

FUTURIBLERNE

SELSKABET FOR FREMTIDSFORSKNING

ÅRGANG 1980 . Nr. 3-4

INDHOLD

- 3 Redaktionelt forord
- 4 ARNE JENSEN: Fremtidsforskeren Jørgen Koefoed
- 8 JØRGEN KOEFOED: Energien og fremtiden
- 14 JØRGEN KOEFOED: Termodynamik og teknik
- 26 IVAN TH. ROSENQVIST: Etter oss kommer overfloden??
- 30 JØRGEN KOEFOED: Hvad er den rigtige rentefod for en værdifast obligation?
- 32 OTTO BYRGE: Dynamisk økonomi
- 36 JØRGEN KOEFOED: Energy, exergy, entropy
- 40 JØRGEN KOEFOED: Thermal exergy and its storage
- 44 JØRGEN KOEFOED: Calories, joules and dollars
- 47 ERIK HØGH: En dansk fremtid 1975
- 56 JØRGEN KOEFOED: Dynamik og ligevægt
- 61 TORBEN BO JANSEN: Energiforsyning på kortere og længere sigt
- 73 ELSE PLEJL: Talt og skrevet af Jørgen Koefoed 1970 – 1979

Dette nummer udsendes med støtte fra BP Energifond til minde om fondens formand Jørgen Koefoed.

Redaktion: Bestyrelsen for Selskabet for Fremtidsforskning
Redaktører af dette nr.: Erik Høgh og Torben Bo Jansen

Selskabet for Fremtidsforskning

Indmeldelse: Vester Farimagsgade 3, 1606 Kbh. V, tlf. (01) 11 71 76

Abonnement: Gjellerup Boghandel, Sølvgade 87, 1307 Kbh. K, tlf. (01) 13 72 33. Postgiro: 9 02 91 92

Løssalgspris: Enkelt-nummer: 30 kr. + moms, dobbelt-nummer: 55 kr. + moms.

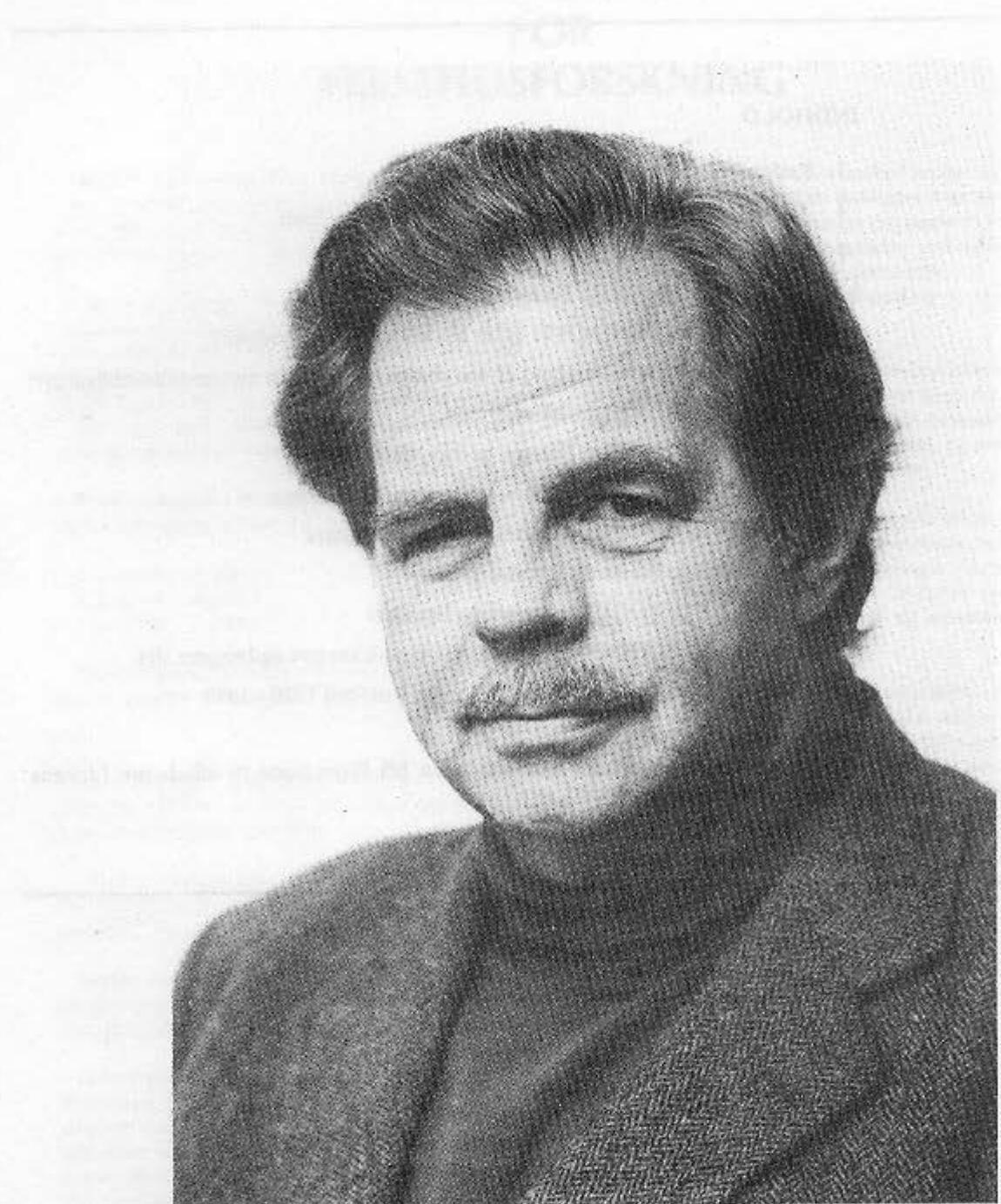
Årsabonnement på Futuriblerne: 125 kr. + moms. Medlemskontingent 1980: 175 kr. (inkl. abonnement på Futuriblerne, eller 250 kr. (inkl. abonnement på Futuriblerne og Orientering om Fremtidsforskning).

SKOLELIBRARI

HØJSKOLEBOKSAMLET

UNIVERSITETSBOKSAMLET FOR HØJSKOLEN

AKADEMICT



Jørgen Koefoed 4.1.1920 - 17.3.1980

ET MINDEHÆFTET OM JØRGEN KOEFOED

Jørgen Koefoed blev 60 år. En alt for tidlig død, der skabte et savn ikke blot blandt familie og venner, men også blandt fremtidsforskere.

Jørgen Koefoed afløste Thorkil Kristensen som præsident for Akademiet for Fremtidsforskning.

Jørgen Koefoed havde den tværvitenskabelige og fra fremtiden til nutiden deducerende holdning, der gjorde ham inspirerende for fremtidsforskere.

Futuriblerne føler derfor, at det mildest talt er på sin plads at offentliggøre et mindehæfte for Jørgen Koefoed.

Ideen i mindehæftet er et vekselspil mellem artikler af Jørgen Koefoed og artikler som er sat i gang af Jørgen Koefoeds artikler eller som han følte var åndsbeslægtede med hans tanker.

Professor Arne Jensen, kollega og ven, giver i sin artikel et billede af Jørgen Koefoed som fremtidsforsker. Denne artikel indleder artikelrækken i dette mindehæfte.

Der er artikler af Jørgen Koefoed lige fra 1945 til 1980.

Centralt for Jørgen Koefoed var energi, energi, termodynamik, økonomi og samfund. De udvalgte artikler af Jørgen Koefoed vedrører derfor disse emner.

Mindehæftet om Jørgen Koefoed afsluttes med en bibliografi for perioden 1970 - 1979 udarbejdet af Else Plejl.

Torben Bo Jansen Erik Høgh

Jørgen Koefoeds artikler er ledsaget af tre figurer, der er karakteristiske for hans kemiske arbejde. De er taget fra:

Jørgen Koefoed: Les transformations d'ordre supérieur correspondent-elles à une réalité? Extrait des Comptes Rendus de la 2^e réunion de la Chimie Physique, 2-7 juin 1952.

J. N. Brønsted and Jørgen Koefoed: The Thermodynamic properties of paraffin Mixtures. I. Det Kgl. Danske Videnskabernes Selskab, matematisk-fysiske medd., bind XXII, nr. 17, 1946.

FREMTIDSFORSKEREN JØRGEN KOEFOED

Arne Jensen*

Det er med nogen betænkelighed, jeg vover mig ud i at tale om Jørgen Koefoed som fremtidsforsker, for med det format, Jørgen Koefoed havde, kan jeg ikke yde ham fuld retfærdighed eller, som Jørgen ville have sagt det, idet han altid trak en naturlov i sin ræsonneren frem: »Hver gang, et budskab går igennem et nyt individ, går der på grund af det pågældende individs begrænsninger en betydelig del af budskabet tabt«, og hvad værre er, må jeg tilføje, der tilføjes en del støj, der gør den resterende del af budskabet mindre forståeligt, hvis det da ikke er så uheldigt, at det bliver forståeligt, men forkert.

Parantesen - Sommeruniversitetet - DTH

Jørgen var stor på mange måder. Ikke blot af statur og, som vi har hørt, af fag, men også i udsyn. Det mærkede man allerede i studentertiden, når han sammensatte en foredragsrække og tilrettelagde festafstalter i Parenthesen. Han var et festligt menneske af format. Ville udtrykket »renaissance-skikkelse« om Jørgen blive accepteret af ham selv?

Sommeruniversitetet i '50'erne med dets blanding af filosofi og historie og samfundsvidskaber var et velegnet sted at boltre sig for en type som Jørgen. Han var halvt bornholmer fra Øen *uden* herremænd og hovbønder *med* præster og embedsmænd, der havde haft svært ved at begå sig blandt de fine og fornemme ved Hoffet og på Universitetet. Han var en del af Øen, hvor man kaldte tingene ved deres rette navn. Øen, der producerede de tre professorer – juristen P. Koefoed Anker, filologen J. N. Madvig og religionshistorikeren Vilhelm Grønbæk, der alle var selvlærte mænd. Øen, hvis beboere havde en vis egensindighed og stædighed, en uimponeret tillid til egne evner og egen dømmekraft med en sans for virkelighed og en dyb mistro til det, der nok så vulgært hedder Pis og Papir. Det er Jørgens egne udtryk om Bornholm og dens befolkning, og indirekte giver de et billede af ham selv. Man skulle ikke stille hos Jørgen med fraser, hule og tomme ord. Der skulle være en forbindelse til virkeligheden i det, man tog sig til og gav udtryk for. Jeg tror, man kan sige det samme om Sommeruniversitetets deltagere fra '50'erne.

Det var da også disse træk, der prægede ham i det tiår i tresserne, hvor han deltog i opbygningen af

DTH. Med den indsigt i filosofi og kulturhistorie, og den indsigt i vort samfunds, de lærde institutioners og naturvidenskabernes historiske udvikling, han havde skaffet sig, havde hans ord vægt. Han tog ofte ordet for at bringe nogle ting på plads. Han elskede at afdække tomme fraser eller taktiske manøvrer og trække de store linier op i debatten i det omfang, han kunne vinde gehør i forsamlingen. Det skete ikke altid. Han stillede ikke så små krav til tilhørernes egen horisont, før hans budskab kunne gå ind. Selv når han var mest sarkastisk i sine bemærkninger om de besluttende organer, overvurderede han nok alligevel forsamlingers evne til at følge sin tankegang. Folk af typen polyhistor, eller lidt i retning af polyhistor – for dem med stort P har vi ikke mere – er der ikke så mange af. Og det er nu svært for medlemmerne i forsamlingen at godtage indlæg, der benytter sig af en viden, man selv kun delvis har. At Jørgen ikke altid havde ret, fordi han godt kunne lide at trække tingene lidt stærkt op, især når der var tale om en skindebat – blot for at sikre sig, at alt kom i det rette lys, gav mangen en lytter mulighed for at lukke ørerne og blive fri for det besvær, det var for ham at finde ud af, hvad der lå i Jørgens indlæg.

Fremtidsforskningen

At han med sin udvikling og baggrund var et naturligt og fremtrædende medlem af kredsen inden for fremtidsforskningen i '70'erne er selvført. Med sit kendskab til litteratur, religion og historie, sin evne til at overføre de fundationale træk i grundlæggende naturvidenskabelige love til debatten af samfundsforhold var han selvkrevet i den kreds. *All* den analogi, han benyttede, skete i respekt for den holdning, han som forsker af den gamle skole havde. Det gav fremtidsdebatten calorier, der fik den til at række ud over elementært prognosemageri for befolkning og økonomi. Det var da også naturligt for Thorkil Kristensen, der selv havde evnet at gå uden for eget fag, at pege på Jørgen Koefoed som sin efterfølger som præsident for Akademiet for Fremtidsforskning.

Jørgen blandede sig ganske naturligt i meget, og jeg skal her blot trække nogle enkelte linier op, som jeg i denne stund ser dem. For Jørgen bliver man ikke færdig med. Hver gang, man genlæser ham, ser man ham i et nyt perspektiv, alt efter hvilket hoved man har på den dag.

Jørgen var en ordets mester og en litteraturens ken-

* Foredrag holdt den 14. oktober 1980 i anledning af Mindeaften for Jørgen Koefoed.

der og greb straks similiprodukter såvel kollegers som venners inden for som uden for forskningens kreds. Han kunne ikke døje, at ord blev brugt som kastevæben i en kamp. De var til som middel for at opnå indsigt og forståelse. Det gjaldt, hvad enten der var tale om en dybtgående magtkamp mellem personligheder i middelalderens religioner eller i vor tids marxistiske grupperinger. På overfladen viser de sig blot som endeløse diskussioner om formuleringer af trosbekendelsen om, hvem der er kætttere, og hvem der er rettroende, mente han.

Når vi er så glade for, at vi for en tid har en mereksport af know-how, spørger han, hvorfor ikke udnytte den selv?

Når han kommer med indlæg om arbejdsløshed, gør han opmærksom på tilliden til fremtiden som bevægende moment.

Når han begiver sig ind på rentens område, er det fysikerens bevaringssætning, han har i baghovedet.

Han gør opmærksom på den væsentlige forskel mellem ekspansionsperioder og det stationære samfund med dets ligevægt med en realrente, der, set med en fysikers øjne, meget vel kan blive 0.

Når han kommer ind på økonomisk demokrati, spørger han, om det ikke er en generation for sent nu, hvor klassebegrebet er under opløsning, og klassekampen ikke har sit oprindelige indhold.

For en kemiker som Jørgen, var ØD-problemet noget uinteressant, en slags opium for folket, hvor en risikomand som jeg opfatter ØD-problematikken som etablering af stødpuder i samfundets omstyringsproces.

Men også andre bevægelser blev utsat for hans vid - til tider svidende, på grænsen mellem det elegante og sårende. Oprør fra Midten blev utsat for hans hårde medfart, og forfatternes manglende kontrol af visionerne ved ikke at sammenligne dem med virkeligheden munder ud i den hårde bemærkning om forfatterkollegiet: »Fysikeren – Politikeren – Filosoffen – tre par ben solida plantet midt i den blå luft«.

Om Arne Sørensens omtale af Glistrup som en vulgær person bemærker den iagtagende naturforsker Jørgen typisk: »Lad os nu lige se, hvad der kommer ud af Glistrups unægtelig noget ejendommelige forehavende«.

Disharmoni – Dynamik – Revolution

Nærdemokratisk stabilitet og samfundsmaessig revolution ikke nødvendigvis uforenelige.

De for lægmandens øje ejendommelige disharmonier i naturen giver kemikeren Jørgen Koefoed anledning til nytænkning om samfundets mekanismer. *Er* vi ude for ligevægtsmekanismer med ibyggede evolutionære udviklingstendenser? Eller er samfundet ligesom en del af naturen indrettet sådan, at der fra tid til anden på grund af disharmonier sker virkelig radikale spring i dets opførsel? Indbyrdes stabile spilleregler mellem delene kan under ændrede forhold give sig ud-

slag i radikalt ændrede billede som f. eks. i væskestrømninger under ændrede temperaturer. Det giver ham anledning til at fundere over, om menneskenes opførsel over for hinanden, deres indbyrdes stabile nærdemokratiske spilleregler, under ændrede ydre forhold pludselig kan give sig udslag i ændrede organisatoriske mønstre i det overordnede samfundslegeme af radikal art. Man må tilpasse sig den virkelighed, det nærdemokratiske spil uden ydre pres tvinger frem. Altså revolutionære springvise ændringer i stedet for evolutionære kontinuerte ændringer.

»Kæmp for Alt, hvad du har Kært – Sejr din Sag, vil det, du Vinder, blive noget helt andet end det, du Kæmpede for«, er Jørgens ironiske bemærkning til pionerer og apostle for en god sag.

Feje for egen dør

De tilstede værende ved, at han ikke havde høje tanker om fornuftens vilkår i meningsdannelsen og om videnskabsmæn og forskeres mulighed for at forbedre disse forhold – al den stund, de kære kolleger inden for eget hus med Jørgens øjne ikke gjorde meget for at fremme fornuftens vilkår i meningsdannelsen. Han ville dog ikke helt falde hen til pessimisme og håbete på, at vi i det helt lange løb skulle nå til »at få fornuft bragt på mode«, selv om vi i øjeblikket kun var på begyndelsen af »indtrægningskurven«.

»Disharmonierne« gør sig også gældende i hans almene indlæg. Den vestlige verdens produktionsmirakel i efterkrigstiden beror set med Jørgen Koefoeds øjne på disharmonier og indeholder mekanismer, der ufravigeligt har den konsekvens, at de udлиigner de disharmonier, der satte dem i gang.

Pioner-funktionens betydning tages frem. Hans hovedteser er, at vores nutidige vanskeligheder formentlig ikke er skabt af teknologikløfter, men først og fremmest er skabt af utidssvarende nødlidende økonomisk-politiske mekanismer og sociale holdninger.

Som så ofte før, kommer Jørgen Koefoed med belæg hentet fra historiens værksted for det, han siger.

Pionerindsatsen illustreres med den håndfuld bøsesmede fra Spanien, der som teknisk hjælp til et underudviklet land, Danmark, kom til Brobyværk på Fyn, og det, vi oplever i disse år, mener han, kan meget vel være slutspillet i den epoke, hvor lederskabet ligger i Vesten.

Energidebattens grundvidenskabelige revser

Men hans mest gennemarbejdede bidrag er vel den lange serie af indlæg om utidssvarende økonomisk-politiske mekanismer, han i '70'erne er kommet med inden for energiens område. På grund af sit kendskab til naturlovene og sin vide horisont i samfundsudviklingens anliggender føler han sig dybt engageret i energidebatten.

Jørgen Koefoeds indlæg omfatter et centralt forsøg på som grundlag for politikken at give en almen be-

skrivelse af de fundamentale energirelationer og dermed naturens begrænsninger for vores muligheder på dette område. Sammenhænge i naturen tages op, hvorved han bl.a. klargør, hvor der reelt er gevinstre at hente og muligheder for væsentlige gevinstre, og hvor store de, når naturlovene respekteres, højest kan være.

Den vestlige verdens gennemsnitlige 5% effektivitet i udnyttelsen af exergy (fri energi, latent arbejde) kan ændres til måske 50% og altså reducere vort forbrug til måske 1/10, mener Jørgen.

Han fremhæver energiråstoffets centrale betydning blandt råstoffer som det råstof, der er forudsætningen for udnyttelsen af de øvrige. Han gør rede for forskellen mellem ligevægtstilstand og dens »dødvande« og den dynamik, der findes i potentiel forskelle, hvor ulige vægten medfører transport af energi og »liv«. Altsammen i et rimeligt tilgængeligt sprog. Vi får sammenhæng mellem varmemængde Q, resterende, latent arbejde eller brugbar energi, exergy ved temperaturer $T_0, Q(T-T_0)/T$ under brug af Carnot's brøk i absolute temperaturer og entropiens gange temperaturdifferens T, $Q = S \times T$. Han gør rede for varme-pumpens, som han kalder entropipumpen, deltagelse i det reale kredsløb og i naturens bogholderiligninger.

Det er vigtigt, at han på den måde giver en større gruppe uden for den snævre specialistkreds mulighed for at forstå, hvor man kan sætte ind for at finde gevinstre og grænserne for disse gevinstre.

De kan som nævnt højest reducere energiforbruget til en tiendedel af det nuværende, om samme resultat skal nås. Grundlaget for en drøftelse af transport og lagring af energi tages kort og godt op på en for en videre kreds begribelig måde gennem sammenstilling af tekniske muligheder og deres udnyttelse, set fra dels et varme, dels et exergy synspunkt.

