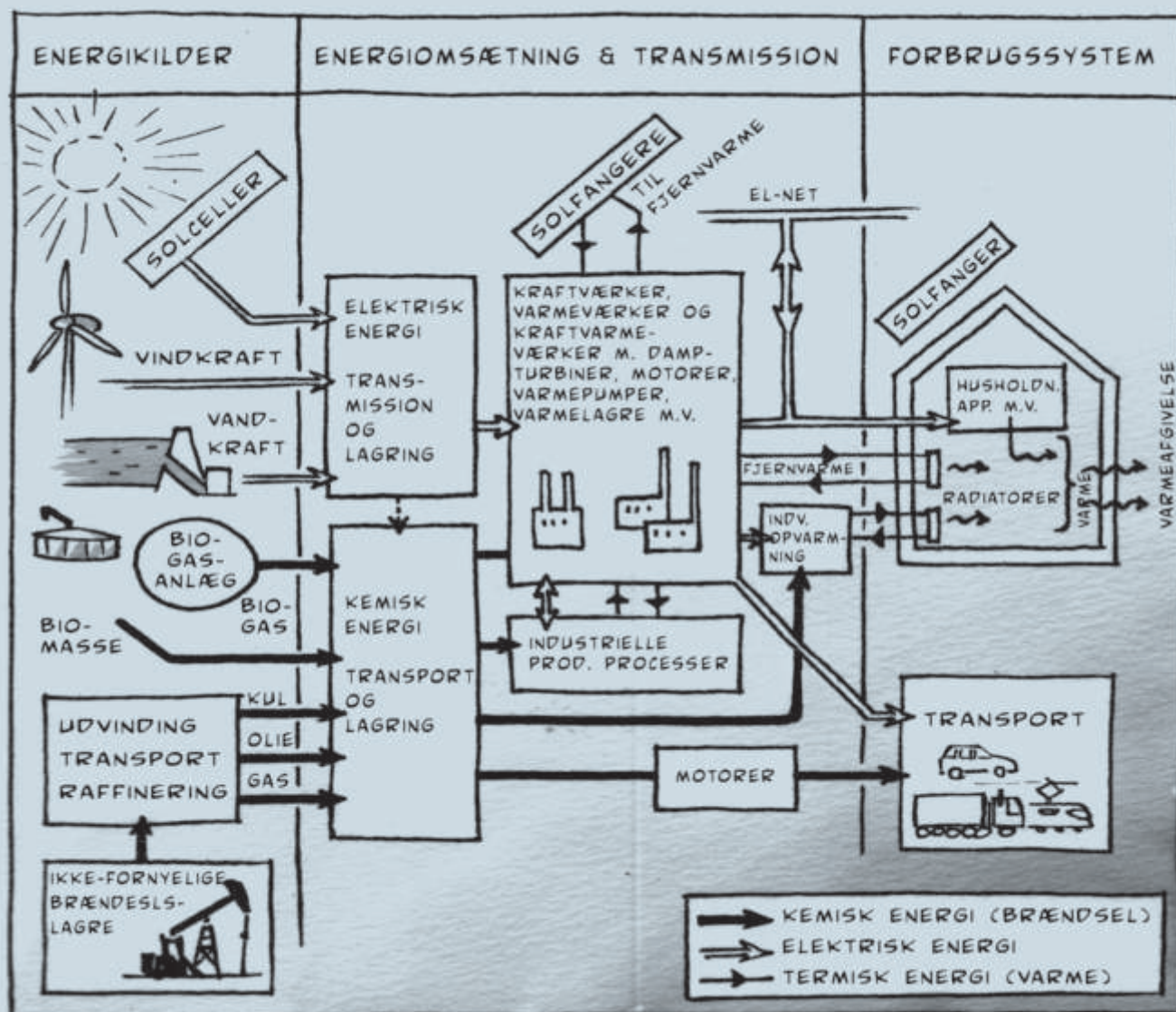
10.1 BESTANDDELE OG SAMMENHÆNGE

Det er økonomisk hasard at gå i gang med at bygge et højhus uden at have en tegning at gå efter, og man skal være meget heldig, hvis det ikke skal ende med, at det hele braser sammen.

Vi skal finde ud af hvilke tekniske muligheder, der tegner sig for udvikling af et nyt energisystem på en samfundsøkonomisk hensigtsmæssig måde, dvs. til det fælles bedste.

For hvis vi ikke ved hvilke tekniske valgmuligheder, vi har, kan der ikke træffes et fornuftigt, demokratisk valg af en energipolitisk strategi. Vi må derfor, uden skelen til det nuværende sektoropdelte system, tegne et teknisk billede af det energisystem, vi taler om. Et sådant billede er vist i figur 10.1.

Figur 10.1 er ikke en tegning af et bestemt nuværende



FIGUR 10.1 ENERGISYSTEMET

Dette billede viser, hvordan de dele, vi har omtalt i de foregående kapitler, tilsammen udgør et energisystem. Systemet består af tre delsystemer:

Forbrugssystemet til højre udgøres af alle husene med deres inventar af elektriske apparater og maskiner samt alle de motoriserede og eldrevne transportmidler. Alt det, der udgør vores daglige omgivelser og hjælpemidler. Det hele går ud på at holde forbrugssystemet i gang.

Energikilde-systemet til venstre omfatter kemiske energikilder i form af fossile brændsler og biomassebrændsler og elektriske energikilder. Vindkraft er allerede en betydelig elektrisk energikilde.

Energiomsætnings- og transmissionssystemet i midten omfatter alle de anlæg (kraft- og kraftvarmegærker, fjernvarmegærker, individuelle opvarmningsanlæg, m.fl.), hvori kemisk energi og elektrisk kraft fra energikilderne omsættes til den varme, el og mekaniske drivkraft, der tilføres forbrugssystemets huse og transportmidler. Også motorer og brændselsceller i køretøjer hører til i energiomsætningssystemet.

Termiske industrielle processer er industrielle produktionsprocesser, der bruger damp, hedt vand eller meget varm luft. Det kan være kemisk industri, slagterier, teglværker og metalstøberier. De er her placeret i energiomsætningssystemet, fordi de ofte med fordel kan have deres egne kraftvarmegærker og dermed indgå i den samlede energiomsætning.

eller fremtidigt energisystem. Tegningen viser de forskellige dele, der indgår i eller kan komme til at indgå i et energisystem på vore breddegrader. Den giver en oversigt over de forskellige investeringer, der kan indgå i en energipolitisk strategi. Investeringer i forbrugssystemets bygninger og transportmidler på den ene side. Investeringer i forskellige energikildeanlæg på den anden. Og i midten investeringer i de mange forskellige anlæg, der tjener til at omsætte og overføre (transmittere) elektrisk og kemisk energi fra energikilderne, sådan at forbrugssystemets behov for el og varme og drivkraft til transportmidler opfyldes.

Tegningen viser også, at systemet udgør en helhed, hvori alt hænger sammen. De investeringer, det er hensigtsmæssigt at foretage i energiomsætningsanlæggene i midten, afhænger både af de investeringer, der foretages i de forskellige typer af energikildeanlæg, og af de investeringer, der foretages i forbrugssystemets bygninger (efterisolering o.a.), transportanlæg og transportmidler. Omvendt afhænger økonomien i investeringer i bygninger af hvilke investeringer, der foretages i energiomsætningsanlæggene. F.eks. får man ikke noget ud af at investere i lav-temperatur opvarmningsanlæg i husene, hvis der ikke investeres i forsyningsanlæg, der kan udnytte den energiøkonomiske fordel ved de lavere temperaturer.

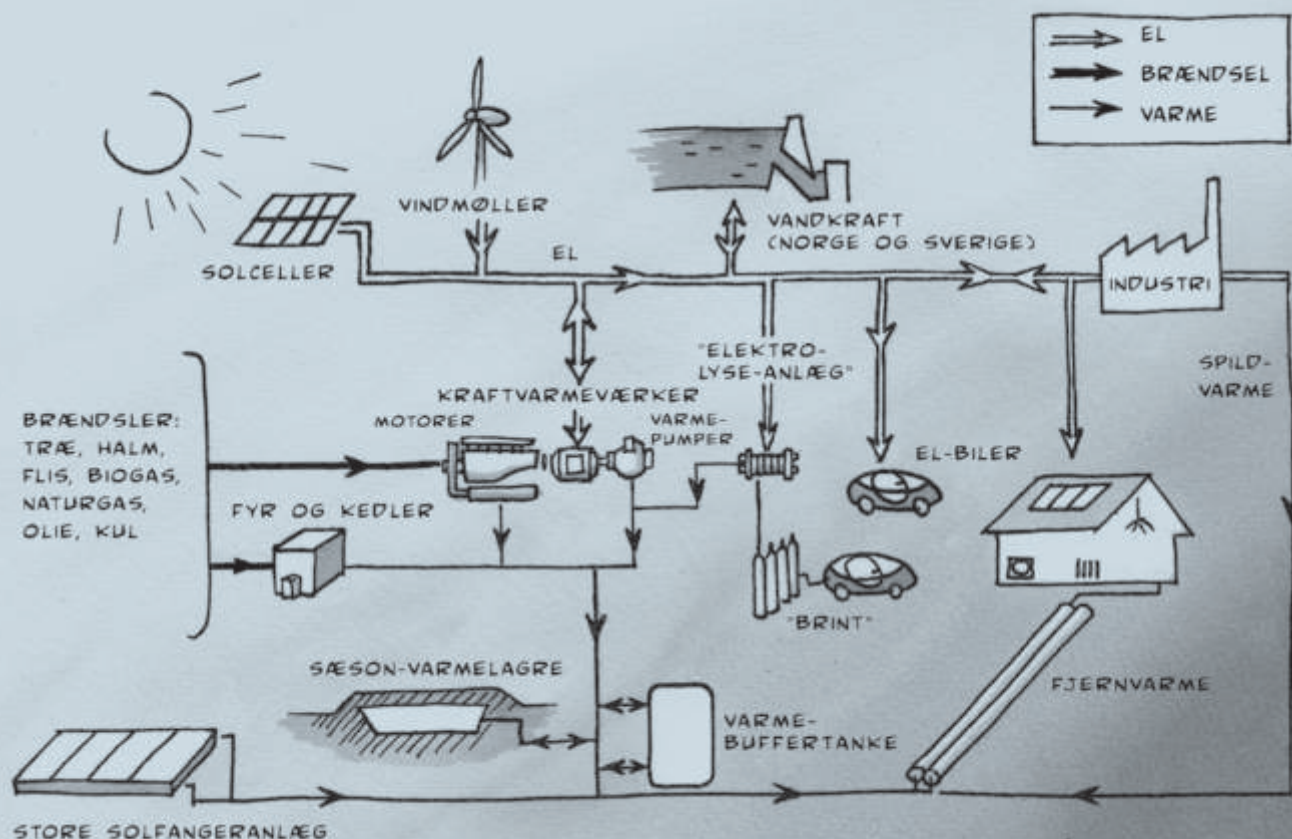
Figur 10.2 er en skitse af den tekniske sammensætning af et energisystem, hvor forskellige energikilder og anlæg spiller sammen. Det gælder om at få nedtrappet forbruget af fossile brændsler og dermed CO₂-udslippet uden unødige omkostninger. Derfor skal systemet konstrueres sådan, at de investeringer, der foretages i de forskellige anlæg, hele tiden kan udnyttes på en effektiv måde. Unødige tab (se kapitel 4, afsnit 4.7) skal undgås. Især gælder det om at udnytte den hele tiden varierende elektriske kraft fra vindmøller og eventuelt solceller, sådan at forbruget af fossile brændsler i el-producerende motorer bliver så lille som muligt, samtidigt med at varmeproduktionen dækker varmebehovet i bygningerne, og der

bliver mest mulig elektrisk kraft til rådighed til transport, efter at el-behovet i bygninger, industrier etc. er dækket.

Det er klart, at et energisystem med en teknisk indretning som den, der er skitseret i figur 10.2, ikke kan opdeles i indbyrdes uafhængige sektorer. El- og varmeproduktion hænger uløseligt sammen i kraftvarmeværker og "elektrolyseanlæg", og nogle industrivirksomheder vil kunne kombinere deres produktionsanlæg med el- og/eller varme-producerende anlæg. Som vist i figur 8.2 kan man med varmepumpeanlæg regulere forholdet mellem kraftvarmeværkernes el-produktion og deres varmeproduktion. Hvornår dét er hensigtsmæssigt afhænger af el-forbruget, varmekforbruget og el-produktionen i vindmøller og solceller. Temperaturerne i varmelagre (vandbeholdere og bassiner) spiller også ind.

Skitsen figur 10.2 viser et "elektrolyseanlæg", der spalter vand i ilt og brint (se figur 8.3). Sådan et anlæg skal køles. Man kan holde kølevandstemperaturen høj nok til, at kølevarmen kan udnyttes til fjernvarme. "Brinten" bruges i brændselsceller i køretøjer. Anførselstegnene omkring "elektrolyseanlæg" og "brint", er tilføjet for at antyde, at elektrisk kraft også på anden måde kan omsættes til kemisk energi, der kan bruges i køretøjer (se afsnit 8.4 og kapitel 9).

En energipolitisk strategi er en plan, der udstikker hovedretningslinier for en ønsket udvikling af energisystemet i de næste årtier. I praksis er den et investeringsprogram, der viser hvilke investeringer, man vil foretage for at opfylde de energipolitiske målsætninger. Hvis det ikke skal blive unødigt dyrt på grund af fejlinvesteringer, skal man vide, hvordan man vil indrette systemet. Og man skal vide hvilke investeringer, der giver mest for pengene. Det er økonomisk hasard at gå i gang med at bygge et højhus uden at have en tegning at gå efter, og man skal være meget heldig, hvis det ikke skal ende med, at det hele braser sammen.



FIGUR 10.2 FREMTIDENS ENERGISYSTEMER TEKNISK SET

I fremtidens energisystemer kommer mange forskellige anlæg i spil for at levere el og varme til bygninger m.m. og drivkraft til transportmidler.

En stor del af den elektriske kraft vil komme fra vindmøller, måske suppleret med el fra solceller. Der vil blive produceret el og varme i forskellige store, mindre og små kraftmaskiner: Damp turbine-kraftvarmeværker fyret med kul, naturgas og biomassebrændsler; gasmotorer fyret med naturgas, biogas eller gas fra biomasse-gasværker; brændselsceller tilført naturgas eller andre brændstoffer; m. fl. Varmepumper, der kører i samspil med kraftmaskinerne kan tjene til at regulere el- og varmeproduktionen i takt med forbruget (se figur 8.2).

De store og mindre kraftmaskiner og varmepumper vil være fælles forsyningsanlæg med fjernvarmenet. De helt små maskiner, evt. med varmepumper, vil være individuelle anlæg, placeret i de enkelte bygninger.

Store fælles solfangeranlæg kan supplere fjernvarmeproduktionen fra kraftvarmeværker. Hvis fjernvarmenettet forsynes med et stort såkaldt sæsonvarmelager, kan overskydende varmeproduktion i solfangeranlæg og kraftvarmeværker i sommertiden lagres til efteråret og vinteren.

Mindre buffer-varmelagre (som de varmtvands-siloer, der ses ved alle de decentralte kraftvarmeværker) tjener som stødpude (buffer) mellem kraftvarmeværk og fjernvarmenet, så varmeproduktionen ikke time for time behøver at følge forbruget.

Efterhånden som olieforbruget bliver nedtrappet, bliver det nødvendigt at overføre elektrisk kraft til transportmidler. Enten direkte til elektriske tog, sporvogne, trolleybusser og biler, eller indirekte ved at omsætte elektrisk kraft til kemisk energi i form af brint eller andet, der kan bruges i køretøjer. På figuren er omsætning af elektrisk kraft til kemisk energi illustreret som "Elektrolyse" (se figur 8.3), men det kan også ske på anden måde.

10.2 LOKALE ENERGISYSTEMER

De kan ikke deles op i en el-sektor, en varmesektor og en transportsektor, for det hele hænger sammen i en helhed, der hele tiden skal fungere på den mest energiøkonomiske måde.

I begyndelsen af 1980'erne foregik en intens debat om den fremtidige indretning af det danske energisystem. Skulle vi have en centraliseret energiforsyning med store kulfyrede kraftværker eller atomkraftværker? Eller skulle energiforsyningen decentraliseres i mange lokale energisystemer, der hvert for sig med egne kraftvarmeværker skulle sørge for el- og varmforsyningen i deres område i samspil med andre områder ved udveksling af elektrisk kraft gennem el-nettet? Energiministeriets Energiplan 1981 byggede på det centraliserede system. Den Alternative Energiplan 1983⁶² gik ud på den decentrale løsning. Tegningerne af energisystemet, figur 10.1 og 10.2, er kunstnerisk bearbejdede udgaver af tekniske stregtegninger fra 1983⁶³, der viser et lokalt energisystems bestanddele.

Princippet i decentraliseringen er, at de lokale forvaltere af et lokalt energisystem - i en by, i et byområde i en storby eller i en samling af småbyer i et landområde - kan indrette og drive systemet, sådan at det på den bedst mulige måde tilpasses til de lokale forhold og udnytter de lokale ressourcer så effektivt som muligt. El-nettet hægter de forskellige lokale energisystemer sammen i et landsdækkende kraftsystem, der også har store fælles havvindmølleparker hængt på (se kapitel 13, figur 13.1). Vindkraften fra de fælles møller fordeles på de lokale energisystemer, som løbende kan udveksle elektrisk kraft med hinanden.

Hvert af de lokale systemer er sammensatte systemer af den art, der er vist i figur 10.2. De kan ikke deles op i en el-sektor, en varmesektor og en transportsektor, for det hele hænger sammen i en helhed, der hele tiden skal fungere på den mest energiøkonomiske måde.

I et sådant energisystem kan man opnå en høj grad af for-

syningssikkerhed samtidigt med en effektiv udnyttelse af energiressourcerne. Borgerne i et lokalområde ved, hvem de skal sætte fra bestillingen, hvis der ikke er en god grund til, at deres el- og varmepriser er højere end i naboområdet. Og der vil være et naturligt marked for handel med elektrisk kraft mellem de forskellige lokale energisystemer.

I de beregningseksempler, der er vist i kapitel 15, er landet delt op i 70 lokale energisystemer, som dækker storbyområder, provinsbyerne og landområderne.

62) Frede Hvelplund, Klaus Illum, Johannes Jensen, Niels I. Meyer, Jørgen S. Nørgaard, Bent Sørensen: *Energi for Fremtiden. Alternativ Energiplan 1983* (AE83). Borgens forlag.

63) Klaus Illum: *Konsekvensberegninger af alternative investeringsprogrammer for energisystemer*. Aalborg Universitetsforlag 1983. Baggrundsrapport for AE83

11. SCENARIER FOR DEN FREMTIDIGE UDVIKLING

*Regeringer er nødt til at udvikle energipolitikker som fremmer en økonomisk og miljømæssigt sund udvikling.
Olieselskabet Chevron i The Economist*

Dette er teksten i en annonce Chevron – et af verdens største olieselskaber – indrykkede i det verdensomspændende ugemagasin The Economist 13.-19. august 2005. Annoncen er en anmodning til alle interesserede om at bidrage med forslag og analyser på hjemmesiden www.willyoujoinus.com

**Verden forbruger to tønder olie for hver tønde, der bliver fundet.
Er det noget du skulle bekymre dig om?**

Kendsgerningen er, at verden i de sidste tyve år har fundet mindre olie end den har brugt. Ikke nok med at efterspørgslen har været stadigt stigende, den olie vi har fundet, kommer fra steder, det er hårdt at nå. Dertil kommer at mere af den for nyligt opagede olie er af den slags, som det kræver store investeringer at raffinere. Og fordi efterspørgslen efter denne dyrebare ressource vil vokse – nogle regner med en stigning på mere end 40% frem til 2025 – vil det kræve en masse energi fra hver eneste mulige energikilde at skaffe energi til verdens voksende økonomiske velstand.

Energiindustrien er nødt til at frembringe mere fra eksisterende oliefelter og at fortsætte eftersøgningen af nye reserver. Bilfabrikanter må fortsætte med at forbedre brændstof-effektiviteten og perfektionere hybrid-bilerne. Der er brug for teknologiske forbedringer, sådan at vind, sol og brint kan blive mere levedygtige dele af energiregnskabet. Regeringer er nødt til at udvikle energipolitikker som fremmer en økonomisk og miljømæssigt sund udvikling. Forbrugerne må efterspørge – og være villige til at betale for – nogle af disse løsninger, samtidigt med at de hver især i praksis bestræber sig på energibesparelse.

Passivitet er ikke en valgmulighed. Men hvis alle arbejder sammen, kan vi i fællesskab få regnskabet til at gå op. Vi tager nogle af de skridt, som er nødvendige for at komme i gang, men vi behøver din hjælp for at komme resten af vejen.

The fact is, the world has been finding less oil than it's been using for twenty years now. Not only has demand been soaring, but the oil we've been finding is coming from places that are tough to reach. At the same time, more of this newly discovered oil is of the type that requires greater investments to refine. And because demand for this precious resource will grow, according to some, by over 40% by 2025, fueling the world's growing economic prosperity will take a lot more energy from every possible source.

The energy industry needs to get more from existing fields while continuing to search for new reserves. Automakers must continue to improve fuel efficiency and perfect hybrid vehicles. Technological improvements are needed so that wind, solar and hydrogen can be more viable parts of the energy equation. Governments need to create energy policies that promote economically and environmentally sound development. Consumers must demand, and be willing to pay for, some of these solutions, while practising conservation efforts of their own.

Inaction is not an option. But if everyone works together we can balance this equation. We're taking some of steps needed to get started, but we need your help to get the rest of the way.

11.1 ENERGIPOLITISK PLANLÆGNING EFTERLYSES - AF DE STORE VIRKSOMHEDER

Få år efter at vi her i landet har opgivet planlægningen til fordel for det frie energimarked.

Det er ikke kun Chevron, der ikke længere tror på, at markedet løser problemerne, og nu indtrængende beder alverdens regeringer om at udforme energipolitikker til det fælles bedste, sådan at portene til nye markeder kan blive åbnet. I maj 2005 sendte 12 store energiselskaber, deriblandt Shell og BP, et åbent brev til den britiske premierminister Tony Blair. I brevet skriver de blandt andet:

Regeringer har tendens til at føle sig begrænsede i deres evne til at indføre nye politikker til at formindske udslip af drivhusgasser, fordi de frygter modstand fra virksomheder, samtidigt med at virksomhederne er ude af stand til at gennemføre deres investeringer i lav-udslipsløsninger i fuld skala på grund af manglende langsigtede politikker.⁶⁴

Her i landet har skiftende regeringer i de 20 år fra 1977 - 96 opstillet langsigtede energiplaner. Den sidste er beskrevet i det daværende Miljø & Energiministeriums bog "Danmarks Energifremtider" fra 1996. Som bekendt har denne politiske planlægning med dens tilhørende sæt af afgiftsregler, beskatninger og tilskud afstedkommet en opblomstring af vindmøllemarkedet og af de markeder, der knytter sig til decentrale kraftvarmeværker. Kraftvarme- og naturgasudbygningen i begyndelsen af 1980'erne ikke at forglemme.

Det er den slags energipolitisk planlægning, de store virksomheder nu efterspørger. Få år efter at vi her i landet har opgivet planlægningen til fordel for det frie energimarked. Om det kun skete, fordi EU-direktiver tvang os til det, eller om det under alle omstændigheder ville være sket, fordi der også her i landet er udbredt politisk tilslutning til markedsideologien, er uvæsentligt. Men det burde ikke gå vore politikeres næse forbi, at virksomheder, der skulle have nydt godt af de

frie markedskræfters udfoldelse, nu så indtrængende beder om, at markedet bliver reguleret til det fælles bedste.

I en kronik i Jyllandsposten d. 23. august 2005 skriver Bjarne Lundager Jensen, direktør i Vindmølleindustrien:

Hvis vi i Danmark skal gøre os håb om at bevare en af de få kommercielle førertrøjer, vi har i den globale økonomi, kræver det ikke blot dygtighed i branchen. Men også politiske rammebetingelser, der mindst er på niveau med vore største konkurrenters. Ellers vil knowhow og arbejdspladser flytte andre steder hen i verden. Det har ingen af os råd til.

Som Chevron skriver: Passivitet er ikke en valgmulighed. Det vil sige, at hvis vi ikke hurtigt kommer i gang med at løse problemerne, så løser de sig selv på en måde, som ingen kan ønske sig. Nu gælder det om at få mange hænder op af lommerne og sætte gang i anden beskæftigelse end den, der går ud på at servicere og underholde hinanden. Service og underholdning kan vi kun leve af, så længe arbejdere i fjerne lande for en tier eller to om dagen sørger for at forsyne os med de fleste af de varer, vi fordeler imellem os i forhold til de lønninger, pensionsudbetalinger, spekulationsgevinster og andre overførselsindkomster, vi hver især får tilskrevet vores større eller mindre bankkonti. Og kun så længe olie og gas flyder i rigelige mængder til lave priser.

11.2 KONSTRUKTIV PLANLÆGNING FORUDSÆTTER VIDEN OM DET MULIGE

De sædvanlige slagord om "energieffektivitet", "vedvarende energi" og "energibesparelser" er ikke tilstrækkelige til at formulere en sammenhængende politisk strategi, der giver håb om at overvinde de problemer, samfundet står overfor, på en samfundsøkonomisk fornuftig måde. Det er nødvendigt at regne ud, hvad vi kan forvente som resultater af at iværksætte en række sammenhørende investeringsprogrammer.

64) "Governments tend to feel limited in their ability to introduce new policies for reducing emissions because they fear business resistance, while companies are unable to take their investments in low-carbon solutions to scale because of a lack of long-term policies."

Som sagt i det foregående kapitel står vi overfor en meget omfattende teknisk opgave. Opgavens løsning består i tilrettelæggelse og iværksættelse af store investeringsprogrammer. De skal hænge sammen, så vi får så meget som muligt ud af investeringerne. De sædvanlige slagord om “energieffektivitet”, “vedvarende energi” og “energibesparelser” er ikke tilstrækkelige til at formulere en sammenhængende politisk strategi, der giver håb om at overvinde de problemer, samfundet står overfor, på en samfundsøkonomisk fornuftig måde. Det er nødvendigt at regne ud, hvad vi kan forvente som resultater af at iværksætte en række sammenhørende investeringsprogrammer.

Det er selvfølgelig ikke så let at regne ud, hvilke investeringsprogrammer, der bedst - dvs. uden alt for store unødige udgifter - vil kunne opfylde de energipolitiske målsætninger. Men det kan for forskellige investeringsprogrammer lade sig gøre at sammenligne de samlede samfundsøkonomiske omkostninger, der kan forventes, hvis de gennemføres. Samtidigt kan det beregnes, hvor meget det fossile brændselsforbrug og CO₂-udslippet formindskes. Ved at sammenligne resultaterne for forskellige investeringsprogrammer kan man få et fornuftigt vidensgrundlag for energipolitiske beslutninger.

Sådanne beregninger kaldes “scenarieberegninger”. Et “scenarie” betyder her et muligt fremtidigt forandringsforløb, der under nogle givne forudsætninger kan komme i stand ved at gennemføre nogle bestemte investeringsprogrammer. Der er ikke tale om spådomme eller forudsigelser. Det drejer sig kun om at give svar på spørgsmålet:

Hvor meget vil forbruget af fossile brændsler og CO₂-udslippet kunne formindskes, hvis der over en årrække investeres så og så meget i bestemte bygningsforbedringer, nye transportmidler, udbygning med forskellige former for energikilder og bestemte tekniske forbedringer af energiomsætningssystemet m.m. (se figur 10.1 og 10.2)?

Svaret på et sådant spørgsmål afhænger selvfølgelig af, hvor mange flere huse, der bliver bygget; hvor mange men-

nesker og varer, der hvert år skal transporteres med forskellige transportmidler; hvor mange varer af forskellig art, der vil blive produceret i virksomhederne; hvad og hvor meget landbruget kommer til at producere. I hvert enkelt scenarieforløb er der gjort bestemte antagelser om de fremtidige forandringer af disse mængder.

En scenarieberegning er et computer-eksperiment, en slags computer-spil. Man opstiller nogle forudsætninger (antagelser) om den fremtidige vækst i opvarmede bygningsarealer, el-apparatbestande, transportmængder m.m. Endvidere forudsættes det, at der i de kommende år foretages nøjere angivne tekniske forbedringer i forbrugssystemet og i nye energikilder (se figur 10.1). Også den fremtidige udvikling af energiomsætningssystemets sammensætning og den tekniske udvikling af dets forskellige maskiner og anlæg specificeres (se figur 10.1 og 10.2). Computer-programmet regner så ud, hvad der under de givne forudsætninger vil kunne opnås. Men det er et kompliceret legetøj, fordi der er hundreder af forskellige størrelser, der kan ændres i de fremtidige forløb, og en masse sammenhænge mellem disse størrelser, som beregningsprogrammerne skal holde rede på. Det kræver udviklede programmer at håndtere hele dette kompleks.

11.3 SCENARIEBEREGNINGER FOR DET DANSKE ENERGISYSTEM

Det ville være fordelagtigt, hvis den danske planlægning kunne koordineres med planlægningen i vore nabolande. Men det forudsætter et fælles planlægningsgrundlag.

I denne bogs sidste kapitel - kapitel 15 - vises nogle resultater af scenarieberegninger af forandringsforløb, der under de givne forudsætninger kunne finde sted i det danske energisystem i de kommende 25 år. Beregningerne er udført med beregningsmodellen SESAM⁶⁵ på grundlag af en omfattende og detaljeret database for det nuværende danske energisystem.

65) SESAM (The Sustainable Energy Systems Analysis Model) er udviklet af Klaus Illum i årene 1990 - 2004. SESAM består af et omfattende system af beregnings- og dokumentationsprogrammer. En SESAM-model af et nationalt eller regionalt energisystem (se figur 10.1 og 10.2) består af en database, der indeholder tekniske data og geografiske data for systemets nuværende anlæg, bygninger, etc. samt angivelser af de fremtidige forbedringer, der kan tænkes gennemført rundt omkring i systemet. SESAM gør det muligt at gennemregne en lang række scenarier for

energisystemets fremtidige udvikling og sammenligne de formindskelser af fossilt brændselsforbrug og CO₂-udslip, der opnås i de forskellige scenarier. Også de forventelige samfundsøkonomiske omkostninger og besparelser, der opnås under forskellige forudsætninger om fremtidige brændselspriser og andre priser, beregnes. Metoden er beskrevet i Klaus Illum: *SESAM - The Sustainable Energy Systems Analysis Model*. Aalborg Universitetsforlag 1996. En kortfattet beskrivelse af metoden samt resultater af en række scenarieberegning-

Scenarieberegningerne omfatter kun det danske energisystem. De inddrager ikke de tekniske muligheder, der ligger i import eller eksport af elektrisk kraft i større omfang mellem Danmark og nabolandene. Det er fordi, formålet med beregningerne er at undersøge de tekniske muligheder, der tegner sig for at formindske fossilt brændselsforbrug og CO₂-udslip. Med en beregningsmodel kan disse muligheder naturligvis kun undersøges for det område, modellen omfatter. Hvad der ligger udenfor dette område, kan beregningerne ikke sige noget om.

Det er urealistisk at forestille sig en teknisk energisystem-model, der omfatter hele Europa. Og selvom det kunne lade sig gøre at lave sådan en model, ville resultaterne ikke være brugbare til politiske beslutninger. EU-kommissionen kan ikke formulere en energipolitisk strategi, der udstikker konkrete retningslinier for de investeringer, der skal foretages i de enkelte medlemslande. En fælles EU-energipolitik kan omfatte fælles regler for regulering af markedet: Fælles CO₂-afgifter; fælles regler for tildeling af CO₂-kvoter og for handel med kvoter; fælles tekniske normer for el-apparater og bilers energieffektivitet; og andre former for fælles markedsregulering. Men medlemslandene må selv hvert især varetage den konkrete investeringsplanlægning - i det omfang EU's el-markedsdirektiver tillader det, se kapitel 12 og 13.

Det ville være fordelagtigt, hvis den danske planlægning kunne koordineres med planlægningen i vore nabolande. Men det forudsætter, et fælles planlægningsgrundlag. Der er lavet en SESAM-model for det nordiske energisystem (Norge, Sverige, Finland og Danmark).⁶⁶ En sådan model kan tjene til at tilvejebringe et grundlag for en fælles nordisk planlægning.

Her må vi indskrænke os til at se på mulighederne i Danmark for sig. Det betyder, at der ikke kan indgå en betydelig årlig netto-udveksling af elektrisk kraft med vore nabolande i scenarieberegningerne. For vi kan ikke vide, hvordan en sådan udveksling i de kommende år vil påvirke fossilt brændselsforbrug og CO₂-udslip. Det afhænger af,

hvad der kommer til at ske i disse lande. Men vi kan regne med, at der hvert år henad vejen i et begrænset omfang sker en el-udveksling med især Norge og Sverige, sådan at Danmark kan eksportere el på tidspunkter, hvor vi har overskud, og importere på tidspunkter, hvor det er fordelagtigt. Bare regnskabet nogenlunde balancerer på årsbasis.

11.4 PASSIVITET ER IKKE EN VALGMULIGHED

Det Chevron siger med udsagnet "Passivitet er ikke en valgmulighed" er, at vi er på en kurs, der fører ind i et tåget farvand, som vi ved er fuldt af isbjerge, og at vi støder på grund, hvis vi ikke først rammer et isbjerg.

Er det virkelig sådan, at der er store goder, vi kun kan opnå ved at fastholde kursen ind i det farefulde farvand? Det tyder beregningsresultaterne ikke på.

Med SESAM-modellen af det danske energisystem kan man gennemregne et væld af forskellige scenarier og foretage systematiske sammenligninger af beregningsresultaterne. Men det er selvfølgelig ikke alle teknisk mulige scenarier, det er relevant at tage i betragtning. Nogle er urealistiske eller uinteressante, fordi de ikke tilnærmelsesvist opfylder de energipolitiske målsætninger, eller fordi de forudsætter en økonomisk udvikling som er urealistisk eller i hvert fald ikke ønskelig.

Det har i mange år været skik og brug at sammenligne forskellige alternative scenarier med et såkaldt business-as-usual-scenarie. Et business-as-usual-scenarie er et scenarie, hvor tingene bare kører videre som de plejer. Det har intet med virkeligheden at gøre, for én ting er sikkert: Intet i denne tid er som "det plejer at være", selvom "plejer" kun udstrækkes til de sidste ti år. Ser vi ti år frem, må vi regne med, at vi løber ind i uforudsigelige problemer, hvis vi ikke snart kommer i gang med at løse de problemer, vi kan se for næsen af os.

Chevron skriver: Passivitet er ikke en valgmulighed.

ger for det danske energisystem kan findes i rapporten Klaus Illum: *Energiøkonomi 2005 - 2030. Veje til et nyt energisystem* (2004). Denne rapport, som blev udarbejdet til Nyhedsmagasinet Ingeniøren, kan findes på www.ing.dk eller rekvireres hos forfatteren.

66) Den nordiske SESAM-model er lavet til Greenpeace med det formål, at undersøge hvordan det nordiske energisystem med dets store vandkraftressourcer kan gøres uafhængigt af atomkraft samtidigt med, at der sker en kraftig nedtrapning af forbruget af fossile brændsler.

Hvorfor nu ikke det? Man kan vel altid vælge at blive liggende i hængekøjen et par timer endnu. Nej, ikke hvis den hænger i et råddent reb, som knækker, når man rækker ud efter den næste drink eller bajer.

Hvordan var det nu, det gik med Titanic på Nordatlanten den nat i april i 1912? Var det ikke sådan, at skibсреderen valgte en hurtigere nordligere kurs, selvom den førte gennem et farvand med isbjerge? Da manden i udkigstønden så isbjerget forude, var det for sent at dreje af. De fleste ombordværende og langt de fleste af de fattige passagerer med køjer i bunden af skibet måtte den nat lade livet.

Et sådant scenarie er muligt - mange civilisationer er gået til bunds. Men det er ikke et, vi kan regne på, for vi ved ikke nøjagtigt, hvor isbjergene befinder sig. Det giver kun mening at regne på scenarier, der udstikker en kurs uden om farvande, hvor der er åbenbar risiko for forlis.

Det Chevron siger med udsagnet "Passivitet er ikke en valgmulighed" er, at vi er på en kurs, der fører ind i et tåget farvand, som vi ved er fuldt af isbjerge, og at vi støder på grund, hvis vi ikke først rammer et isbjerg. Olie- og naturgasforsyningsproblemer er nok de isbjerge, der er tættets på. Bratte klimaforandringer truer måske først lidt længere væk. Så dem slipper vi for at bekymre os om, hvis vi støder ind i et af de første isbjerge.

Lige siden Brundtland-rapporten *Vores fælles fremtid*⁶⁷ i 1987 blandt andet satte klimaproblemet på den verdenspolitiske dagsorden, er vi blevet belært om, at det vil være meget dyrt at nedtrappe CO₂-udslippet. Det må betyde, at hvis vi bruger arbejdskraft og ressourcer på at nedtrappe CO₂-udslippet, så er der mange andre af tilværelsens goder, vi må give afkald på. Måske. Men 1500 besætningsmedlemmer og passagerer på Titanic måtte give afkald på alt.

Når man som ejeren af Titanic vælger kursen gennem farefuldt farvand, fordi det er dyrt at styre udenom, er det fordi, man føler sig sikker på, at et sammenstød med et isbjerg kun vil give nogle skrammer og buler, som det ikke vil være

meget dyrt at reparere. Det følte Titanic's ejer sig sikker på. Skibet var bygget, sådan at det ikke kunne synke. Det havde dobbelt skrog, opdelt i 16 vandtætte adskilte dele. Men der var noget man ikke havde tænkt på.⁶⁸

Når nu Chevron i kor med mange andre i udkigstønden råber: "Vi er på farlig kurs" - Passivitet er ikke en valgmulighed - så må man have et guddommeligt udsyn ind i fremtiden, hvis man tager ansvaret for at fastholde kursen, fordi man tror, at vi må give afkald på mange goder - at "det bliver dyrt" - hvis vi drejer skuden 90 grader til bagbord.

Et sådant udsyn har vi ikke. Derfor ser vi kun på scenarier, hvor der styres mod mindre farefuldt farvand. Så kan vi se, om den ene kurs tegner til at blive væsentligt dyrere end den anden, og om det er dyrere at sætte farten op væk fra risikozonen end at tage den mere med ro.

Er det virkelig sådan, at der er store goder, vi kun kan opnå ved at fastholde kursen ind i det farefulde farvand? Det tyder beregningsresultaterne ikke på.

11.5 A-, B-, C-SCENARIERNE

De i kapitel 15 viste A-, B-, C-scenarier er udvalgt, fordi de viser, at det nødvendige kan forenes med en konsolidering og videreudvikling af velfærdssamfundet.

I denne bogs sidste kapitel findes nogle kurver og tabeller, der sammenfatter beregningsforudsætninger og hovedresultater for tre scenarier, der har fået betegnelserne A, B og C. Disse kurver og tal er anbragt bagest, dels fordi de skal kunne ses i deres indbyrdes sammenhæng, dels for at markere at der er tale om eksempler, ikke om forslag til energipolitiske strategier. Man kan let opstille andre scenarier ved at ændre beregningsforudsætningerne og hurtigt få regnet ud, hvad der kan opnås, hvis de investeringer, der foretages i disse scenarier, gennemføres.

De i kapitel 15 viste A-, B-, C-scenarier er udvalgt, fordi de

67) Brundtland-kommissionen var en kommission nedsat af FN's generalforsamling til at give en redegørelse for verdens miljø- og udviklingsproblemer og opstille et "globalt program for ændringer". World Commission on Environment and Development.

68) Når skibets stævn sank længere ned i vandet, kunne vandet løbe ovenover de vandtætte skotter. Man havde glemt at tænke på, at forholdene ændrede sig, nårulykken var indtrådt.

viser, at det skulle være muligt at opnå en markant forbedring af landets forsyningssikkerhed og en tilsvarende markant formindskelse af CO₂-udslippet på en sådan måde, at der ikke bliver færre men flere goder til fordeling imellem os. Med andre ord, at det nødvendige kan forenes med en konsolidering og videreudvikling af velfærdssamfundet.

De følgende afsnit handler om de mange forskellige forhold og størrelser, der indgår i beregningerne.

11.6 SAMFUNDSØKONOMI

Samfundsøkonomi drejer sig om den samlede mængde af varer og goder.

Fordelingsøkonomi drejer sig om, hvordan vi fordele goderne imellem os.

Der er en vis mængde af varer og goder til fordeling imellem os - for tiden en mængde så stor som aldrig før. Vi kan se dem i butiksgader og indkøbscentre, på byggepladser, i restauranter, i rejsebureauer, hos autoforhandlerne og på gader, veje og jernbaner. Samfundsøkonomi drejer sig om den samlede mængde af varer og goder. Fordelingsøkonomi drejer sig om, hvordan vi fordele goderne imellem os.

Ét af de spørgsmål, der stilles i dette kapitel er, som sagt, om der er grund til at tro, at der bliver færre andre goder til fordeling, jo mere arbejdskraft og andre ressourcer vi bruger på at gøre os mindre afhængige af fossile brændsler og dermed at nedtrappe CO₂-udslippet.

For at besvare det spørgsmål, bliver vi nødt til at sætte tal på den arbejdskraft og de ressourcer, der vil medgå til at gennemføre bestemte investeringsprogrammer og til at vedligeholde og drive energisystemets mange forskellige anlæg. Dertil kommer den for tiden største post i regnskabet, nemlig brændselsudgifterne.

Her er vi nødt til at gøre den noget tvivlsomme antagelse, at priserne på de forskellige maskiner, anlægsarbejder m.m. er et rimeligt mål for den arbejdskraft og de andre

ressourcer, der medgår til at fremstille tingene. Antagelsen er tvivlsom, fordi der i priserne også indgår fortjenester, som mere eller mindre hører hjemme i fordelingsøkonomien. Alligevel antager vi, at vi ved at opsummere alle priserne på de ting, der anskaffes og bygges, får et rimeligt mål for den arbejdskraft og de ressourcer, der medgår til at gennemføre et bestemt investeringsprogram for energisystemet som helhed.

De poster, der her tages i regning, omfatter

- 1) Anlægsinvesteringer
- 2) Drift og vedligeholdelse og afskrivninger
- 3) Køb af brændsler
- 4) Køb og salg af el fra/til udlandet

Alle de forskellige ting, der investeres i i et bestemt scenarie, er prissat i et priskatalog. I dette katalog findes priser på forskellige typer af vindmøller, forskellige typer af maskiner i kraft- og kraftvarmeværker, opvarmningsinstallationer i bygninger osv., og også overslag over gennemsnitlige priser på varmebesparelser ved efterisolering af bygninger. Også drift og vedligeholdelse af anlæg er prissat. Endvidere er de forskellige anlægstypers levetider angivet, sådan at de årlige afskrivninger på grund af nedslidning kan beregnes. I de fleste tilfælde er der foruden nuværende priser også angivet en forventet prisudvikling i de kommende år.

Det skal bemærkes, at alle de priser, der indgår i opsummeringen, er uden moms, afgifter, statstilskud og skatter. Disse beløb hører hjemme i fordelingsøkonomien.

Det skal også bemærkes, at man ikke kan udlede el- og varmepriser af resultaterne af samfundsøkonomiske omkostningsberegninger. Allerede i dag kommer størstedelen af el- og varmeproduktionen fra kraftvarmeværker. Fordelingen af disse værkers produktionsomkostninger på el og varme er bestemt af politisk bestemte regelsæt. Det er et fordelingspolitisk anliggende.

Ligesom man ikke kan fordele el-forbruget i en sødmælks-

centrifuge på den fløde og den skummetmælk, der kommer ud, kan man ikke fordele brændselsforbrug og driftsomkostninger i et kraftvarmeværk på el og varme.

11.7 VÆKSTER

Træerne vokser ikke ind i himlen. Enhver vækstkurve flader ud på et eller andet tidspunkt, hvis den ikke knækker nedad.

A-, B-, C-scenarierne er langt fra nul-vækstscenarier. Figur 15.1 (bag i bogen) viser vækstantagelserne. Kurverne er lidt slingrevorne. Deraf kan man se, at de ikke er fremkommet som resultat af teoretiske fremskrivninger. De viser bare i grove tal de vækster, der "er gjort plads til" i beregningsresultaterne. Det er "grove tal", fordi f.eks. vækstkurven for el-apparatbestande er vægtede gennemsnitsværdier for forskellige vækstantagelser for mange forskellige apparattyper. Vækstkurven for opvarmet bygningsareal viser den samlede vækst i forskellige bygningstyper.

Nogle vil måske mene, at en vækst på 20% i persontransport frem til 2030 er for lavt sat. Andre at det ikke er særligt ønskværdigt, at vi kommer til at bruge 20% mere af vores tid på den daglige transport. En tredje indvending mod denne forudsætning kan være, at det bliver alt for dyrt.

Det tager ikke lang tid at ændre vækst-antagelserne og regne ud, hvordan de samlede beregningsresultater så bliver. Men det er et afgørende politisk spørgsmål, om man vil tro på, at det går an at lade væksten have frie tøjler, eller om det er på tide at gribe ind med reguleringer.

Træerne vokser ikke ind i himlen. Enhver vækstkurve flader ud på et eller andet tidspunkt, hvis den ikke knækker nedad. Det gælder om ikke at komme så højt op ad kurven, at den knækker. Hvor det punkt ligger kan ingen forudsige. Som vist i figur 15.1, er det her antaget, at det kan blive ved at gå opad indtil 2030.

11.8 OLIEPRISEN

Nogle mener, at ny efterforsknings- og udvindingsteknologi vil bringe nok olie på markedet til at dække efterspørgslen i mange år endnu. De henviser til, at det hidtil har vist sig, at man kan forøge produktionen med ny teknologi. Men der er ingen tilgængelige konkrete data, der underbygger troen på, at produktionen kan følge med efterspørgslen mange år endnu.

Den fremtidige udvikling i brændselspriserne er en meget uvis størrelse i regnskabet. Vi kan regne med, at det er olieprisen, der er bestemmende for brændselspriserne, fordi naturgasprisen og kulprisen stiger i takt med olieprisen. Ingen kan med sikkerhed sige, hvordan råolieprisen vil udvikle sig i de kommende år. OPEC har mistet kontrollen med prisen, fordi OPEC-landene - først og fremmest Saudi Arabien - ikke har reservekapacitet til at bringe prisen ned ved at pumpe mere olie ud på markedet. OPEC-landene og andre olieproducenter er ikke kede af at få 55 dollar for hver tønde olie, de leverer. Men de er nervøse for, hvordan det går, hvis prisen bliver ved med at stige. Når den når op på en vis størrelse, kan elastikken springe.⁶⁹ Et mindre fald i efterspørgslen kan med ét få prisen til at rasle ned. Verdensmarkedspriserne kom i august 2005 op over 65 dollar per tønde. Det er stadig billigt i de rige lande, men et yderligere pres på samfundsøkonomierne i fattige lande, hvor regeringerne af sociale grunde holder forbrugerpriserne lave med statstilskud.

Man kan forestille sig, at elastikken springer, hvis råolieprisen i en længere periode holder sig på f.eks. 80 dollar per tønde. Det vil sige, at efterspørgslen falder, fordi der bliver arbejdsløshed og økonomisk tilbagegang i de lande, der ikke kan holde til presset. Så snart efterspørgslen kommer under udbuddet, falder prisen. Måske helt ned til 30 eller 40 dollar per tønde. Det er en økonomisk bet for de olieeksporterende lande, især OPEC landene, der har hårdt brug for pengene. Væksten i verdensøkonomien bremses op, men den nu meget lave oliepris kan være med til at sætte hjulene i gang igen. Så kommer næste runde. Olieefterspørgslen stiger, og så snart den kommer op på, hvad pro-

69) "De ved ikke, hvor dette magiske punkt har bevæget sig hen. Er det nu 65 dollar. Er det 75? Eller 80 dollar? De ønsker ikke at finde ud af det, for hvis prisen kom så højt op, kan kædereaktionen udløse et pris-kollaps."

"They don't know where this magic line has moved to. It is now \$65? Is it \$75? Is it \$80? They don't want to find out, because if you did have oil move that far north ...the chain reaction can come back to a price collapse again". Sagde en vestlig diplomat i Riyadh, Saudi Arabien, i maj 2005. Fra artiklen *The Breaking Point* af Peter Maas, The New York Times, 21. august 2005.

duktionen kan klare, ryger prisen til vejrs igen. Sådan kan det gå op og ned i nogle år. Men efterhånden vil olieprisen formodentlig stabilisere sig på et niveau, der begrænser efterspørgslen til det, producenterne kan levere. Derefter vil den formodentlig blive stigende år for år, med mindre det lykkes at nedtrappe efterspørgslen, uden at det medfører arbejdsløshed og økonomisk nedtur. Hvis det skal lykkes, skal der overalt i verden investeres i mindre olieafhængige teknologier og andre måder at nedtrappe olieafhængigheden på. Sådan som vist i scenarie-eksemplerne i kapitel 15.

Spørgsmålet er, hvor prisniveauet kommer til at ligge i de kommende år. Det amerikanske finansinstitut Goldman Sachs og den Internationale Valutafond har nævnt 100 dollar per tønde inden for et kortere åremål som et ikke usandsynligt bud. Matthew Simmons, præsident for Simmons and Company, Houston Texas, der er en af verdens største energiinvesteringsbanker, har indgået et væddemål på 3000 dollar på, at prisen i 2010 vil være oppe på mindst 200 dollar per tønde. Andre mener, at verdensøkonomien vil gå i koma før prisen kommer så højt op.

I bogen *The Oil Factor* (2004) gør de fremtrædende amerikanske investeringsrådgivere Stephen Leeb og Donna Leeb opmærksom på, at man ikke kan sammenligne situationen i dag med situationen under oliekriserne i 1973 - 1981. Dengang kunne man ret hurtigt nedbringe efterspørgslen ved at bygge oliefyrede kraftværker om til kul- eller naturgasfyrede. Samtidigt voksede olieproduktionen fra de nye felter i Nordsøen hurtigt. I dag er der kun få oliefyrede kraftværker tilbage. Og der er ingen "ny Nordsø" i syne. Forfatterne regnede i 2004 ikke med, at prisen ville komme op på 65 dollar per tønde allerede et år efter, men de skriver i bogen, at industrielle investorer bør regne med, at den kommer op på 100 dollar per tønde i løbet af det næste årti.