Det har utvivlsomt moret ham at pege på, at de væsentlige ting, der skal til for at forstå nutidens energidiskussion, er af temmelig gammel dato fra 1700-tallet, og fremhæve forgængerens Brønstseds fremstilling af disse tanker. Den enkle oversigt over vor hverdags basale energi-processer med tilhørende kvantitet og konjugerede potentielle hjælper os til at få orden i vor opfattelse af vort energiregnskab. Men han glemmer ikke at sammenholde energi med de supplerende krav til materiale, mandskabstimer og investeringer, så der kommer en helhed ud af det i stedet for debattens løsrevne stumper.

Hvis nogle journalister havde sat sig for – med udgangspunkt i Jørgen Koefoods skriverier – på dette felt med nogle brede penselsstrøg at udmale baggrunden for energidiskussionen om transport og lagring af brugbar energi, deres enheder og deres sammenhæng med prisenheder, kunne megen snak henover hovedet på folk være undgået.

Også hans påbegning af, hvilke temperaturområder, der er egnet til hvilke former for energiforbrug, klarer begreberne for lægmand.

Koblingen mellem de forskellige udnyttelsesmuligheder af de enkelte dele af energien som f. eks. i benzin og de i energimæssig henseende skabte restprodukter som fyringsolie og visa versa tages frem. Der gøres rede for den udnyttelse, der derved presser sig frem af restprodukterne, der, når de er rigelige, ellers kan få en meget lav pris, evt. 0. Det hjælper til at forstå de investeringer, der sker på crackningens område i olierafladerne og graden af raffinement i deres udformning. En videre kreds får herved en dybere forståelse af sammenspiellet mellem brugen af de forskellige naturressourcer. Hvordan, når et er ved at slippe op, andre træder ind.

Han fremhæver, hvorledes de væsentlige faktorer på disse områder hører under *beslutningstagernes* gejet og *deres* villighed til at satse på udviklingsarbejde for at gennemføre skift fra en energimulighed til en anden. De klassiske spørgsmål om rådgivning, konklusion og gennemførelse i den politiske omverden som noget væsentligt rejses atter en gang.

Han vender igen og igen tilbage til, at den øjeblikkelige situation er en politisk og ikke en naturvidenskabelig situation, skabt af tilfældige, ulykkelige omstændigheder under overgang fra kolonistyre til frie samfund med de revolutioner og magtforskydninger, der kommer i kølvandet på det.

Hans evne til at forbinde elementær fysisk tænkning med konkret politisk virkelighed er meget spændende. Han konkluderer, at hvis man har en energipolitik uddover ørkesløs snakken frem og tilbage om atomkraft, kan man sætte skub i udviklingen ved at udlicitere leveringen af 10.000 aggregater til kontorer og offentlige institutioner fra det offentliges side. *Det* ville der ske noget ved. Lad fællesskabet på denne konkrete måde garantere betaling for prototypeomkostninger og derved starte nye aktiviteter, hvor vi er andre overlegne. Det er konkrete handlinger, ikke golde debatter, vi har brug for.

Uden en sådan forhåndsordre er der ikke økonomisk basis for at komme i gang og komme bort fra de konstruktioner, vi har på markedet til de, vi ønsker at få på markedet.

Pudsigt nok drager han sommetider den lidt pessimistiske konklusion af det kollektive energi-trip, vi med hans ord har været igennem i '60'erne – at vi skal tilpasse os væsentligt ændrede forhold. Han tænker ikke på, at han selv har argumenteret for eller gjort opmærksom på ganske væsentlige muligheder for en ændret brug af energi, der reelt vil medføre, at vi på lidt længere sigt får prisfald i forhold til '60'erne. Om det skyldes bagvedliggende faktorer, han ikke har gjort rede for eller manglende tillid til fornuftig samspil mellem samfund og forsker til løsning af problemerne, får stå hen.

Meget ofte ser man hos Jørgen Koefod bemærkningen »fornuftens vilkår«, som han finder trange. Det kan være hans konklusion på den lidt triste historiske baggrund, han karakteriserer ved edderdu og

glasskår. Han minder os om de barske fremgangsmåder, Vorherre benyttede for at undgå, at træerne groede ind i himlen – syndflod, Sodomah og Gomorra, nedhugning af befolkningen, misvækst, vand til blod og frørs mængde, utøj, pest og bylders nød. Kun en Jørgen Koefoed kan finde på at trække dette frem, når han med bred pensel skal male baggrundsbilledet for energipolitikken.

Han gør os opmærksom på stabiliteten på det biologiske område.

Humanitetens tynde farnis og samfundets etik træneres. Samfundet har den etik, det har råd til at have, eller, som det mener at have råd til at have – som han siger.

Og indimellem en barsk mindelse om, at vi i det traditionelle mangelsamfund, vi har forladt, havde opfattelsen, at »det er nødvendigt at sejle, men det er ikke nødvendigt at leve«, medens vi nu i overflods-samfundet bliver så forsigtige, at vi end ikke tør gen-nemføre de eksperimenter, der er forudsætningen for at løse de problemer, vi skaber os selv hen ad vejen.

Løsning af de med vor tids ændringer i de sociale mønstre forbundne tilpasningsproblemer i beslutnings- og handlingsprocesser forekommer ham vigtigere end løsningen af de resterende tekniske opgaver.

Troen på videnskaben og den boomerang, det bliver, når politikernes manipulation af eksperterne efterhånden undergraver befolkningens tillid til viden-skaben, har hans interesse. Det er en tillid, der jo er af ny dato og formentlig på grund af de åbenbare mis-brug, der sker, også bliver af kort varighed.

Vi har fastslået de vigtige forskelle, der løber op i størrelsesordener mellem forskningsindsats, udviklingsomkostninger og teknisk realisation. Forsknin-gens spildprocent og tidsforsinkelse indgår hos ham på mere realistisk måde, end man er vant til at høre, når forskere taler. Han havde overblik og stirrede sig ikke blind på egen navle.

Han gør stiltfærdigt opmærksom på, at ofte er det sådan, at gevinsterne stammer fra folk, der render med en halv vind fra forskningsområdet og gennem-fører de halvt fordøjede resultater med et vist held.

Det er et godt udtryk for hans forsøg på en ærlig fremstilling af forskningens rolle i større samfunds-mæssig sammenhæng til erstatning for den, vi ellers præsenteres for ved højtidelige lejligheder.

Det er karakteristisk for ham, at han i sit sidste fuldstændige manuskript i hans efterladenskaber samtidig med, at han finder det naturligt, at man borrer på livet løs for at finde olie, der kan gøre én uaf-

hængig af OPEC landenes monopol, gør opmærksom på, at hvis man når sin hensigt, så monopolet bliver brudt, bliver disse investeringer ikke særlig profitable.

Nogle af leverandørerne finder det derfor hensigts-mæssigt at indgå langtidskontrakter, der kan mildne denne risiko for tab.

Manuskriptet slutter med en omtale af rollerne i historiens skuespil pionermoralen, besiddermoralen og den socialistiske moral, endende med den realsocialistiske moral. Man havde gerne set fortsættelsen fra denne vide ånd, ikke altid let at følge, kontroversiel, som han kunne være, og af og til ønskede at være.

Jørgen Koefoed havde, som det fremgår af disse mine bemærkninger, den største sympati for humani-aura, som han trak så meget på og havde så megen intellektuel glæde af at følge. Men når de humanisti-iske fags udøvere blev for rørstrømske, fik også de hans skarpe vid at føle på en positiv, godhjertet måde, og han beder dem erindre deres afhængighed af de materielle goder. Han peger ligeledes på forskellen mellem indre erkendelse og dømmekraft i samfundets sager, og at disse evner ikke altid er samlet i en og samme person. Vor historie dokumenterer desværre alt for godt brugen af kulturpersonligheder som ser-vile leverandører af egnede teorier til magthavernes behag.

Derfor efterlyser han begrebsdannelse, arbejdsmetode, konfrontation af teoridannelse med virkelighed igen og igen, uanset hvad han beskæftiger sig med, et for ham nødvendigt krav. Uden denne selvdisciplin bliver videnskaben skøge for de manipulerende.

Han kan ofte være hård også ved sine egne. Også når de giver sig af med fremtidsforskning, må de stå til regnskab. Er der i fremtidsforskningen virkelig sagligt funderede prognoser, eller redigeres de efter de politiske mål, de skal tjene til at bakke op? Bliver for-skerne herrer eller tjener, og tjener de erkendelsen eller politikerne?

Jørgen Koefoed måtte blive en revser. Men han gjorde det, idet han pegede på perspektiver og havde tro på, at det kunne nytte.

Jørgen Koefoed var i sin positive kritik af omgivel-serne en af pionererne inden for fremtidsforskningen. I de sidste år arbejdede han meget med at sætte ting i gang, tænde ilden og få den bragt videre. Han havde selv forstået at udnytte den ild, han fik fra sine for-gængere og sine omgivelser, og vi står nu over for at føre faklen videre.

Lad os da gøre det med til afsked at gentage hans egne ord til sine forgængere – lånt fra Ibsen –

»TAK FOR ILDEN«.

ENERGIEN OG FREMTIDEN*

Jørgen Koefoed

Energi er blevet noget, der snakkes meget om, og mange opfatter det som et nyt problem, men jeg tror man gør vel i at gøre sig klart, at energiproblemer i en eller anden form næsten *altid* har været fundamentale for menneskeheden. I en *lille* del af verden har vi blot nu i en *kort* periode, på grund af en helt abnorm kombination af politiske og teknologiske omstændigheder, haft en situation, hvor olie var til rådighed i praktisk taget ubegrænsede mængder og til en latterlig lav pris.

Vi har været vidner til et enormt energitrip, og energikrisen er de begyndende abstinencessymptomer, der kommer, fordi vi nu går ind i en periode af nedtrapning, med de psykologiske, sociale og økonomiske problemer, der følger deraf.

Men før vi kaster os ud i enkelthederne, skulle vi lige gøre det klart, at når vi taler om energi, så mener vi ikke energi i almindelig fysisk forstand – altså ikke den, der er konstant ifølge første hovedsætning, men vi mener det, der i fysisk terminologi hedder fri energi, og som betyder evnen til at udføre arbejde – trække maskiner o.s.v. Man kunne kalde det »latent arbejde«. Når denne evne udnyttes, sker det under udvikling af varme, som udgør en anden og mindre nyttig form for energi, det er nemlig kun så længe varmen befinder sig ved en højere temperatur end omgivelserne, at man stadig kan få noget arbejde ud af den og i sidste ende slipper den altid ud i omgivelserne og bliver helt unyttig.

Det er naturligvis vældig praktisk fra en fysikers synspunkt, at vi så kan sige, at energien har været konstant, fordi den varmemængde, der er afgivet til omgivelserne, når vi regner den i passende enheder, er lig den fri energi, vi har brugt eller spildt, men fra et økonomisk, socialt synspunkt er det blot et bogholderif, der svarer til at en bogholder afstemmer sine debet og kreditkolonner så de stemmer, uanset om firmaet blomstrer eller visner.

Når vi skal tale om energien og fremtiden mener vi altså den fri energi, og med fremtiden mener vi flere forskellige perioder: den nære fremtid 70-erne og 80-erne, børnenes fremtid i 90-erne og menneskehedens fremtid i det næste årtusind, og det er helt klart, at problemerne tegner sig helt forskelligt efter hvilken fremtid vi taler om.

Diskussionen har bølget mellem dommedagsprofeter og optimister, og måske vil man gerne fra en ende af vide, hvor jeg står, og jeg skal da straks sige, at fra et teknologisk og ressourcemæssigt synspunkt er jeg blandt optimisterne. Selv om mange ting må ændres og omvurderes og mange luksusvaner må opgives, så kan menneskeheden som helhed skabe sig en tilværelse, der i gennemsnit er langt bedre end tidligere generationers, hvis man blot kan indrette sig fornuftigt.

Men i det forbehold ligger netop alt det, der gør at jeg fra et politisk-socialt-psykologisk synspunkt hører til pessimisterne, for hvordan i al verden skulle det gå til, at menneskeheden skulle begynde at opføre sig fornuftigt? I virkeligheden kommer det da nok til at gå sådan, at ret store grupper af menneskeheden vil få nogle nok så drøje knubs før hårde kendsgerninger lærer dem at indrette sig, men den menneskelige tilpasningsevne er stor, og de grupper, der overlever, skal nok klare sig på den ene eller anden måde.

Men de konkrete tekniske muligheder da? Ja, det meste, der er at sige, er meget trivielt, men skal da opregnes alligevel.

- Eftersøgning** og udnyttelse af nye oliekilder, gas- og kulforekomster. Udnyttelse af andre fossile brændselsarter, olieskifre, brunkul, tørv. Altsammen ting, der på kort sigt og på mellemstigt vil være af stor betydning, men som på længere sigt er lidt mindre interessant, fordi det under alle omstændigheder er en dræning af begrænsede ressourcer, og vi kan ikke i længden hvert år bruge brændsel, som repræsenterer solenergi, der er oplagret igen nem en periode af en størrelsесorden som 1 million år, uden at det ender med, at der ikke er mere. Om den ende så indtræder om 20, 50 eller 500 år kan man få meget tid til at gå med at skændes om, men det skænderi interesserer mig ikke så forfærdelig meget. Det bliver givetvis politiske og økonomiske magtkampe, langt mere end teknologiske muligheder, der kommer til at bestemme nedtrapningens tempo.

- Bedre udnyttelse** af olien, og på længere sigt af kullene, mens vi har dem, betyder blandt andet tilbagevenden til tidlige og mere spartanske vaner, men også megen ny teknik.

- På vore breddegrader er *opvarmningen* af boliger og arbejdspladser langt den største post på brændselsbudgettet, og den vigtigste foranstaltning er i al

enkelhed tætning og varmeisolering. Nedsatte krav til rumtemperatur og ventilation vil hjælpe yderligere. En integreret planlægning af fjernvarmeværker og elektricitetsforsyning i forbindelse med udnyttelsen af varmepumper kræver betydelige investeringer, men de vil let kunne forrente sig.

For teknikere er det trivielt, men måske skal jeg forklare det lidt nærmere af hensyn til de uindviede. Til opvarmningsformål behøver vi vand på 40-80°C, men når vi brænder olie eller kul er flammetemperaturen 800-1000°C, og vi kan få den udviklede varmemængde ud f. eks. i overheded vanddamp ved 4-600°C. Ved hjælp af en dampturbine kan vi frembringe arbejde og dermed f. eks. elektricitet af 25 til 35% af brændslets energi, medens resten afleveres som varme ved 50-100°C, hvor den kan være nyttig til opvarmningsformål. Vi kan opnå stort set det samme ved at lade olien drive en dieselmotor eller en gasturbine og bruge kølevandet til opvarmning – det stiller blot lidt større krav til oliens kvalitet.

Helt nøjagtigt kan vi af en varmemængde Q ved T_1 grader Kelvin (= Celsius temperatur + 273) teoretisk i det højeste få Carnot-brøken $(T_1 - T_2)/T_1$ ud som arbejde, når den resterende varmemængde QT_2/T_1 afleveres ved temperaturen T_2 . De fleste maskiner arbejder med $T_1 = 600-800\text{K}$ d.v.s. 300-500°C, fordi materialerne ikke tåler højere temperaturer. Derfor spiller udviklingen af legeringer og andre materialer, der kan stå for høje temperaturer, en stor rolle, og derfor venter man sig en del af de såkaldte magnetohydrodynamiske maskiner, hvor den ioniserede gas kan arbejde ved 1500-2000°. Før i tiden var det ganske almindeligt, at mellemstore industriforetagender frembragte deres egen elektricitet og brugte spildvarmen til varmekrævende processer som kogning, destillation og opvarmning. I de senere år har det ikke været rentabelt at gøre det, fordi de små elektricitetsværker har krævet for meget pasning og vedligeholdelse i forhold til den billige pris, man kunne få strøm til fra de store kraftværker, men med den højere oliepris må man tænke om igen. Moderne regulerings-teknik vil sikkert gøre det muligt at konstruere generatorer af beskeden størrelse, der kan arbejde næsten uden tilsyn, således at det igen kan betale sig at lave små kraftværker, når deres økonomi betragtes under den synsvinkel, at de leverer »spildelektricitet« på grundlag af et brændselsforbrug, der ellers kun bruges til opvarmning. Det gælder naturligvis også for boligområder.

Ligesom vi kan få frembragt arbejde ved at varme flytter sig fra en højere temperatur til en lavere, kan vi også gøre det omvendte: flytte varme fra en lavere temperatur til en højere under forbrug af arbejde, f. eks. fra en elektromotor. Det er det vi gør i køleskabe og dybfrysere, hvor formålet er at frembringe kulde og hvor vi plejer at lade varmen

fuse ud til ingen nytte i en køleribbe bag på køleskabet. Samme princip ligger til grund for de såkaldte varmepumper, hvor vi kan hente varme fra jorden eller fra spildevandet eller fra den ventilationsluft vi pumper ud af lokalerne og bringe den op på lidt højere temperatur, så den afgives igen i radiatorer og varmtvandsbeholder eller eventuelt i den indblæste luft.

I principippet er der kolossalt meget at spare her, idet vi nemlig har den samme Carnot-brøk som før, men nu med reciprok virkning. En varmemængde Q kan vi med en idealt virkende maskine få leveret ved T_1 grader Kelvin med et arbejdsforbrug på $Q \times (T_1 - T_2)/T_2$. Kan vi hente varmen til en 20°C varm stue ved 0°C skal vi altså kun bruge $20/293 \approx 1/15$ så meget elektricitet som vi skal til at frembringe den samme varmemængde i en el-radiator, og varmt vand ved 50°C kan vi lave med $40/325 \approx 1/8$ af den elektriske energi, der går i et varmelegeme, hvis vi kan hente varmen tilbage fra spildevandet ved 10°C.

Praksis er dog ret langt fra det ideale, og de eksisterende varmepumper giver kun en faktor 3 til 4. Enkelte anlæg har eksisteret i 30-40 år og hvor man har brug for køleeffekten om sommeren, har de haft nogen udbredelse i U.S.A. i en snes år. Der er lige kommet anlæg på markedet herhjemme og desværre må man nok sige, at de, der køber dem, kommer til at betale for deres pionerånd og de, der venter to-tre år vil få mere for pengene. Vanskeligheden er først og fremmest, at der må en serieproduktion til før rimelige priser kan fremkomme – nøjagtigt som det gik med køleskabe og dybfrysere i sin tid. Hvis folketingenet mente noget med energipolitik uddover ørkesløs snakken frem og tilbage om atomkraft, så kunne man sætte skub i udviklingen ved at udlicitere leveringen af 10.000 aggregater til kontorer og offentlige institutioner.

Jeg har opholdt mig længe ved boligopvarmningen, selv om problematiken egentlig ikke er særlig spændende, men der er meget at hente, for det drejer sig om halvdelen af vores olieforbrug, og det burde være muligt at spare tre fjerdedele deraf uden større ulemper og uden at de krævede investeringer var uoverkommelige, når de spredes på en årrække; men det var rimeligt meget hurtigt at sætte ind, især ved nybygninger. Når man arbejder på en højskole som DTH, der er bygget uden energiøkonomisk planlægning, med ventilationsanlæg, befugningsanlæg o. l., som nu er afbrudt uden større gener, så er det med blandede følelser at man erfarer fra kolleger i Odense, at det nybyggeri der er igang der, vil slå alle hidtidige rekorder i olieforbrug.

b. *Industriens* brændselsforbrug spiller i Danmark kun en mindre rolle på oliebudgettet, men i lande med megen sværindustri er det naturligvis anderledes, og det er klart, at når oliepriserne stiger, må

dansk industri også spare på energien af konkurrencemæssige grunde. Problemerne opløser sig i en lang række detailproblemer, og jeg skal da kun notere, at vi på nogle enkelte punkter har gjort en indsats herhjemme, og fremdrage det som eksempler på de veje man kan gå: De Danske Sukkerfabriker udviklede en brændselsbesparende modstrøms-ekstraktion af sukkerroer, og har i de senere år fortsat med at udvikle apparater til den såkaldte omvendte osmose, der gennemfører rensnings- og opkoncentringsprocesser ved at væske presses igennem specifikt gennemtrængelige membraner. Ingeniør Rolf Andersen har gjort en enorm indsats for at skabe destillationsapparatur, der arbejder efter varmepumpeprincipper, men han har gennem mange år måttet yde sin indsats under meget trange vilkår, fordi olie var alt for billig. Det var kun med stort besvær, at det lykkedes os at få højskolens byggeautoriteter til at gå med til, at det destillerede vand til DTH's kemisektor skulle produceres i et Rolf Andersen anlæg, fordi det krævede en ekstra investering på ca. 100.000 kroner.