Her i landet regner regeringen i sin *Langsigtet energistrategi 2025* (juni 2005) med, at prisen frem til 2030 vil være mellem 20 og 50 dollar per tønde. Den formodning stam-

mer fra Det Internationale Energiagentur (IEA), der i 2004 regnede med en pris på 30 dollar per tønde i 2030. Den forudsigelse bygger på bl.a. to forudsætninger:

1) at efterspørgslen kun vil stige med 1.6% om året frem til 2030

2) at olielandene i Mellemøsten til enhver tid kan fylde op, når tanken er ved at løbe tør.

Det ser ikke ud til, at den første forudsætning holder. I 2004 steg det globale forbrug med 3,6%, og IEA regner nu med, at det i 2005 og 2006 stiger med 2% om året⁷⁰.

Den anden forudsætning betyder blandt andet, at Saudi Arabien skal fordoble sin produktionskapacitet fra de ca. 11 mio. tønder/dag, som de for tiden kan klare, til ca. 22 mio. tønder/dag i 2025. Det nationale Saudi Arabiske olieselskab Aramco regner med, at de kan komme op på 12,6 mio. tønder/dag i 2009. Den saudiske olieminister siger, at de derefter kan forøge produktionen til 15 mio. tønder/dag. Den fornyligt pensionerede direktør for Aramco, Sadad al-Husseini, siger, at man måske kan øge produktionen til 15 mio. tønder/dag, men så risikerer man at ødelægge oliefelterne, så en masse olie, der kunne være udvundet ved en langsommere udvinding, går tabt. På spørgsmålet om Saudi Arabien nogensinde vil kunne producere 20 mio. tønder/dag, svarer han kort og godt: Nej.

Nogle mener, at ny efterforsknings- og udvindingsteknologi vil bringe nok olie på markedet til at dække efterspørgslen i mange år endnu. De henviser til, at det hidtil har vist sig, at man kan forøge produktionen med ny teknologi. Men der er ingen tilgængelige konkrete data, der underbygger troen på, at produktionen kan følge med efterspørgslen mange år endnu.

Uvisheden taget i betragtning er de samfundsøkonomiske omkostningsberegninger gennemført i de tre oliepristilfælde, der er vist i kapitel 15, tabel 15.1.

70) I 2005 har IEA ændret sine fremskrivninger i forhold til 2004. Forbrugsstigningen antages nu kun at blive 1.3% om året i gennemsnit over perioden 2004 - 2030: 2% om året fra 2004 til 2010, 1.3% om året fra 2011 til 2020 og kun 1% om året fra 2021 til 2030. På den måde kan IEA nedskrive sine forudsigelser om produktionen i Mellemøsten, sådan at der i 2030 "kun" skal kunne produceres 45 mio. tønder/dag i stedet for 53 mio. tønder/dag som forudsagt i 2004 (IEA World Energy Outlook 2004 og 2005).

11.9 INVESTERINGER I FASTE ANLÆG

De faste anlæg omfatter alle de anlæg og bygninger, der er skitseret i figur 10.1 og 10.2, bortset fra transportmidler og transportanlæg. Tabel 15.2 og 15.3 giver en oversigt over de vigtigste ændringer, der i scenarierne A, B og C sker i denne del af systemet.

Som nævnt i afsnit 11.6 kan man ved prisansættelser af investeringer i faste anlæg få et rimeligt grundlag for sammenligninger af de samlede samfundsøkonomiske omkostninger, der kan forventes ved at gennemføre forskellige investeringsprogrammer (scenarier). Hovedtal for de investeringer i faste anlæg, der indgår i scenarierne A, B og C, er vist i tabel 15.3. Graferne i figur 15.3 viser de samlede omkostninger, fordelt over årene.

11.10 FORANDRINGER PÅ TRANSPORTOMRÅDET

På transportområdet er der ikke grundlag for at prissætte de mange forskellige investeringer, der kan komme på tale. Der kan blive tale om investeringer i udbredelse af nye former for drivkraft til biler; i jernbaner og sporveje; i nye havneanlæg og godsterminaler; og måske helt nye former for persontransport. Sådanne investeringer kan kun prissættes i konkrete projekter.

Her kan vi kun i store træk beskrive de forandringer på transportområdet, der indgår i de betragtede scenarier. Der er en lang række fordelingsmæssige og tekniske forhold, der har indflydelse på ressourceforbrug og miljøbelastninger:

1) Transportmængderne:

For persontransport regnes transportmængden i "personkilometer". Hvis 100 personer transporteres 1 km, eller 1 person transporteres 100 km, er transportmængden 100 personkilometer. På samme måde regnes godstransportmængden i "tonkilometer".

I alle de tre scenarier er det antaget, at væksten i person- og godstransportmængder bliver som vist i figur 15.1.

2) Fordeling på individuel og kollektiv transport:

I de forskellige scenarier er der forskel på, hvordan persontransporten i fremtiden fordeles på biler og kollektive transportmidler, og hvordan den indenlandske godstransport fordeles på lastbiler, godstog og skibe. Forskellene er vist i tabel 15.4.

3) Hvor meget drivkraft, der skal tilføres hjulene:

Hvor meget drivkraft, der skal tilføres hjulene for hver "personkilometer" afhænger af mange forskellige ting:

- *Hvor mange personer*, der gennemsnitligt er i hver bil, og hvor mange sæder og ståpladser, der gennemsnitligt er besat i hver togvogn eller bus. Jo flere der kører med i hver bil, bus eller tog (jo større "belægningsprocenten" er), jo mindre drivkraft skal der tilføres hjulene for hver personkilometer.

- Tilsvarende gælder det for lastbiler og godstog, at jo færre kilometer, der køres med tomme eller halvtomme vogne, jo mindre drivkraft skal der tilføres hjulene for hver tonkilometer.

- *Hvor tunge køretøjerne er*, og hvor stor luftmodstanden og rullemodstanden mellem dæk og vejbane eller hjul og skinner er.

- *Og ikke mindst hastigheden*. En personbils brændstofforbrug vokser med ca. 40%, når hastigheden forøges fra 80 til 120 km/timen.

Som vist i tabel 15.5, er der i de her betragtede scenarier regnet med en vis formindskelse af den drivkraft, der skal tilføres hjulene for hver personkilometer og hver tonkilometer.

4) Motorer og deres energi-effektiviteter:

Hvilke typer af motorer, der bruges i de forskellige transportmidler, og energieffektiviteten af disse motorer spiller selvfølgelig også en væsentlig rolle for ressourceforbrug og miljøbelastning. Som vist i tabel 15.6, er det i de forskellige scenarier antaget, at der sker større eller mindre ændringer i den procentvisse fordeling af fremdrivningskraften på de forskellige motor-typer. Også de antagne forbedringer af motorernes energi-effektivitet er vist.



ENERGIPOLITIK I EL-
OG CO₂-KVOTEMARKEDET

DEL 5

12. EL-MARKEDET

Uanset om et el-selskab var et aktieselskab, et statsligt selskab eller et forbrugerejet selskab, skulle det sørge for forsyningssikkerheden i det land eller den landsdel, det dækkede. Dette vilkår blev grundlæggende ændret i det liberaliserede el-marked, der blev etableret med EU el-markedsdirektivet af 1996.

Det moderne samfunds tekniske rygrad er den elektriske kraftoverførsel fra kraftværker til alle de maskiner, apparater og lamper, der holder samfundet kørende. Alt går i stå, når strømmen går. Nogle få dage uden spænding på el-nettet har alvorlige følger. Efter en uge kan det blive katastrofalt. Det er meget generende for masser af mennesker, at det danske jernbanenet ikke er blevet ordentligt vedligeholdt. Men hvis el-forsyningen svigter er det ikke kun generende. Vi ville kunne leve med jævnlige strømafbrydelser, så længe de er kortvarige, men det bliver meget anderledes end det, vi er vant til.

Vi har vænnet os så meget til konstant spænding og frekvens i el-nettet, at det forekommer os lige så selvfølgelig og naturligt som solens gang på himlen. I det daglige tænker vi ikke på, at konstruktionen af dette system, der overfører elektrisk kraft fra hundreder af store og små kraftværker og vindmøller til millioner af forbrugere, er et imponerende stykke ingeniørarbejde, og at vi allesammen er afhængige af, at det er solidt lavet og år for år bliver vedligeholdt og fornyet.

Udviklingen af el-systemet efter anden verdenskrig blev organiseret på helt forskellige måder i de forskellige vesteuropæiske lande og i de forskellige delstater i USA. I nogle lande var det private virksomheder, der stod for bygning og vedligeholdelse af kraftværker og ledningsnet. I andre lande blev hele systemet nationaliseret. I Danmark var det forbrugerejede andelsselskaber og kommunale selskaber, der varetog opgaverne. De forskellige organisationsformer havde indflydelse på de el-priser, de forskellige små og store forbrugere kom til at betale, men el-syste-

merne fungerede i alle landene. Strømafbrydelser forekom kun sjældent. For uanset om et el-selskab var et aktieselskab, et statsligt selskab eller et forbrugerejet selskab, skulle det sørge for forsyningssikkerheden i det land eller den landsdel, det dækkede. Dette vilkår blev grundlæggende ændret i det liberaliserede el-marked, der blev etableret med EU el-markedsdirektivet af 1996.

12.1 NATIONAL, REGIONAL OG LOKAL FORSYNINGSSIKKERHED FØR MARKEDET

Forsyningssikkerhed var et teknisk anliggende for nationale eller regionale el-forsyningsselskaber og lokale distributionsselskaber.

Flyselskaber kan have forskellige grundlag for fastsættelsen af deres billetpriser, afhængigt af om de er nationale eller private. Men de har ét tilfælles: sikkerheden. Hvis et selskabs fly styrter ned hyppigere end andre selskabers, kommer de til at lukke butikken, ligegyldigt om den er en national eller privat monopolvirksomhed eller ikke. Tilsvarende gjaldt det for private såvel som nationale og forbrugerejede el-selskaber, at hvis de ikke sørgede for forsyningssikkerheden, ville der straks blive grebet ind fra statens side. Uanset om strømsvigt skyldtes, at ledningsnettet ikke var blevet tilskrækkeligt udbygget og ordentligt vedligeholdt, eller det skyldtes, at kraftværkerne ikke kunne klare belastningerne.

Forsyningssikkerhed var et teknisk anliggende for nationale eller regionale el-forsyningsselskaber og lokale distributionsselskaber. Et forsyningsselskab var ansvarligt for forsyningssikkerheden i det land eller den landsdel, det dækkede, og et lokalt distributionsselskab var ansvarligt for, at ledningsnet og transformatorer i dets område var i orden. I Danmark sørgede andelsselskabet Elsam for el-forsyningen vest for Storebælt. På Sjælland og Lolland-Falster var det de kommunalt ejede selskaber SEAS, IFV og Københavns Belysningsvæsen. Disse kraftværkselskaber sørgede også for

udbygning og vedligeholdelse af de højspændingsledninger, der udtråler fra kraftværkerne og går gennem landet fra nord til syd og øst til vest på geledder af de høje, brede master.

Distributionsselskaber, der var kommunalt ejede eller organiserede som andelsselskaber - efterkommere af de gamle transformatorforeninger - sørgede for, at der var ledninger fra højspændingstransformator-stationer ud til forbrugerne. Og de aflæste el-målerne i husene og udskrev el-regninger.

Alle disse selskaber var forbrugerejede eller kommunalt ejede non-profit selskaber, der fungerede efter hvile-i-sig-selv princippet. Hvis de fik overskud på deres årsregnskaber, skulle det tilbageføres til forbrugerne i form af lavere el-priser næste år. Hvis der var brug for nye kraftværker eller ledningsnet, måtte selskaberne dog opkræve pengene til sådanne investeringer på el-regningerne over en fem-årig periode.

12.2 FRA MONOPOL TIL MARKED

Det erklærede formål med EU el-markedet er at sikre alle producenter adgang til at levere til det fælles el-net, og at sikre alle forbrugeres ret til at "vælge deres el-leverandør", for på den måde at skabe konkurrence i et åbent, liberaliseret marked.

Det tekniske ansvar for forsyningssikkerheden betød, at el-forsyningsselskaberne i Europa havde monopol på forsyningen i de områder, de dækkede. Det medførte nogle almindelige monopolproblemer. Når der var tale om aktieselskaber, kunne de lave aftaler om gunstige priser med storforbrugere på den almindelige forbrugers bekostning og indkassere urimeligt høje profiler. Og hvad enten de var private eller nationale, havde monopolselskaberne ikke nødvendigvis tilstrækkelige tilskyndelser til at sørge for, at systemet blev drevet på den mest økonomiske måde. Også det kunne give unødigt høje forbrugerpriser. Dertil kom, at monopolselskaberne i almindelighed var modstræbende over for at lade vindmøller og nye decentrale kraftvarmeværker komme ind på deres forsyningsområder.

Disse problemer og uhensigtsmæssigheder bidrog i 1980'erne til at fremme en EU-politik, der gik ud på at nedbryde monopolerne ved at konstruere et europæisk el-marked, hvor der handles med elektrisk kraft ligesom med andre varer, der handles med i EU's indre marked.

Margaret Thatchers regering i Storbritannien var først med en el-markedskonstruktion. Alle de virksomheder, skiftende Labour-regeringer havde nationaliseret efter anden verdenskrig, blev i Thatchers regeringstid fra 1979-1990 ført tilbage på private hænder. Det gjaldt også el-forsyningen. Men de værdier som skatteborgerne havde betalt til kraftværker og el-net kunne ikke overdrages til private monopolselskaber. De selskaber, der - for en favorabel pris - købte de nationale kraftværker, skulle konkurrere indbyrdes på det nye el-marked.

Det britiske el-marked blev etableret i 1990. Det kom i flere henseender til at danne model for det europæiske el-marked, der blev grundlagt med EU el-markedsdirektivet af 1996. Men til forskel fra det britiske marked, der opstod som en udløber af Thatcher-regeringens almindelige privatiseringspolitik, er EU el-markedet ikke baseret på privatisering. Der må gerne være statsejede selskaber i EU-markedet, bare de i alle henseender fungerer som private selskaber uden økonomisk støtte fra staten. Det erklærede formål med EU el-markedet er at sikre alle producenter adgang til at levere til det fælles el-net, og at sikre alle forbrugeres ret til at "vælge deres el-leverandør", for på den måde at skabe konkurrence i et åbent, liberaliseret marked.

12.3 EL-MARKEDSKONSTRUKTIONEN

Nu har du ret til at vælge. Den seneste EU-lovgivning på energiområdet bevirker nemlig, at alle forbrugere - senest fra juli 2007 - vil få mulighed for at "shoppe rundt" blandt flere gas- og el-leverandører.

CITAT FRA EU-KOMMISSIONENS BROCHURE:

Et fælles marked - Effektiv energi for alle.

Kan du nu vælge at få din strøm leveret fra en vindmølle ved Ringkøbing Fjord eller et atomkraftværk i Tyskland?

Nej, det kan du naturligvis ikke. Det, der i virkeligheden gemmer sig bag dette citat, står at læse i EU El-markedsdirektivet af 1996 med tilhørende senere opdateringer og uddybende tekster. Det er tung læsning. Men i princippet lader det sig forklare. Lidt lettere begribeligt, hvis vi i første omgang leger, at det ikke er el-forsyning, men vandforsyning af en lidt speciel art det handler om. I stedet for elektrisk strøm i el-ledninger tænker vi på vand, der strømmer gennem vandrør. I stedet for kraftværker tænker vi på pumpestationer. Den elektriske spænding i el-nettet, der skal holdes konstant, oversætter vi til en konstant vandstand i et vandtårn.

I dette tankeeksperiment udstrækker vi fantasien til et tænkt forsyningsområde, hvor alle de forskellige typer af forsyningsanlæg er i spil, lige fra vandkraft- og atomkraftdrevne kraftværker/pumpestationer til dem, der drives af vindmøller og små kraftvarmeverker.

Vandforsyning med pumpestationer, vandledninger og vandtårn.

En stor by forsynes med vand fra nogle store og små vandværker - pumpestationer. Nogle pumper vandet op fra undergrunden, andre fra en sø. Nogle af pumperne drives af kulfyrede dampmaskiner, andre af atomkraftværker, dvs. dampmaskiner, der får damp fra atomreaktorer. Der er også en flok små pumpestationer med gasmotorer og en hel række, der drives af vindmøller. Pumper drevet af vandkraftværker spiller en særlig rolle i vandforsyningen.

Alle disse forskellige pumpestationer pumper vand op i et vandtårn uden for byen. Gennem et stort rør ledes vandet fra vandtårnet ud til fordelingsstationer i de forskellige bydele. Derfra ledes det gennem mindre rør ud til forbrugerne. Det er teknikken.

Det er en speciel by. Forbrugerne kræver nemlig ubetinget, at vandtrykket skal være præcist det samme til enhver tid. Det vil sige, at vandstanden i vandtårnets beholder skal være konstant inden for nogle ganske få centimeter. Man

har ikke styr på, hvor meget vand forbrugerne tapper, så man bliver nødt til at styre den samlede vandmængde, der pumpes ind fra pumpestationerne præcist i takt med forbruget. Det kan lade sig gøre med en central kontrolpult i vandtårnet, hvorfra man hele tiden kan regulere oppumpningen fra hver enkelt pumpestation, bortset fra de, der drives af vindmøller eller atomkraftværker.

Med moderne computerkontrol af alle pumpestationerne virker det uden problemer. Vandtårn med kontrolpult og de største pumpestationer hører sammen i samme virksomhed, så de har styr på hele foretaget.

Forsyningssikkerheden i byen er rimeligt sikret, for der er ingen tvivl om, hvem der skal sættes fra bestillingen, hvis der sker hyppige forsyningssvigt. Men der er nogle problemer, der skyldes, at den virksomhed, der sørger for, at det hele virker, har monopol på vandforsyningen. Det betyder, at vandprisen kan være for stor, enten fordi virksomheden tiltager sig en stor profit, eller fordi nogle af dens pumpestationer er ineffektive og forældede. Dertil kommer, at virksomheden kan forhindre, at nye energieffektive og miljøvenlige pumpestationer - f.eks. vindmølledrevne - overtager noget af pumpningen fra dens igangværende mindre energieffektive og mindre miljøvenlige pumpestationer.

Markedet indføres

Disse problemer kunne løses med en lovgivning, som regulerede beregningen af forbrugerprisen og pålagde virksomheden at sørge for, at dens forsyningsanlæg løbende blev moderniseret, sådan at forsyningssikkerheden blev opretholdt på den mest miljøvenlige og ressourceøkonomiske måde. Men det politiske klima var ikke til kollektiv regulering af kollektive forsyningssystemer. Det var de frie markeds kræfters tid. Monopolet skulle opløses til fordel for et frit vandforsyningsmarked, hvor mange virksomheder kan konkurrere om forsyningen.

Det er åbenbart upraktisk, at flere virksomheder konkurrerer om at lede vand fra pumpestationerne til vandtårnet og

videre ud til forbrugerne. Den fri konkurrence kan ikke gøre forsyningen billigere ved at grave flere vandrør ned i land-skaberne, og der er rør og ledninger nok at holde styr på under asfalten i gaderne. Det dur selvfølgelig heller ikke at have flere konkurrerende virksomheder til at styre vand-standen i vandtårnet. Drift, vedligeholdelse og udbygning af rørnettet såvel som vandtårnet med kontrolpulten er "naturlige monopoler", som det hedder i markedsteoretisk sprogbrug.

Det ene naturlige monopol skal bestrides af én virksomhed, der kun og uden nogen interesse i nogen anden virksomhed skal sørge for, at der er tilstrækkeligt tykke rør fra enhver pumpestation til vandtårnet og fra vandtårnet ud til forde-lingsstationerne i byen. Den skal også, og først og fremmest, sørge for, at vandstanden i vandtårnet hele tiden holdes nøj-agtigt på det fastsatte niveau. Denne virksomhed kaldes "den systemansvarlige".⁷¹

Det andet naturlige monopol kan bestrides af flere selska-ber, der i hvert sit område sørger for, at ledningerne fra for-delingsstationerne ud til forbrugerne er i orden. Disse sel-skaber kaldes "distributionsselskaber".

Nu skal der så - i princippet - være fri adgang for enhver pumpevirksomhed til at pumpe vand op i vandtårnet. Der stilles ikke krav om privatisering af pumpestationerne. De må gerne ejes af byens borgere i fælleskab. På den anden side forhindres det heller ikke, at alle pumpestationerne ejes af det samme private selskab. Den fri konkurrence består i, at enhver virksomhed har lov til at pumpe vand op i vand-tårnet - hvis den altså kan komme af sted med det i konkur-rence med de andre pumpestationsvirksomheder. Konkurrencen skal udspille sig på et engrosmarked, hvor alle producenter kan udbyde den vandmængde, de kan leve-re.

Butikkerne åbnes

Så skal der handles - "shoppes rundt" som det siges i EU-bro-churen. El-købmænd sætter deres boder op under vandtår-

net. De kaldes "forsyningsselskaber". Deres aktiver består af internetforbindelser til engros-markedscomputeren. Med mus og tastatur kan de opsøge gode tilbud på leverancer over længere tid, og de kan også drage fordel af dagens sær-ligt billige tilbud.

Forbrugerne kan nu "shoppe rundt" mellem købmændene og finde de billigste tilbud: "Hvad er din vandpris for tiden? ...OK, så vil jeg gerne købe mit vand hos dig".⁷² Storforbrugere i industrien kan forhandle direkte på engros-markedet uden at have købmændene som mellemmand.

Det er det perfekte marked, hvor de producenter, der leverer billigst, får orderne. Det er selvfølgelig dumt at spørge, hvor det vand, forbrugeren får ud af vandhanen, kommer fra. Det hele bliver jo blandet sammen i vandtårnet. Men forbrugeren kan med købmanden som mellemmand være med til at sørge for, at produktionen tilfalder de pumpesta-tioner, der vil levere til den billigste pris.

Helt så perfekt er virkeligheden dog ikke. Der er det tekniske problem, at vandstanden i vandbeholderen hele tiden skal være præcis den samme. Hvis pumpestationerne A, B og C er blevet betalt for at pumpe x, y og z kubikmeter vand op i tårnet hver dag i den næste uge eller de næste måneder, så kan der opstå et problem for den systemansvarlige, der skal sørge for at holde vandstanden konstant. Han kan ikke ringe til en atomkraftdrevet pumpestation og sige, at nu må de lige skrue ned for dampen et par timer, for det kan et atomkraftværk ikke uden stort besvær og store omkostnin-ger. Hvis det blæser, er de vindmølle-drevne pumpestationer heller ikke begejstrede for at få besked på at standse deres vindmøller. Og hverken atomkraft- eller vindmøllestationer-ne kan skrue op for deres produktion, hvis de bliver bedt om det. For atomkraftværkerne kører bedst på fuld belastning, og der er endnu ikke forbindelse til vejrguderne.

De vandkraftdrevne pumpestationer står sig bedre i konkur-rencen. Hvis de ikke har ordrebøgerne fulde, og de har vand nok i deres reservoirer, kan de hurtigt regulere deres pro-duktion op eller ned. Det koster dem ikke en krone at pumpe

71) Den systemansvarlige virksomhed må gerne være en virksomhed, der ejes af et selskab, der også ejer nogle af de pumpestationer, der pumper vand op i vand-tårnet. Men den systemansvarlige må overhovedet ikke have noget samkvem, med den del af selskabet, der driver pumpestationer. Selvom de endda har kontorer i samme bygning.

72) Eller mere præcis: "Så vil jeg gerne have dig til at udskrive min vandreg-ning."

en kubikmeter vand mere op i vandtårnet, men de skal selvfølgelig have en betaling, der er mindst lige så stor som den, de kunne få for at pumpe vand op på et andet tidspunkt.

Hvis vandstanden i vandtårnet begynder at falde, må den systemansvarlige nødvendigvis have en aftale med en pumpestation om, at den lynhurtigt vil sætte sin produktion i vejret. En sådan aftale er ikke gratis. Hvis vandstanden begynder at stige, må systemoperatøren kunne åbne ventilen til et afløb, der enten fører lige ned i kloakken eller til en anden by, hvor der ikke på det tidspunkt er overløb. Når systemoperatøren i den anden by ved, at det er overløbsvand han køber, er der grænser for, hvor høj en pris han vil betale.

Det er ikke kun i sådanne akutte situationer, at det er nødvendigt at ty til hurtige handler. Der må handles dag for dag og time for time for at holde vandstanden i vandtårnet konstant. Denne handel sker på et såkaldt spotmarked, der virker ved siden af det engros-marked, hvor købmænd og store industrivirksomheder forhandler langtidskontrakter med pumpeelskaberne.

Dette marked for langtidskontrakter og her-og-nu køb er mere indviklet end jordbærmarkedet i sommertiden og støvlemarkedet ved juletid. Det er ikke let at overskue de betalinger, der sker mellem dets parter. Men i den sidste ende er det på den ene eller den anden måde forbrugerne, der betaler. Om de priser, byens forbrugere opnår ved "at shoppe rundt" blandt købmændene, er højere eller lavere end den pris, de ville have betalt i det gamle forsyningssystem, er uvist. Spørgsmålet vil aldrig kunne besvares.

Tilbage til el-markedet. Vandledningerne er el-nettets høj- og lavspændingsledninger. Den konstante vandstand i vandtårnet er spændingsforskellen mellem el-ledninger og jord. Pumpestationerne er kraftværkerne og vindmøllerne.

12.4 ULIGE KONKURRENCEVILKÅR FOR EL-MARKEDETS FORSKELLIGE PRODUCENTER

Især i Danmark opstår der ulige konkurrencevilkår, fordi størstedelen af el-produktionen sker i store og små kraftvarmeværker, hvis el-produktion er bundet til varmeproduktionen.

Til forskel fra andre markeder gælder det for el-markedet, at en lang række producenter producerer nøjagtigt den samme "vare" under meget forskellige tekniske, ressource-mæssige, miljømæssige og økonomiske vilkår. Otte meget forskelligt artede typer af kraftværker opererer på markedet under ulige konkurrencevilkår:

- 1) Store kul- eller naturgasfyrede kraftværker. Kulprisen er den internationale markedspris. Naturgasprisen svinger i takt med olieprisen.
- 2) Store kul- eller naturgasfyrede kraftvarmeværker. Brændselspriserne er de samme som kraftværkernes. Kraftvarmeværkerne skal fordele deres omkostninger på indtægter fra el-salg på den ene side og fjernvarme-forbrugernes indbetalinger på den anden.⁷³
- 3) En stor flok mindre og små naturgasfyrede kraftvarmeværker. Naturgasprisen stiger i takt med olieprisen. For tiden (i 2005) beregnes den ud fra værkernes el-produktion og fjernvarmeproduktion ud fra en politisk bestemt formel. Hvad forbrugerne på fjernvarmenettet kommer til at betale afhænger af naturgasprisen og den pris, deres kraftvarmeværk får for den strøm, det leverer til el-nettet.
- 4) En mindre flok halm-, træ- eller biogasfyrede kraftvarmeværker. Disse værkers faste omkostninger til forrentning og afskrivning af anlægsomkostninger og daglig drift og vedligeholdelse er betydeligt større end de naturgasfyrede værkers. Den pris, landmændene kan få for halmen og gyllen, og skovejere og trævarefabrikker

73) Forrentning og tilbagebetaling af byggelån er én af de største udgifter på mange el-produktionsselskabers årsregnskaber. Men i Danmark er de store kraft- og kraftvarmeværker gældfri, fordi pengene til at bygge dem, blev opkrævet på forbrugernes el-regninger. De små kraftvarmeværker, der ejes af lokale andelselskaber, slæber stadig afsted med en stor gæld.

kan få for affaldstræ, bliver derfor lavere end prisen for den tilsvarende mængde naturgas.

- 5) Industrielle kraftvarmeværker. For eksempel i store gartnerier. Ligesom andre kraftvarmeværker bidrager kraftvarmeværker i industrivirksomheder til at forbedre effektiviteten af det samlede energisystem og dermed også til at formindske CO₂-udslippet. Nogle industrivirksomheder kan selv bruge det meste af den elektriske kraft fra deres kraftvarmeværker. De indgår i det samlede energisystem som virksomheder, der ikke har noget el-forbrug, men de bidrager også lidt til at opretholde netspændingen. Nogle bidrager også til fjernvarmeforsyningen.
- 6) Vindmøller. Her er der kun tale om faste omkostninger til forrentning, afskrivning og vedligeholdelse af møllerne. De er som bekendt også artsforskellige fra kraft- og kraftvarmeværkerne, fordi de ikke kan regulere deres produktion fra time til time. Eller rettere: Vinden bestemmer, hvor meget de kan producere. Hvis de skal sætte deres produktion ned ved at bremse eller stoppe møllerne, mister de indtægter time for time.
- 7) Vandkraftværker. I det nordiske el-marked spiller vandkraftværkerne en stor rolle. Deres produktionsomkostninger er kun omkostninger til den daglige drift og vedligeholdelse. De har frem for alle de andre arter af kraftværker den fordel, at de hurtigt kan regulere deres produktion op eller ned, så længe de ikke tømmer deres vandreservoirer for hurtigt, men dog så hurtigt, at der bliver plads til næste forårs nedbør og smeltevand.
- 8) Atomkraftværker. På linie med vandkraftværkerne spiller de svenske og finske atomkraftværker en vægtig rolle i det nordiske el-marked. Det er nogle store tunge drenge, der producerer konstant og uophørligt, når de ikke er lukket ned for eftersyn og reparationer. Deres udgifter til køb af uran-brændselsstave er forholdvist små. Indtægterne fra deres el-salg skal bidrage til forrentning og afskrivning af de mange penge, der er ble-

vet investeret i opførelse af anlæggene. Og der skal helst også lægges penge til side til sikker bortskaffelse af det radioaktive affald og sikker forsegling af værkerne, når de en dag skal lukkes.

For de kul- eller naturgasfyrede værker gælder det, at de skal betale en strafafgift, hvis de udleder mere CO₂, end de har fået lov til (se afsnit 13.3.)

Især i Danmark opstår der ulige konkurrencevilkår, fordi størstedelen af el-produktionen sker i store og små kraftvarmeværker, hvis el-produktion er bundet til varmeproduktionen. For eksempel skal Fynsværket i Odense levere varme til hele dets opland. Det betyder, at værket skal producere så meget el, at kølevarmen fra dets kondensatorer (se figur 8.1) er tilstrækkelig til at dække fjernvarmebehovet. Det samme gælder for alle de decentrale kraftvarmeværker.

Alle kraftvarmeværkerne skal have dækket deres udgifter til brændsel og drift og vedligeholdelse af de indtægter, de får fra el-salg og varmesalg. Hvis el-prisen falder, må de hæve varmeprisen. Det kan gå så galt, at den besparelse, forbrugerne måske "kan shoppe sig til" på deres el-regninger, er mindre end det beløb, deres varmeregninger stiger med.

Med de nuværende lave brændselspriser (i 2005) kan kraftvarmeværkerne endda komme i den situation, at el-prisen falder så meget, at varmeprisen bliver mindre, hvis de brænder den strøm, de producerer, af i el-patroner i fjernvarmenettet. Så har man den helt groteske situation, at el, produceret i et dyrt kraftværksmaskineri, bliver brugt til at varme vand op fra 40 til 80 grader eller ligende. Energi-effektiviteten af det foretagene kommer ikke meget over 10%, se kapitel 4, tabel 4.1. Det svarer til at løfte en papkasse med fjer med en bulldozer, se figur 4.4.

Den situation vil opstå hyppigere og hyppigere, efterhånden som el-produktionen i vindmøller vokser. For når det blæser om vinteren, kan den samlede el-produktion i kraft-

varmeværker og vindmøller blive større end den produktion, der er brug for.

12.5 EL-MARKEDET OG FRIHEDSRETTIGHEDERNE

“Den frihed, EU-traktaten garanterer Europas borgere - varenes fri bevægelighed, frihed til at levere serviceydelser og frihed til at etablere virksomheder - er kun mulig i et helt åbent marked, hvor alle forbrugere frit kan vælge deres leverandører og alle leverandører frit kan levere til deres kunder”⁷⁴.

Det europæiske ministerråd
og EU-parlamentet om el-markedet

Om den almindelige EU-borger har indset, at friheden til at vælge sin el-leverandør er en væsentlig betingelse for et liv i frihed, er ikke blevet nøjere undersøgt. Men ved at udråbe friheden til at vælge sin el-leverandør som en af EU-borgerens fundamentale frihedsrettigheder, udstiller ministerrådet og parlamentet den ideologi, der ligger bag dogmet om el-markedets nødvendighed: Man kan ikke tilsidesætte en fundamental frihedsrettighed. Den fysiske og tekniske virkelighed må rette ind derefter.

EU-kommissionen fortæller ikke helt klart, hvad det vil sige “at vælge sin el-leverandør”. Hvis kommissionen havde brugt billedet af byen med vandtårnet (afsnit 12.3 ovenfor) til at forklare EU-borgeren, hvad det går ud på, kunne den mere præcist have sagt, at

EU-traktaten garanterer borgernes ret til at have medindflydelse på, hvordan el-produktionen til enhver tid skal fordeles på de el-producenter, der på el-markedet udbyder deres bidrag til at opretholde netspændingen (vandhøjden i vandtårnet). Dette frihedskrav opfyldes ved, at enhver borger får ret til frit at vælge den el-købmænd, der skal udskrive regningen for hans eller hendes forbrug. Borgeren kan frit vælge den købmænd, der tilbyder den laveste kilowatt-time-pris. Ved handel på el-markedet kan købmænd sætte gang i eller holde produktion i gang i de produktionsselskaber, der tilbyder de laveste engros-priser.

Leverandørernes frihedskrav skal opfyldes ved, at højspændingsledningerne mellem lande og regioner skal have tilstrækkelig kapacitet til at klare den transmission af elektrisk kraft fra egn til egn som el-købmændenes valg af leverandør medfører.

Der er grund til lige at tænke over, hvad opfyldelsen af leverandørernes frihedskrav betyder i praksis: Hvis, for eksempel, danske el-købmænd betaler for en stor el-produktion i polske kraftværker, og polske købmænd får et godt tilbud fra tyske a-kraftværker (som ganske vist hverken kan skruer op eller ned for deres produktion) samtidig med, at de norske købmænd bliver nødt til at betale for el-produktion i danske kraftværker, så bliver resultatet en større eller mindre el-transmission på tværs af landegrænser.

En gang imellem kan regnskabet gå op sådan, at der slet ikke sker nogen betydelig el-transmission over landegrænserne, selvom der handles store leverancer fra land til land. Hvis, for eksempel, danske el-købmænd betaler for en stor produktion i udenlandske kraftværker, kan det jo være, at udenlandske købmænd køber lige så meget dansk produktion, og så kan regnskabet balancere, uden at der sker nogen betydelig transmission over de danske grænser.

Ud fra en gammeldags opfattelse kan man få den tanke, at opfyldelsen af borgernes og leverandørernes frihedsrettigheder betyder, at danske forbrugere har frihed til at lade de danske kraft- og kraftvarmeværker med deres vindmøleparker og det hele gå fallit. Det må jo ske, hvis de tilbud, de danske el-købmænd får fra udlandet, er meget bedre end de tilbud, danske leverandører kan give. Udenlandske selskaber kan så købe fallitboet til en favorabel pris. Men så har man glemt pointen. Den er jo, at der ikke skal være danske, men kun europæiske el-selskaber. Spørgsmålet er så, hvor meget der bliver at vælge imellem, hvis der kun bliver tre eller fire el-selskaber tilbage i Europa.

Hvis EU-kommisionen foretog et rundspørge blandt borgerne i EU for at høre, om de ville foretrække forsynings-sikkerhed frem for friheden til “at vælge deres el-leveran-

74) “The freedoms which the treaty guarantees European citizens - free movement of goods, freedom to provide services and freedom of establishment - are only possible in a fully open market, which enables all consumers freely to choose their suppliers and all suppliers freely to deliver to their customers”. Directive 2003/54/EC of the European Parliament and of the Council, concerning the common rules for the internal market in electricity.

dør”, ville de fleste nok svare, at hvis de ikke kan få begge dele, så vil de foretrække forsyningssikkerheden.

Hvis man omvendt spørger EU-kommisionen, om den kan garantere, at el-markedet sikrer, at forbrugerne får forsyningssikkerhed til lavere el-priser end med regulerede nationale monopolselskaber, får man et tøvende svar. Risikoen er svigtende forsyningssikkerhed og højere priser.

12.6 OPFATTELSEN AF ELEKTRISK KRAFT SOM EN VARE

Elektricitet er en måde at overføre kraft på.

I kapitel 2 om “Energi i politisk og økonomisk tænkning” så vi, at det er en almindeligt udbredt opfattelse i nutidens bureaukratier, at “energi” er varer ligesom jordbær og sko. Se for eksempel figur 2.3. Naturgas er en energi-vare. Derfor skal vi have et gasmarked. Elektricitet er en anden energi-vare, så vi skal også have et el-marked. Uanset virkeligheden.

Gasmarkedet er uproblematisk. Gas er et stof, som gasproducenterne får op af jorden. Ligesom andre stoffer kan gas transporteres fra sted til sted gennem rørledninger eller i flydende form i gastankskibe. Gas kan lagres i gasbeholdere eller i underjordiske lag som i gaslageret under salthorsten ved Tjele i Jylland. Når en dansk forbruger køber gas i Rusland kommer de fleste af gasmolekylerne nok fra Nordsøen, men det er ligegyldigt, for gassen er stort set den samme.

Elektricitet er af en helt anden art. Det er ikke et stof, der hentes op af jorden eller produceres i fabrikker. Det er en måde at overføre kraft på. Det er krafttransmission som fra trykket på pedalerne til cyklens baghjul, fra motorens krumtapaksel til bilens hjul, eller fra den hydrauliske oliepumpe til gravkoens skovl. Men elektrisk kraftoverførsel kan ske over lange afstande, hvor mekanisk eller hydraulisk kraftoverførsel er upraktisk. Kraftværkerne sørger for at opretholde den elektriske spændingsforskel mellem el-nettets ledninger, så der er kraft til køkkenmaskiner og

lokomotiver, computere og tv-sendemaster i hele landet.

I artiklen *El-liberalisering: Begyndelsen til enden* skriver Steve Thomas⁷⁵:

Elektricitet er forskellig fra andre varer

Elektricitetens særlige egenskaber har altid være kendt, men de nyliberale solgte liberaliseringen med løftet om, at elektricitet bare kunne blive et andet produkt, der ligesom alle andre produkter kunne købes og sælges på markedet. Det er nu klart, at dette var en illusion, men det er værd at genopfriske de særlige egenskaber og minde om, hvorfor de er uforenelige med en markedsdrevet service.

“Electricity is different from other commodities. The special qualities of electricity have always been known but the neo-liberals sold liberalisation on the promise that electricity could become just another product to be bought and sold in a market just like any other. It is now clear that this was an illusion, but it is worth re-iterating those special qualities and why they are incompatible with a market driven service.”

Derpå gennemgår han elektricitens særlige egenskaber:

- Elektrisk kraft kan ikke lagres.
- Produktion og forbrug skal passe sammen i hvert sekund.
- Der er ingen substitutionsmuligheder - elektrisk kraft kan ikke uden videre erstattes af en tilsvarende “vare”.
- Elforsyningen er vital for det moderne samfund.
- Elektrisk kraft er en standard “vare”. Man kan ikke få bedre kvalitet fra en anden leverandør.
- El-produktion spiller en afgørende rolle i drivhusgasproblemet.

75) Steve Thomas: *Electricity liberalisation: The beginning of the end*. Rapport til World Energy Council Congress, september 2004 fra Public Services International Research Unit (PSIRU), Business School, University of Greenwich UK.

12.7 FORESTILLINGEN OM EN EL-SEKTOR

At dele systemet op i en el-sektor og en varmesektor, svarer til at se på funktionen af den ene og den anden side af en lynlås hver for sig.

For at forestille sig, at der eksisterer et særligt el-marked, må man forestille sig, at el-produktion og el-forbrug er noget, der foregår inden for en særlig sektor af samfundsøkonomien, der er nogenlunde klart adskilt fra andre produktions- og forbrugssektorer. Ligesom gasmarkedet, der er en temmelig klart afgrænset sektor. Men el-forsyningen er allerede blevet koblet sammen med varmforsyningen, både teknisk og økonomisk. Og i nye, mere effektive forsyningssystemer, der også skal omfatte transport, bliver elektrisk krafttransmission og varme fra kraftmaskiner de forbindelsesled mellem systemets dele, der udgør systemets struktur. Det er vist i figur 10.2.

At dele systemet op i en el-sektor og en varmesektor, svarer til at se på funktionen af den ene og den anden side af en lynlås hver for sig. Når industri og transport også bliver hægtet på, får vi noget så sammensat som en fire-fløjet lynlås.

12.8 MARKEDET, DEN PROFESSIONELLE KOMPETENCE OG PERSONALENEDSKÆRINGER

Vigtigheden af fysikkens love i el-forsyningssystemet bliver enten ignoreret eller afvist.

Meget nyt sker først i USA, før det breder sig til Europa og andre verdensdele. Derfor er der ofte meget at lære ved at se, hvordan tingene udfolder sig på den anden side af dammen. I USA blev el-forsyningen liberaliseret (dereguleret) i 1992 i henhold til en føderal lov: Energy Policy Act. Det amerikanske el-marked er i princippet konstrueret på samme måde som EU el-markedet. Efter det store

blackout i det nordøstlige USA og en del af Canada i august 2003 er markedets virkemåde blevet nøje analyseret. I én udredning⁷⁶ siges det blandt andet:

I de senere år er der sket en forstærket politisering af teknologiske beslutninger. Næsten alle organisationer er stolte over at påpege, at de har repræsentanter fra alle parthavere (interessenter). Både energiministeriet (Department of Energy, DOE) og det føderale energireguleringsråd (Federal Energy Regulatory Council, FERC) baserer sig på parthavernes synspunkter som det vigtigste input til deres beslutninger. Hvem er disse parthavere? De udgøres hovedsageligt af organisationer, der har væsentlige kommercielle, politiske eller personlige interesser i el-sektoren. Deregulering og omstrukturering har overført kontrol med centrale beslutninger fra erfarent personale til nye medarbejdere, der har fokus på marked og profit.

Som en følge heraf bliver vigtigheden af fysikkens love i el-forsyningssystemet enten ignoreret eller afvist.

“Recent years have witnessed an increasing politicization of technological decisions. Almost every organization is proud to claim it has representation from all stakeholder groups. Both the DOE and FERC rely on stakeholder views as a key input to their decisions. Who are these stakeholders? They largely consist of organizations having significant commercial, political or personal interests. Deregulation and restructuring have passed control of key decisions from experienced personnel to new appointees focused on the market and profits. Consequently, the importance of the Laws of Physics in electric power system planning and operations is either ignored or dismissed.”

Senere siges det i denne udredning, at

Regeringen har ignoreret de virkninger, dens politik har haft på beslutningerne i de virksomheder, der er involveret i el-forsyningsindustrien. Den voksende vægt på “profit her og nu” har medført bratte personaleudskæringer, ikke kun blandt det administrative personale, men også blandt de operative

76) Jack Casazza et. al.: *Blackouts and Blunders: The Failure of Electric Power Policies in the United States* (Part 1 and 2), 2005. www.energypulse.net.

medarbejdere. Data fra U.S. Department of Labor viser, at i løbet af 10 år er beskæftigelsen i kraftværkssektoren faldet fra 350 000 til 280 000, og beskæftigelsen i el-transmissions- og distributionssektoren er faldet fra 196 000 til 156 000. Disse nedskæringer har haft væsentlig betydning for rådigheden over trænet personale, som kan håndtere nødsituationer såsom strømudfald og kraftige storme, og også virksomhedernes evne til at give personalet en tilstrækkelig uddannelse og overføre erfaringer til den næste generation. Disse politikker har også haft stor betydning for udgifterne til vedligeholdelse. Disse udgifter er på nationalt plan faldet med 60%. Alligevel fortsætter nedskæringerne, og dårligt vedligeholdt udstyr fortsætter med at blive nedbrudt.

“The Government has ignored the effects of its policies on the decisions of companies involved in the electric power industry. The increasing stress on “profits now” has resulted in sharp reductions in personnel; not only administrative staff but operating staffs as well. U.S. Department of Labor data shows that, over ten years, employment in electric generation declined from 350 000 to 280 000 and employment in transmission and distribution declined from 196 000 to 156 000. These reductions had significant impact on the availability of trained people to deal with emergencies such as blackouts and major storms, as well as on the ability to adequately train personnel and transfer past lessons to the next generation. The policies have also had a major impact on expenditures for maintenance; these have fallen nationally to about 60% of prior amounts. And yet reductions continue, and un-maintained equipment continues to deteriorate.”

at tænke på vedligeholdelsestilstanden af de danske jernbanespor og signalsystemets tilstand i året 2005. Men i også den danske el-forsyning ser det ud til, at man er på samme spor som i USA. Siden 1996 er 40% af LO-medlemmernes arbejdspladser skåret væk. Nedskæringerne er nogenlunde ligeligt fordelt på el-produktionsanlæggene og el-transmissions- og distributionsvirksomheden.

Hvis disse nedskæringer skyldes rationaliseringer af drifts- og vedligeholdelsesarbejdet, kunne man formode, at de havde medført lavere forbrugerpriser. Men forbrugerprisen for en kilowatttime (produktion+transmission+distribution i 1996-kroner) er ikke faldet i de sidste ti år.

Sporene skræmmer. Når man læser dette, kommer man til

13. EL-MARKEDET, FORSYNINGSSIKKERHEDEN OG KLIMAET

Det lader til, at man ikke fra starten helt har fået tænkt igennem, hvordan en stat kan sørge for forsyningssikkerhed inden for sine landegrænser i et grænseoverskridende kommercielt el-marked.

Det er ikke overraskende, at det er svært at få enderne til at mødes, når nationalstaterne skal sikre forsyningssikkerheden i et el-marked, hvor internationale el-selskaber opererer efter de kommercielle markedsvilkår. Det bliver ikke lettere, når hver stat for sig skal opfylde sine forpligtelser i henhold til Kyoto-aftalen om formindskelse af udslippet af drivhusgasser. For hvis danske kraftværker sælger strøm til andre landes el-købmænd, bliver det ekstra CO₂-udslip fra danske skorstene, som denne produktion medfører, skrevet på Danmarks CO₂-regning.

13.1 EL-MARKEDET OG FORSYNINGSSIKKERHEDEN - NYE EL-VÆRKER

EU-kommissionen er opmærksom på, at det kan være fristende for el-selskaberne at lade være med at bygge nye værker for egen regning og risiko.

Forsyningssikkerhed drejer sig blandt andet om at sikre, at der til enhver tid er kraftværker nok af de forskellige typer, der er nævnt i kapitel 12, afsnit 12.4, til at holde spændingen i el-nettet. Det betyder, at det skal sikres, at der bliver bygget nye kraftværker, efterhånden som nedslidte eller meget forurenende værker lukkes og/eller el-forbruget stiger.

El-produktionsselskaberne har ingen forpligtelse til at sørge for, at forsyningssikkerheden er i orden. Det må sta-

ten sørge for. I henhold til EU's seneste el-markedsdirektiv (2003) må staten i første omgang vente og se, om el-selskaberne af egen drift ansøger om tilladelse (autorisation) til at bygge nye værker. Hvis ingen gør det, og staten anser, at landets forsyningssikkerhed er i fare, kan den udbyde bygningen af nye kraftværker i licitation. Men det er ilde set, for det er klart et indgreb i markedet. Hvis nogen skal give tilbud, må licitationsbetingelserne jo på en eller anden måde give dem sikkerhed for, at deres investering vil kunne betale sig.

Der er ganske vist ikke noget i vejen for, at et statsejet selskab er bygherre og ejer af et nyt kraftværk. Men det ændrer intet, for også statsejede selskaber skal operere på markedets kommercielle vilkår. De må ikke modtage statsstøtte, så de kan gå fallit ligesom de private selskaber.

EU-kommissionen er opmærksom på, at det kan være fristende for el-selskaberne at lade være med at bygge nye værker for egen regning og risiko. Det vil i mange tilfælde være meget mere fordelagtigt at læne sig tilbage og vente på, at staten bliver nødt til at udbyde opførelse af nye værker i licitation. Det udtrykkes sådan:

- Iværksættelse af en licitation udgør et indgreb i markedet fra autoriteternes side.
- Ligesom det er tilfældet for andre former for indgreb, forvrænger en sådan fremgangsmåde [licitation] markedets investeringssignaler, og den kunne føre til en "vent på licitationen" holdning hos investorerne.⁷⁷

EU-kommissionen har ingen løsning på dette problem at tilbyde medlemsstaterne. Den siger kun, at de hver især skal holde øje med forsyningssikkerheden og hvert andet år rapportere situationen til kommissionen.

77) Citat fra EU-kommissionens noter til el-markedsdirektivet af 2003: Launching a tendering procedure constitutes an intervention on the market from the part of the authorities. Such a procedure, as is the case with other interventions, distorts the investment signals that exist in the market and could lead to "a wait for the tender to be launched" approach on the part of investors.

13.2 EL-MARKEDET OG FORSYNINGSSIKKERHEDEN - MINDRE EL-FORBRUG

Sådan som landet ligger i det europæiske el-marked, er påvirkning af el-forbruget i nedadgående retning den eneste umiddelbare mulighed, staten har for at yde indflydelse på forsyningssikkerheden.

Borgernes og virksomhedernes ret til at bruge lige så meget elektrisk kraft, som de har lyst til eller har brug for med de apparater og maskiner, de i dag benytter sig af, står som en tungere vejende frihedsret end retten til at vælge sin el-leverandør. Ligesom friheden til at vælge en bil, der kun kan køre 10 kilometer på literen i stedet for én, der kan køre 20 eller 30. I et samfund, der igennem et halvt århundrede har kunnet udvikle sig uden ressourcebegrænsninger, opfattes krav om forbrugsbegrænsninger som en krænkelse af de borgerlige rettigheder. Men denne i vor tid indgroede opfattelse af, at ubegrænset ressourceforbrug er en frihedsret, hører hjemme i en anden verden, end den vi bor i på denne klode. De ressourcer, der i dag driver samfundsøkonomien er begrænsede, og forbruget af dem kan ændre livsbetingelserne på vores klode.