Det store olieforbrug ligger selvsagt især der, hvor høje temperaturer er nødvendige. Brænding af cement, tegl, porcelæn o.s.v., smelting af glas, jern, metaller o.s.v. Spareforanstaltninger består i, at varmeindholdet i de færdige produkter udnyttes til tørring og forvarmning af råmaterialerne eller andet. Røggassernes varme kan også i nogen grad udnyttes, men det er svært at komme uden om de store tab, der er nødvendige for at få røgen til at stige til vejrs.

Der vil være en del at hente ved at brænde i ren ilt, fordi man så sparer at opvarme fire gange så meget kvælstof til ingen nytte. Der findes udmærkede maskiner til fremstilling af ren ilt ved destillation af flydende luft, men det kunne gøres langt mere energiøkonomisk hvis man kunne opfinde en membran, der var specifikt gennemtrængelig for ilt, for så kunne det trækkes ud af atmosfæren ved 1/10 atm. tryk og det hele ville kun koste sammentrykningen fra 1/10 til 1 atm. For brint har man sådanne membraner i palladium eller palladium-sølv folier, der ved 200°C er let gennemtrængelig for brint, men tætte for alle andre gasarter. Man kender i og for sig også stoffer, der transporterer ilt, nemlig først og fremmest haemoglobin – blodets røde farvestof – og man ved, at mange fisk kan hente ilt ind fra havvandet, hvor det kun findes i meget ringe mængde, og opsamle det i deres svømmeblære ved over 1 atm's tryk, men derfra og til konstruktionen af en robust iltmembran er der desværre et stykke vej.

Det bør måske nævnes, at man i Vesttyskland har bevilget 10 millioner DM til udarbejdelse af et detailleret »Varmearlas« over Ruhrdistriket, naturligvis med henblik på en bedre udnyttelse af det, der er spildvarme for nogle foretagender, og som

kunne være nyttevarme for andre eller for boligopvarmningen. Opbevarings- og transportproblemerne kommer her ind med megen vægt, dels fordi der er store sæsonvariationer og store døgnrytmeveriationer, og dels fordi forbrug er så meget dyrere at tilfredsstille i spidsbelastningssituationer. »Varmearlas« er derfor ikke blot en kortlægning i geografiske koordinater, men i høj grad også i tidskoordinat.

c. *Transport* er en tredie hovedoverskrift i energibudgettet, og det er iøjnefaldende, at vi i energioverflodens epoke har fået en vurdering af hastighedens betydning, der afviger helt fra forrige tiders, og hastighed koster energi.

Ændrede vi vores krav til tophastighed og accelerationsevne, kunne vi konstruere biler, der kørte med et benzinforsbrug på 1/3 eller 1/4 af det nuværende. Gjorde vi dem fire gange så holdbare, brugte vi kun lidt over en fjerdedel af materialressourcer til fremstillingen og fik kun en fjerdedel så mange bilvrag at skrotte.

At accellerere en bil til en fart af 36 km/h (10m/sec) koster lige så meget energi som at løfte den 5 m, og 72 km/h:20m, 144 km/h:80m, og når vi bremser omsættes al energien til varme i bremsetromler og bremseskiver. I elektriske tog og elektriske biler kan en del af denne energi vindes tilbage, men ved hurtige opbremsninger bliver det kun en lille del. Andre muligheder er at opsamle energien i et roterende svinghjul eller som komprimeret luft, men det kræver ret kostbare og lidet praktiske indretninger.

Både skibe og fly vil også have et stærkt stigende energiforbrug med stigende hastighed, så hvor som helst det drejer sig om transport, er der energi at spare ved at sætte farten ned, men til gengæld stiger naturligvis tonnage- og personaleforbrug og renteudgifter.

Fordelene ved omlægning af bytrafik fra biler til offentlige transportmidler er så ofte omtalt, at det kun skal nævnes for fuldstændigheds skyld.

d. *Genbrug og spildindsamling* bliver kun mindre poster på det store energibudget, men til gengæld ret smertefrie foranstaltninger, og relativt lette at gennemtvinge ved en afgiftspolitik, hvis den kan gennemføres f. eks. på EF-niveau.

En lille ting som en gennemført standardisering vil spille en betydelig rolle. Havde vi kun 6-8 let skænkelige flasketyper og et tilsvarende antal emballageglas og lod fantasien og kunstfærdigheden udfolde sig alene i etiketdekorationerne, ville ikke så lidt være vundet. Gennemførte man en emballageskat og lod standardformerne slippe med halv afgift, skulle det nok hurtigt slå igennem.

Så meget for sparemulighederne, mere spænding er der i de alternative energikilder, men de nye ud-

viklinger der hører til i en fremtid, der ligger ret meget fjernere.

Mulighederne beror på kerneenergi og solenergi, som naturligvis også er kerneenergi i den sidste ende.

Solenergi er der principielt nok af. Den stråling, der rammer jorden årligt udgør en energimængde, der er flere tusind gange så stor som den vi kan drømme om at få brug for, men den er bare så svær at nyttiggøre, fordi den er så spredt.

a. *Fotosyntesen* i træer og andre planter finder naturligvis kun sted på de dele af jordoverfladen, hvor solstrålerne rammer bevoksede områder, og selv der udnyttes kun en ganske ringe del.

I hele planteriget kendes kun et stof, der kan formidle fotosyntese og det er det grønne klorofyl, der kun optager lys i et ganske smalt spektralbånd. Tillige skal der fra luften optages CO₂, der kun findes i ganske ringe mængde. Skal disse forhold ændres, skal der ske nydannelser i den biologiske verdens struktur, som den har været i Jordens millionårige historie, og jeg tror vi bør se bort fra den mulighed. Fra mennesket forlod jæger- og samlerstadiet har skovene været en kilde til materiale og energi, og i de fleste kulturfolks historie fra oldtid, middelalder og langt op i nyere tid indgår skovrydningen og dens drastiske følger som et væsentlig led. Det er kun inden for de sidste par hundrede år, at man i stigende udstrækning har haft sans for at træer skal nyplantes og drages omsorg for, der hvor hugsten har fundet sted. I store dele af verden er der derfor gammel skade at udbedre, og det er langsigtet arbejde, fordi vækstbetingelserne oftest er ødelagt ved udtrørring og erosion.

En række enårig vækster giver større udbytte i organisk stof, men giver til gengæld større indsamlingsbesvær, og vi kan straks se de dårligeudsigter for en rimelig økonomi, når vi ser vanskelighederne ved at få udnyttet overskudshalmnen, som det nok lige kan betale sig at bruge som brændsel, hvis det kan ske lokalt, så der ingen transportomkostninger løber på, og hvis man regner det som en fortjeneste at man bliver af med den.

Det er også klart, at sålænge lønninger ligger på mellem 30 og 100 l olie i timen, så er der ikke økonomi i at bruge tid på at indsamle brændsel svarende til måske 3-4 l olie per arbejdstime, og det tæller ikke, at man som advokat for sine efterkommere i femte eller tiende led må fremhæve det forargelige i, at man spilder de øjeblikkelige brændselsressourcer og tærer på den olie, som de kan få god brug for til ædlere formål.

For en nærmere fremtid ligger chancen for en udnyttelse i større stil af disse ressourcer først og fremmest i at bruge dem til noget ædlere end brændsel, og forædle dem til foder, papir, byggeplader eller fremstille opløsningsmidler eller andre

kemiske råstoffer af dem ved destillation eller svidning. Der kan også være perspektiver i forskellige mikrobiologiske processer.

b. *Vandkraften* udnyttes allerede i stor udstrækning, hvor den er rimeligt nær forbrugere af elektricitet. Den energi man kan få, beror på produktet af den mængde vand man har, og den højdeforskel man kan lade det falde. Det er en stor fordel, at man kan stemme vandet op, og gemme det til brug, når behovet er der. I et fladt land som vores bliver det ikke meget man kan få ud af åerne, men rækken af gamle møller langs Mølleåen vidner dog om, at det i mere beskedne tider var noget man regnede med, og på den tid, da Henrik Pontoppidan var polyteknisk student spillede vandkraftens direkte udnyttelse da også en rolle i undervisningen. Nu udnyttes den næsten udelukkende igennem elektricitetsproduktion.

I den sidste tid har det været omtalt en del, at der på Grønland synes at være store muligheder for vandkraft fra smeltevandssøer, og man kommer derved ind i transportproblematikken. Det er klart, at en sådan energireserve bør udnyttes, og det mest nærliggende for en nærmere fremtidssigt er, at anlægge en elektricitetskrævende industri. Mange råstoffer kan fremstilles eller forædes ad elektrochemisk vej og man kunne altså tænke sig at fremstille aluminium, magnesium, natrium, kalium, calcium, klor o.s.v. deroppe. Mest nærliggende var det dog nok at begynde med en ammoniakfabrik på grundlag af luftens kvælstof og brint fra elektrolyseret vand. På langt sigt er det simpelthen den mest hensigtsmæssige måde at opbevare og transportere brint på, når det drejer sig om længere tider og længere afstande, men for den nærmere fremtid vil der simpelthen være brug for ammoniaken til gødning.

Forskellige kredse agiterer stærkt for at forske i brintens muligheder som »energi vektor«, d.v.s. til opbevaring og transport af energi fra atomkraftværker, især for den fremtid, hvor naturgas og olie er sluppet op. Det er dog især fysikere, der synes at det er så vidunderligt og ufarligt et stof at operere med. Kemikere er lidt mere betænkelige fordi det er lidt svært at holde styr på og kan give nogle ganske kraftige knald. I brændselscelleforskningen har det i al fald givet nogle uheld, som har neddæmpet den begejstring, der for år tilbage var for brint-ilt cellernes potentielle muligheder.

Andre former for vandkraft, fra tidevand og bølgeslag, rummer også store energireserver, men det er vanskeligt at få noget ud af dem. Et stort tidevandsværk er bygget ved St. Malo, hvor tidevandsbølger focuseres i en tragtformet flodmunding på særlig gunstig måde. Her i landet savner vi egnede lokaliteter, og døgnrytmen gør det under alle omstændigheder mindre tiltrækkende at basere sig på tidevand. Tilsvarende har bølgeslaget jo også den

gene, at det sommetider er stille og så ligger kraftværket hen til ingen nytte. En helt speciel form for vandenergi, som kun appelerer til fysisk-kemikere, og som min gamle lærer J. N. Brønsted gjorde opmærksom på i et foredrag under første verdenskrig, ligger der i opblandingen af fersk vand med saltvand, hvor en flod løber ud i oceanerne. Det osmotiske sug, som det salte vand kunne udøve på det ferske, svarer faktisk til faldet af den samme vandmængde i et vandfald af 200 m's højde, så det er ikke småting, men ingen djævel kan se, hvordan man nogensinde skulle kunne nyttiggøre det.

- c. *Vindkraften* er i det danske klima særskilt inspirerende, og rent faktisk finder man da også i den internationale litteratur, at danske forsøgs møller i Askov og senest i Gedser giver noget af det fyldigste materiale, der er at bygge på. De lave oliepriser kvalte videre initiativ, og det er først taget op igen seriøst i oliekrisens kølvand. De senere års udvikling inden for styringsteknik og inden for elektronik med faststofkomponenter skulle gøre vindelektriciteten væsentlig lettere at udnytte, og udviklingen af plastmaterialer burde også lette konstruktionen af vejrbestandige aggregater. Akkumulatorerne, der skal hjælpe over vindstille perioder er stadig et problem, selv om der også der er sket tekniske fremskridt.

Megen romantik præger indstillingen til dette projekt, der fremhæves som særligt miljøvenligt, og det er ikke almindeligt, at man fremhæver de støjgener, der kan komme, og de mange læsioner, som folk vil få ved montering og vedligeholdelse, fra afrevne vingeblade og sammenstyrtede møller, men det er klart, at hvis vi skal frem til at have møller i titusindvis, vil det ikke gå for sig uden mange uheld. Det er også klart, at når det kommer til realiteterne, vil alle synes at det er naturligt, at møllerne placeres på naboenes mark eller i nabosognet, snarere end foran deres egne vinduer.

De høje lønninger og de stadig relativt lave oliepriser vil endnu i en del år gøre møllerne lidet rentable. Forskellige møller af utraditionel konstruktion har været omtalt og er under afprøvning. Aerodynamiken er en videnskab, der er fuld af paradoxer, og det er sandsynligt at møllerne, når de engang kommer, vil komme til at se helt anderledes ud, end vi i dag forestiller os.

- d. *Solstrålingen* kan udnyttes direkte, dels som varmekilde i solfangende radiatoranlæg, og dels i fotolektriske solceller. I Israel er man ganske langt fremme med udvikling af tekniken, men de har jo også en del mere og stærkere solskin end vi har. Mest tiltrækende på vore breddegrader er solcelleerne, der kan udnytte diffust lys og derfor dels kan virke i gråejr, og dels ikke behøver at blive bevæget som solen vandrer over himlen.

Solcellerne er imidlertid stadig for dyre at fremstil-

le, har for ringe holdbarhed og for ringe effektivitet. Det er ikke usandsynligt, at det vil vise sig, at det bliver en foto-kemisk-elektrisk celle, der engang vil løse problemerne, fordi indskydelsen af et fotokemisk trin vil gøre det muligt at klare konstruktionen uden de dyre halvledermaterialer.

Det skulle ikke overraske mig, om man inden for en 20-30 årig periode vil se flertallet af landets tage dækket med solceller, og havde jeg tyve-tredive millioner at satse på et langtidsprojekt, tror jeg næsten, jeg ville sætte dem ind her.

3. **Vulkanvarme** har ingen større interesse her i landet, for selv om vi nok i mange henseender lever på en vulkan, så er det jo kun i overført betydning. Islændere og Italienerne har rigtige vulkaner, og har jo i mange år udnyttet deres energi på forskellig måde. Boredes vi nogle kilometer ned i jordskorpen, kunne vi naturligvis i principippet også udnytte jordens indre varme, men det regnes i dag ikke for realistisk. Måske kan vi engang, når der bliver ledige boreaggregater fra oliejagten, få nogle huller for en billig penge, men det ligger nok et stykke ud i fremtiden.

Den jordvarmeenergi, der her er tale om, skal naturligvis ikke forveksles med den jordvarme, man taler om i forbindelse med varmepumpeopvarming af huse, hvor det blot drejer sig om, at varmepumpen henter varmen fra et jordlag lige under overfladen.

4. **Atomkraften** tror jeg ikke vi kommer udenom at måtte støtte os til i en nok så lang overgangsperiode. Diskussionen føres desværre på meget følelsesbetonet måde, og den vanskeliggøres ved de store overskudslagre, der er oparbejdet i de senere årtier, af ikke særlig kompetente fysikere, der gerne vil gøre sig gældende som talstmænd for de synspunkter, der kan gøre dem populære.

Betænkelsighederne ved det radioaktive affald ansør jeg for vildt overdrevne. Når problemet ikke er løst, er det, såvidt jeg kan se, kun fordi der endnu er så lidt af det, at man ikke har været tvunget til at træffe et endeligt valg mellem de forskellige muligheder, der foreligger. For omgivelsernes sikkerhed under katastrofeomstændigheder bør der nok gøres noget mere, f. eks. i retning af at grave reaktorerne ned, men det kan jo ret let løses, når man blot planlægger det på forhånd.

På den anden side tegner det sig også ret klart, at økonomien i atomkraften ikke har vist sig at kunne leve op til de optimistiske forventninger man havde for nogle år siden, og det vil derfor ikke være berettiget, at lade alle de andre projekter ligge, i forventning om, at atomkraften vil klare det hele. Langt forude vinker fusionsværkerne med de ubegrænsede muligheder, men dels hører de nok til i en ret så fjern fremtid, og dels kan man jo frygte,

at de, når de engang bliver til virkelighed, vil vise sig at være knap så ideelle som vi idag forestiller os, ganske som det er gået med fissionsværkerne.

Energiproblemerne er vigtige og mangfoldige, og selv om denne redegørelse er blevet nok så lang, er den hverken særlig fuldstændig eller særlig dybtgående, men jeg håber dog, at den giver en rimelig baggrund for den optimisme, som jeg begyndte med at give udtryk for med hensyn til de tekniske muligheder for fremtiden. Men som jeg også nævnte det, ser jeg langt alvorligere problemer i de psykologiske, politiske og sociale sider af sagen. En del af disse afspejler sig netop i den måde, hvorpå man for tiden diskuterer atomkraftproblemet. En anden aspekt vil dukke op i forbindelse med næsten alle de alternative energikilder: De bliver først realiserbare, når olieprisen bliver tre til fem gange højere i *forhold til timelønnen*, og hvordan klarer vi en nedtrapning af timelønnen fra 30 l olie til 5-6 l, eller måske 2-3 l olie, hvis vi nu regner uden om de tilfældige pengetal, der skal knytte sig dertil?

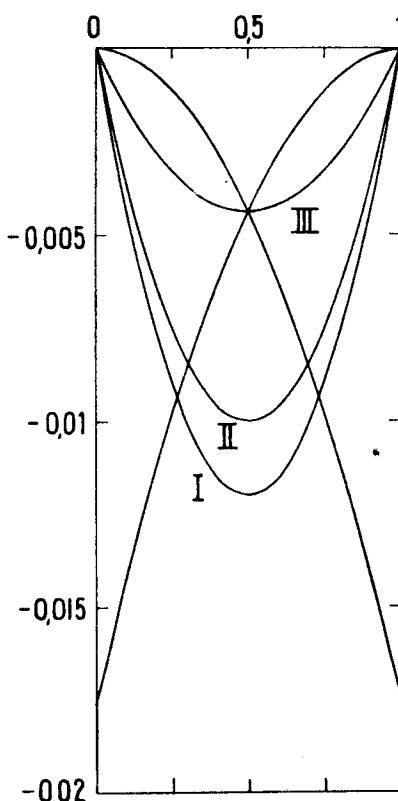
Den energioverflod, vi har levet i og stadig lever i, har ikke blot påvirket vort materielle liv, men i høj grad også vores måde at tænke på – vore normer – vores idealer – vores prioriteringer.

Når vi idag i vore politiske diskussioner vurderer miljøbeskyttelse, sikkerhed, velfærd, komfort, social

lighed o.s.v. højt, og ser med ligegyldighed eller rent ud med foragt på produktion, arbejdsmarked, fortjeneste, profit, ro og orden og en lang række tilsvarende begreber, som tidligere generationer satte højt, så er det *måske*, fordi vi er blevet bedre, ædlere og klugere mennesker end vore forfædre. Det er dog nok en mere realistisk bedømmelse, at det gamle normsystem var nært knyttet til mangelsamfundets betingelser, og at det er energisamfundets betingelser, der har sat os i stand til at være så gode ved os selv og ved hinanden. Det spørgsmål melder sig da, om de gamle normer eller i al fald en del af dem, er nødvendige i et mangelsamfund, hvis det skal bestå.

Er vor situation så den, at energisamfundet – overflodssamfundet var en kortvarig drøm, som nu er ved at briste, kan vi så omstille os tilstrækkeligt hurtigt til et normsystem, der kan fungere, når mangelsamfundets betingelser er over os igen?

Forventninger om, at et tusindårsrig med paradisiske tilstande skulle komme i en nær fremtid, er noget, der har optrådt som en dyb stemningsbølge adskillige gange i menneskehedens historie, og det har givet sig voldsomme udslag, den dag, det viste sig, at frelseren alligevel ikke kom, og at den gamle trommerom skulle gå videre. Tilsvarende konsekvenser kan vi vente, når vi engang virkelig skal på nedtrapning fra vores kollektive energitrip.



Plots of $\log f_i$ (for three different paraffin systems, e.g. 6-16 (I); 7-16 (II); 6-12 (III)) and $\log f_{6(12)}$ and $\log f_{12(6)}$ against x.

TERMODYNAMIK OG TEKNIK*

Jørgen Koefoed

Den, der har kastet et Blik paa Annoncesiderne i de senere af de her tilgængelige Aargange af amerikanske kemiske Tidsskrifter, har næppe kunnet undgaa at bemærke, hvorledes en lang Række af især organiske Stoffer, der her betragtes som kostbare og ofte overhovedet ikke føres som Lagervare, dør tilbydes i Vognladninger og til Priser, der gør dem teknisk anvendelige endogsaa som Opløsningsmidler o. l.