Klimaproblemet trænger sig på. Den danske miljøminister inviterer ministerkolleger fra andre lande rundt omkring på kloden til møde på Grønland for at tage klimaforandringerne i øjesyn (august 2005). En lang række stater i USA modsætter sig Bush-administrationens afvisning af Kyoto-protokollen og iværksætter deres egen klimapolitik. Klimaændringerne er selvforstærkende. For eksempel medfører nedsmeltningen af de hidtil altid tilfrosne tundraer (permafrosten) i Siberien og Alaska, at enorme mængder af den kraftige drivhusgas methan (som naturgas hovedsageligt består af) slipper ud i atmosfæren. Og man kan ikke være sikker på, om heden og tørken i Sydeuropa i de sidste par år er et tegn på klimaændringer.

Ressourcerne er ikke ubegrænsede. Det globale olie og naturgasforbrug begynder at falde inden for en overskuelig frem-

tid. Enten fordi der hurtigt gøres en kraftig indsats for at nedbringe forbruget, eller fordi de mængder, der kan produceres, begynder at dale.

Derfor gælder det om at indrette vores energisystem - med forbrugssystem og det hele (se figur 10.1) - sådan, at det bliver levedygtigt, eller bæredygtigt som man siger.⁷⁸ Om el-markedet sikrer forbrugernes ret til at vælge deres el-leverandør er mindre væsentligt. Det væsentlige er, om det tjener til at fremme udviklingen af et levedygtigt energisystem som grundlag for en levedygtig samfundsøkonomi. Og i et levedygtigt energisystem vil ressourceforbrug og CO₂-udslip være kraftigt begrænset.

Sådan som landet ligger i det europæiske el-marked, er påvirkning af el-forbruget i nedadgående retning den eneste umiddelbare mulighed, staten har for at øve indflydelse på forsyningssikkerheden.

Teknisk og adfærdsmæssigt er der vidtrækkende muligheder for at forbedre forsyningssikkerheden mange år frem ved at nedtrappe el-forbruget. Samfundsøkonomisk er det billigere end at bygge kraftværker. Men det er nemmere at lade alle forbrugere i flok betale en investering på 25 mia. kroner i kraftværker over deres el-regninger end at få en million husstande til hver især at investere 25 000 kr i mere energi-effektive el-apparater og dermed også gøre dem mere opmærksomme på, hvor meget el de behøver at bruge.

Det er her i landet lykkedes at begrænse varmekonsumet ved at skærpe bygningsreglementets krav til varmeisolering. Men Folketinget kan ikke lovgive om krav til energi-effektivitet af de el-apparater og -maskiner, der sælges på det danske marked. Det ville være en teknisk handelshindring, som ikke er tilladt i det indre EU-marked. Man må nøjes med el-sparekampagner i forsøget på at begrænse el-forbruget.

En progressiv beskatning af husholdningernes el-forbrug, sådan at el-forbrug ud over for eksempel 2000 kWh om

78) Bemærk, at ordet "bæredygtigt" foretrækkes i den almindelige sprogbrug frem for "levedygtigt". Det kan bedre gradbøjes.

året pålægges en skat, der stiger med forbruget, kunne være et virkemiddel til at forbedre forsyningssikkerheden, nedsætte samfundets ressourceforbrug og formindske CO₂-udslippet. Men så længe el-prisen er lav, skal der nok en meget kraftig beskatning til, for at opnå en betydelig nedtrapning af forbruget.

13.3 EL-MARKEDET OG CO₂-MARKEDERNE

El-markedet og CO₂-markedet sørger ikke for, at det under alle omstændigheder er fordelagtigt at vælge de tekniske løsninger, der alt i alt giver mindst brændselsforbrug og CO₂-udslip.

I henhold til Kyoto-aftalen om begrænsninger af udslippet af drivhusgasser har EU-landene tilsammen forpligtet sig til at nedbringe deres udslip, så det i perioden 2008-2012 kommer ned på højst 8% af udslippet i 1990. Nogle EU-lande skal formindske deres udslip mere end andre. Enkelte lande har endda fået lov til at forøge deres udslip. Danmarks udslip skal formindskes med mindst 21% af det beregnede udslip i 1990. CO₂ tegner sig for det meste af udslippet.

Danmark er ikke forpligtet til at formindske udslippet fra danske skorstene og udstødningsrør med 21%. Det er tilladt at købe udslipsrettigheder i andre lande. Danmark kan for eksempel købe en udslipsret på en million tons CO₂ om året i Rusland. Så bliver den mængde, Rusland har ret til at slippe ud, formindsket med en million tons.⁷⁹

Der er også den mulighed, at et dansk el-selskab formindsker udslippet i Polen eller et andet EU-land f.eks. ved at bygge en vindmøllepark eller et moderne kraftvarmeværk dernede. Det danske selskab kan så forhandle sig tilrette med det andet land om at få betaling for den formindskelse af udslippet, man regner med kommer ud af det.

Inden for EU sker fordelingen af udslippet fra el-værker og industrivirksomheder med rationeringsmærker, der kaldes CO₂-kvoter. Ét rationeringsmærke giver ret til at slippe

én ton CO₂ ud i atmosfæren. Hvis el-værker eller andre virksomheder slipper CO₂ ud, efter at de har brugt deres rationeringsmærker, skal de betale en strafafgift for hvert ton udslippet overstiger det tilladte.⁸⁰

I første omgang er det de enkelte stater i EU, der uddeler EU-rationeringsmærkerne. Derefter kan de handles frit i hele EU. Hvis en virksomhed i Tyskland eller Italien ikke har brug for alle sine rationeringsmærker eller kan tjene på at sælge dem, kan de købes af en virksomhed, der er hjemmehørende i Danmark.

Lovgrundlaget for tildeling af rationeringsmærker til virksomheder med adresse i Danmark er *Lov om CO₂-kvoter*, som Folketinget vedtog i 2004. I henhold til denne lov skal staten tildele alle landets el-værker og industrivirksomheder CO₂-kvoter (rationeringsmærker), der tillader dem at udlede lige så mange tons CO₂, som de har fået rationeringsmærker til. Antallet af rationeringsmærker, en virksomhed får i første omgang, beregnes ud fra dens udslip i årene 1998-2002.

CO₂-markederne for handel med udslipsrettigheder landene imellem og med rationeringsmærker hen over EU-landegrænserne overlapper el-markedet. Overlapningen har nogle sære virkninger. For eksempel: Hvis vi her i landet i årene fra 2008 til 2012 nedbringer CO₂-udslippet ved at gennemføre el-besparelser og bygge vindmøller, kommer det måske ikke til at tælle, når Danmarks slutregnskab gøres op.

Hvorfor ikke? Fordi det antal rationeringsmærker, el-værkerne i Danmark får tildelt for perioden 2008 til 2012, formentlig vil afhænge af, hvor meget de har produceret i de foregående år. Hvis el-forbruget i Danmark formindskes og vindkraftproduktionen forøges, får de ikke brug for alle deres rationeringsmærker på det danske marked. Så kan de enten bruge deres overskydende rationeringsmærker til at producere strøm til eksport, eller de kan sælge dem til udenlandske værker. Det vil sige, at enten kommer der lige så meget CO₂ ud af de danske skorstene, som hvis vi ikke havde gennemført el-besparelsen og bygget vind-

79) I 1990, året før Sovjetunionen endeligt brød sammen, var der endnu gang i den russiske sværindustri. Landets CO₂-udslip var derfor meget stort i 1990. Kyoto-aftalen kræver ikke, at Rusland formindsker sit udslip i forhold til det, det var i 1990, og i mellemtiden har nedgangen i Ruslands industriproduktion og i forbruget i store befolkningsgrupper allerede formindsket dets udslip med næsten 40%.

Rusland har derfor masser af CO₂-kvoter (rationeringsmærker), som landet ikke

selv kan bruge, at sælge af. Handel med disse kvoter kaldes "handel med varm luft". Den har intet med formindskelse af CO₂-udslippet at gøre.

80) Strafafgiften er 40 Euro per tons (ca. 300 kr) indtil 2007. Derefter stiger den til 100 Euro per tons.

møller. Eller også er en tilsvarende del af landets udslipsrettigheder blevet solgt til udlandet.

Hvis markedsprisen på el bliver høj nok, vil det måske bedst kunne betale sig for el-værkerne at bruge deres rationeringsmærker til at producere el til eksport, selvom mærkerne vil kunne sælges til en relativt høj pris. Bliver el-prisen lav, vil det måske bedst kunne betale sig for dem at sælge deres rationeringsmærker til en lav pris. Sådanne overvejelser vil el-selskaberne gøre sig, før de beslutter sig til at bygge nye kraftværker - eller lade være. Så situationen på CO₂-markedet kan få betydning for forsyningssikkerheden.

Disse overlappende el-markeds- og CO₂-markedsvilkår er blevet fuldstændigt uoverskuelige for almindelige mennesker. Og fordi disse markeder er udtænkt med de nuværende fossile energisystemer i tankerne, kan de blokere for konstruktionen af de nye energisystemer, der skal bygges for at tilvejebringe et holdbart grundlag for videreførelse af velfærdssamfundet. De decentrale kraftvarmeværker, der er et skridt på vejen til energisystemets fornyelse, er allerede en truet art.

Under overskriften "Frit el-marked truer de danske tomat" skriver Nyhedsmagasinet Ingeniøren den 9. september 2005:

"Gartnerier frygter alvorlige økonomiske problemer, når deres kraftværker bliver tvunget over på det frie elmarked ... Så kan det nemlig ikke længere betale sig at udvinde kuldioxiden fra drivhusenes kraftværker, der øger produktionen af danske grøntsager med 20%".

El-markedet og CO₂-markedet sørger ikke for, at det under alle omstændigheder er fordelagtigt at vælge de tekniske løsninger, der alt i alt giver mindst brændselsforbrug og CO₂-udslip. Da gartnerierne skiftede fra fyr og kedler til små kraftvarmeværker, sparede samfundet alt det brændsel, der blev brugt i fyrene, og al den CO₂, der kom fra fyrenes skorstene (se kapitel 8, afsnit 8.3). Et marked der tvinger dem - og andre decentrale kraftvarmeværker - til at

skifte tilbage igen, er ikke formålstjenligt, når det drejer sig om at opbygge et levedygtigt energisystem.

Det er ikke sikkert, at CO₂-kvoterne i fremtiden vil blive uddelt som rationeringsmærker. Det kan være, at el-værker og virksomheder i stedet kommer til at købe udslipsrettigheder af staten i form af CO₂-kvoter. Det vil give staten en ny indtægt og virke som en slags omvendt tilskudsordning til dem, der kan producere med et lille eller slet ikke noget CO₂-udslip.

13.4 ET ALTERNATIVT EL- OG CO₂-KVOTEMARKED

I den almindelige familie- og virksomhedsøkonomi skal man lægge tallene på el-regningen, varmeregningen og transportudgifterne sammen. Det er summen, der er interessant.

El-markedskonstruktionen forudsætter, at der findes en el-sektor, som teknisk og økonomisk er afgrænset fra energisystemet iøvrigt, og at det er hensigtsmæssigt at betragte elektrisk kraft som en vare og varme som en anden vare, som forbrugerne køber på et andet marked. Og transport som et tredje marked. Men i den almindelige familie- og virksomhedsøkonomi skal man lægge tallene på el-regningen, varmeregningen og transportudgifterne med CO₂-afgifter og det hele sammen. Det er summen, der er interessant.

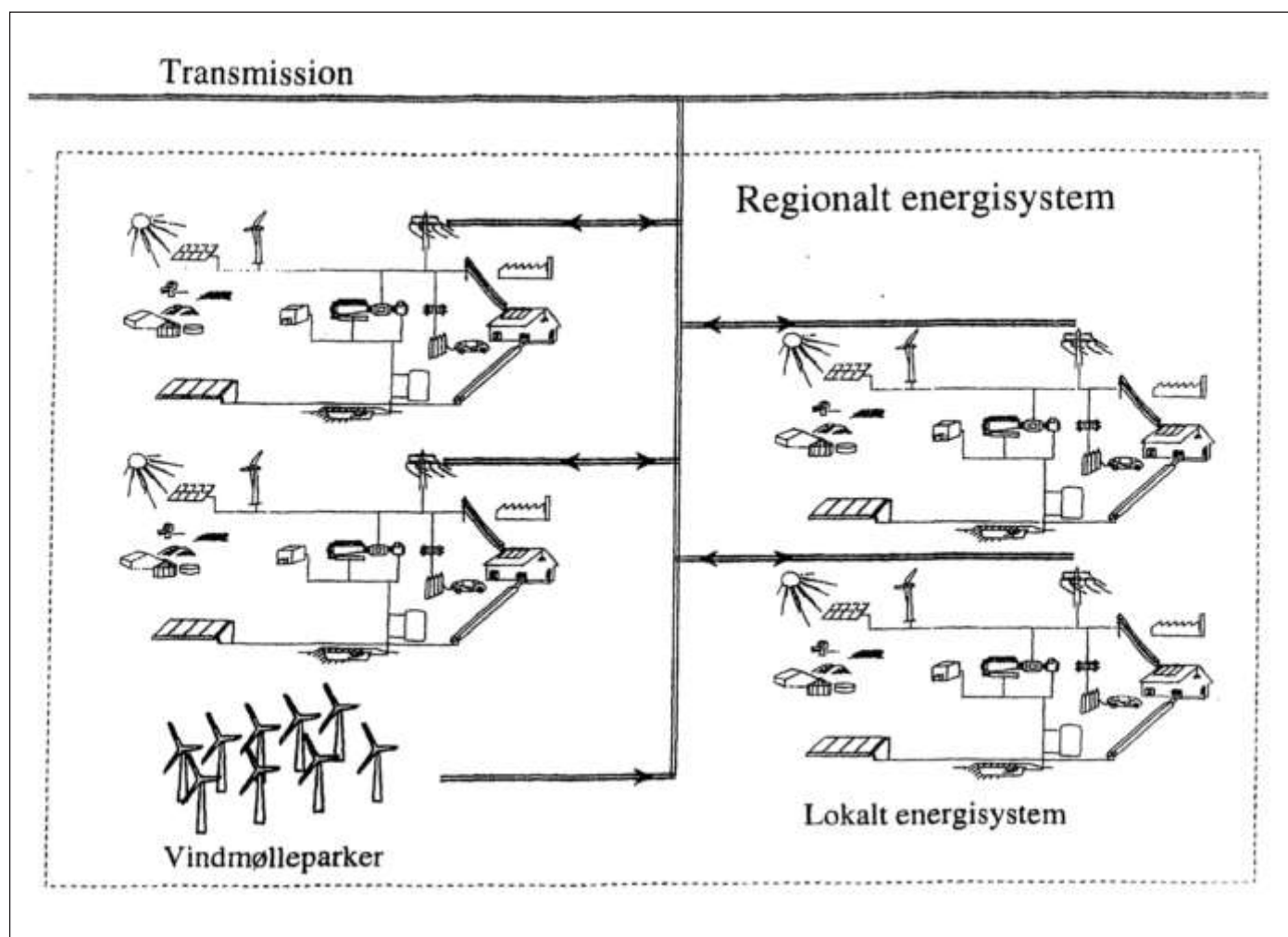
I kapitel 10 ser vi på sammensætningen af energisystemer, der kan udnytte ressourcerne effektivt, se figur 10.2. I et sådant system gælder det ikke om at få de lavest mulige el-priser, for det kan medføre højere varmepriser og større udgifter til transport. Det gælder om, at indrette systemet som helhed, sådan at de samlede udgifter bliver så små som muligt, inklusive CO₂-afgifter. Det er klart, at man ikke kan fordele CO₂-udslippet på el, varme og transport. CO₂-kvoter må tildeles systemet som helhed.

Derfor er organiseringen af landets energisystem i lokale

energisystemer, sådan som beskrevet i kapitel 10, afsnit 10.2, den teknisk og økonomisk rationelle måde at indrette sig på. El-markedet vil så blive et teknisk velafgrænset marked for handel med elektrisk kraft mellem lokale energisystemer, der hvert især udnytter de lokale ressourcer og muligheder så energiøkonomisk og miljøvenligt som muligt, se figur 13.1 nedenfor. CO₂-kvoter vil være rationeringsmærker, der uddeles til hvert af de lokale energisystemer i forhold til indbyggertallet under hensyntagen til de større energiforbrugende virksomheder, der findes i lokalområdet, og de ressourcer i form af biomasse og vindmølleplaceringsmuligheder, der er til rådighed.

Ansvar for forsyningssikkerheden vil være klart placeret hos forvalterne af de lokale energisystemer og forvalterne af transmissionsnettet. Tilkoblingen til det landsdækkende el-net vil både være et sikkerhedsnet for de enkelte lokalsystemer og muliggøre en energieffektiv regulering af el-produktionen i landet som helhed.

Det er utopi. Men utopisk betyder, at det intetsteds er at finde - endnu. Det alvorlige spørgsmål er, om det ikke er nødvendigt at virkeliggøre utopier, hvis der skal skabes et levedygtigt grundlag for et fremtidigt velfærdssamfund. Fortiden er forbi.



FIGUR 13.1 Hvis el- og varmeproduktion og eventuelt også brintproduktion sker så effektivt som muligt i såkaldt "integrerede" lokale energisystemer af den art, der er skitseret i figur 10.2, vil der være et teknisk og økonomisk velafgrænset marked for handel med elektrisk kraft mellem de lokale energisystemer. På den måde kan der opnås en høj grad af forsyningssikkerhed, samtidig med at behovet for krafttransmission over lange afstande via højspændingsnettet formindskes.

14. SAMTALE MED POLITIKERE

Scenen er et mødelokale på Christiansborg. Der er indkaldt til en høring om strategier for udviklingen af det danske energisystem i de kommende årtier. Høringen er foranlediget af denne bog. I et spørgepanel sidder seks politikere O, P, Q, R, S og T. O er ordstyrer. Denne bogs forfattere er indkaldt til at besvare spørgsmål. O byder velkommen. Der er tre punkter på dagsordenen:

14.1 Den energipolitiske problemstilling

14.2 De fremlagte scenarieberegninger

14.3 Energipolitiske handlemuligheder

14.1 DEN ENERGIPOLITISKE PROBLEMSTILLING

O: Det er nok ikke alle, der har haft tid til at læse hele bogen. Så jeg vil bede Jer om, at give os en kort opsummering af dens hovedpunkter.

Jo tak. Det er ikke nemt at gøre det helt kort, men lad os prøve.

Bogen er resultatet af et projekt, som 3F's hovedbestyrelse i januar 2005 besluttede at gennemføre. Formålet er i første omgang at inspirere læserne til at tænke nøjere over, hvad energi egentlig er for noget. Det er jo vigtigt at vide, hvad man taler om, hvis man skal føre en seriøs energipolitisk diskussion. Og en seriøs diskussion er påtrængende vigtig, for der er problemer lige forude.

Vi kommer først ind på vækstproblemerne. I løbet af de sidste 30 år er det globale olieforbrug blevet fordoblet. Det er nu så stort, at en vækst i forbruget på 2% om året betyder, at der næste år skal produceres 600 mio. tønder mere end i år. For 30 år siden betød en vækst på 2% kun en halvt så stor stigning. Hvis vi forestiller os, at forbruget voksede med 2% om året i de næste 20 år, så ville den årlige stigning i 2025 komme op på 900 mio. tønder. En sådan vækst

kan ikke fortsætte, og den kan slet ikke lade sig gøre, når CO₂-udslippet skal nedtrappes.

Vi står i dag helt uforberedt på de problemer, vi løber ind i, når stigningen i olieproduktionen afløses af et fald. Hele vores energisystem - huse, el-apparater, kraftværker osv. - er indrettet på den måde, det var nemmest og billigst at gøre det på i de sidste 50 år, da olie, gas og kul flød i rigelige mængder til små penge, og klimaproblemet ikke havde vægt i den energipolitiske dagsorden. Denne tid, som vi kalder oliealderen, er nu ved at være forbi. Det betyder, at det, der på kort sigt var let og billigt, nu bliver umuligt eller i hvert fald dyrt.

Vi må finde ud af, hvordan det i praksis kan lade sig gøre at ombygge vores energisystem, så det kan fungere med et meget mindre forbrug af fossile brændsler. At det teknisk skulle kunne lade sig gøre, har vi vist ved at gennemregne nogle scenarier for mulige udviklingsforløb i de kommende 25 år.

Den måde, man i de sidste 30 år har ført energiregnskaber på, afspejler den opfattelse af energi som varer, der kendetegner denne periode. Vi gør kraftigt opmærksom på, at denne opfattelse ikke passer med virkeligheden og derfor er en tankemæssig blokade af den samfundsøkonomisk og miljømæssigt nødvendige tekniske udvikling af nye energisystemer. I kapitlerne om el-markedet og CO₂-markedet ser vi på de komplikationer, denne blokade medfører.

O: Jamen halvdelen af bogen er nærmest en skolebog eller en populariseret fremstilling af lærebogsstof om energi og energiteknik. Er der grund til at bruge så mange sider på det? Læseren kan vel godt sætte sig ind de problemstillinger, du lige har nævnt, uden at læse alle de sider om energi og energieia og exergi og dampmaskiner og varmepumper, og hvad ved jeg?

Grunden til, at vi også beskæftiger os med de fysiske og tek-

niske forhold, er, at demokratiske beslutningsgange forudsætter, at også de, der ikke er blevet udnævnt til eksperter, kan tale med, når de forskellige muligheder diskuteres. Man kan kun tale med, hvis man i hvert fald i princippet ved, hvad det er for teknikker og tekniske muligheder, der er i spil. Derfor har vi tegnet og forklaret de forskellige maskiner, der for tiden er tale om. Det er ikke utænkeligt, at nogle læsere, der måske ikke før har tænkt så meget over, hvad der foregår bag kraftværkernes mure, gerne vil vide lidt mere om det, når de har læst de foregående kapitler.

P: Synes I ikke, at det meget sådan at gå i rette med alle de energistatistikker og energiforbrugstal, som alle nationale og internationale institutioner hele tiden fremlægger, sådan som i gør i kapitel 2?

Jo, men vi giver en forklaring på, hvordan den tankegang, der ligger bag den måde at stille regnskabet op på, er blevet til. Og problemet er jo netop, at den tankegang dominerer og blokerer overalt.

T: Jeg kan godt se, at I har en pointe i kapitel 2. Men er det ikke et lidt teoretisk problem uden den store praktiske betydning?

Nej, det er det faktisk ikke. "Energieffektivitet" er blevet et nøgleord også i EU's grøn- og hvidbøger om energi. Hvis det ikke bare skal være en talemåde, må det stå for noget, man i praksis rent teknisk tilstræber i energipolitikken. Og så må man have begreb om en målestok for effektivitet. Det er udledningen af den målestok, kapitel 3 om "Energi på Jorden" lægger op til, og kapitel 4 om "Energi til arbejde" fører frem til. De effektivitetstal for nogle forskellige opvarmnings- og el-produktionsteknikker, der er vist i tabellen i kapitel 4, er det værd at have i tankerne, når man diskuterer de tekniske muligheder for at forøge effektiviteten af det samlede energisystem.

I politisk henseende, er det utvivlsomt, at el-markedet ikke var kommet på tale, hvis en rationel forståelse af energibegrebet havde været fremherskende.

S: Mener I, at vi som politikere skal gå ind i alt det tekniske? Hvis vi opstiller nogle målsætninger for vedvarende energi og energibesparelser, kan vi vel overlade det tekniske til ingeniørerne og energiselskaberne.

Det er klart at de energipolitiske målsætninger, der er fremlagt i danske regerings og EU's energipolitiske publikationer, gennemgående er formuleret i generelle vendinger som mere vedvarende energi, energibesparelser og energieffektivitet. Problemet er, at disse ord dækker over mange forskellige ting, og at tingene hænger sammen på en indviklet måde. I kan som politikere opstille en konkret målsætning om, at CO₂-udslippet skal formindskes med f.eks. mindst 60% før 2030 og yderligere specificere, hvor hurtigt olie- og naturgasforbruget skal nedtrappes af hensyn til forsyningssikkerheden. Det er håndfaste målsætninger, som ingen kan tage fejl af.

Men de virksomheder, der skal foretage de investeringer, der skal til for at opfylde målsætningerne, er nødt til at have nogle retningslinier for, hvordan det skal gøres. Man kan så at sige ikke bygge et hus uden at have en tegning at gå efter. Store virksomheder efterlyser en tegning eller en sammenhængende strategi som rettesnor for de investeringer, de skal foretage. Kapitel 11 om "Scenarier for den fremtidige udvikling" og scenarie-eksemplerne i kapitel 15 viser, hvad der må indgå i udstikningen af en sådan strategi.

Opgaven kan løses på forskellige måder. Man kan bygge et kæmpestort højhus eller flere mindre huse eller en kombination af stort og småt. Men der kan være stor forskel på de samfundsøkonomiske fordele, de miljømæssige forhold af forskellig art og den forsyningssikkerhed, man opnår.

Det handler energipolitisk om både struktur og teknik. Alle, der bidrager til den politiske diskussion, og befolkningen i det hele taget må vide, hvordan de strukturelle og

tekniske muligheder tegner sig. Derfor har vi i bogens tredje del om energiteknik brugt nogle sider og nogle illustrationer på at give et grundlæggende indblik i de strukturelle forhold og de tekniske muligheder, der ligger indenfor vores nuværende synsfelt.

O: Vi bliver vist nødt til at afslutte denne indledende runde. Og med svaret på det sidste spørgsmål er vi allerede godt på vej ind i det næste punkt på dagsordenen. Så lad os gå over til det.

14.2 DE FREMLAGTE SCENARIEBEREGNINGER

O: Bagest i bogen kommer I med en lang række kurver og tabeller, der viser tre forskellige scenarier for udviklingen i de næste 25 år. I kalder dem også for tre forskellige investeringsprogrammer. Kan I i korthed fortælle, hvad I mener, at vi som politikere skal bruge alle de tal og kurver til?

Jo, helt kort: Tallene viser, at det rent teknisk er muligt at opfylde selv ret vidtgående politiske målsætninger om nedbringning af CO₂-udslippet. Lad os lige se på de tal og kurver, der viser, hvordan de samfundsøkonomiske omkostninger fordeler sig i de forskellige scenarier [Figur 15.2]. De viser, at det ikke behøver at betyde samfundsøkonomiske meromkostninger at formindske CO₂-udslippet. Det vil sige, at vi ikke behøver at få færre goder til fordeling imellem os, hvis vi gennemfører den nødvendige ombygning af energisystemet på en veltilrettelagt måde.

Q: Hvordan kan I sige det? Der er jo et eller andet sted mellem 60 og 100 milliarder kroner at spare, hvis vi vælger det scenarie, hvor der ikke gøres ret meget, i forhold til de scenarier, hvor der gøres en hel masse. Det er da også en slags penge.

Jo, men læg mærke til, at vi kalder det scenarie, hvor der ikke sker nogen nedtrapning af CO₂-udslippet, for en fiktion.

Vi går ud fra, at de politiske tiltag til nedtrapning af CO₂-udslippet - med Kyoto-protokollen og det, der må følge efter - sættes i værk, fordi der er udbredt enighed om, at

det er nødvendigt for, så vidt muligt, at forebygge klimaændringer, der kan få uoverskuelige følger for hele verdensøkonomien. Under den forudsætning giver det ikke mening at regne på et scenarie, hvor CO₂-udslippet ikke nedtrappes væsentligt. I et sådant scenarie kan der jo blive tale om helt uforudsigelige omkostninger - en helt anden verdenssituation.

I indledningen til scenarie-kapitlet bagest i bogen, har vi gjort opmærksom på, at vi kun har taget det fiktive scenarie med for ikke at stå tomhændede, når det spørgsmål, du stiller, bliver rejst. Omkostningerne ved at prøve at spare 50 eller 100 milliarder kroner over de næste 25 år kan blive meget store.

O: I siger, at de samlede omkostninger til landets energiforsyning i de kommende år ikke bliver større, hvis vi investerer mere i at nedbringe CO₂-udslippet, end hvis vi holder os til en mere beskedne målsætning. Men det må jo afhænge temmelig meget af, hvordan brændselspriserne udvikler sig i de kommende år.

Det er klart. Derfor er beregningerne gennemført under tre forskellige forudsætninger om udviklingen i råolieprisen og priserne på naturgas og kul. Lad os se på kurverne i figur 15.3. Omkostningerne er her beregnet i tilfælde 2, hvor der er antaget en moderat olieprisstigning til 90 dollar per tønde i 2030. Der er regnet med samme dollarkurs hele vejen igennem. Men selv hvis vi regner med, at råolieprisen bliver konstant 50 dollar per tønde i de næste 25 år - det er pristilfælde 1 - bliver de samfundsøkonomiske omkostninger ikke større i scenarie B end i scenarie A. Men det er ret usandsynligt, at råolieprisen skulle falde til 50 dollar per tønde og blive der i mange år. Man må i hvert fald ikke håbe, at der sker et kraftigt fald i råolieprisen i de nærmeste år. For det vil være at håbe på en økonomisk nedtur med udbredt arbejdsløshed.

Lad os lige gå tilbage til den første figur [figur 15.2]. Den viser de fremtidige årlige omkostninger i de tre brændselspristilfælde 1, 2 og 3. Det er vigtigt at lægge mærke til, at jo større investeringer, der foretages i brændselsbesparel-

ser, jo mindre bliver de fremtidige omkostninger. Det er almindelig virksomhedsøkonomi anvendt på samfundsøkonomien. Når råvareomkostningerne kommet op på et vist niveau, tjener investeringer, der formindsker råvareforbruget, sig ind igen med overskud. Her er der bare tale om en lidt længere tidshorisont, end de private virksomheder har i deres omkostningskalkuler.

Hvis vi ikke nu går i gang med at investere i de rigtige ting, kan det blive meget dyrt for samfundet.

P: Umiddelbart lyder det meget besnærende. Men I kan da ikke forvente, at vi politikere uden videre tager Jeres tal for pålydende og går i gang med at udstikke en energipolitisk strategi på dét grundlag. Vi kan jo ikke gennemskue alle tallene og beregningerne. Hvordan kan vi vide, om de er rigtige ?

Det, der er rigtigt, er, at hvis de gjorde antagelser om vækst i bygningsmassen, i el-apparatbestande, i transportmængder osv. i de kommende år skulle holde stik, og hvis der gennemføres efterisolering af bygninger i det antagne omfang, og hvis vindkraften udbygges så og så meget, osv. osv. - så kan man opnå den nedtrapning af CO₂-udslippet og brændselsforbruget, der er beregnet udfra disse forudsætninger.

Tallene er rigtige i den forstand, at der ikke er regnet forkert. Det vil sige, at det kan dokumenteres, at der år for år, måned for måned og dag for dag er balance mellem det beregnede el-forbrug og den beregnede el-produktion for landet som helhed, plus minus el-eksport og el-import. Der er også balance mellem varmekonsum og varmeproduktion i hvert enkelt fjernvarmeområde og i områder med individuelle opvarmningsanlæg. Og det kan dokumenteres, at den el- og varmeproduktion, der skal til for at dække forbruget, kan opnås med de kraft- og kraftvarmeværker, varmepumper, vindmøller og så videre, der til enhver tid vil være til rådighed, hvis de forudsatte eller beregnede investeringer gennemføres.

Datagrundlaget kan altid forbedres, og man kan se på mange andre muligheder end de, der er vist i de scenarier,

vi her har valgt at vise. Men billedet vil i store træk blive det samme.

R: Hvad med de økonomiske omkostningsberegninger ?

Vi har allerede sagt lidt om brændselsudgifterne. For hver af de tre forskellige antagelser om brændselsprisernes udvikling kan vi beregne brændselsudgifterne, når brændselsforbrugene er beregnet. Som I kan se på figurene vejer brændselsudgifterne tungt i regnskabet.

Investeringsudgifter og udgifterne til drift og vedligeholdelse beregnes for hvert enkelt anlæg eller anlægstype for sig udfra et priskatalog, hvori alle de forskellige anlægstyper er prissat. Prisantagelserne er afstemt med det teknologikatalog, Energistyrelsen, Elkraft og Eltra udgav i marts 2004. Men antagelser om fremtidige priser er selvfølgelig behæftet med stor usikkerhed, især når der er tale om anlæg, der endnu ikke er i masseproduktion. Og som nævnt i afsnittet om samfundsøkonomi i kapitel 11, er det tvivlsomt, hvorvidt priserne afspejler de egentlige samfundsøkonomiske omkostninger.

Men når man opsummerer mange hundreder af tal, der hvert især er behæftet med en usikkerhed til den ene og den anden side, er det sandsynligt, at summen er et nogenlunde retvisende tal, når det drejer sig om at sammenligne forskellige scenarier.

Man skal kun bruge de beregnede samfundsøkonomiske omkostningstal til sammenligninger. Hvis der ikke er stor forskel mellem de tal, man finder for to forskellige scenarier, er der grund til at antage, at der heller ikke i virkeligheden vil blive betydelig forskel på de samlede omkostninger.

T: Jeres ret simple økonomiske beregninger, hvor I bare lægger alle investerings- og driftsomkostningerne for de enkelte anlægs- og bygningsinvesteringer sammen med brændselsudgifterne, viser, at der er samfundsøkonomisk gevinst ved at formindske CO₂-udslippet. Økonomerne i Det økonomiske Råd og Finansministeriet bruger

meget mere avancerede økonomiske modeller. Og de fortæller os, at det bliver dyrt at formindske CO₂-udslippet. Kan I forklare, hvorfor I kommer til et helt andet resultat ?

En forklaring kan være, at de makroøkonomiske modeller, økonomerne bruger, er teoretiske modeller, der ikke på det konkrete plan kan sige noget om, hvad der kan opnås ved omfattende tekniske og strukturelle ændringer af energisystemet. Disse modeller er baseret på historiske data og komplicerede formler, der er konstrueret sådan, at resultaterne passer med forhistorien.

Men det væsentlige er, at energi i forskellige former indgår som varer i de økonomiske modeller på linie med alle andre varekategorier. For eksempel regnes der med en pris på varen elektricitet. Det viser, at de økonomiske modeller er baseret på det gængse energibegreb, vi har kritiseret i kapitel 2 om Energi i politisk og økonomisk tænkning.

I det nye energisystem, vi skal bygge for at formindske brændselsforbruget og CO₂-udslippet, kan det ikke lade sig gøre at beregne en el-pris. I et energisystem, hvor elektriciteten produceres i vindmøller og solceller og i kraftvarmeverker og industrier, og hvor der produceres varme i de samme anlæg, er fastsættelsen af en forbrugerpris på el et rent fordelingspolitisk anliggende - hvis el-prisen ikke bliver bestemt af, hvordan private energiselskaber vælger at fordele deres indtægter på el og varme og måske også på salg af brint.

I vores samfundsøkonomiske omkostningsberegninger indgår de konkret specificerede omkostninger til bygning, drift og vedligeholdelse af det samlede energisystem plus udgifterne til brændselskøb. Hvordan omkostningerne fordeles på el, varme og andet er et fordelingspolitisk eller et selskabsøkonomisk anliggende. Det, der beregnes med en økonomisk model, hvor el- og varmepriser indgår i beregningerne, er noget helt andet.

*O: Den diskussion kan føre vidt. Vi kan ikke afslutte den her. Det bliver spændende at høre, hvad økonomerne har at sige. Vi må skyn-
de os videre til det næste punkt på dagsordenen.*

14.3 ENERGIPOLITISKE HANDLEMULIGHEDER

Q: Det er en meget negativ holdning, I indtager til el-markedet og CO₂-markedet. Sådan som I beskriver disse markeder, ser det ud som om regering og Folketing har mistet al indflydelse på udviklingen. Tror I slet ikke, at der kan føres energipolitik her i landet ?

Nu skal det understreges, at de holdninger, vi måtte have til de problemstillinger, der tages op i bogen, er helt uinteressante. Bogen er ikke et politisk skrift. Vi nævner nogle kendsgerninger og diskuterer, hvad man kan lære af dem. Som nævnt til sidst i det indledende kapitel, vil vi være meget taknemmelige for kritiske kommentarer og påpegninger af fejl og udeladelser, vi måtte have gjort os skyldige i. Men det er rigtigt, at vi ikke lægger skjul på, at det, vi kan se, gør os meget bekymrede for, hvad kommende år kan bringe.

I kapitlerne om el-markedet tegner vi et billede af den virkelighed, markedet skal styre, og vi fortæller om den måde, man er blevet enige om at styre på i EU. Og vi nævner den lovgivning, Folketinget har gennemført for at opfylde EU-direktivernes krav. At markedsdirektiverne ikke giver EU-staterne effektive redskaber til hver især i det mindste at sikre forsyningssikkerheden for deres borgere, er ikke noget vi har tænkt os til. Det kan man læse i EU-kommissionens egne notater. Når staterne ikke engang har herredømme over forsyningssikkerheden, er det svært at se, hvordan der kan føres en målrettet langsigtet energipolitik.

Q: Hør nu her ! Et flertal af Folketingets partier indgik i foråret 2004 en energipolitisk aftale om yderligere udbygning med havvindmøller, energibesparelser og andet. Og ifølge denne aftale har transport- og energiministeren i sommer [juni 2005] fremlagt en langsigtet energistrategi. Der er da ikke tale om energipolitisk handlingslammelse her i landet.

Udbygning af havmølleparker i licitation og energibesparende tiltag ligger indenfor de begrænsninger, EU-direktiverne udstikker for regeringens og Folketingets handlefri-

hed. El-besparelser øger forsyningssikkerheden, men det gør havmølleparker ikke uden videre. Og som vi har gjort opmærksom på i kapitlet om el-markedet og CO₂-markedet, skal regeringen passe på ikke at blive fanget i en fælde, hvor den formindskelse af CO₂-udslippet, der opnås med el-besparelser og vindmøller, ikke bliver godskrevet Danmark, når Kyoto-slutregnskabet bliver gjort op i 2012.

Markedets logik er, at priser og omkostninger skal bestemme, hvad der sker i fremtiden. Under markedsvilkårene er omkostningsregulering ved brug af CO₂-kvoter derfor det vigtigste energipolitiske redskab. Hvis kvoterne uddeles gratis til el-selskaber og virksomheder efter nogle politisk fastsatte fordelingsregler, er det en rationeringsordning. Hvis kvoterne skal købes af staten, er det en beskatningsform. Men det er næppe et styringsmiddel, der kan bruges til at opbygge et effektivt fungerende energisystem af den art, vi forudsætter i vores scenarie-beregninger.

P: Det I siger er altså, at markedet ikke kan reguleres sådan, at investorerne tilskyndes til at foretage de investeringer, der skal til for at udvikle et energisystem med et meget mindre CO₂-udslip end i dag. Men hvis vi med CO₂-kvoter styrer, hvor meget CO₂ virksomhederne får råd til at slippe ud, så må CO₂-udslippet jo komme ned.

Jo, men det går jo ikke an at udstede så få kvoter, at samfundsøkonomien bryder sammen. Økonomien kan ikke holde til en betydelig nedtrapning af CO₂-udslippet, hvis det ikke sker på en effektiv måde, sådan som vi forudsætter, at det sker i de scenarier, vi viser. Og her betyder effektivitet en effektiv udnyttelse af de ressourcer, der tilvejebringes ved de investeringer, der foretages. Hvad det i praksis vil sige, har vi brugt nogle sider i bogen til at forklare. Men det er ikke sandsynligt, at man med kvote-regulering kan få investorerne til at bygge et effektivt virkende energisystem. Det svarer til, at man ved at regulere håndværkernes lønninger skulle kunne få dem til at bygge et vel-fungerende hus uden at have en tegning at gå efter.

Det er uheldsvarslenende, at regeringen i sin Langsigtede Energistrategi siger, at den vil indrette afgifts- og/eller kvo-

tesystemet sådan, at det bliver økonomisk fordelagtigt at bruge el til fjernvarme for på den måde at bortøde de kraftressourcer, der er investeret mange penge i at frembringe i vindmøller og kraftvarmeværker. At bygge en vindmølle til at varme vand op med et piskeris er det mest effektive ressourcespild, man kan tænke sig.

O: Så er vi vist tilbage til begyndelsen, hvor I anfægter det gængse energibegreb. Og den tid, vi har, er allerede gået. Men - helt kort - hvis vi nu bad Jer om et godt råd, hvad ville det så være ?

At holde hårdnakket fast i virkeligheden. Det vil sige at få kortlagt de tekniske muligheder for at opfylde de energipolitiske målsætninger, der i praksis tegner sig med de teknologier, der kan komme på banen i de kommende år. Og få tegnet deres samfundsøkonomiske omkostningsprofiler. Kun på den måde kan der udstikkes retningslinier for den nødvendige energipolitiske strategi. Der er for meget på spil til at afvente, hvordan markedet vil reagere på en kvote-politik.

O: Så fik I det sidste ord. Tak til Jer allesammen for denne diskussion.

15. I VIRKELIGHEDEN

I virkeligheden drejer det sig om at tage bestik af situationen og udstikke en strategi, der på en økonomisk fornuftig måde kan formindske risikoen for, at grundlaget for samfundsøkonomien bliver undermineret.

Der er overhængende risiko for, at den globale olieproduktion snart ikke længere kan forøges i takt med den voksende efterspørgsel. Det er sandsynligt, at produktionen vil toppe inden for de næste fem - ti år. Krige, sabotage og naturkatastrofer kan fremrykke tidspunktet.

Det er erkendt, at risikoen for klimaændringer, der kan få katastrofale virkninger for livsvilkårene på kloden, skal begrænses hurtigst muligt.

Dertil kommer, at der her og nu er risiko for, at ikke engang forsyningssikkerheden i el-nettet kan opretholdes i de kommende år.

I snart 20 år har "bæredygtig udvikling" været et mantra, som er blevet gentaget i utallige politiske taler og programerklæringer og har afstedkommet mange lærde og mindre lærde udredninger om, hvad det er for en størrelse. Man spørger sig selv, hvad folk ville sige til, at skibsværfterne erklærede, at nu vil de skam bestræbe sig på at bygge sødygtige skibe.

Nu er taletiden udløbet. Nu er det "risk management", som det hedder på nudansk, det handler om. På gammel-dansk kan man vel sige risikohåndtering. Når man ikke læser skriften på væggen og tager sine forholdsregler, kan det gå som i New Orleans.

Spørgsmålet er, hvordan risikoen for uoverskuelige ulykker kan begrænses. Helt konkret: Hvordan kan det i praksis lade sig gøre at konstruere et energisystem, der kan holde samfundet i gang med et meget mindre forbrug af

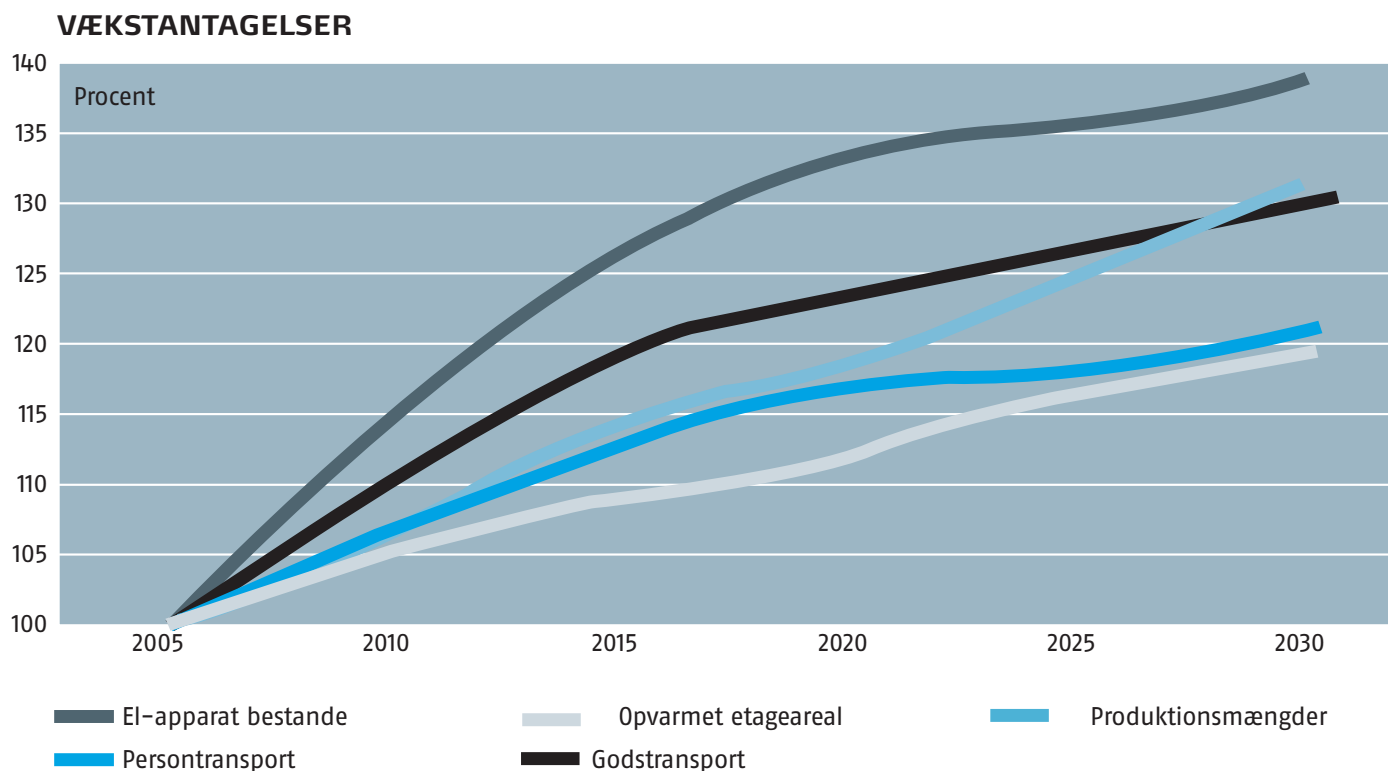
fossile brændsler og især et mindre olieforbrug end det nuværende?

De beregningsresultater, der fremlægges i dette kapitel, tyder på, at det kan lade sig gøre på en samfundsøkonomisk fornuftig måde. Men det kræver, at investeringerne gennemføres efter en samlet plan for opbygningen af det nye energisystem.

De udviklings- og investeringsforløb, der tegnes i de forskellige kurver, kaldes scenarier. Vi ser på tre mulige scenarier, der har fået betegnelserne A, B og C.

Der er altid nogen, der spørger, om det ikke ville være billigere at lade stå til og håbe, at det truende uvejr driver over. Derfor er de samfundsøkonomiske beregningsresultater og CO₂-udslippet også vist i et fiktivt scenarie, hvor investeringerne er meget begrænsede. Det er en fiktion, for i det scenarie stiger både olieforbrug og CO₂-udslip. I dét scenarie er alle de priser, der indgår i beregningerne uforudsigelige. Men det er i beregningerne antaget, at priserne er de samme som i de realistiske scenarier A, B og C.

I det følgende vises først de væsentligste forudsætninger og antagelser, som beregningerne bygger på. Derefter følger en række figurer (kurver), der i hovedtræk sammenfatter beregningsresultaterne. Nærmere forklaringer kan findes i kapitel 11.



FIGUR 15.1 Der er i alle scenarierne "gjort plads" til en kraftig vækst i materielt forbrug, produktion og transport. Vækstantagelserne er diskuteret i kapitel 11, afsnit 11.7.

15.1 VÆKSTER

Det er et dybt rodfæstet grundvilkår i vores kultur, at evig vækst skal der til. Hvis den økonomiske vækst falder til under 2% om året, er det som om skyerne har formørket himlen, og alle venter på at solen skal titte frem. Vi venter på opsvinget. Anders Fogh Rasmussen-regeringen lancerede i 2002 sin vækststrategi under mottoet: "Vækst med vilje". I en anden kultur ville det have været "Vækst med omtanke". Vækstproblemet er diskuteret i kapitel 1, og i kapitel 11, afsnit 11.7, findes nogle bemærkninger til de vækstantagelser, der ligger til grund for scenarierne.

Det store dilemma er, at vækst af den nuværende art ikke kan fortsætte, men alle familiers økonomi afhænger af, at den

fortsætter. Vi fordeler arbejdet og goderne imellem os på en sådan måde, at nulvækst betyder udbredt arbejdsløshed og økonomisk nedtur for store befolkningsgrupper. Selvom der er varer nok til fordeling, fører et lav-vækst scenarie derfor ind i uoverskuelige sociale problemer, der helt ville ændre beregningsforudsætningerne. Men det er helt sikkert, at vækstkurverne flader ud, hvis de ikke pludselig dykker ned.

De vækstkurver, der her er antaget, er måske både urealistiske og uønskelige. Men vækstkurver, der flader ud i de kommende år, fører ind i ukendt farvand. Hvad der kan ske dér, kan vi ikke regne ud.

15.2 OLIEPRISEN

Ingen kan forudsige, hvad olieprisen bliver i de kommende år. Nogle begrundede forventninger er opsummeret i kapitel 11, afsnit 11.8. Olieprisen har ikke noget at gøre med olieselskabernes produktionsomkostninger. En høj oliepris er en beskatning, de private og nationale olieselskaber pålægger alle mennesker i hele verden. Når ingen olieproducenter kan forøge deres produktion på kort sigt, bliver beskatningen så høj, som den kan blive, uden at efterspørgslen bliver mindre end udbuddet.

I almindelighed gælder, at hvis der skal en høj oliepris til at presse forbruget ned på den mængde, producenterne kan levere, så er økonomierne blandt de rige storforbrugende befolkningsgrupper stærke nok til at klare en høj oliepris. Så går det kun ud over de, der har dårligere råd eller slet ikke råd til at købe olie til en høj pris. I dag ved vi, at en råoliepris på 60 dollar per tønde ikke er høj nok til at dæmpe forbruget blandt de velstående storforbrugere.

Hvis prisen falder tilbage til 30 dollar per tønde, vil det være fordi, efterspørgslen er faldet, enten fordi verdensøkonomien er i recession - på nedtur - eller fordi de rige lande har gjort sig mindre afhængige af olie ved at forny deres transportmidler, sådan som det sker i B- og C-scenarierne.

Ud fra en kortsigtet national-egoistisk betragtning, kunne den danske økonomi blive verdens stærkeste, hvis vi her i landet gennemfører en fornyelse af vores transportmidler, så vores olieforbrug falder i takt med, at olieprisen stiger. Men endnu bedre ville det selvfølgelig være, at mange lande hurtigt kom i gang med fornyelsen. Så ville man få dobbelt gevinst: Mindre forbrug til en lavere pris i stedet for et stort forbrug til høj pris.

For at bevæge sig i den retning, kunne staterne overtage den oliebeskatning, der i dag tilfalder olieselskaberne.