De Metoder, der anvendes ved deres Syntetisering, er naturligvis mangeartede, og for saa vidt de ikke ligefrem er Fabrikshemmeligheder, maa Oplysning om deres Enkelheder væsentligst søges i Patentlitteraturen; men man tager næppe meget Fejl ved at antage, at der til Grund for en meget stor Del af Syntesemetoderne ligger termodynamiske Beregninger, og at den enorme Udvikling, der paa dette Punkt har fundet Sted, for en væsentlig Del kan tilskrives den særlige Interesse, man netop i Amerika har helliget saavel det teoretiske Grundlag som den systematiske Fremskaffelse af det store og nøjagtige experimentelt bestemte Talmateriale, der kræves som det praktiske Grundlag for en tilfredsstilende Gennemførelse af Beregningerne.

Formalet med denne Artikel er dels at give de Teknikere, der ikke har lært Termodynamik — eller har glemt, hvad de maatte have lært — et Indtryk af, hvorledes saadanne Beregninger foretages og hvilken Nutte, der kan drages af dem, men dels ogsaa at vise et Eksempel paa, hvorledes man gennemfører den praktiske Anvendelse af det termodynamiske Apparat, som de yngre Fabrikingeniører har stiftet Bekendtskab med paa polyteknisk Læreanstalt, men som sikkert kun et Faatal har haft Lejlighed til at opdage, har nogen praktisk Betydning. Ogsaa for den sidstnævnte Kategori vil det rimeligvis være gunstigt at begynde med at minde om Baggrunden for Opstillingen af de termodynamiske Funktioner.

Allerede Julius Thomsen og Berthelot søgte at skabe et Grundlag for en kvantitativ Beskrivelse af de Kræfter, som driver de kemiske Processer, og som bekendt antog de, at Varmeudviklingen ved en Proces kunde tages som Maal for dens Tendens til at forløbe, dens Affinitet. Ved denne Opfattelse har man mere eller mindre bevidst draget en Analogi til mekaniske Systemer; man kan f. Eks. tænke paa et ophængt Lod, der faar Lov at falde. Maaler vi den Varmemængde, der udvikles ved Gnidning under Faldet og ved Stødet mod Jorden, ved vi

fra den elementære Fysik, at vi derudfra ved simpel Anwendung af en bekendt Omregningsfaktor kan beregne, hvor stort et Arbejde Loddet vilde have udført, hvis det i Stedet for at falde frit havde foretaget den tilsvarende Bevægelse reversibelt, d.v.s. afbalanceret med et andet dertil egnet mekanisk System v. Hj. af Snore og Trisser. I Varmeudviklingen har vi saaledes her et Maal for det Arbejde, der er gaaet tabt under Processen — paa Grund af dens Irreversibilitet — og dermed et Maal for hvor megen Modstand Loddet vilde have kunnet overvinde undervejs, altsaa saa at sige for dets Tendens til at falde, dets Affinitet mod den lavereliggende Tilstand, hvis vi vel at mærke i Ordene Tendens og Affinitet lægger en Mening, der svarer til deres Brug ved kemiske Processer. Umiddelbart vilde man med disse Ord anvendt paa Loddet nok snarere mene den Kraft, hvormed Jorden trækker i det, men det er netop vigtigt at gøre sig klart, at det er Energi- og Arbejdsbegrebet, der kan bruges som Grundlag for Analogier til de kemiske Processer, Begreberne Kraft og Vej lader sig ikke direkte overføre.

Det, der med Rette kan tages som Karakteristikum for en kemisk Proces' Affinitet, er, som en dyberegaende teoretisk Behandling ogsaa vil vise, netop det Arbejde, den kan præstere, naar den forløber reversibelt, d.v.s. saaledes afbalanceret med et andet System, at ingen Arbejdsmulighed gaar tabt. Vanskeligheden ved at anskue dette hænger nøje sammen med, at noget saadant er lettere sagt end gjort. De kemiske Processer lader sig ikke som de mekaniske afbalancere med Snore og Trisser, og nogenlunde anskuelige Mekanismer kan næsten kun angives for de Processer, der svarer til Reaktionerne i galvaniske Elementer, hvor Forløbet af den kemiske Proces er betinget af, at Elektronerne faar Lejlighed til at passere gennem det elektriske Ledningssystem, og hvor man derfor med en elektrisk Kompensationsopstilling kan afbalancere den Tendens, Processen har til at forløbe — ganske analogt til den mekaniske Afbalancing.

For de Processer, der ikke kan bringes i en saadan elektrisk Kobling, og det er naturligvis de allerfleste, kan man som Regel ikke realisere en tilsvarende Afbalancing, og ved den teoretiske Behandling er man henvist til at benytte de velkendte Tankemaskiner med halvgennemtrængelige Stempler, som ikke blot udmærker sig ved Urealiserbarhed, men sikkert som Følge deraf ogsaa ved en udpræget Uanskuelighed. Derfor vilde det hele naturligvis være saa umaadelig let, hvis vi med Thomsen-Berthelot nu kunde sige lige som ved Loddet, at vi behøver slet ikke at maale dette Arbejde, vi kan i Ste-

det maale den Varmemængde, som udvikles, naar Proessen forløber helt irreversibelt, d.v.s. forløber saaledes, at hele Arbejdsmuligheden forbliver uudnyttet, men det gaar jo desværre ikke.

Grunden hertil er naturligvis den termiske Molekylbevægelse. At den faar Indflydelse ser man straks, hvis man ikke tager det store Spring lige fra de helt enkle mekaniske Systemer og til de kemiske Reaktioner, men ogsaa betragter simple fysiske Processer med lidt mere komplicerede Systemer saa som Komprimering af Luftarter, Smeltnings- og Fordampningsprocesser og deslige. Ved alle den Slags Processer kender man jo Fænomenet af den Art, der ofte betegnes som »latent Varme«, Varmetoninger, der udmaerket sig ved Reversibilitet, saaledes at forstaa, at de optræder med modsat Fortegn, naar Processen gaar i modsat Retning. De kan ikke have noget at gøre med de Varmeudviklinger, der stammer fra tabt Arbejdsmulighed, og som naturligvis kun kan være positive; men maa hidrøre fra, at den Energimængde, der ved samme Temperatur er beslaglagt til Bevægelses- og Svingningsenergi for Molekyler og Atomer i Systemet, er forskellig før og efter Processen, og denne Differens maa da enten tilføres eller bortledes i Form af en Varmemængde, for at gennemføre Processen isotermt.

Paa de kemiske Processer indvirker nu den termiske Molekylbevægelse paa to Maader, dels derved at den irreversible Varmeproduktion overlejres med saadanne »latent Varme«-fænomener, fordi det kemiske System naturligvis er helt forskelligt, før og efter en Reaktion har fundet Sted; men dels ogsaa derved, at de med stigende Temp. stadig kraftigere Svingninger inden for Molekylet, vil modvirke Valenskræfterne, saaledes at disse ikke kan komme til fuld Udfoldelse, fordi Atomerne forhindres i at være hinanden saa nær som Valenskræfterne egentlig vil stræbe efter at bringe dem, eventuelt i saa høj Grad at Bindingen ligefrem brydes.

Altsaa er de kemiske Reaktioners Retning og Ligevegtsindstilling bestemt ved et Sammenspil af Valenskræfterne og den termiske Molekyl- og Atombevægelse. Og den ved en Reaktion maalte Varmetoning er sammensat af en Ændring i »latent Varme« og af en Varmeproduktion, der hidrører fra tabte Arbejdsmuligheder og derfor altid er positiv. Det første Bidrag kan være positivt eller negativt og kan principielt findes ved at gennemføre Processen reversibelt, hvorved Bidrag af sidstnævnte Art, den saakaldte energetiske Varmeudvikling, bliver nul, da enhver Arbejdsmulighed udnnyttes. Da den praktiske Gennemførelse af en saadan reversibel Reproduktion af kemiske Processer imidlertid som nævnt i al Almindelighed er umulig, saa bliver Opgaven derfor at finde andre Veje til Bestemmelse af, hvorledes den totale irreversible Varmetoning skal opløses i disse to Led.

H-, G- og S-Funktionerne.

Til kvantitativ Beskrivelse af disse Forhold skal vi bruge tre af Termodynamikkens Tilstandsfunktioner: Enthalpien H , den Gibbs'ske frie Energi G (ogsaa kaldet det termodynamiske Potential) og Entropien S . At det er Tilstandsfunktioner, betyder jo, at Ændringerne i Funktionernes Værdi ved en hvilkensomhelst Proces er givet ved Begyndelses- og Sluttilstanden, altsaa uafhængigt af paa hvilken Maade Processen er foregaet. Og disse Funktioner er

nu saa snedigt defineret, at Tilvæksten i H -Funktion ved en Proces netop er den Varmemængde, der skal tilføres, naar Processen forløber fuldstændig irreversibelt og ved konstant Tryk og Temperatur, altsaa netop de Omstændigheder, der er de almindeligt praktisk forekommende; og forløber Processen under Varmeudvikling, er denne naturligvis $-\Delta H$, der saa bliver en positiv Størrelse. Ganske tilsvarende bliver $-\Delta G$ det ydre Arbejde, der kan vindes ved Processen, naar den gennemføres — eller tænkes gennemført — reversibelt og ligeledes ved konstant Tryk og Temperatur, altsaa det som vi kan tage som et kvantitatitiv Maal for Affiniteten ved Processen. Hvad nu endelig angaar Fænomenet »latent Varme«, altsaa den Varmetoning, der registreres ved — eller beregnes for — den reversibelt gennemførte Proces, saa viser det sig jo allerede ved de simple fysiske Forsøg med Komprimering af Luftarter o. l., at det ikke paa samme Maade er muligt at udtrykke denne ved Ændringen i en Tilstandsfunktion, fordi den ganske simpelt ændrer sig efter, hvorledes vi gennemfører en givet Tilstandsændring, om vi f. eks. varmer op før vi expanderer eller omvendt, hvis det drejer sig om at ændre en Luftmasses Temperatur og Rumfang. Dividerer vi derimod den fornødne Varmetilførsel ($= -$ Varmeudviklingen) i hver enkelt Trin af Processen med den absolutte Temperatur, saa faar vi en Størrelse, som vi kan kalde ΔS , fordi den viser sig at være Ændringen i en Tilstandsfunktion, Entropien S .

Ved Hjælp af disse Tilstandsfunktioner kan vi nu ved Formlen $\Delta H = T\Delta S + \Delta G$ udtrykke det, at Varmeudviklingen ved en irreversibel Proces $-\Delta H$ er sammensat af den Varmeudvikling, der ogsaa vilde have været, hvis Processen havde været gennemført reversibelt, og som er $-T\Delta S$, og saa den energetiske Varmeudvikling, d.v.s. den Varme, der er opstaet, fordi den kemiske Arbejdsmulighed $-\Delta G$ ikke er blevet udnnyttet. Det er maaske værd at understrege, at selve Størrelserne ΔH , ΔG og ΔS som Tilvækster i Tilstandsfunktioner, naturligvis er uafhængige af alle Mellemtilstande, deres Temperatur og Tryk, af hvilke fremmede Stoffer, der har været indført og atter fjernet, og af Delprocessernes Reversibilitet eller Irreversibilitet; men kun ved de angivne Reversibilitets, Tryk og Temperaturforhold, faar disse Tilvækster den anførte simple fysiske Betydning.

$-\Delta G$ var et Maal for Affiniteten, og kan vi altsaa ad Omveje bestemme denne for en eller anden Proces, og det viser sig, at den bliver positiv, saa kan vi sige, at den paagældende Proces vil have Tendens til at forløbe, og hvis den ikke gør det af sig selv, saa kan vi forsøge at finde en Katalysator, der kan udløse den; er $-\Delta G$ derimod negativ, kan vi spare os den Ulejlighed, og maa i Stedet koncentrere os om at undersøge, om ikke andet Tryk eller anden Temperatur, evt. Tilsætning af passende Kemikalier kan føre til en postiv $-\Delta G$ Værdi.

Nu er det imidlertid praktisk talt kun ved Processer, hvor de reagerende Stoffer forekommer i fast Form — altsaa ved de saakaldte heterogene Processer, at $-\Delta G$ er den samme under hele Forlobet. For en homogen Proces, hvor Komponenterne findes i flydende eller luftformig Blanding, kan Affiniteten naturligvis ikke være uafhængig af, i hvilken Koncentration de forskellige Stoffer findes, og

vi faar det bekendte Forhold, at Reaktionen forløber til en Ligevægtstilstand.

Kemisk Potential og Aktivitet.

Til Beskrivelse af Forholdene i den homogene Ligevægt er det praktisk at benytte Stoffernes kemiske Potentialer. De finder allerede ved Behandling af Faseligevægte og Blandinger en udstrakt Anwendung som et Maal for det, som Amerikanerne kalder et Stofs »escaping tendency».

Det kemiske Potential, μ , af et Stof er lig G -Funktionen for 1 Mol. af Stoffet, og spiller for Faseligevægte en Rolle, der ganske svarer til, hvad der ovenfor er sagt om G -Funktionen, saaledes at forstaa, at Forskellen i et Stofs kemiske Potential i to Tilstande ved samme Temperatur og Totaltryk er lig det Arbejde, der pr. Mol. kan vindes ved at transportere Stoffet fra den ene Tilstand til den anden; Ligevægt mellem forskellige Faser betyder fælleslig, at alle forekommende Stoffer har samme kemiske Potential i alle Faserne. Det kemiske Potential er saaledes et Begreb af fundamental Betydning for den fysiske Kemi.

Ved Ændring i Trykket ved konst. Temp. bliver ændringen i μ bestemt ved Ligningen (1): $d\mu_1 = dG_1 = V_1 dp$, hvor V_1 er Stoffets Molarrumfang. Denne Størrelse har naturligvis intet med det ved Trykændringen udførte ydre Arbejde at gøre, da dette jo kun maales ved $-dG$, naar Trykket er konstant. Indsættes de ideale Luftarters Tilstandsrelation $pV = RT$ i denne Differentialligning, som vi altsaa her maa hente fra den elementære Termodynamik uden at kunne knytte bestemte Forestillinger til den, faar man for μ af en ideal Luftart (konst. Temp.) (2): $d\mu_1 = RTdlnp_1$, der integreret giver (3): $\mu_1 = RTlnp_1 + \mu_1^0$, hvor μ_1^0 betyder det kemiske Potential af Luftarten ved Enhed af Tryk. Og saa længe man kun beskæftiger sig med Faseligevægte o. l., altsaa saa længe der ikke opträder kemiske Reaktioner, kan vi ligesaa godt sætte dette lig Nul i den saaledes valgte Standardtilstand.

Da μ skal være det samme for et Stof i Vædskeform som i den Dampfase, der er i Ligevægt dermed, gælder det samme Udtryk for μ af et vædskeformigt Stof, idet p blot betyder dets Damptryk, forudsat at »Dampen« er en ideal Luftart. Videre faar vi for en Komponent K_1 med Molekulbnøden x i en Vædskeblanding, der følger Lovene for ideale Blandinger, specielt her Raoults Lov, at (4): $\mu_1 = RTlnxp_1^0 + \mu_1^0 = RTlnx + \mu_1^{0*}$, idet p_1^0 er Damptrykket, og μ_1^{0*} er μ af den rene Vædske ved samme Temp. og Tryk, og ogsaa denne kan det være bekempt at sætte lig Nul, hvorved vi faar en μ -Skala, der er anderledes »normeret« eller »standardiseret«, om man vil, end ved den ovennævnte Konvention, men som er lige saa god til sit Formaal — blot man gør sig klart, hvad man i hvert Tilfælde mener med sine μ 'er og ikke blander dem sammen.

Under ideale Forhold kan altsaa Trykket — i Blandinger Partialtrykket — p lige saa vel som μ tages som et Maal for Stoffets »escaping tendency», da de to Størrelser er umiddelbart sammenknyttede ved:

$$\mu_1 = RTlnp_1 + \mu_1^0, \quad (3)$$

og ved at indføre p vil man kunne opnaa dels at

faa meget simple Udtryk og dels at faa det uhaandgribelige μ erstattet af det umiddelbart maalelige p ; men da Indføringen skal ske gennem (3), som er udedt under Antagelse af Idealitet, vil de udledte Udtryk ogsaa kun gælde med en tilsvarende Begrænsning.

For nu at opnaa de samme Fordele og dog bevare Almengyldigheden af de udledte Formler, indfører man Aktiviteten, a , defineret ved:

$$\mu_1 = RTlna_1 + \mu_1^0, \quad (5)$$

hvor μ_1^0 nu er μ af Stoffet i den Standardtilstand, i hvilken man vælger at sætte Aktiviteten til 1. Hvorudan dette Valg bedst kan træffes, afhænger af hvilke Problemer man arbejder med, men her faar vi kun Brug for at definere Aktiviteten saaledes, at den følger Partialtrykket maalt i Atm. for helt lave Tryk. Nedenfor vil man finde den helt exakte Definition af dette Aktivitetsmaal, der svarer til det, der i amerikansk Litteratur specielt kaldes »fugacity». Enheden for Aktiviteten bliver ogsaa Atm., og som Regel gør Afgivelserne fra Idealitet sig først rigtig gældende ved ret høje Tryk, og Standardtilstanden, hvor Aktiviteten altsaa sættes til 1 Atm., vil i al Almindelighed ligge ganske nær Trykket 1 Atm.

Ved i de følgende Udtryk at erstatte a med p , vil man, som det fremgaar af den snævre Analogi mellem (3) og (5), altid kunne faa de simple Udtryk, der gælder under ideale Forhold, og hvis fysiske Betydning er saa umiddelbart anskuelig; men ved at gennemføre Udledningen med Aktiviterne holder vi Vejen aaben til senere at indføre Afgivelserne fra Idealitet i Beregningerne, og det vil vise sig at være vigtigt, fordi man netop ved de høje Tryk, der er af saa stor teknisk Betydning, vil møde de store Afgivelser fra Idealitet.

Den homogene Ligevægt.

Ser man paa en homogen Reaktionsligevægt, hvor nogle Stoffer $A_1, A_2, A_3 \dots$ med de støkiometriske Koefficienter $v_{A_1}, v_{A_2}, v_{A_3} \dots$ bliver til et tilsvarende System af B -Stoffer, altsaa Ligevægten: $v_{A_1}A_1 + v_{A_2}A_2 + v_{A_3}A_3 + \dots \rightleftharpoons v_{B_1}B_1 + v_{B_2}B_2 + v_{B_3}B_3 + \dots$ og tænker man paa, at kemisk Omdannelse er en lige saa god Udvej for et Stof til at slippe væk som Overgang i en anden Fase, saa er det anskueligt, at μ 'erne, netop som Maal for Stoffernes »escaping tendency«, i en saadan Ligevægt kommer til at spille en lignende Rolle som ved Faseligevægte; blot kan vi naturligvis ikke vente saa stor Frihed i Valget af Standardværdierne, μ^0 -erne, da de forskellige Stoffer jo nu ikke opträder uafhængigt af hinanden, men kan omdannes indbyrdes.

Ved en kvantitativ Betragtning indser man ogsaa let, at hvis det for to iøvrigt ens Systemer (I) og (II) gælder, at een af A -Komponenterne forekommer med et højere μ i I end i II, saa vil der ved reversibel Overføring af System I til samme Tilstand som II kunne vindes et Arbejde, der svarer til Potentialforskellen, og ved den kemiske Omdannelse af A -Stoffer til B -Stoffer vil der da fornuftigtvis kunde vindes et tilsvarende større Arbejde, idet B -Stofferne ligesom de øvrige A -Komponenter er i samme Tilstand i de to Systemer. Tilsvaren-

de hvis en af *B*-Komponenterne findes med lavere μ i I end i II.

Teorien giver da ogsaa, at vi kan skrive Prosesens Affinitet som:

$$\begin{aligned} -\Delta G &= \nu_{A1}\mu_{A1} + \nu_{A2}\mu_{A2} + \dots - \nu_{B1}\mu_{B1} - \nu_{B2}\mu_{B2} - \dots \\ &= \mu_A - \mu_B, \end{aligned} \quad (6)$$

idet vi definerer μ_A og μ_B saaledes, som det fremgaar heraf, hvad der er meget naturligt, da de, som det ogsaa fremgaar, har samme Betydning for henholdsvis *A*- og *B*-Systemerne som Helhed, som de sædvanlige μ 'er har for de enkelte Stoffer, saaledes at man dermed kan beskrive, i hvilken Retning og med hvilken Affinitet en eventuel Proces vil forløbe.