Oliepris-tilfælde	1	2	3
	Konstant pris frem til 2030:	Prisen stiger jævnt til en oliepris i 2030 på:	
Råolie, per tønde	\$ 50	\$ 90	\$ 120
Gennemsnitspris for benzin, diesel, fyringsolie før afgifter i 2030	3700 kr/1000 liter	5300 kr/1000 liter	6500 kr/1000 liter

TABEL 15.1 De samfundsøkonomiske omkostninger er beregnet i de her viste tre oliepris-tilfælde 1, 2 og 3. Priserne er i 2005-kr og 2005-dollar. Den almindelige pris-inflation (eller deflation) er altså ikke indregnet. Dollar-kursen antages at være konstant: 6 kr for en dollar helt frem til 2030. Naturgas- og kulprisen antages at stige i takt med olieprisen. Priserne på raffinerede olieprodukter (benzin, diesel, fyringsolie m.fl.) stiger procentvis ikke så meget som råolieprisen. Det er fordi, der i prisen for disse produkter indgår udgifter til raffinering og distribution. Disse udgifter er antaget uændrede.

15.3 INVESTERINGER

En detaljeret fremlæggelse af alle de tal, der udgør beregningsforudsætningerne, vil fylde en hel bog. I de nedenstående tabeller 15.2 og 15.3 gives kun en oversigt over de tiltag, der forudsættes gennemført for at forbedre energisystemets effektivitet, og de vigtigste af de forudsatte investeringer.

Scenarie	A	B og C
Den del af varmen fra radiatorer og til varmt vand, der i 2030 dækkes af fjernvarme	60%	60%
Sænkning af temperaturerne i fjernvarmenet	Ja	Ja
Regulering af forholdet mellem el-produktion og varmeproduktion i kraftvarmeværker vha. varmepumper	Ja	Ja
Udskiftning af tilbageværende fjernvarmeværker med kraftvarmeværker	Nogle	De fleste
Procentdel af huse i naturgasforsynede områder, der i tiden frem til 2030 får mini-kraftvarmeværker i stedet for naturgasfyr	60%	90%
Mini-kraftvarmeværkerne forsynes med varmepumper, så de kan regulere forholdet mellem deres el-produktion og varmeproduktion	Nej	Ja
Udskiftning af gasmotorer (el-nyttevirkning ca. 40%) med brændselscelleanlæg (el-nyttevirkning ca. 65%) i decentrale kraftvarmeværker	Nej	Ja
Udnyttelse af varme i dybe lag i undergrunden (geotermiske reservoirer) til fjernvarmeproduktion i København, Slagelse og Thisted	Ja	Ja
Udnyttelse af overskydende el-produktion til brændstofproduktion til køretøjer (brint eller kemisk energi i en anden form)	Nej	Ja
Scenarie	A og B	C
Opførelse af store solfangeranlæg til supplering af varmeproduktionen i kraftvarmeværker	Nej	Ja
Installation af solceller (til el-produktion) i stort omfang	Nej	Ja

TABEL 15.2 Denne tabel giver et overblik over de vigtigste forskelle på udviklingen i energiomsætnings- og transmissionssystemet (se figur 10.1) i de tre scenarier. Solceller og store solfangeranlæg indgår kun i større omfang i C-scenariet.

Scenarie	A	B	C
Formindskelse af el-forbrug i el-apparater (og maskiner)	Ved gradvis udskiftning af el-apparater med mere energi-effektive modeller opnås en formindskelse af el-forbruget per apparat på 28% (vægtet gennemsnit for alle apparattyper).		
Formindskelse af netto-varmeforbrug i bygninger (varme fra radiatorer) ved efterisolering mm.	Formindskelse i procent per kvadratmeter opvarmet areal. Vægtet gennemsnit for alle bygningstyper og alle by- og landområder		
	8% 0 mia. kr.	28% 145 mia. kr.	
Effektivitetsforbedringer af det fælles energiom-sætnings- og transmissionssystem, se fig. 10.1	260 mia. kr.	220 mia. kr.	
Mini-kraftvarmeverker i bygninger i naturgas-områder	5 mia. kr.	19 mia. kr.	
Nye opvarmningsinstallationer i bygninger, herunder udskiftning af el-radiatorer med centralvarmeanlæg	115 mia. kr.		
Vindmøller Installeret effekt i 2030 El-produktion i 2030	17 mia. kr. 4100 MW 36 PJ	39 mia. kr. 7600 MW 63 PJ	
Biogasanlæg	6 mia. kr. 8 PJ biogas i 2030		
Solceller Samlet areal i 2030 El-produktion i 2030	0 mia. kr.		22 mia. kr. ca. 15 mio. m2 7 PJ
Fjernvarme-solfangere med sæsonvarmelagre Årlig varmeproduktion i 2030	0 mia. kr.		25 mia. kr. ca. 15 PJ
Omsætning af elektrisk kraft til brændstof til køretøjer. (F.eks. brintfremstilling ved elektrolyse) Elektrisk kraft omsat i 2030 Maks. elektrisk effekt	0 mia. kr.	9 mia. kr. 13 PJ 1800 MW	10 mia. kr. 14 PJ 1900 MW

TABEL 15.3 Denne tabel giver en oversigt over de investeringer i faste anlæg (inkl. reinvesteringer i nedslidte anlæg), der indgår i scenarierne A, B og C. I figur 15.3 er fordelingen af investeringerne over årene vist sammen med de årlige drifts- og vedligeholdelsesudgifter og brændselsudgifter.

15.4 FORANDRINGER PÅ TRANSPORTOMRÅDET

De mange forskellige forhold, der er bestemmende for ressourceforbruget i transportmidler, er gennemgået i kapitel 11, afsnit 11.10. De forandringer, der forudsættes at ske i de her betragtede scenarier, er opregnet i de nedenstående tabeller 15.4, 15.5 og 15.6.

Procentvis fordeling		Persontransport		Godstransport	
		Biler	Kollektiv transport	Lastbiler	Tog og skib
I 2005		78%	22%	83%	17%
I 2030	Scenarie A	82%	18%	81%	19%
	Scenarie B og C	55%	45%	59%	41%

TABEL 15.4 Denne tabel viser de antagelser, der i de tre scenarier A, B og C er gjort om den fremtidige fordeling af person- og godstransporten på individuelle og kollektive transportmidler. I A-scenariet er det antaget, at den kollektive transport udgør en stadigt mindre procentdel af den samlede transport. (Det betyder ikke, at der bliver mindre kollektiv transport, for den samlede transportmængde vokser, se figur 15.1). I B- og C-scenarierne er det omvendt den kollektive transport, der overtager en større del af den samlede transport.

Drivkraftforbrug i 2030 per personkilometer eller tonkilometer i procent af forbruget i 2005

	Bil	Bus	Persontog	Godstog	Lastbil
Scenarie A	90%	85%	95%	90%	100%
Scenarie B og C	75%	75%	90%	80%	100%

TABEL 15.5 Det er i scenarierne antaget, at drivkraftforbruget – dvs. det mekaniske arbejde, der overføres til hjulene – per personkilometer eller tonkilometer formindskes i løbet af de kommende 25 år. Forbruget i 2030 er her vist i procent af forbruget i 2005. Formindskelsen opnås ved lavere vægt, mindre luftmodstand, større "belægningsprocenter" og lavere hastigheder, se kapitel 11, afsnit 11.10, punkt 3).

Personbiler		Motortype				
			Benzin	Diesel	El-motor	Brændselscelle
I 2005		Procent af drivkraft	90%	10%		
		Nyttevirkning	19%	25%		
I 2030	Scenarie A	Procent af drivkraft	68%	20%	12%	
		Nyttevirkning	23%	26%	83%	
	Scenarie B og C	Procent af drivkraft	40%	14%	20%	26%
		Nyttevirkning	28%	30%	83%	33%
Busser – efterhånden også elektriske trolleybusser og sporvogne		Motortype				
			Benzin	Diesel	El-motor	Brændselscelle
I 2005		Procent af drivkraft		100%		
		Nyttevirkning		27%		
I 2030	Scenarie A	Procent af drivkraft		92%	8%	
		Nyttevirkning		28%	85%	
	Scenarie B og C	Procent af drivkraft		57%	43%	
		Nyttevirkning		33%	85%	
Tog		Motortype				
			Benzin	Diesel	El-motor	Brændselscelle
I 2005		Procent af drivkraft		73%	27%	
		Nyttevirkning		27%	90%	
I 2030	Scenarie A	Procent af drivkraft		10%	90%	
		Nyttevirkning		32%	92%	
	Scenarie B og C	Procent af drivkraft		10%	90%	
		Nyttevirkning		32%	92%	

TABEL 15.6 Det er i scenarierne antaget, at der i bilparken i løbet af de næste 25 år sker et delvist skift fra benzinmotorer til dieselmotorer, el-motorer og brændselsceller (i scenarie B og C). I busser og tog sker skiftet fra dieselmotorer til el-motorer. I scenarierne B og C bliver en stor del af de dieseldrevne busser udskiftet med elektriske trolleybusser eller sporvogne.

15.5 DER KAN FÅS MEGET MERE FOR MEGET MINDRE

Nu skal vi se resultaterne af de forandringer og investeringer, der summarisk er beskrevet i figur 15.1 og i tabellerne 15.1 - 15.6 ovenfor. Resultaterne findes ikke ved bare at lægge tal sammen. Som nævnt i kapitel 11, afsnit 11.2 og 11.3, er der tale om meget komplicerede beregninger, der kun kan gennemføres ved hjælp af et stort computerprogram-system.

Der skal jo hele tiden - døgn for døgn og time for time - være balance mellem el-forbruget og den samlede el-produktion fra kraftmaskiner af mange forskellige typer og fra vindmøller og eventuelt også solceller i fremtiden. Og fjernvarmeproduktionen fra små og store kraftvarmeværker skal i hvert af landets fjernvarmenet passe med varme-forbruget døgn for døgn. I modellen er landet opdelt i 70 lokale energisystemer af den art, der er vist i figur 10.2. Disse er sammen med vindmølleparker bundet sammen af det landsdækkende el-net (se kapitel 13, figur 13.1). De lokale systemer skal hvert især udnytte ressourcerne effektivt til el-produktion, varmeproduktion og brintproduktion eller lignende. Og det samlede regnskab for hele landet og for hvert af de lokale systemer skal gå op på ethvert tidspunkt. Og det hele ændrer sig år for år.

Det er klart, at vi ikke her kan dykke ned i de hundreder af forskellige resultattabeller, der kan udskrives for hver af de gennemregnede scenarier. Vi må nøjes med at se på nogle kurver, der viser de samlede resultater i hovedtræk.

Samfundsøkonomi

Figur 15.2 sammenholdt med figur 15.3 taler for sig selv. Beregningsresultaterne tyder på, at de samlede omkostninger til energiforsyningen i de næste 25 år ikke bliver større, hvis investeringerne i effektivitetsforbedringer af det samlede system forøges betydeligt. De forøgede brændselsbesparelser dækker stort set de forøgede investeringer. De økonomiske resultater i tabel 15.3 gælder for brændselspristilfælde 2 (se tabel 15.1).

I figur 15.2 ses, at de årlige omkostninger i scenarie B i 2030 bliver 20 - 30 mia. kr. mindre end i scenarie A. Denne årlige driftsbesparelse kan bruges til at forrente og afskrive de investeringer i nye transportmidler og transportsystemer, der indgår i scenarie B og C (se tabel 15.4 - 15.6).

Investeringsindsatsen

Som det fremgår af figur 15.3, er det i alle scenarierne forudsat, at der allerede i årene frem til 2010 sker en kraftig forøgelse af investeringerne. Det er nødvendigt, fordi Danmark i henhold til EU-aftalerne om opfyldelse af Kyoto-protokollen allerede i 2010-2012 skal formindske sit CO₂-udslip fra de skorstene og udstødningsrør, der indgår i de her fremlagte beregninger, til 40 mio. tons.⁸¹ Hvis danske virksomheder i stedet for at formindske udslippet fra egne skorstene og udstødningsrør køber CO₂-kvoter i udlandet eller på anden måde skaffer sig ekstra udslipsrettigheder (se kapitel 13, afsnit 13.3) kan forpligtelserne opfyldes, selv om investeringerne udskydes. Men for hvert år investeringerne udskydes, går vi glip af den samfundsøkonomiske fordel, der opnås i kraft af investeringerne. Og på lidt længere sigt kan det globale CO₂-udslip ikke formindskes ved at det ene land køber udslipsrettigheder af det andet.

Brændselsforbrug og CO₂-udslip

Scenarie A er ikke godt nok. Den opnåede nedtrapning af CO₂-udslippet er ikke tilstrækkelig og den opnås delvist ved et skift fra kul til naturgas, hvilket medfører, at naturgasforbruget stiger kraftigt. Det kan næppe lade sig gøre i virkeligheden. Endvidere er nedtrapningen af olieforbruget urealistisk lille i A-scenariet.

B- og C-scenarierne tegner et mere realistisk billede. Naturgasforbruget bliver ganske vist ikke formindsket, men der opnås en betydelig formindskelse af olieforbruget. Og samfundsøkonomisk tegner B-scenariet sig meget mere fordelagtigt end A-scenariet (se figur 15.2).

81) Udslip fra olie- og gasudvinding, raffinaderier, landbrugs- og entreprenørmaskiner, fly og enkelte store virksomheder indgår ikke i disse beregninger. Derfor er det beregnede CO₂-udslip mindre end Danmarks samlede udslip.

El-forbrug

Med hensyn til el-forbruget er scenarierne ret konservative. Som angivet i tabel 15.3 er der regnet med at nye el-apparater gennemgående vil være mere energi-effektive end de nu eksisterende. Men fordi der er regnet med en kraftig vækst i apparat-bestandene (se figur 15.1), bliver el-forbruget i 2030 omtrent det samme som i dag. Der kan vindes meget ved at gøre en større indsats for at formindske el-forbruget. Blandt andet vil olieforbruget kunne formindskes yderligere, fordi der kan frigøres mere elektrisk kraft til transport.

Solceller og solfangeranlæg

I figur 15.4 og 15.5 kan man se, at forskellen mellem B-scenariet og C-scenariet er, at der i C-scenariet indgår solceller (der leverer elektrisk kraft) og solfangeranlæg med sæsonlagre, der bidrager til varmeproduktionen i naturgasfyrede kraftvarmeværker. Derved opnås en vis formindskelse af det samlede brændselsforbrug (se figur 15.3) og en tilsvarende formindskelse af CO₂-udslippet. De omkostninger, der er indregnet til investeringer i disse anlæg, er ret store i forhold til den produktion, de forventes at give (se tabel 15.3). Der skal ske et kraftigt prisfald for disse anlæg, før de kan konkurrere med el- og varmebesparelser.

Der er i C-scenariet regnet med, at antallet af individuelle solfangere i områder, der ikke bliver forsynet med fjernvarme, ti-dobles.

Varmepumper i kraftvarmeværker

I kapitel 8 er det forklaret, hvordan varmepumper i kraftvarmeværker kan bruges til at regulere forholdet mellem værkernes el-produktion og varmeproduktion (se figur 8.2). Det er en vigtig egenskab i et energisystem med mange kraftvarmeværker og mange vindmøller. Som angivet i tabel 15.2 indgår varmepumper i kul- og naturgasfyrede kraftvarmeværker derfor i alle de tre scenarier. I figur 15.5 ses hvor stor en del af fjernvarmeproduktionen i kraftvarmeværker, der kommer fra disse varmepumper.

I B- og C-scenarierne er mini-kraftvarmeværker i naturgas-

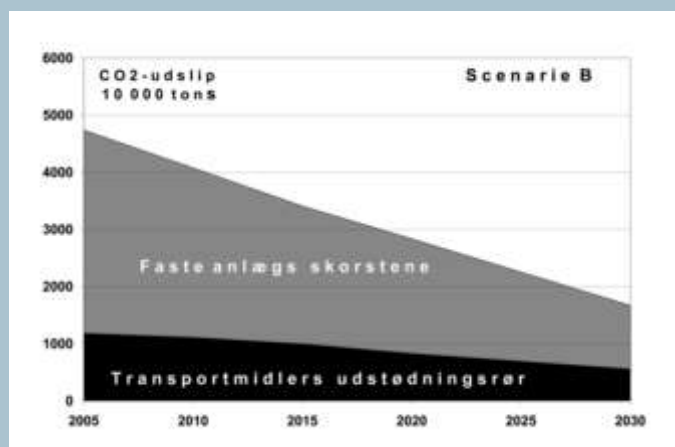
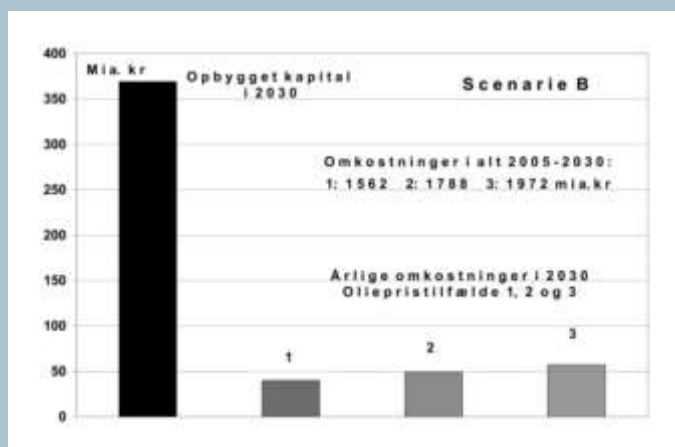
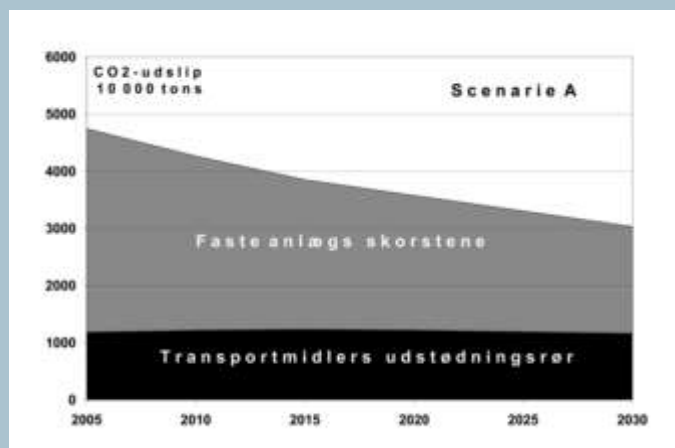
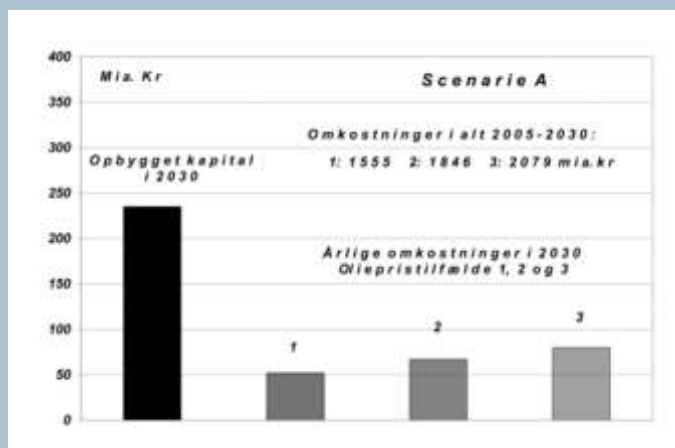
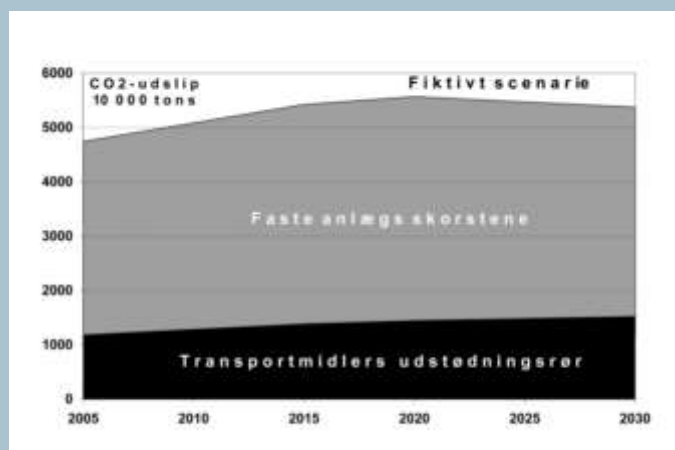
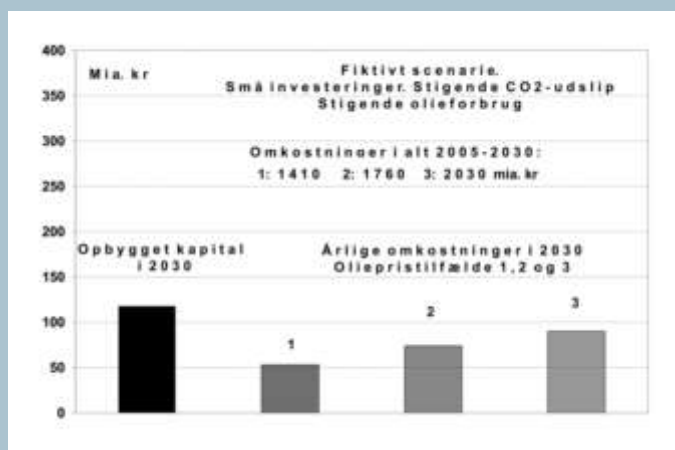
forsynede bygninger også udstyret med varmepumper (se tabel 15.2).

15.6 BANEN ER KRIDTET OP

De scenarie-beregninger, der her er vist, tjener til illustration af, at der er mange økonomiske og tekniske sammenhæng, der skal tages i betragtning i udformningen af en energipolitisk strategi, der forholder sig til den virkelighed, samfundet skal fungere i fremover. Kurverne og tabellerne i afsnit 15.1 - 15.4 ovenfor giver en oversigt over de mange forhold og "ingredienser", der indgår i en konstruktiv planlægning. Kurverne i figur 15.2 - 15.5 på de efterfølgende sider viser, hvordan resultaterne af en bestemt måde at stille brikkerne op på kan beregnes, vises og diskuteres.

Datagrundlaget kan opdateres og forbedres, og andre scenarier kan tages i betragtning. Men banen for en konstruktiv politisk diskussion er kridtet op.

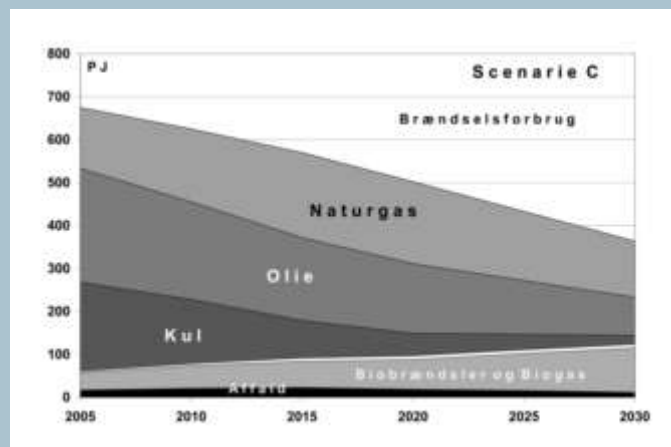
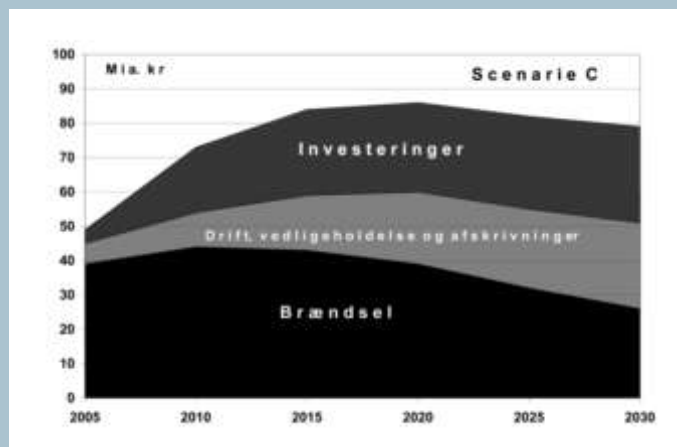
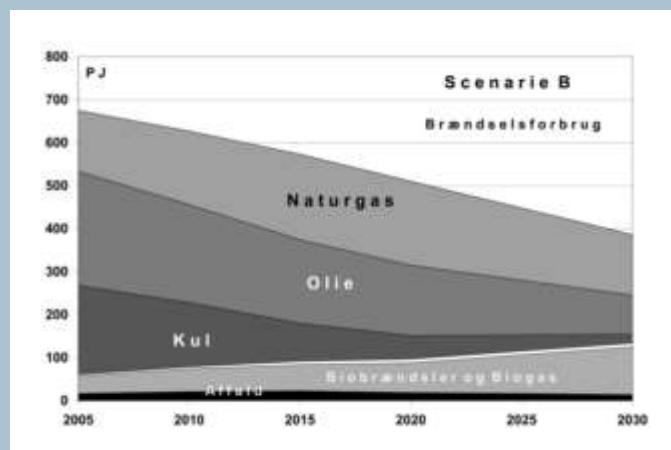
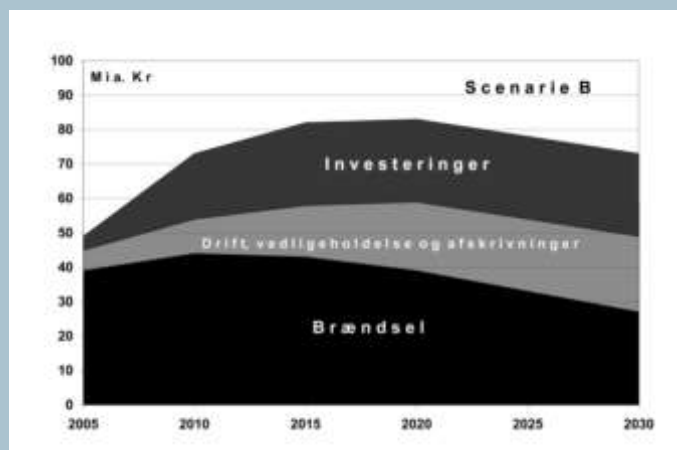
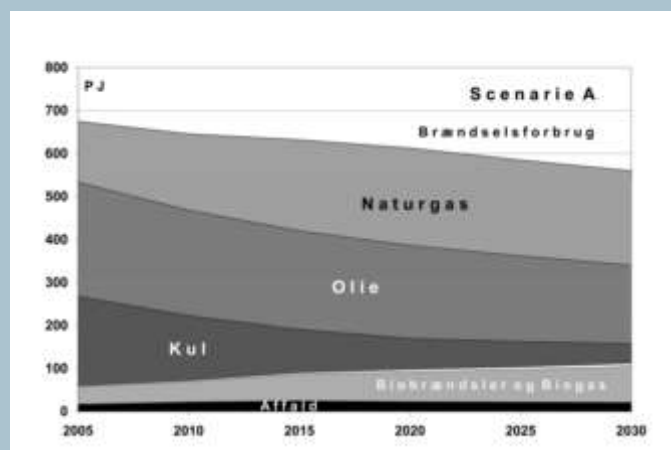
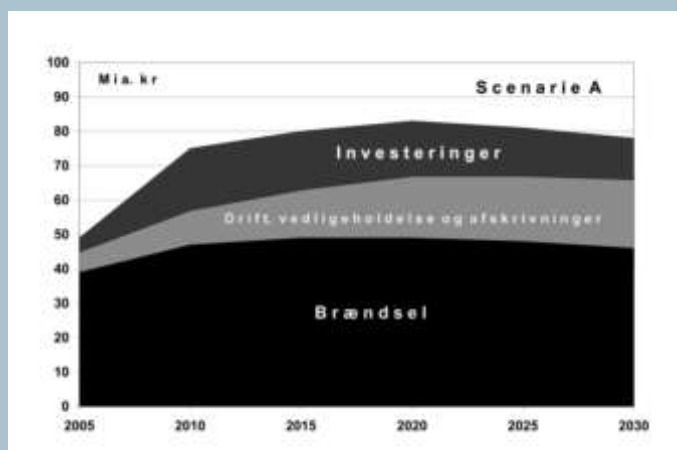
SCENARIO-EKSEMPLER BEREGNINGSRESULTATER



Figur 15.2 Beregningsresultaterne viser – ikke overraskende – at hvis man i stedet for at bruge så mange penge til brændsel bruger flere pengene på at forbedre energisystemets effektivitet, sådan at brændselsforbrug og CO₂-udslip formindskes (se figur 15.3), så får man opbygget kapital i nye anlæg og bygningsforbedringer. Jo mere der investeres i de rigtige ting, jo stærkere bliver fundamentet for den fremtidige samfundsøkonomi. CO₂-udslippet omfatter ikke udslip fra olie- og gasudvinding, raffinaderier, flytransport, landbrugsmaskiner og entreprenørmaskiner.

ØKONOMISKE OMKOSTNINGER MIA.KR

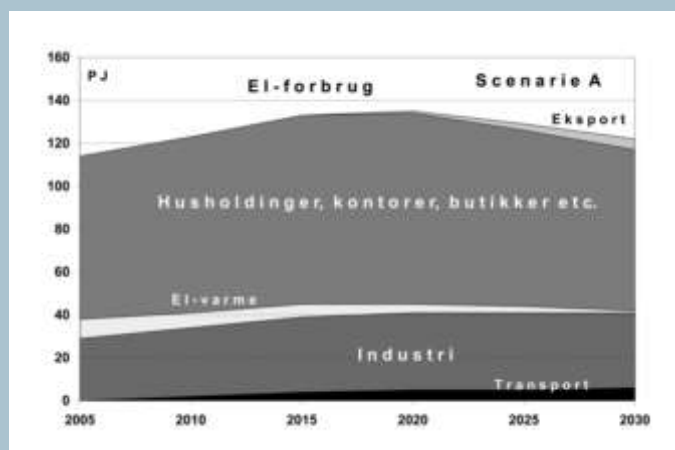
BRÆNDELSFORBRUG PJ



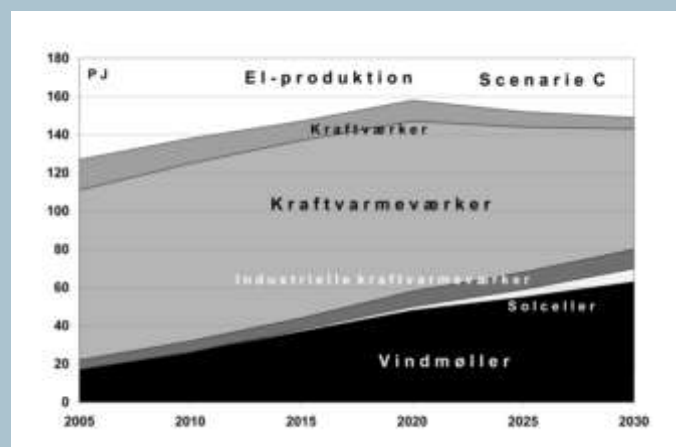
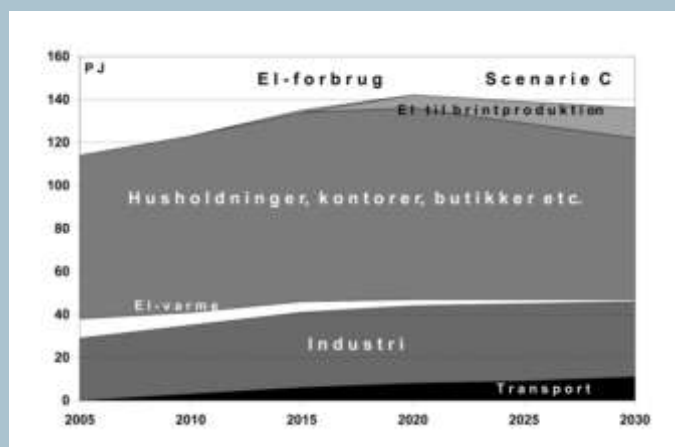
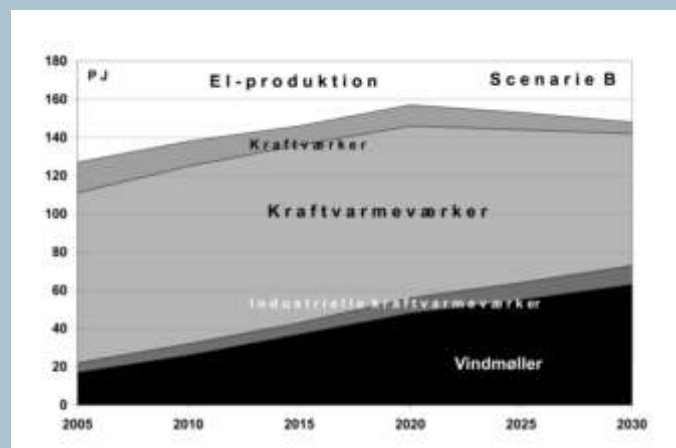
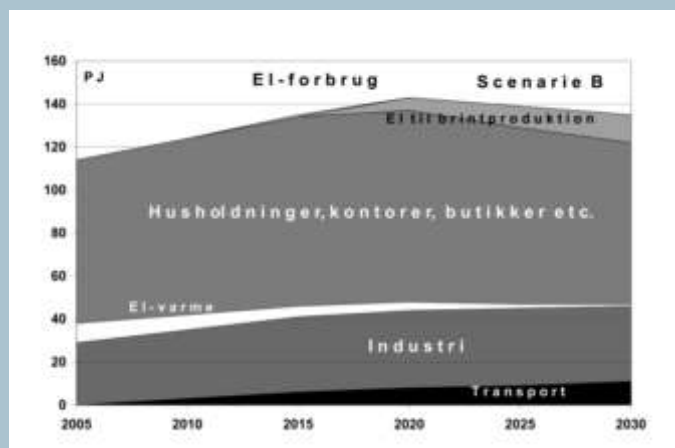
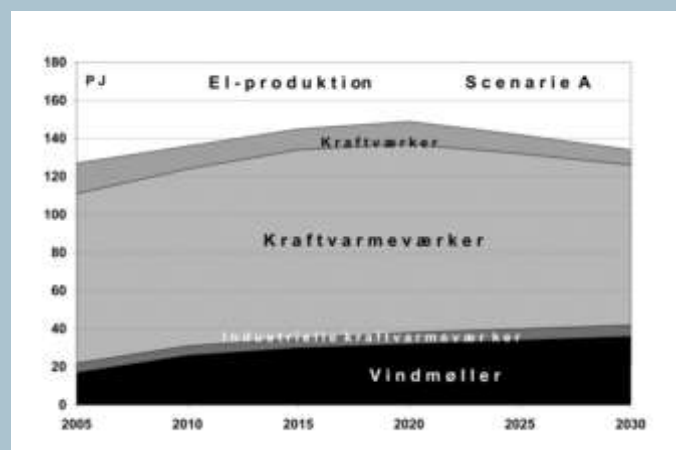
Figur 15.3 Til venstre ses, hvordan udgifterne hen over årene fordeler sig på de forskellige udgiftsposter. Til højre ses, hvordan brændselsforbrugene ændres. Den meget hurtige stigning i investeringerne i de næste fem – ti år er nødvendig, hvis Danmark skal opfylde sine forpligtelser til at nedtrappe CO₂-udslippet uden at købe eller skaffe sig mange CO₂-kvoter i udlandet (se afsnit 13.3).

Bemærk: I figur 15.2 overfor er det fiktive scenarie vist øverst og scenarie C er ikke med.

EL-FORBRUG PJ

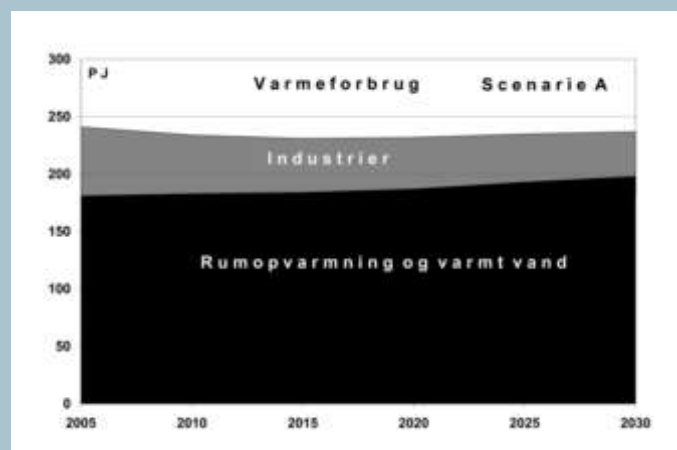


EL-PRODUKTION PJ

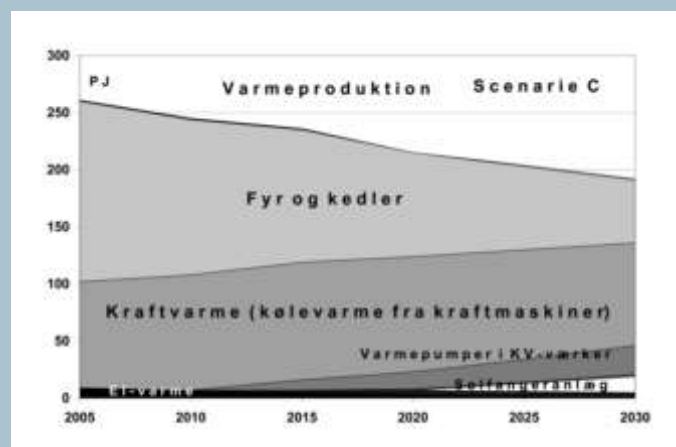
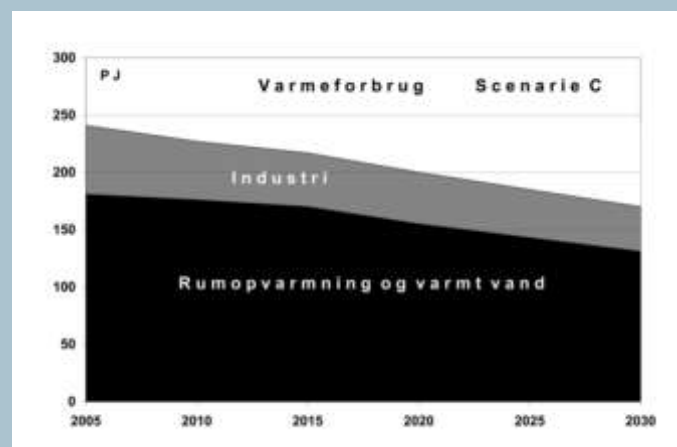
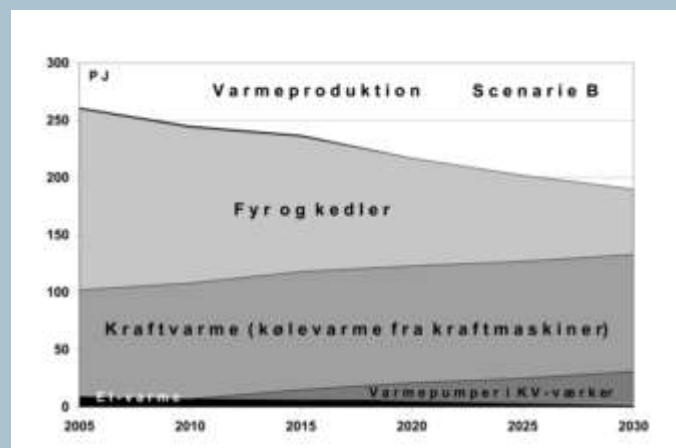
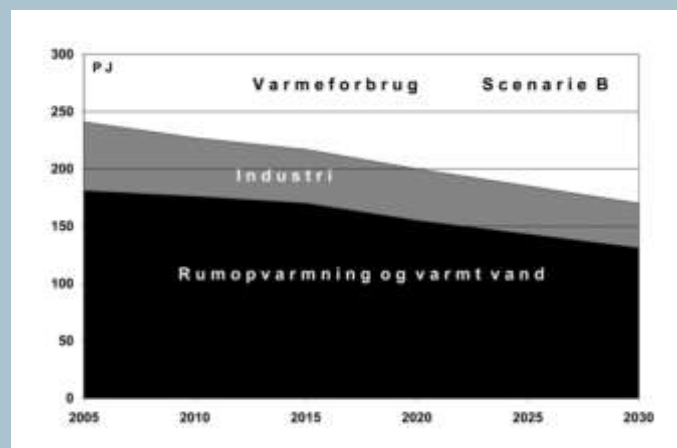
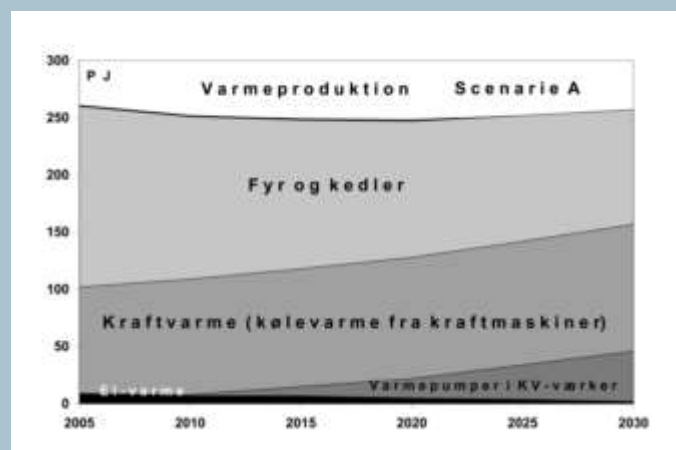


Figur 15.4 Det almindelige el-forbrug i husholdninger etc. og industri er det samme i de tre scenarier. I scenarie A sker der en mindre el-eksport i slutningen af perioden. I scenarie B og C bruges der i stedet en hel del elektrisk kraft at producere brint til biler (eller en anden form for kemisk energioverførsel til biler). Det direkte el-forbrug til transport er større i B og C end i A. El-varmen udfases i alle de tre scenarier. Det er især vindmøllerne, der gør en forskel i el-produktionen mellem B- og C-scenarierne og A-scenariet, men i C er der også en mindre el-produktion i solceller.

VARMEFORBRUG PJ



VARMEPRODUKTION PJ



Figur 15.5 I A-scenariet er varmerforbruget nogenlunde konstant, fordi varmerbesparelser i eksisterende bygninger kun lige balancerer med forbrugstilvæksten i nye bygninger. I B- og C-scenariet er der regnet med 145 mia. kr. til efterisolering, nye vinduer etc. I B- og C-scenariet forbedres energiomsætnings-systemets effektivitet ved at få skrottet størstedelen af de ineffektive fyr og kedler (se kapitel 4, afsnit 4.7, tabel 4.1). I C-scenariet giver store solfangeranlæg er bidrag til varmerforsyningen.

ENERGIPOLITISK STRATEGI

Transport- og Energiministeriet fremlagde i juni 2005 regeringens *Energistrategi 2025* med undertitlen *Perspektiver frem mod 2025 og Oplæg til handlingsplan for den fremtidige el-infrastruktur*. De langsigtede forsyningssikkerhedsmæssige og miljømæssige udfordringer, som (citater) "Regeringen vil møde med en sammenhængende strategi, der sikrer balance mellem forsyningssikkerhed, miljøhensyn og økonomisk vækst" anføres som (citater):

- Forsyningssikkerhed. Stærkt stigende energiforbrug i verden medfører pres på de globale ressourcer, og stadig større dele af især olieforsyningen vil komme fra politisk ustabile regioner. Dansk økonomi skal i fremtiden fastholde en høj grad af robusthed over for høje og ustabile energipriser.
- Globale klimaforandringer. Ikrafttrædelsen af Kyoto-protokollen og en fremtidig opfyldelse af Klimakonventionens mål om at begrænse de menneskeskabte ændringer af klimaet til et ikke-farligt niveau forudsætter kraftige globale reduktioner af udledningen af drivhusgasser, herunder ikke mindst udledningen af CO₂ fra energiforbrug og -forsyning. (citater slut)

En god strategi er en nøje gennemtænkt overordnet plan for, hvordan en bestemt opgave løses eller et bestemt mål nås på den mest hensigtsmæssige måde med de midler, der er til rådighed eller kan påregnes at blive til rådighed undervejs. En strategi, der skal imødegå de anførte udfordringer, forudsætter derfor en nøjere bestemmelse af, hvad det i praksis betyder "at fastholde en høj grad af [økonomisk] robusthed over for høje og ustabile energipriser" og "at begrænse de menneskeskabte ændringer i klimaet til et ikke-farligt niveau".

A-, B- og C-scenarierne, der er fremstillet i tabellerne og graferne på de foregående sider, viser tre mulige tekniske forandringsstrategier og de samfundsøkonomiske omkostninger og gevinster, de kan forventes at give.

Er den "økonomiske robusthed", der som vist i figurerne 15.2 og 15.3 opnås i A-scenariet, tilstrækkelig? eller skal den strategiske målsætning være som i B-scenariet? Er den nedtrapning af CO₂-udslippet fra danske skorstene og udstødningsrør, der opnås i A-scenariet, hurtig nok til at yde et tilstrækkeligt dansk bidrag til begrænsning af drivhuseffekten? eller er det nødvendigt at styre efter en hurtigere nedtrapning som i B-scenariet for at bidrage tilstrækkeligt til, at den globale udledning betids kommer ned på "et ikke-farligt niveau"? eller skal målet ligge et sted mellem A og B?

Er de i form af scenarierne viste strategier hensigtsmæssige? eller kan resultaterne opnås på teknisk og samfundsøkonomisk snildere måder?

Sådanne scenarieberegninger giver et konkret teknisk og samfundsøkonomisk udgangspunkt for diskussionen af mål og midler: Hvilke målsætninger, skal en energipolitisk strategi styre efter, og med hvilke midler, skal målene nås.

Når der er lagt en strategi, der skaber markeder for nye energiomsætningsanlæg og vindmøller, biogasanlæg, lav-energi-el-apparater, bygningsforbedringer, osv. kan markedets aktører klare mange af de taktiske manøvrer. Men markedets købere og sælgere af de mange forskellige typer af anlæg og forbrugsgoder kan ikke lægge en sammenhængende, langsigtet strategi for udviklingen af energisystemet i dets helhed.

ENERGIENHEDER

Energi måles i enheden Joule (J), efter den berømte engelske fysiker James Prescott Joule, se kapitel 4, afsnit 4.4.

1 kJ (kilojoule) = 1 000 J
1 MJ (megajoule) = 1 000 kJ = 1 million J
1 GJ (gigajoule) = 1 000 MJ = 1 milliard J
1 TJ (terajoule) = 1 000 GJ = 1 000 milliarder J
1 PJ (petajoule) = 1 000 TJ = 1 000 000 milliarder J

Eksempler på energiværdier:

Når du løfter en indkøbskurv med 10 liter mælk fra gulvet op til kasseapparatet, udfører du et arbejde på cirka 80 J

Ved afbrænding af en tændstik udvikles energi i form af varme på cirka 3 000 J = 3 kJ
Denne varme kaldes tændstikkens brændværdi.

Et menneskes daglige energibehov i form af fødevarer er cirka (gennemsnit for mænd, kvinder og børn)
10 000 000 J = 10 000 kJ = 10 MJ
Det er omtrent lig brændværdien af et stykke bølgebrænde på størrelse med en 1 liter mælkekarton.

Brændværdien af 1 liter olie (i form af fyringsolie, diesel eller benzin) er cirka 36 000 000 J = 36 000 kJ = 36 MJ
Det vil sige, at et menneskes daglige energibehov svarer til godt og vel 1/3 liter olie.

Det årlige forbrug af fossile brændsler (olie, naturgas og kul) i Danmark andrager rundt regnet 800 PJ

Den danske befolkning på 5.33 mio. mennesker har et årligt energibehov i form af fødevarer på i alt cirka
5 330 000 personer * 10 MJ/person pr. dag * 365 dage
= 20 000 000 000 MJ
= 20 000 000 GJ
= 20 000 TJ
= 20 PJ

Vores energiforbrug i form af fossile brændsler er således cirka 40 gange så stort som vores energiforbrug i form af fødevarer.

Svinene og køerne i det nuværende danske landbrug æder hvert år en fodermængde, der har en energiværdi på cirka 190 PJ.

Det er omtrent 10 gange så meget som den danske befolkning sætter til livs, og det svarer til omtrent 1/4 af det årlige fossile brændselsforbrug.

Andre energienheder:

1 kWh (kilowatt-time) = 3 600 kJ = 3.6 MJ
1 kilokalorie = 4.187 kJ

Olie:

1 tønde olie (1 barrel) = 157 liter
Det globale olieforbrug i 2005 var ca. 84 millioner tons om dagen

JORDENS LIV

Det nøje samspil mellem livets og atmosfærens udvikling er en fantastisk kemisk proces. Når man tænker over den, forstår man, at livet her på Jorden består i et forunderligt samspil mellem alt det, der sker i atmosfæren, i havene og på landjorden.

DEN ØKONOMISKE VÆKST

Det er svært at forestille sig, hvordan en økonomisk vækst af den art, vi har oplevet siden 1950'erne, kunne være blevet til noget, hvis der ikke i 1950'erne og 1960'erne var blevet fundet store oliefelter i USA, Mellemøsten og Sydamerika. Det er en geologisk tilfældighed i Jordens historie, at de overhovedet fandtes.

VELFÆRDSSAMFUNDET

Vores velfærdssamfund er nu så afhængigt af en meget skæv global produktions- og forbrugsfordeling og tilsvarende voldsomme skævfordelinger af forbruget af begrænsede ressourcer, at dets grundlag er spinkelt og hurtigt kan blive undermineret.

ENERGIREGNSKABER

Det er rigtigt, at 60 Petajoule vindkraft + 35 Petajoule varmt vand + 150 Petajoule i form af forskellige brændsler giver 245 Petajoule ialt.

Det er også rigtigt, at 60 liter benzin + 35 liter varmt vand + 150 liter fløde giver 245 liter ialt.

Men værdimæssigt er det åbenbart meningsløse regnestykker.

OLIEFORSYNING

Som vi skal se, viser det sig ved nærmere eftertanke, at den optimistiske vurdering af væksten i olieproduktionen i de kommende år må gøre os meget pessimistiske og bekymrede for samfundsøkonomiens grundlag på bare lidt længere sigt.

ENERGIPOLITIK

En energipolitisk strategi er en plan, der udstikker hovedretningslinier for en ønsket udvikling af energisystemet i de næste årtier. I praksis er den et investeringsprogram, der viser hvilke investeringer, man vil foretage for at opfylde de energipolitiske målsætninger.

ENERGIMARKEDERNE

At dele systemet op i en el-sektor og en varmesektor, svarer til at se på funktionen af den ene og den anden side af en lynlås hver for sig. I den almindelige familie- og virksomhedsøkonomi skal man lægge tallene på el-regningen, varmeregningen og transportudgifterne sammen. Det er summen, der er interessant.