Indføres i dette Udtryk Aktiviteterne, faas

$$\Delta G = \mu_B - \mu_A = RT \ln \frac{\alpha_{B1}^{\nu_{B1}} \alpha_{B2}^{\nu_{B2}} \dots}{\alpha_{A1}^{\nu_{A1}} \alpha_{A2}^{\nu_{A2}} \dots}, \quad (7)$$

hvor $\mu_A^0 = \nu_{A1}\mu_{A1}^0 + \nu_{A2}\mu_{A2}^0 + \dots$ og tilsvarende for μ_B^0 , og hvor man nu, hvis det hele skal faa den rette fysiske Betydning, maa vælge μ^0 -Værdierne saaledes, at $\mu_B^0 - \mu_A^0 = \Delta G^0$, hvorved man vil forstaa Ændringen i *G*-Funktion ved den Proces, der bestaar i, at et Antal Mol. svarende til de respektive støkiometriske Koefficienter, ν -erne, af de rene *A*-Stoffer i disses Standardtilstand (d.v.s. den man har tillagt Aktiviteten 1), overføres til den korresponderende Mængde af *B*-Stoffer, ligeledes adskilt i de rene Komponenter i Standardtilstand.

Betydningen af denne Størrelse, ΔG^0 , ser man nu straks, naar man indser, at der i Ligevægtstilstanden skal gælde, at $\Delta G = 0$, hvorved man faar, at Aktivitetsbrøken bliver lig en Konstant K_a , for hvilken det gælder, at

$$RT \ln K_a = RT \ln \frac{\alpha_{B1}^{\nu_{B1}} \alpha_{B2}^{\nu_{B2}} \dots}{\alpha_{A1}^{\nu_{A1}} \alpha_{A2}^{\nu_{A2}} \dots} = \mu_A^0 - \mu_B^0 = -\Delta G^0, \quad (8)$$

og hermed har vi altsaa faaet et Udtryk, der tillader os at beregne Ligevægtskonstanten K_a alene paa Grundlag af Data for de rene Komponenter. Og ved at antage ideale Forhold faar vi derved ogsaa bestemt den klassiske Massevirkningskonstant, men naturligvis kun med den Tilnærmelse, der ligger i Forudsætningen. Som det nedenfor skal omtales, er det dog meget vel muligt at naa betydelig bedre Nøjagtighed ved en noget skarpere Teori, uden at der behøves noget uoverkommeligt Maalingsmateriale.

Indfører man nu tillige Størrelserne ΔH^0 og ΔS^0 , som er de tilsvarende Ændringer i Enthalpi og Entropi ved denne Overføring af de rene *A*-Stoffer til de rene *B*-Stoffer, og som altsaa omfatter baade Blandings- og Reaktionsvarmer respektive -entropier, ligesom ΔG^0 omfatter baade Blandings- og Reaktionsarbejder, saa gælder den almindelige Relation ogsaa for dem, saa vi har

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_T^0 - T \Delta S_T^0, \quad (9)$$

en Ligning, der skal gælde for alle Temperaturer.

For ΔH og ΔS 's Variation med Temperaturen ha-
ves, som bekendt fra Termodynamikken, saa længe ingen Aggregatstilstandsændringer eller allotrope

Omdannelser foregaar med nogen af Stofferne, og idet man gaar ud fra Værdierne ved $25^\circ C$, som er den almindeligst valgte Standardtemperatur:

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p^0 dT \quad \text{og} \quad (10)$$

$$\Delta S_T^0 = \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p^0 d \ln T, \quad (11)$$

Udtryk, hvis Gyldighed man let kan indse umiddelbart ved simple Kredsprocesbetragninger, idet man erindrer Størrelsernes fysiske Betydning og at $d \ln T = dT/T$, og idet ΔC_p^0 naturligvis er dannet analogt til de øvrige Størrelser og repræsenterer Differensen mellem den samlede Varmefylde af *A*-Stofferne og af *B*-Stofferne hver for sig i ren Tilstand og i de støkiometriske Mængder.

For ΔG^0 gælder det nu derfor, at

$$\Delta G_T^0 = \Delta H_{298}^0 - T \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p^0 dT - T \int_{298}^T \Delta C_p^0 d \ln T \quad (12)$$

$$= \Delta H_0^0 - T \int_{T^0}^T \int \Delta C_p^0 dT dT + IT, \quad (13)$$

hvor man i sidste Ligning ved partiell Integration (brug $uv - fu'vdT = fv'udT$ og sæt $u' = \Delta C_p^0$ og $v = T^{-1}$) har samlet de varmefyldeafhængige Led i eet. Men hvad enten man bruger Ligningen i den ene eller den anden Form, ses det, at ΔG^0 herved er bestemt, naar man kender ΔC_p^0 i hele det Temperaturomraade, der er Tale om, samt har fastlagt to Konstanter, der i første Ligning er ΔH^0 og ΔS^0 ved en valgt Standardtemperatur, her specielt $298^\circ K = 25^\circ C$, og i den anden Ligning er ΔH_0^0 og I , hvis fysiske Betydning afhænger af de nærmere Omstændigheder. Man ser da umiddelbart, at Bestemmelsen af disse to Konstanter kan foretages paa Grundlag af to uafhængige Malinger, af enten ΔS^0 , ΔH^0 , ΔG^0 eller K_a , idet ikke begge kan være ΔH^0 , de vil jo være forbundne ved (10) og ejheller begge ΔS^0 (11). To ΔG_0 eller hvad der bliver det samme, K_a -Værdier maa naturligvis maales ved forskellig Temperatur.

Vi er altsaa endnu ikke naaet dertil, at vi kan undgaa en ΔS^0 eller en ΔG^0 -Bestemmelse, saaledes som det paa Grund af Vanskelighederne derved var vort Maal. Det opnaas først, naar vi udstrækker vores Varmefyldebestemmelser helt ned i Nærheden af det absolute Nullpunkt og derefter tager Termodynamikkens saakaldte tredie Hovedsætning med i Betragtning.

Tredie Hovedsætning.

Denne tillader os at sætte Entropien af alle rene krystallinske Stoffer lig Nul ved det absolute Nullpunkt, og dermed naturligvis ogsaa at bruge, at $\Delta S_0^0 = 0$. Af selve den tredie Hovedsætning findes — ligesom iøvrigt af den anden — et stort Antal Formuleringer, og den endelige Afgrænsning af den og Spørgsmålet om dens Udvigelse til Vædske og Blandinger er stadig aabne Problemer, der ikke behøver at beskæftige os i denne Forbindelse, hvor vi, da ΔS_0^0 jo er en Størrelse, der kun vedrører rene Stoffer, blot behøver at forudsætte, at disse ogsaa skal være krystallinske ved de ganske lave Temperaturer.

Er de ikke det ved de Temperaturer, det drejer sig om, maa vi naturligvis ogsaa tage Omdannelsesvarmerne med i Betragtning. For et rent Stof med Kogepunkt T_K under den paagældende Temperatur, T , og med Smeltepunkt T_S , faar vi for Entropien i Standardtilstanden

$$S_T^o = \int_0^{T_S} C_p(\text{kryst.}) d\ln T + \frac{\Delta H_S}{T_S} + \int_{T_S}^{T_K} C_p(\text{fl.}) d\ln T + \frac{\Delta H_K}{T_K} + \int_{T_K}^T C_p(1 \text{ Atm.}) d\ln T, \quad (14)$$

hvor vi gaar ud fra det krystallinske Stof ved 0°K , og altsaa med Entropien 0, og følger Entropitilvæksten under den trinvise Opvarmning, Smelting og Fordampning; thi idet disse Processer sker ved henholdsvis Smeltepunktet T_S og Kogepunktet T_K , bestaar de blot i Overføring af Stoffet mellem to Faser i indbyrdes Ligevægt, og ledsages derfor ikke af nogen ændring i G -Funktionen, hvorfor man af $\Delta H = \Delta G + T\Delta S$ faar $\Delta S = \frac{\Delta H}{T}$ for baade Smeltings- og Fordampningsprocessen.

Hertil kan føjes et Led, der svarer til en isoterm ændring af Trykket fra 1 Atm. til det Tryk, der svarer til Aktiviteten 1 Atm. Det kan beregnes udfra Kendskab til Tilstandsligningen eller de kritiske Konstanter i Overensstemmelse med det nedenfor angivne, men det bliver kun en ubetydelig Korrektion, da Afvigelserne fra Idealitet først bliver virkelig væsentlige ved højere Tryk end 1 Atm., og kun naar de øvrige Data er kendt med usædvanlig Nøjagtighed, kan den med Rimelighed tages med i Betragtning.*)

Det skal lige nævnes, at der for de simplicere Molekyler byder sig endnu en Mulighed til Bestemmelse af Standardentropien, nemlig paa Grundlag af det fysiske Kendskab til Atomafstandene og Svingnings-tilstanden i Molekylet, saaledes som det kan erhverves ved henholdsvis Røntgen eller Elektronstraalespredningsforsøg og ved Spektrografi, herunder Ultrarød- og Ramanspektrografi. Det er umiddelbart klart, at dersom det er muligt paa et saadant Grundlag at naa til en udtømmende Beskrivelse af Molekyldannelsesvarmerne indre Svingninger og gensidige Kraftpaavirkning, saa kan ogsaa Varmefylde og Entropi beregnes ved Hjælp af den statistiske Mekanik, men den nærmere Teori er det ikke her rimeligt eller muligt at gaa ind paa. Vanskeligheden ligger fortrinsvis i Fortolkningen af Forsøgsmaterialet, og for Eksempel er Forholdene vedrørende den fri Drejelighed om en Enkelbinding ikke fuldt opklaret, idet der i mange Tilfælde maa antages at være visse indbyrdes Stillinger, der er foretrukket fremfor andre, uden at man har rigtig Rede paa, hvordan og hvornaaar noget saadant kommer ind.

Beregnet paa denne Maade og med de antydede Muligheder for Usikkerhed i Beregningsgrundlaget, eller beregnet udfra Varmefylde og Omdannelsesvarmemaalinger og med den Usikkerhed, der ligger især i den Extrapolation, der maa foretages fra de lavest tilgængelige Temperaturer og til det absolutte

Nulpunkt, eller allerbedst med Overensstemmelse beregnet paa begge Maader, bliver Standardentropien — ved 298°K . — en Størrelse, der for hvert enkelt Stof kan opføres og findes i Tabelværker som enhver anden karakteristisk fysisk Konstant. Den Standardtilstand, der rimeligt kan vælges, er for faste Stoffer og Vædske den ved den paagældende Temperatur og Atmosfæretryk stabile Modifikation. For Luftarter er det Aktiviteten 1 Atm. og i Mangel af Kendskab til Tilstandsligningen selve Trykket 1 Atmosfære, hvilket sjældent giver nogen stor Fejl. De følgende Eksempler vil give Grundlag for Bedømmelse af dens Størrelse.

Ligevægtsberegningerne. ΔG^o og K_a .

Paa Grundlag af Standardentropierne for de enkelte Stoffer er det derefter naturligvis kun et Spørgsmaal om Addition og Subtraktion af de med de støkiometriske Koefficienter multiplicerede Størrelser at finde ΔS_{298}^o . Og herefter kan ved Ligning (11) ΔS_f^o beregnes paa Grundlag af Kendskab til C_p 'erne og dermed ΔC_p^o .

Grundlaget for ΔH^o -Bestemmelsen er i Almindelighed for organiske Stoffer Forbrændingsvarmerne for de enkelte Stoffer, idet ΔH^o ved en Proces, takket være det, at H er en Tilstandsfunktion, er Differensen mellem Forbrændingsvarmerne af de paa Reaktionsligningens højre Side anførte Stoffer i Standardtilstanden og af de paa venstre Side. For at undgaa at regne med store Tal angives i Tabellerne ofte Dannelsesvarmen ($-\Delta H^D$) i Stedet for, og denne faas ved at subtrahere Stoffets Forbrændingsvarme fra Forbrændingsvarmen af de indgaaende Grundstoffer i de respektive Standardtilstande, for H_2 , O_2 , N_2 , Cl_2 o. s. v. 1 Atm., 25°C og for Kulstof en nærmere defineret Grafitmodifikation. Diamant er jo som bekendt ved alle tilgængelige Tryk og Temperaturer termodynamisk instabilt overfor Grafit, i ældre Arbejder bruges den dog undertiden som Standard. Selv om Dannelsesvarmerne er relativt smaa Tal, indeholder de selvsagt hele Usikkerheden paa de store Forbrændingsvarmer, og disse maa derfor maales med den allerstørste Nøjagtighed. Fra amerikansk Side er der særlig i Bureau of Standards gjort en stor Indsats for at opnaa dette, og der findes allerede et meget værdifuldt Materiale. Ældre Maalinger maa altid benyttes med megen Forsigtighed, og man maa regne med Muligheden af meget betydelige Fejl.

Saavidt kan vi altsaa sige, at Julius Thomsens Drøm er blevet virkelig gjort, saa det nu er muligt udfra tilstrækkeligt fyldige Data fra kalorimetriske Maalinger for hvert enkelt af de deltagende Stoffer, at forudberegne Ligevægtskonstanten for den kemiske Reaktion imellem dem.

I en følgende Artikel skal vi som Eksempler se en saadan Beregning gennemført for tre forskellige Processer, og ogsaa se, hvorledes man kan komme fra den beregnede Ligevægtskonstant, der jo er et Udttryk i Aktiviteter af de forskellige Stoffer og derfor kun med grov Tilnærmelse kan bruges direkte som gældende for Tryk eller Koncentration, og opnaa en langt bedre Nøjagtighed ved at benytte, hvad man ved om Afvigelserne fra de ideale Love for Luftarter under høje Tryk.

* I den senere citerede Artikel af Ewell er en saadan Korrektion indført ved et simpelt, men efter min Mening ukorrekt Udtryk.

II.

I en foregaaende Artikel blev der givet en Indroduktion af nogle af Termodynamikkens simpleste Ligninger, som har vist sig brugbare til Forudberegninger af Ligevægten i kemiske Reaktioner. Ligningerne var:

$$RT \ln K_a = -\Delta G^0 \quad (8)$$

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T \Delta S^0 \quad (9)$$

$$\Delta H_T^0 = \Delta H_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p^0 dT \quad (10)$$

$$\Delta S_T^0 = \Delta S_{298}^0 + \int_{298}^T \Delta C_p^0 d \ln T, \quad (11)$$

og deres Betydning ligger i, at man til Beregningerne kun behøver Data for de enkelte rene Stoffer; Data, som er fundet ved kalorimetriske Forsøg, og som for en lang Række Forbindelser Vedkommende kan findes i de kendte Tabelværker.

Gennemførelsen af saadanne Beregninger helt ud til Bestemmelsen af de Størrelser, der teknisk set er Brug for, vil vi følge i tre Exemplarer paa Gasfaseligevægte, der er direkte hentet fra en Artikel af Ewell (1940). De to første er Processer, der udnyttes teknisk, nemlig den gammelkendte Metanolsyntese og den nyere Etanolsyntese af Etjen og Vand, mens det sidste er en Undersøgelse af Muligheden for en direkte Cyanbrantesyntese uden Anvendelse af Metalforbindelser.

Grundlaget for Beregningerne er det Talmateriale, der findes i hosstaaende Tabel I, og som angives at

være taget fra de bedste moderne Kilder (se Ewell 1939 S. 268), og ved Hjælp af de anførte Ligninger beregnes heraf de i Tabel II angivne ΔG^0 og K_a -Værdier.

For at udnytte dette Materiale fuldt ud bliver man imidlertid ikke staaende ved blot at betragte Luftarterne som ideale, men tager til Hjælp ogsaa Kendskabet til Reglerne for Luftarternes Afvigelser fra Idealitet, idet man mest praktisk udtrykker disse Afvigelser ved Hjælp af Aktivitetskoefficienter, der da i Reglen maa beregnes ud fra Kendskabet til eller Angtagelsen af en passende Tilstandsligning for Stoffet.

Afvigelserne fra Idealitet. Aktivitetskoefficienter.

Aktiviteten a_A af en Luftart, A , kan udtrykkes som Produktet af en Aktivitetskoefficient γ_A og Partialtrykket p_A , der definitionsmæssigt er lig Molekylbrøken x_A Gange Totaltrykket P :

$$a_A = \gamma_A p_A = \gamma_A x_A P, \quad (15)$$

og idet vi anvender Symbolet K som en »Operator«, saaledes at K_p betegner et Brøkudtryk dannet af p 'er paa samme Maade, som Massenvirkningskonstanten K_a er dannet af a 'er, og tilsvarende for K_γ og K_x , saa faar vi:

$$K_a = K_p K_\gamma = K_x K_\gamma P^{\Delta \nu}, \quad (16)$$

hvor $\Delta \nu = \nu_{B1} + \nu_{B2} + \dots - \nu_{A1} - \nu_{A2} - \dots$ betegner Tilvæksten i Molekylantal ved Processen.

Aktivitetskoefficienten for et rent Stof i Luftform

Tabel I. Nødvendige Data for tre Ligevægtsberegninger (Grundenhed: cal).

	CO	H ₂	CH ₃ OH	C ₂ H ₄	H ₂ O	C ₂ H ₅ OH	N ₂	C ₂ H ₂	HCN
ΔH_{298}^D	-26840	0	48500	11700	-57800	-57070	0	53900	61600
S_{298}^0	47,32	2.62,46	56,66	52,5	45,17	67,0	45,79	47,5	96,50
$C_p = A + B \cdot 10^{-3} \cdot T - C \cdot 10^{-5} \cdot T^2 - D \cdot 10^5 \cdot T^{-2}$:									
A	6,60	6,62	2,0	2,28	7,00	5,3	6,50	11,19	10,13
B	1,20	0,81	30	31,4	2,77	36	1,00	5,39	2,08
C	—	—	—	1,115	—	—	—	—	—
D	—	—	—	—	—	—	—	1,88	2,49
Omraade °C	0—2300	0—2300	0—400	0—800	0—1200	0—400	0—2700	0—900	0—1200
T_c °K	133	33,3	513	283	647	516,2	126	309,1	183,5
p_c Atm.	34,5	12,8	99	50,9	218,5	63,1	33,5	61,7	53,2

Tabel II. Beregnede Konstanter for tre Gasfaseligevægte.

t °C.	$CO + 2H_2 = CH_3OH$		$C_2H_4 + H_2O = C_2H_5OH$		$N_2 + C_2H_2 = 2HCN$			
	ΔG^0 cal	K_a	t °C.	ΔG^0 cal	K_a	t °C.	ΔG^0 cal	K_a
0	-7.147	527.450	0	-2663	135	0	6828	$3.413 \cdot 10^{-5}$
100	-1.766	10.84	50	-1028	4.95	50	6668	$3.073 \cdot 10^{-5}$
200	3.832	$1.695 \cdot 10^{-2}$	100	459	0.538	100	6506	$1.540 \cdot 10^{-4}$
250	6.671	$1.629 \cdot 10^{-3}$	150	2018	$9.12 \cdot 10^{-2}$	150	6358	$5.183 \cdot 10^{-4}$
300	9.530	$2.316 \cdot 10^{-4}$	200	3538	$2.33 \cdot 10^{-2}$	200	6219	$1.337 \cdot 10^{-3}$
350	12.400	$4.458 \cdot 10^{-5}$	250	5152	$6.98 \cdot 10^{-3}$	250	6072	$2.899 \cdot 10^{-3}$
400	15.279	$1.091 \cdot 10^{-5}$	300	6725	$2.74 \cdot 10^{-3}$	300	5923	$5.502 \cdot 10^{-3}$
450	18.148	$3.265 \cdot 10^{-6}$	350	8288	$1.25 \cdot 10^{-3}$	350	5772	$9.438 \cdot 10^{-3}$
500	21.023	$1.134 \cdot 10^{-6}$	400	9850	$6.46 \cdot 10^{-4}$	400	5620	$1.495 \cdot 10^{-2}$
						450	5465	$2.228 \cdot 10^{-2}$
						500	5310	$3.151 \cdot 10^{-2}$

bestemmes ud fra Maaling af sammenhørende Værdier af P , V og T ved Ligningen:

$$RT \ln \gamma_A = \int_0^P (V_A - V^{id.}) dp, \quad (17)$$

hvor V_A er Molarrumfanget og $V^{id.} = \frac{RT}{p}$; $V_A - V^{id.}$ er altsaa Molarrumfangets Afvigelse fra den ideale Værdi og benævnes ofte Residualrumfanget. Dette Udtryk udledes let udfra de allerede angivne Ligninger (1) og (15):

$$d\mu_A = dG_A = V_A dp = RT d\ln \gamma p = RT d\ln \gamma + V^{id.} dp, \quad (18)$$

idet det erindres, at $\gamma \rightarrow 1$ for $p \rightarrow 0$, hvilket er den exakte Formulering af Definitionen paa vort Aktivitetsmaal, det, der svarede til amerikansk »fugacity«, og som vi indførte blot ved at kræve, at det i stor Fortynding skulde være lig Trykket i Atm. Det skal lige fremhæves, at Kravet om Idealitet i ∞ -Fortynding ikke medfører, at $V_A - V^{id.} \rightarrow 0$ for $p \rightarrow 0$, blot $V_A - V^{id.} \rightarrow$ konst. bliver Residualrumfanget forsvindende i Forhold til V_A og $V^{id.}$ selv, der jo vil gaa mod ∞ .

Har man P — V — T -Maalinger kan man saaledes direkte beregne γ , men bl. a. for at slippe for at gennemføre saadanne for al Verdens Stoffer er der i Tidens Løb fra mange Sider gjort et uhyre Arbejde for at finde de helt almindelige Love herfor, eller anderledes udtrykt at finde en universel Tilstandsligning. I disse Bestræbelser er man allerede for 50 Aar siden kommet ind paa Anvendelsen af de saakaldte reducerede Temperaturer og Tryk, som er $\frac{T}{T_c}$

og $\frac{p}{p_c}$, hvor T_c og p_c er Stoffets kritiske Temperatur og Tryk. Rimeligheden heri fremgaar, naar man betænker det urimelige i at sammenligne f. Ex. Brint og Alkoholdamp ved en Temperatur som 25°C ., hvor det ene Stof befinder sig langt, langt over sin kritiske Temperatur, mens det andet er under sit Kogepunkt. Ved Anvendelse af de reducerede Temperaturer kommer man ud over dette og sammenligner »ligedannede« Tilstande, hvor man kan vente, at de molekulære Tiltrækningskræfter vil spille omtrent lige stor Rolle i Forhold til de forekommende kinetiske Energier. Tilforladeligheden af en saadan Tankegang fremgaar ogsaa af, at det for en lang Række Stoffer har vist sig at gælde, at Kogepunktet ligger nær ved $0,64 \cdot T_c$ og Smeltepunktet nær $0,44 \cdot T_c$. En Række Stoffer som Vand, Ammoniak, Fluorbrinte, Svoevsyre, Alkoholer og Karbonsyrer viser ret store Afvigelser herfra, som iøvrigt fra en Række andre simple Regler af tilsvarende Karakter som f. Ex. Troutons Regel, og betegnes fra gammel Tid som »associerede«, fordi de ogsaa netop med Hensyn til P — V -Maalinger opfører sig, som om de havde for høj Molekylvægt. I nogle Tilfælde (Eddikesyre og HF f. Ex.) er Dobbeltmolekyler ogsaa paavist, i andre synes det fortrinsvis at være Molekyldenes særligt udprægede Polaritet, der forårsager særlig kraftig indbyrdes Tiltrækning og giver Afvigelser, der gaar i samme Retning.

Alt i alt viser de omfattende Forsøg, der saaledes er gjort paa at finde helt generelle Love, at Individualiteterne er for udprægede til at tillade Opstil-

lingen af saadanne paa helt udtømmende Form.

Men alligevel kan man i denne Forbindelse have uhyre Nutte af de tilnærmede Tilstandsligninger, som det er muligt at opstille ved Hjælp af de reducerede Tryk og Temperaturer, fordi man derved kan opnaa en Tilnærmede, der er ganske væsentligt bedre end, hvad der svarer til at regne med Idealitet, og kan faa et godt Grundlag for et Skøn over, i hvilken Retning Indflydelsen af Afvigelsen fra Idealitet vil gaa. Af det sidste Exempel vil det komme til at fremgaa, hvorledes dette især naar $\Delta v = 0$, vil være af Vigtighed.

Blandt saadanne Tilstandsligninger kan foruden den velkendte van der Waalske:

$$\left(p + \frac{a}{v^2} \right) (V - b) = RT, \quad (19)$$

$$\text{hvor } a = \frac{27 R^2 T_c^2}{64 p_c} \text{ og } b = \frac{1}{8} \frac{RT_c}{p_c}$$

ogsaa nævnes den saakaldte Berthelot'ske:

$$\frac{pV}{RT} = 1 + \frac{9}{128} \frac{p T_c}{p_c T} \left(1 - 6 \frac{T_c^2}{T^2} \right), \quad (20)$$

der har den Fordel, at V faas explicit udtrykt som Funktion af T og p , hvorfor man ved Indsættelse i Lign. (17) meget let faar det simple Udtryk:

$$\ln \gamma = \frac{9}{128} \frac{p T_c}{p_c T} \left(1 - 6 \frac{T_c^2}{T^2} \right), \quad (21)$$

Over 100—200 Atm. giver dog i Almindelighed ingen af disse nogen rimelig Overensstemmelse med Virkeligheden, og man kan i Stedet bruge specielt modificerede Ligninger som f. Ex. den af Ewell for Kvælstof, Metan og Kuldioxyd angivne:

$$\left(p + \frac{a}{V^{7/4} T} \right) (V - b) = RT, \quad (22)$$

$$a = 0,4340 \frac{R^{7/4} T_c^{11/4}}{p_c^{3/4}}, \quad b = 0,08035 \frac{RT_c}{p_c},$$

som er god op til over 400 Atm. En anden Udvej er at opgive at opstille Tilstandsligningen, og blot rent numerisk og grafisk sammenligne Afvigelserne fra Idealitet ved de høje reducerede Tryk. Dette er gjort op til $P_r = 100$, $T_r = 35$ af R. H. Newton for alt, hvad der i 1935 forelaa af brugbare Maalinger, derved at γ er beregnet og afbildet som Funktion af P_r og T_r , og Resultaterne berettiger til at antage, at et enkelt Kurvesystem kan tjene som en god Tilnærmede for alle de undersøgte Stoffer.

Dette var nu Aktivitetskoefficienten for de rene Stoffer, men netop med Hensyn til γ 'er er det jo ikke saa heldigt som med S og H , at vi kun behøver at bekymre os om Værdierne for de rene Stoffer; de γ 'er, der indgaar i K_γ -Udtrykket, er jo uundgaaeligt Værdierne for de enkelte Stoffer i netop den paagældende Blanding. Dermed kommer vi til det, der maaske er hele Beregningens svageste og i al Fald daarligst experimentelt underbyggede Led, thi Lovene for γ 's Ændring ved Tilsætning af andre Komponenter er i dette Temperatur- og Trykomraade praktisk talt uudforskede, og man kan i Øjeblikket ikke gøre andet end nøjes med den Tilnærmede, der ligger i at antage γ uafhængig af de øvrige Komponenters Art og Mængde og kun afhængig af Totaltrykket og Temperaturen.

Denne Antagelse er naturligvis ogsaa en Betingelse for, at det er praktisk som ovenfor at indføre Størrelsen K_γ , der da ogsaa bliver en Funktion kun af P og T . I de følgende Tabeller er der regnet med de γ -Værdier, der faas ved Anvendelse af Newton's Kurver paa Grundlag af Kendskabet til de kritiske Data.

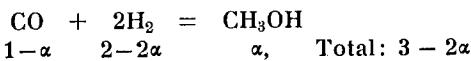


Af Tabel II ses umiddelbart, at det bedste Udbytte vil faas ved den lavest mulige Temperatur. Af høstaaende Fig. 1, der — efter Newton a. Dodge — angiver K_γ som Funktion af T og P , ses det, at ogsaa Indflydelsen derfra gaar i samme Retning, idet lav K_γ giver højere K_x og K_p , som det fremgaar af Ligningen

$$K_x = \frac{K_a}{K_\gamma} P^{-\Delta v} \quad (23)$$

Idet Processen forløber under aftagende Molekyleantal, $\Delta v = -2$, vil højt Tryk have stor og gunstig Indflydelse gennem det direkte »Le Chatelier-Led« $P^{-\Delta v}$; men ogsaa gennem K_γ vil det, som det fremgaar af Kurverne (Fig. 1), indvirke i den rigtige Retning.

I Industrien anvendes sædvanligvis Temperaturer omkring 300 °C., for at faa tilstrækkelig stor Reaktionshastighed med de eksisterende Katalysatorer, og under ca. 225 °C. er ingen af dem virksomme. For at bøde paa dette ugunstige Forhold, maa man da i Stedet sætte Trykket op, ganske analogt til hvad der gælder den ældste og bedst kendte Syntese af denne Art, Haber-Bosch's Ammoniaksyntese. Det Udbytte, der herved kan opnaas, kan beregnes ud fra Formlerne; thi idet man indfører Reaktionsgraden α (gaaende fra 0→1) som Parameter, bliver Stofmængderne:



hvilket indsæt i Ligning (23) giver

$$K_x = \frac{\alpha}{\frac{1-\alpha}{(2-2\alpha)^2} \cdot \frac{P^2 K_a}{K_\gamma}} = \frac{P^2 K_a}{K_\gamma},$$

som man løser for hvert Tryk og Temperatur ved at prøve sig frem. Af den fundne α -Værdi beregnes Partialtrykkene af de forskellige Stoffer, og idet der her regnes med 300° Reaktionstemperatur og en paa-følgende Nedkøling til 20 °C., hvorved Metanolen kondenseres paa nær en Mængde, der svarer til

Tabel III. Trykkets Indflydelse paa Ligevægten $\text{CO} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$ ved 300 °C. ($K_a = 2,32 \cdot 10^{-4}$).

Tryk P Atm.	K_γ	K_x	Sammensætning af Ligevægtsblanding			Udbytte af flyd. CH_3OH
			p_{CO}	p_{H_2}	$p_{\text{CH}_3\text{OH}}$	
10	0.96	0.0242	3.32	6.65	0.036	0
25	0.90	0.161	8.15	16.29	0.56	1.7
50	0.80	0.725	15.3	30.6	4.1	8.0
100	0.61	3.80	25.2	50.5	24.3	24.2
200	0.38	24.4	34.2	68.4	97.4	48.7
300	0.27	77.4	37.7	75.4	186.9	62.3

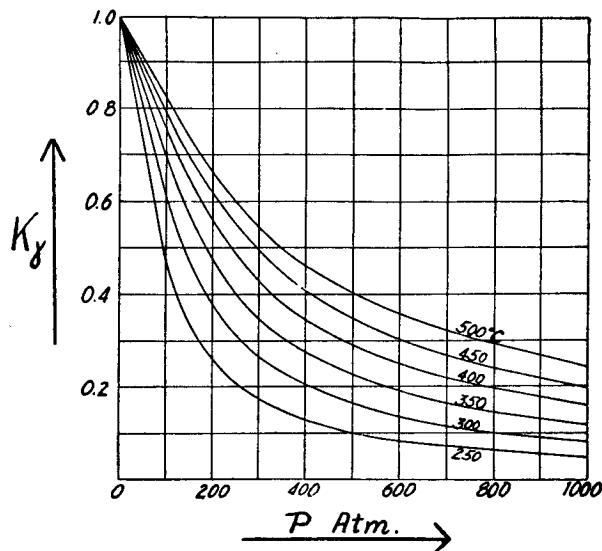


Fig. 1. K_γ for Reaktionen $\text{CO} + 2\text{H}_2 = \text{CH}_3\text{OH}$

Damptrykket 0,126 Atm., kan man beregne hvormeget man i en enkelt Arbejdsgang kan faa omdannet til flydende Metanol, og Resultatet ses i Tabel III. En nærmere ingenørsmæssig Beregning udfra den krævede Renhedsgad og de gældende Raavare-, Kraft- og Varmepriser vil naturligvis i det enkelte Tilfælde kunne afgøre om en dybere Nedkøling vil være rentabel, og om det lønner sig ved en Kolonnedestillation at rense Produktet og regenerere opløst CO og H₂, der da sammen med det øvrige uomdannede kan pumpes tilbage og passere Reaktionskammeret igen sammen med næste Portion.



Forholdene med Hensyn til Tryk og Temperatur er analoge til Metanolsyntesen, men Trykfølsomheden er ikke ganske saa kraftig, da Δv kun er -1 .

I Fig. 2 ses en Sammenligning af de ovenfor angivne beregnede K_a -Værdier (Δ) med experimentelt bestemte Værdier (markeret med o og et Bogstav, der henviser til Forfatterne som angivet hos Ewell (1940), hvorfra ogsaa Kurven er laant).

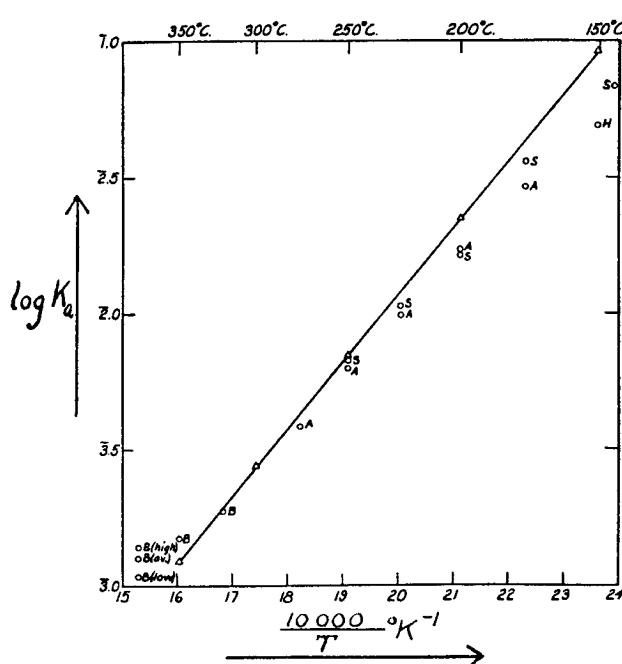
Virksomme Katalysatorer er fundet ned til 145 °C., og med 150 °C. som Eksempel er i Tabel IV genget Resultaterne af Beregninger, der grundes paa en Værdi af K_a paa $5,89 \cdot 10^{-2}$, svarende til de bedste experimentelle Værdier, men ca. 35 % mindre end den beregnede, og som gælder det Tilfælde, at man arbejder med mættet Vanddamp og Ætylen af varierende Tryk, og efter Passage gennem Reaktionskammeret afkøler til praktisk talt fuldstændig Kondensation af Vand og Alkohol. (NB: 95 Mol % Alkohol = 98 Vægt-%!).



Selvom Varmetoningen, som allerede udførligt omtalt, ikke i sig selv er noget Maal for Affiniteten, saa kan man jo ikke komme uden om, at ΔH ofte er langt det største Led i den snart velkendte Størrelse $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, i al Fald saa længe man holder sig til rimelige Temperaturer. Derfor begynder da ogsaa Ewell sine Betragtninger over Muligheden af en direkte Cyanbrintesyntese med at konstatere, at Cyanbrinte ligesom mange andre simple Kvælstof-

Tabel IV. Trykkets Indflydelse paa Ligevægten $C_2H_4 + H_2O \rightleftharpoons C_2H_5OH$ ved 150 °C. ($K_a = 5,89 \cdot 10^{-3}$).

Tryk P Atm.	$\gamma_{C_2H_4}$	γ_{H_2O}	$\gamma_{C_2H_5OH}$	K_γ	K_x	Sammensætn. af indførte Luftbland.		Sammensætn. af Ligevægtsbland.			Mol-% Alkohol %-isk Ud- i 20° nyttelse af Kondensat C_2H_4	
						$p_{C_2H_4}$	p_{H_2O}	$p_{C_2H_4}$	p_{H_2O}	$p_{C_2H_5OH}$		
5	0.99	0.97	0.95	1.00	0.294	0.3	4.7	0.238	4.696	0.066	1.4	21.7
10	0.99	0.94	0.90	0.97	0.607	5.3	4.7	4.75	4.08	1.17	22.3	19.8
25	0.96	0.85	0.76	0.93	1.581	20.3	4.7	19.74	2.34	2.92	55.5	12.9
50	0.93	0.73	0.58	0.86	3.425	45.3	4.7	44.9	1.25	3.81	75.3	7.8
100	0.87	0.53	0.34	0.75	7.85	95.3	4.7	95.1	0.57	4.33	88.4	4.4
200	0.77	0.28	0.12	0.55	21.40	195.3	4.7	195.2	0.23	4.58	95.2	2.3

Fig. 2. Ligevægtskonstanten for $C_2H_4 + H_2O \rightleftharpoons C_2H_5OH$

forbindelser har en ret stor negativ Dannelsesvarme (positiv ΔH_D). For at opnaa en ikke alt for ugunstig Ligevægtskonstant er det derfor rimeligt at søge et Udgangsmateriale, der ogsaa har en saa stor negativ Dannelsesvarme som muligt, og den mest nærliggende Mulighed er da Acetylenet, som sammen med Kvælstof kan tænkes at kunne give Cyanbrinte efter Reaktionsligningen:



Paa ganske tilsvarende Maade som i de to andre Eksempler er der beregnet Ligevægtstilstanden ved forskellige Tryk ved 300 °C og det procentiske Udbytte, der kan faas i kondenseret Form, naar Lige-

vægtsblandingens afkøles til 0 °C. (Damptryk af HCN: 0,355 Atm.) (Tabel V).

Ewell anstiller den Betragtning, at man ved eventuel Praktisering af denne Proces passende vil kunne begynde med at prøve de fra Ammoniaksyntesen kendte Katalysatorer, da der i begge Tilfælde skal ske en Brydning af $N \equiv N$ -Bindinger. Derimod angiver han ikke noget om Mulighederne for at forhindre Ekspllosion af de højtrykte Acetylenblandinger, og en forsiktig Experimentator vil nok hellere nøjes med mindre Acetylentryk, selv om det medfører, at der maa anvendes væsentlig højere Totaltryk til Opnæelse af det samme Udbytte, da Trykfølsomheden kun er ringe, idet $\Delta v = 0$, og Trykket derfor kun har Indflydelse gennem γ 'erne.

Overhovedet har denne Syntese ikke stor Udsigt til at kunne faa praktisk Betydning, især i Betragtning af de veludviklede tekniske Metoder til Fremstilling af Cyaniderne af de lettere Metaller, men de Betragtninger, den kan føre til, er ikke uden almen Interesse og kan naturligvis overføres paa mange andre Omraader.

ΔG-Beregning »uden Maalinger«.

Saavidt de Beregninger, der kan anstilles alene paa kalometriske Maalinger og uden Ligevægtsbestemmelser; men den menneskelige Dovenskab er en umaadelig Inspirationskilde, og det er klart, at det næste Skridt maa være at klare sig ogsaa uden disse, og noget saadant er da ogsaa ofte forsøgt.

Takket være Crack-Proцesserne og den amerikanske Petroleumsindustri's Research er det især for Kulbrinter, at Materiale er gennemarbejdet med virkelig nøjagtige Maalinger, og det er ogsaa naturligt at vente, at der netop for disse vil være regelmæsige Forhold.

Bestræbelserne maa naturligvis gaa ud paa at opstille Regler, hvorefter de termodynamiske Størrelser for et Stof kan angives alene ud fra Kendskabet til Konstitutionsformlen.

Tabel V. Trykkets Indflydelse paa Ligevægten $N_2 + C_2H_2 \rightleftharpoons 2HCN$ ved 300 °C. ($K_a = 5,50 \cdot 10^{-3}$)

Tryk P Atm.	γ_{N_2}	$\gamma_{C_2H_2}$	γ_{HCN}	K_γ	K_x	Sammensætn. af Ligevægtsbl.			% -Udbytte af flydende HCN	
						p_{N_2}	$p_{C_2H_2}$	p_{HCN}		
5	1.00	1.00	0.985	0.97	0.00567	2.41	2.41	0.181	0	
10	1.00	1.00	0.97	0.94	0.00585	4.82	4.82	0.364	0.1	
25	1.01	0.99	0.92	0.85	0.00647	12.01	12.01	0.98	2.5	
50	1.02	0.97	0.85	0.73	0.00754	23.95	23.95	2.08	3.5	
100	1.04	0.95	0.72	0.52	0.01058	47.8	47.8	4.74	4.1	
200	1.10	0.90	0.55	0.31	0.01775	93.4	93.4	12.44	6.4	

Blandt de ældste Arbejder indenfor denne Udvikling er Parks og Huffmans Paraffinmaalinger, der førte til Resultater, som lod sig udtrykke ved Formlen

$$\Delta G_{298}^{\circ} = -11700 + 1080n + 800r,$$

der gælder for Dannelsen af en flydende Paraffin med n Kulstofatomer og med r Forgreninger i Kulstofkæden udfra Grafit og luftformig Brint ved 1 Atm. og 25 °C. Ligningen viser, hvorledes det ved alm. Temperatur gælder, at de laveste og de mindst forgrenede Paraffiner er de mest stabile.

Mange andre og meget nøjagtige Maalinger er foretaget siden da, især af Rossini og af Kistiakowski og deres Medarbejdere, og en Oversigt over en Del af disse Resultater kan findes i en Artikel af Thomas, Egloff a. Morrell (1937; en Monografi af Egloff: The reactions of pure hydrocarbons, New York 1937, findes ikke tilgængeligt her i Landet). Her skal kun refereres de to Udtryk, der opstilles for Temperaturafhængigheden af Dannelsesaffiniteten for n -Paraffiner og for 1-Olefiner med normal Kulstofkæde:

n -Paraffin, C_nH_{2n+2} for $n > 1$:

$$\Delta G_T^{\circ} = -10550 - 5890n - 2,2T + 25,2nT \text{ cal/Mol}$$

og n -1-Olefin, $C_{n-2}H_{2n-3} \cdot CH = CH_2$, for $n > 2$:

$$\Delta G_T^{\circ} = 20321 - 5835n - 33,26T + 24,52nT \text{ cal/Mol},$$

Den praktiske Betydning af disse Udtryk er straks indlysende, naar man betænker, hvilket omfattende teknisk Problem, der ligger i Udnyttelsen af de luftformige og ganske letflygtige Kulbrinter i Petroleum, Jordgas og Crackgas. Bortset fra Klorering og Nittring, til hvilke Formaal der i Øjeblikket kun er Behov for en ringe Del af de umaadelige Mængder, der uvaegerligt fremkommer som Biprodukter i Petroleumsindustrien, saa gaar Vejen til kemisk Oparbejdning af disse igennem de reaktionsdygtigere Olefiner. Saadanne Dehydreringer foretages da ogsaa i stor Maaleslok, og som Formlerne viser, skal det ske ved høj Temperatur, thi ΔG° for Dehydreringsprocessen bliver jo simpelthen Differensen mellem de ovenstaaende Udtryk for Dannelsesaffiniteterne, idet den tredie Komponent, Brinten, indgaar i sin Standardtilstand.

Divideres det til Olefinerne hørende Udtryk med n , faas for Dannelsesaffiniteten pr. Kulstofatom:

$$\frac{\Delta G_T^{\circ}}{n} = \frac{20321}{n} - \frac{5835}{n} - \frac{33,26T}{n} + 24,52T,$$

et Udtryk, der viser, at for $33,26 T = 20321$, altsaa for $T = 611 ^\circ K = 338 ^\circ C$ vil n -1-Olefiner kunne indbyrdes omdannes til hinanden med $\Delta G_{298}^{\circ} \approx 0$. Over denne Temperatur vil Tendensen til Nedbrydning være fremherskende, medens Polymerisation er begunstiget ved lavere Temperatur. Og ogsaa Polymerisationsprocessen er af stor teknisk Betydning, thi derved kan der af de luftformige Olefiner ved høj Tryk og moderat Temperatur dannes de højere kogende og værdifuldere. Disse kan da hydreres til Paraffiner og anvendes til Benzin, men det maa tilføjes, at man dertil især stræber efter at vinde de forgrenede Kulbrinter, der kan forbedre »Oktantallet».

Omtaaende Fig. 3, der er taget fra Parks a. Huffman, giver ogsaa et Overblik over Stabilitetsforhol-

dene ikke blot for Paraffiner (fuldt optrukne Linier) og umættede alifatiske Kulbrinter (brudte Linier), men ogsaa for cykliske og aromatiske (stippled Linier), selv om den ikke er ført à jour efter de nyeste og bedste Data. Den fede O-Linie er mæret C + H₂, fordi den jo netop svarer til Grafit + Brint ved 1 Atm., og det ses, hvorledes ved alm. Tryk kun Paraffinerne er termodynamisk stabile i Forhold til Bestanddelene og det endda kun ved ikke for høje Temperaturer.

Det ses ogsaa, hvorledes Paraffinerne i hele Temperaturområdet bliver stadig mindre stabile med højere Molekylvægt, et Forhold, der naturligvis er afgørende for selve Cracking-Processerne. Ved Dirigeringen af disse har termodynamiske Beregninger og Overvejelser ogsaa udstrakt Anvendelse, hvilket vi dog ikke her skal følge nærmere. Der kan blot i Forbindelse med Fig. 3 være Grund til at paapege, hvorledes Nedbrydningen sker gennem Paraffinerne, medens Opbygningen foregaar gennem Olefiner, der ved moderate Temperaturer ikke viser en tilsvarende Instabilitet af de højere Led i Rækken.

Alt dette var Kulbrinter og som saadan væsentlig fra Petroleumsindustriens Omraade; men især de umættede Kulbrinter kan jo oparbejdes til en Mangfoldighed af finere Kemikalier indenfor de alifatiske Forbindelser, og det er vel netop Stoffer af denne Art, der dominerer i den Gruppe af Forbindelser, der, som omtalt i Indledningen, synes saa forbløffende lettilgængelige i U.S.A. i Forhold til, hvad man her er vant til.

Øg også største Delen af disse Oparbejdninger sker ved katalyserede Processer under gunstige Tryk og Temperaturforhold, og også dør tages de termodynamiske Forudberegninger i vid Udstrækning i Anvendelse, baade de, der baseres paa Precisionsmaalinger og de, der baseret paa Extrapolationsformler og deslige, kan give et første Overblik over i hvilken Retning, man bor sætte ind i sine Undersøgelser, naar man vil planlægge en ny Synthese.

At gaa nærmere ind paa, hvad der for hver enkelt Gruppe af Stoffer kan gøres og er gjort, vil føre for vidt, det skal blot i Fortsættelse af Exemplaret Åetalolsyntesen nævnes, at ganske tilsvarende Processer finder Sted med højere Olefiner under Dannelse af højere Alkoholer. Til Brug ved Overslagsberegning af saadanne Processer er allerede hos Parks a. Huffman angivet en Regel, som de har uddraget af de foreliggende Data, og som gælder Ändringen i Dannelsesaffinitet, naar man indfører en OII-Gruppe i en Kulbrinte:

dannes der en primær Alkohol

bliver ΔG_{298}° ca. 34000 cal. lavere
dannes der en sekundær Alkohol

bliver ΔG_{298}° ca. 37000 cal. lavere
dannes der en tertiar Alkohol

bliver ΔG_{298}° ca. 41000 cal. lavere
dannes der Fenol

bliver ΔG_{298}° ca. 41000 cal. lavere
Tal, der viser, at de tertiare Alkoholer ved alm. Temp. er termodynamisk mere stabile end sekundære, der igen er stabilere end de primære.

Regler af denne Art og mere eller mindre træf-

fende kan naturligvis opstilles i Massevis og vil ofte være velegnede til Overslagsberegninger; men naturligvis maa det efterhaanden, som man vil gaa til mere og mere komplicerede Tilfælde og vil kræve større og større Nøjagtighed, blive stadig vanskeligere at finde de rigtige Linier at foretage Inter- og Extrapolationer efter. Man kan dog sikkert vente, at det voksende Kendskab til Molekyllernes Bygning og Tilstand og til Valenskræfternes Natur, som skyldes de stadige Fremskridt inden for de mere moderne Omraader af den fysiske Kemi — eller kemiske Fysik, om man vil — vil gøre det lettere at indse, hvad der dirigerer ogsaa Størrelsen af de termodynamiske Funktioner, saaledes at det bliver muligt at finde den rette Form for saadanne Interpolationsformler.

Den praktiske Betydning.

Rent umiddelbart vil teoretiske Overvejelser af den her omtalte Art for mange Teknikere sikkert staa ganske i Skyggen af det Problem at finde de rette Katalysatorer, naar det drejer sig om Udvikling af Syntesemetoder. Og drejer det sig om den yderligere Udvikling af allerede kendte Metoder — hvad det i dette Land næsten altid gør — saa er naturligvis ogsaa Katalysatorspørgsmalet det mest paatrængende, for saa vidt som man da kender Tryk og Temperaturer, hvorved Processen skal gaa; men der vil sikkert ofte kunne foretages Forbedringer ogsaa ved at ændre de ydre Betingelser i en Retning, der giver gunstigere Ligevægt, og i al Fald vil det ogsaa tit være af Betydning at kunne fastslaa, om et utilfredsstillende Udbytte skyldes ugunstigt Ligevægtsforhold, og om det altsaa overhovedet kan nytte at søge efter en bedre Katalysator.

Medens man i vid Udstrækning alene ved Anvendelse af le Chateliers Princip og deslige er i Stand til at fastslaa, i hvilken Retning man skal ændre Tryk og Temperatur for at opnaa gunstigere Forhold, saa byder termodynamiske Beregninger den eneste Mulighed for kvantitative Overslag over, hvor stor Effekt en vis Ændring kan give, saaledes at man f. Ex. kan faa et Skøn over, om derved forøgede Omkostninger vil kunne bæres af Forbedringen.

Særlig iøjnefaldende bliver Beregningernes Betydning ved Planlæggelse af helt nye og uprøvede Syntesemetoder. Som det er demonstreret i Exemplerne, er det da, naar det fornødne Talmateriale for de deltagende Stoffer foreligger, muligt at forudberegne Ligevægten, og man kan da straks under de rigtige Betingelser begynde at prøve mulige Katalysatorer igennem. Derved reduceres selvagt det experimentelle Arbejde ganske betydeligt i Forhold til det,

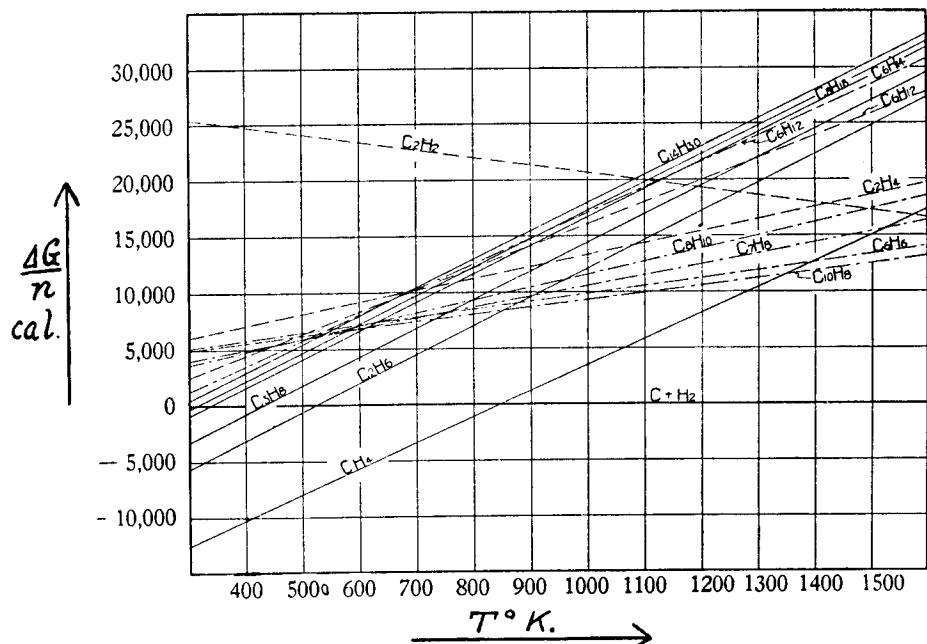


Fig. 3. Stabilitetsdiagram for 14 Kulbrinter i Forhold til Grafit + H₂. Den stableste

Tilstand har lavest $\frac{\Delta G^0}{n}$ (1 Atm.).

der maa til, hvis ogsaa Tryk og Temperaturbetingelserne skal varieres samtidig med at alle mulige Substanser gennemprøves som Katalysatorer.

Nu har vi jo i dette Land ingen Petroleumskilder, og de Omraader, som dansk kemisk Industri kan have Chancer for at gøre en Indsats paa, vil rimeligvis for Størsteparten vedrøre mere komplicerede Forbindelsers Fremstilling udfra Grovkemikalier, i dette Ords formodentlige fremtidige Betydning. Dermed vil man rimeligvis især komme til at bevæge sig uden for de gennemmaalte Stoffers Rækker, og der vil blive Brug særlig for overslagsmæssige Extrapolationer fra simple Forbindelser af den skitserede Art. I den amerikanske Litteratur vil der kunne findes mangfoldige yderligere Exempler paa, hvorledes man med Fantasi og Dristighed kan opnaa at finde udmærkede Retningslinier paa forbavsende spinkel Grundlag, og selv om mangt og meget vil forekomme en lidt mere forsiktig og kritisk indstillet Europæer som alt for letfærdig Omgang med exakt Videnskab, saa kan man dog ikke være blind for hvilke fortræffelige Resultater, der er nææt og sikkeført ogsaa vil kunne naas paa endnu større Omraader, naar der gaas frem med baade Fantasi og Kritik og tillige i fuld Kontakt med alle Fremskridt inden for Kemiens forskellige Grene, ikke mindst de fysisk betonede.

For Tilfælde, hvor overhovedet intet brugbart Materiale forefindes, maa det endelig nævnes, hvorledes en Betragtning og Formulering af Problemerne på termodynamisk Grundlag vil gøre det muligt at rationalisere det experimentelle Arbejde saaledes, at der kan drages de mest vidtgaaende og mest korrekte Slutninger paa det mindst mulige experimentelle Grundlag.

Overhovedet kan naturligvis alt det her omtalte ses som en enkelt Side af den stadig mere udstrakte Kontakt mellem Teknikken og den exakte Videnskab. En Vekselvirkning, der utvivlsomt er til aller-

største Gavn ogsaa for Videnskaben, der derved er hverver et Materiale af et saadant Omfang, som det ikke vilde have været gennemførligt at fremskaffe det, om det ikke tillige havde tjent Teknikkens Interesse. Men Vekselvirkningen gaar ogsaa stadig hurtigere, og man kan ikke regne med, at Udviklingen altid vil give sig saa god Tid, som det har været Tilfældet med f. Eks. Varmepumpen, der først i de seneste Aar er blevet ført ud i Praksis, skønt dens termodynamiske Teori har været klar i ca. 100 Aar, og paa Trods af at Princippet Fortrin netop til Opvarmningsopgaver er udtrykkelig paapeget alle rede i 1923 i en saa udbredt Bog som Lewis og Randall's Termodynamik.

Litteratur.

Nærværende Artikel maa ses som et Forsøg paa at gøre danske Teknikere opmærksom paa Termodynamikkens Betydning i den aktuelle og efter alt at dømme endnu mere i den fremtidige Udvikling, og samtidig give en Slags Introduktion til det nærmere Studium af Omraadet, som det naturligvis ikke har været muligt paa langt nær at udømme.

Det er derfor paakrævet at slutte med en Angivelse af egnert Litteratur. Dette er dog slet ikke nemt, da den nyere Udvikling foreløbig kun kan følges i Tidsskriftsartikler, der bygger paa den ældre Litteratur, der i sig selv er utilstrækkelig. Parks og Huffmans Monografi er den, der nærmest dækker Omraadet, men ogsaa den forudsætter Kendskab til Lewis a. Randall. Det er dog næppe heller muligt at naa ret langt uden grundig Orientering i hele Termodynamikken, og hertil findes foruden denne ogsaa en lang Række europæiske Lærebøger, hvori der dog gennemgaaende er skænket netop det heromtalte Afsnit forbløffende ringe Opmærksomhed, saaledes at de trods Fortrin paa andre Omraader, er mindre egnet til Brug netop i denne Forbindelse.

Ikke destomindre er her gennemført en Nomenklatur,

der nærmest slutter sig til Brønstseds Lærebog, og dermed ogsaa for en væsentlig Del til engelsk Termodynamik, medens al den nedenfor citerede Litteratur slutter sig til den amerikanske. Den væsentligste Forskel er, at den her med G betegnede Funktion dør betegnes med F og kaldes den fri Energi, et Bogstav og en Betegnelse der hos Brønsted anvendes for en anden Funktion, nemlig den saakaldte Helmholszske fri Energi, som atter i amerikansk Litteratur betegnes med A . Den bruges dog kun sjældent, og man kan næsten altid gaa ud fra, at et i Litteraturen angivet ΔF svarer til, hvad der her betegnes med ΔG . Endvidere bruges for Aktiviteten a ofte Bogstavet $f =$ fugacity, et Bogstav, der hos Brønsted bruges for Aktivitetskoefficienter i Vædskeblandinger og Opløsninger; her er for Aktivitetskoefficienten af Luftarter brugt γ i Overensstemmelse med amerikansk Litteratur. Begrebet kemisk Potential, μ , findes ikke som saadant hos Lewis a. Randall, hvor det dækkes af Ordet »partial molar free energy«, men det bruges i nyere amerikansk Litteratur. Denne forskelligartede Nomenklatur volder større Vanskeligheder, end man paa Forhaand skulde tro, men de er ingenlunde uovervindelige.

Der skal da henvises til følgende Bøger og Artikler, hvori der vil kunne findes videre Henvisninger:

Lewis a. Randall: Thermodynamics, New York 1923.

Parks a. Huffman: Free Energies of some Organic Compounds (A. C. S. Monogr. 60), New York 1932.

R. H. Ewell 1939, Ind. Eng. Chem. 31,267.

R. H. Ewell 1940, ibid. 32,147.

Thomas, Egloff a. Morrell 1937 ibid. 29,1260.

Vedrørende γ :

Newton 1935, ibid. 27,1302.

Newton a. Dodge 1935, ibid. 27,577.

Edmister 1938, ibid. 30,352.

Ifølge Kataloger er udkommet under Krigen:

Dodge: Chemical Engineering Thermodynamics, 1944,
750 pp. (\$ 6,00).

ETTER OSS KOMMER OVERFLODEN??*

Ivan Th. Rosenqvist

Et av de mange forskningsfelter som interesserte JØRGEN KOEFOED mest er problemet om menneskehets fremtid, ikke bare politisk men kanskje i første rekke materielt.

Den utvikling vi ser i en stadig økende befolkning, har gitt dommedagprofeter i forskjellige land rike muligheter for å finne de troende tilhørere. Det å forutsi en snarlig dommedag har alltid vært et politisk, økonomisk fruktbart område å gresse på. Vi kjenner derfor i de senere år en overveldende litteraturmengde som forklarer oss at jorden snart løper tom for ressurser, uten at ressursbegrepet blir nærmere definert.

Overbefolkningskrisen illustreres av våre massemidia, TV, kinematografer og aviser, dels ved kurver og tall, dels ved bilder av utsultede barn fra den tredje verden. Når dette sammenholdes med stadig gjentatte »opplysninger« om at det ikke finnes ressurser til fremtidig dekning av de rikes behov, er det oppstått til dels rasistiske verdenssyn. Det blir hevdet at det er ikke-hvite som truer menneskeheten ved sin befolkningseksplosjon, mens hvite driver rovdrift på Jordens ressurser for sin egen del.

Den voldsomme stigning i oljeprisene siden 1973 har brakt mange til den oppfatning at dette skyldes at det er stadig dyrere å produsere petroleum, mens hele infrastruktur-problemet knyttet til produksjon, transport, omsetning, skattelegning og fortjenester i olje-sektoren glemmes. Markedsforholdene på energisektoren er på mange måter prinsipielt forskjellig fra markedsforholdene ved andre mineralske råstoff. I disse sektorer er det nøye sammenheng mellom verdensmarkedets priser og det arbeid og investeringer som skal til for å produsere råstoffer. I deler av energisektoren har man også en slik sammenknytning. Det gjelder imidlertid ikke i samme grad andre sektorer.

Det har vært vanlig å bruke ord som »fornybare« og »ikke-fornybare« ressurser. I første omgang virker en slik inndeling logisk, men den krever nærmere analyse. En ting kan vi imidlertid si: Hele ressursbegrepet har kun mening i lys av menneskehets størrelse og individenes forbruk.

Mens vår jord er ca. 4.500 mill. år gammel, er livet på jorden meget yngre. Når det gjelder menneskeheten, har den i noenlunde nåværende biologisk

forstand levet her i bare 3 mill. år. I den største delen av denne tid levet menneskene som andre dyrearter, som en del av naturen i små flokker som i kamp for livet stadig stod i fare for å dø ut. Fagfolk på det antropologiske området regner med at for 1-2 mill. år siden var det samlede mennesketall bare ca. 100.000 og at befolkningen gjennom årtusener stort sett var konstant. De fleste døde som barn, og sulten var den dominerende faktor i livet. Selv om våpen og fangstredskap ble stadig bedre og menneskets intelligens etterhvert nådde det nivå som svarer til vårt eget, regner man med at det eksisterte bare 3 mill. mennesker for ca. 9.000 år siden. Disse mennesker levde av matsamling og fangst i en mesolittisk tilværelse uten særlig sterke inngrep i de naturlige økologiske prosesser.

Omtrent på denne tid oppstod på en rekke steder på jorden den såkalte »neolittiske revolusjon«. Mennesket gikk over fra matsamling til matproduksjon. Den ville vegetasjon ble fortrengt og erstattet med kulturplanter. Skoger ble brent, åkrer ble dyrket og tamdyr ble den viktigste leverandør av animalske produkter. I løpet av bare 2000 år steg antall mennesker med faktoren 30, slik at man regner med at for 7000 år siden fantes det ca. 90 mill. i de områder som levde i og av jordbrukskulturen. Maken til denne folkeeksplosjonen har jorden aldri opplevet. Jorden var igjen blitt overbefolket. Det var spredningen av jordbrukskulturen til andre geografiske områder som var årsak til at man for 2000 år siden, ved vår tidsregnings begynnelse, antakelig hadde en befolkning på jorden på ca. 250 mill. mennesker. Her fant det altså sted en tredobling av Jordens befolkning på ca. 5000 år.

Innføring av metaller i arbeidsredskapene var hovedårsaken til at man overhovet kunne ha videre befolkningsøkning. Det var dette som muliggjorde at andre arealer ble tatt i bruk, mens den avling man kunne hente på et hektar dyrket jord ikke var blitt vesentlig større.

Fremdeles steg Jordens befolkning langsomt, og nesten alle levde på sultegrensen inntil man for 150 år siden (i 1830) beregnet at det var blitt ca. 1 milliard mennesker på jorden.

Her begynte den industrielle revolusjon ved anvendelse av andre energikilder enn muskelarbeide å få betydning i produksjon av mat og andre livsfordenheter. For 50 år siden (i 1930) var Jordens befolkning 2 milliarder. Nesten hele den siste økning skyldtes europeerne og deres etterkommere i andre kontinenter

* Institutt for geologi, Universitetet i Oslo Blindern, Oslo 3, Norge

etter at de ved folkemord hadde utryddet den opprinnelige befolkning eller tatt deres landområder.

Etter den 2. verdenskrig har også andre folkeslag fått en viss andel i de medisinske og tekniske fakulteters resultater, slik at vi nå har passert 4 milliarder mennesker.

I denne periode er fødselsoverskuddet blant europeerne avtakende, mens de ikke-europeiske folkeslag i en viss liten utstrekning er i ferd med å gjenvinne den prosentuelle andel av menneskeheten, som den industrialiserte verden hadde ekspandert utover i løpet av 150 år.

Hele denne tid har det foregått en kamp på liv og død mellom kultur og natur. Sult og sykdom er bekjempet ved matproduksjon og medisiner. Råstoffer er tatt ut av fjellene for å skape arbeidsredskap i kampen for å overleve, så barna ikke måtte dø av sult. For all denne produksjon av varer og tjenester trenges energi i en eller annen form. I det gamle stenaldersamfunn var energibæreren den mat man spiste og den ved man brant. Senere ble trekkdyr og vind tatt i bruk inntil vi har nådd det nåværende samfunnet. Dersom man med overbefolkning mener at antall individer i et område er begrenset av eller overstiger ernæringsmuligheter i et område, så har jorden aldri vært så lite overbefolket som nå. Inntil nylig var det umulig å ernære vesentlig flere mennesker på jorden enn de som til enhver tid levde der.

Den »befolkingseksplosjon« vi har sett etter 1830, skyldes at vår biotop ga muligheter for denne. Den viktigste årsak til dette er anvendelsen av andre energikilder enn muskelarbeide. Nå bruker 30% av menneskeheten 90% av verdens utnyttede kommersielle energitilganger for å lette sin eksistens, mens 70% av menneskene har 10% på deling, og noen få rike land representeret ved NATO og Warszawa-pakten bruker like mye energi til rent militære formål som den fattigste halvdelen av menneskeheten har til alle sine behov. Slike og andre tall forklarer den store interesse som nå hersker over ressursbegrepet og den popularitet dommedagsprofetier har fått. Man får inntrykk av at det ikke er på det militære og utenrikspolitiske området, hvor det er virkelig grunn til bekymring, men på ressurssektoren.

Med den nåværende økonomiske verdensordning og uten global atomkrig regner man med at ca. 500 mill. mennesker vil dø av sult og feilernæring fra nå av til århundrets slutt. Likevel vil verdens folketall stige til et sted mellom 5½ og 6 milliarder mennesker. Det forhold at det ikke blir mer enn 500 mill. mennesker som dør av sult, skyldes at menneskene kan utnytte naturen på en ganske annen effektiv måte enn bare for noen få årtier siden. Vi er da tilbake til problemet om ressurser og synet på jorden som et romskip.

Dette romskip kan ikke få seg tilført annet materiale enn det som foreligger ombord. Derimot mottar det en stadig strøm av sollys, hvorav ca. 80.000 TW tref-

fer den faste jordoverflaten i en kontinuerlig strøm, og en tilsvarende energimengde stråler ut igjen. Denne energitilførsel er det som muliggjør eksistensen på jorden, og en oppspart liten del av tidligere energitilførsel er i dag hovedkilden for vår energitilgang og regnes inn under begrepet ikke-fornybare ressurser eller engangsressurser.

For øvrig er de ressurser eller kilder menneskeheten henter sine livsfornødenheter og andre råstoffer fra, av forskjellig art. De faller i følgende grupper:

- (1) Vann og luft
- (2) Dyrkbare arealer og andre ernæringsstilganger
- (3) Råmaterialer for gjødningsindustrien
- (4) Råmaterialer for fremstilling av alle verktøy og maskiner.

Ressursene i gruppe 1 og 2 er selvinnlysende nødvendige for at det overhodet skal eksistere liv på jorden. Grunnstoffene i gruppe 3 er nødvendige for den nåværende matproduksjon, og de kan ikke erstattes av andre grunnstoffer. Grunnstoffene i gruppe 4 kan derimot til en viss grad eller fullstendig erstattes av andre grunnstoffer. På siden av disse ressursgrupper danner energi *en egen klasse*. Det er alltid nødvendig med energi i en eller annen form for å nyttiggjøre seg de øvrige ressurser.

Den siste og viktigste ressurs er den menneskelige akkumulerte kunnskap. Dette er den uoppslitelige og stadig voksende ressurs som gjør det mulig å utnytte alle de andre.

De forskjellige ressurser kan være *avkastningsressurser*. Disse kalles ofte for fornybare ressurser. Det dreier seg om ressurser som kan gi en årlig avkastning. For et land som Norge er topografi og nedbør tilsammen en ressurs som f. eks. gir avkastning i form av elektrisk kraft fra en elv. På samme måte er et jordbruksareal og klima den viktigste ressurs i denne gruppen. Det er denne kombinasjonen som gjør det mulig å produsere vår mat. Disse ressursene er av begrenset størrelse og vil være de som i siste instans begrenser hvor mange mennesker som kan leve på vår jord.

Engangsressursene, som f. eks. jerninnholdet i en bestemt lokalisert jernmalm-forekomst, er en annen type ressurs. Det er særlig denne type ressurser som har gitt dommedagsprofetene argumenter for sitt pessimistiske livssyn.

De uorganiske mineralske råstoffer som menneskene bruker, blir ofte kalt malmer. Denne betegnelsen har ført til en alminnelig misforståelse som går ut på at jordskorpen består av to prinsipielt forskjellige typer geologisk materiale, nemlig malmer og gråstein. Et slikt syn har igjen ført til den oppfatning at verden har en begrenset mengde malmer og disse er ikke fornybare. Man forestiller seg derfor de uorganiske mineralske råstoffer som om de skulle foreligge som et brød utlevert oss ved jordens dannelses. Følgelig ser man på det som umoralsk for vår generasjon å skjære

tykke skiver av disse brødene. Det ville føre til at våre barnebarn står uten ressurser.

Dersom dette syn hadde vært riktig, kan det vel neppe sies å være mer moralsk å skjære tynne skiver, slik at det blir våre barnebarns barnebarn som skal stå uten ressurser. I virkeligheten bygger denne oppfatning av de ikke-fornybare ressurser på en fundamental misforståelse i utgangspunktet. De grunnstoffer som hører til ressursgruppe 3 og 4 forekommer i jordskorpen ikke i diskontinuerlige, men i kontinuerlige variable konsentrasjoner og størrelser og med forskjellig geografisk utbredelse. Det er bare de ekstremt rikeste eller største malmer med gunstig geografisk plassering som til enhver tid blir bokført som ressurs. Disse er de eneste som kan bli utnyttet uten økonomisk tap for produsentselskapet i det nåværende samfunn.

I stedet for å se på verdens mineralressurser som begrenset »brød« og med konstant sammensetning, er det riktigere å betrakte dem som rettavkortede »kjegler« med varierende åpningsvinkel. Jo dypere man skjærer ned i en slik »kjegle«, jo større blir de skiver man får frem. Når det opprinnelige øverste lag er fjernet, vil alltid neste skive representerer toppen i den resterende »kjegle«. Aksen i slike »kjegler« representeres av det arbeide som må medgå for å utvinne det ønskede grunnstoff fra ressursene. Endret teknologi og øket kunnskap gjør det videre mulig å finne og utnytte forekomster som tidligere ikke var tilgjengelige på grunn av stort dyp eller uveisomt terrenget. Etterhvert som de lettest tilgjengelige malmer blir utbrutt, endres det innbyrdes prisforhold mellom forskjellige varer og arbeidslønninger på en slik måte at bergarter som tidligere ikke ble betraktet som malm, går over til å være menneskehets malmer. I det minste har de siste 8-10 generasjoner mennesker således etterlatt større forråd »malmer« til sine etterkommere enn de mottok fra sine foreldre.

Vi ser dette forhold klart illustrert ved produksjonen av kobber. Ved dette århundres begynnelse måtte en bergart (malm) inneholde ca. 3% kobber for å kunne utnyttes. Dengang kunne grubearbeideren kjøbe ca. 2 kg kobber for sin daglønn (10 timers arbeidsdag). Det hersket dengang stor bekymring i verden over hva man skulle gjøre når kobberressursene var uttømt. Også dengang kjente man til fattige kobberholdige bergarter med ca. 0,7% kobber. Om man dengang hadde foreslått å utnytte disse bergarter som koberråstoff, ville argumentet være: Dersom man startet å produsere kobber fra slike bergarter, ville man ikke kunne betale arbeiderne med mere enn ca. 1 øre pr. arbeidstime, og da ville de sulte ihvel.

Nå utvinnes mesteparten av verdens kobber fra forekomster med mellom 0,5 og 0,7% kobber, med resultat at det årlige forbruk er 10 ganger så høyt som ved århundrets begynnelse og de kjente reserver inneholder ca. 100 ganger så meget kobber som dengang,

og grubearbeiderne kan kjøbe 3 kg kobber for sin timelønn.

Det forhold at aksen i det koniske malmbegrep utgjøres av innført arbeide, forklarer hvorfor mineralressurser og energiressurser må sees på som to forskjellige klasser. Også energiressursene – særlig gjelder det de biogent dannede fossile forekomster av olje og kull – foreligger i kontinuerlig variable konsentrasjoner og størrelser og med varierende geografisk beliggenhet og dybde under jordoverflaten. Forsåvidt forekommer også disse på en måte som skulle tilsi at man kunne bruke kjeglemodellen dersom dette bare gjaldt å utvinne de grunnstoffer som forekomstene består av. Det vil i første rekke si karbon og hydrogen. Da energiråstoffene imidlertid skal brukes til å utføre arbeide eller andre energikrevende prosesser, kommer en ny begrensning inn. Det må ikke kreves mer energi for å utvinne grunnstoffene enn man kan få ut av dem etter at de er utvunnet. I virkeligheten må innsatt energi være vesentlig mindre enn utvunnet. Av den grunn kan man danne seg en modell over energiforekomstene som mer har fasong som en »pære« enn som en »kjegle«. Ved alle former for energiutvinning som foregår i dag fra fossile kilder som olje, gass og kull befinner vi oss høyt oppe i den kjegleformede del av pæren. Mens man for andre grunnstoffer nærmest kan regne med at de totale forråd er uendelig store i forhold til det menneskelige behov, danner de forutsetninger man har satt for energiråstoffene, en ny begrensning som fører til at pærens »ekuator« har et begrenset tverrsnitt, og selve pæren har et begrenset volum. Det er råstoffgeologenes oppgave på forhånd å beregne disse størrelser for de enkelte typer energibærere. Det er en vanskelig oppgave, og vi er i dag bare nådd grove tilnærmelser både når det gjelder kull og olje og kjernefysiske energiråstoffer.

Energikildene deles også i de to klassiske grupper:
1) Avkastningsressurser. 2) Engangsressurser.

I gruppe 1) har vi den direkte solstråling som er basert på kjernefysiske prosesser i solen. Videre alle former for energi som direkte er avledet av solenergien. Det er først og fremst de næringsmidler som brukes av mennesker og dyr for deres muskelarbeide. Videre har vi brensel fra tre og landbruksavfall. Vi har vannkraft, vindkraft og havstrømmer, som alle er direkte avledet av solvarme. Andre avkastningsressurser er tidevannskrefter og geotermisk energi. Disse er ikke direkte sammenknyttet med kjerneprosessene i solen.

Gruppe 2), engangsressursene, utgjøres først og fremst av fossilbrensel som opprinnelig var avledet av solenergien, og videre av kjerneenergien som i dag er basert på fission av uran og i nærmest framtid også antakelig av torium. I fremtid har vi muligheten for fusjon av deuterium.

Før man går over til å vurdere de enkelte energikildene og deres størrelse og tilgjengelighet, er det hensiktmessig å danne seg en målestokk for energiforbruket. Det har ofte vært anvendt enheter som 1 tonn

oljeekvivalent eller 1 tonn kullevkvalent, d.v.s. en energimengde svarende til den man kan få ved å brenne 1 tonn olje eller 1 tonn kull. I mange land har man beholdt enheten tonn kullevkvalent på tross av at utviklingen etterhvert har ført til at olje er blitt den viktigste energikilde. 1 tonn kullevkvalent (1 tce) svarer omrent til 28 GJ (milliarder joule).

Da jordens befolkning er spredt på begge halvkuler og rundt hele jordens omkrets, kan man regne med en jevn energifløks gjennom det menneskelige samfunn. Det samlede menneskelige energiforbruk ligger nå i størrelsesordenen 10 TW, d.v.s. 10 TW år pr. år. Herav er ca. 90% kommersiell energi fra olje, kull, hydroelektrisitet og uran, mens 1/10 er ikke-kommersiell energi som hovedsakelig brukes av den fattigste del av jordens befolkning.

Mens vår avkastningsressurs - solens stråling - utgjør ca. 80.000 TW, er det en meget liten del av denne som utnyttes i form av hydroelektrisitet og gjennom fotosyntesen. Man kan heller ikke regne med at disse kilder til utnyttelse av sollyset vil få noen stor betydning i fremtiden.

Den samlede potensielle teoretiske vasskraft i verden svarer til ca. 7 TW, og den nåværende utbygningsgrad av vasskraft tilsvarer for verden som helhet ca. 8% av dette, men den samlede netto fotosyntese tilsvarer ca. 100 TW, slik at dersom man kunne utnytte energi-innholdet i 10% av alle planter den dagen planten dør, ville dette svare til vårt nåværende energiforbruk.

Andre avkastningsressurser av solenergien har vært vind i vindmøller og seilskip. Den potensielle mulighet for stor utnyttelse av vindkraft i det industrialiserte samfunn kan settes ut av betrakting, men for lokalt og mindre behov er det her visse muligheter.

Andre avkastningsformer for sollyset er havstrømmene. Dertil kommer tidevannskreftene, som ikke skyldes sollyset. Disse siste kan heller ikke få stor betydning som energikilde for menneskene som helhet. Større muligheter ligger det i å utnytte temperaturdifferansen mellom overflatevann og dypvann langs en del tropiske kyster. Ved lavtemperatur, varmekraftmaskiner kan man håpe å oppnå en virkningsgrad på ca. 5%; d.v.s. et turbinanlegg som skal fremstille 1000 megawatt elektrisitet, må bli ca. 7 ganger større enn et kull- eller oljefyrt anlegg med samme ytelse.

Utnyttelse av geotermisk energi har ofte vært sett på som en avkastningsressurs. I virkeligheten bør den geotermiske energi vesentlig regnes blant engangsressurser.

Vi kommer derfor tilbake til engangsressursene. Her kommer så »pære«-begrepet inn i stedet for »kjegle«-begrepet, som er gyldig for alle råstoffer i gruppe 3 og 4 i denne inndelingsformen vi har valgt.

Det kan uten videre sies at innen vide grenser er det viktigere at man har energitilgang i alle de arbeitsoppgaver som står foran oss, enn at energien er billig. Dette gjelder i alle fall så lenge ikke andre kan kjøpe

energi vesentlig billigere enn en selv. Ved å erstatte muskelarbeide med energi fra fossile kilder eller kjerneenergi sparer man for det første det landbruksareal som måtte gå med for å fremstille muskelarbeidet, enten det skjer gjennom trekkdyr eller ved menneskelig slit. I alminnelighet kan man sette dette areal til ca. 40% av det totale areal. For det annet er det bare ved anvendelse av de mer konsentrerte energibærere at det er mulig å opprettholde en befolningsstruktur der en betydelig del av menneskeheden er beskjeftiget i sekundær og tertiar næring.

De klassiske energibærere som kull, olje, gass etc. representerer fossil solenergi. Mens brutto fotosyntese i dag tilsvarer ca. 15×10^{10} tonn kullevkvalenter pr. år, regner vi med at bare ca. 0,001% av det karbon som har passert gjennom de fotosyntetiske kretsløp i jordens historie, er oppbevart i form av fossil redusert karbon. Minst 99,999% er igjen blitt øksydert og returnert til atmosfæren. Det er bare 0,001% som er oppbevart.

Gjennomsnittlig holder verdens sedimentbergarter ca. 0,4% fossil karbon; d.v.s. 1 tonn sedimentbergarter inneholder 4 kg karbon. Det vil kreve mer energi å utvinne dette kull enn man siden vil kunne få ut av det ved en forbrenning. Mesteparten er derfor ikke å regne som energiråstoffer.

Av det totale karbon i fossil tilstand som totalt utgjør ca. 3×10^{15} tonn karbon, regner man med at ca. 1/100 foreligger i form av rike faste kullforekomster og ca. 1/1000 foreligger i form av gass og olje i utvindbar form med nåværende teknologi.

Likevel er forekomstene såpass store at dersom man utelukkende skulle dekke jordens nåværende energi med kjente og forutsebare gass og oljeforekomster, vil disse rekke for kanskje 75 år og de faste kullforekomster for 750 år. Med en øket befolkning, der også de fattige får del i verdens materielle goder, vil den »energipære« vi kan forutse med vår nåværende teknologi, være utømt på noen få hundre år.

Dersom det derfor i fremtiden ikke kommer noe som helst ut av de naturvitenskapelige og tekniske fakulteters arbeidsinnsats, synes det som om det vil være vanskelig innen noen få hundre år å dekke den voksende menneskelige befolknings behov for stadig økende energi fra de fossile energikildene.

Dette synes dog å være et meget pessimistisk utgangspunkt når man vet at utnyttelse av solenergi direkte eller fusjonsenergien byr på teoretiske muligheter. Det er en vanlig erfaringssak innen vitenskapen og teknologi at kan først et problem formuleres, så kan det også løses.

Jeg tror det er i Jørgen Koefoeds ånd når jeg avslutter med disse betrakninger.

HVAD ER DEN RIGTIGE RENTEFOD FOR EN VÆRDIFAST OBLIGATION? 3-3½ - 4-6 eller måske 0 eller -2 pct.?*

Jørgen Koefoed

Vismand Ølgaard – eller exvismand, hvis altså visdom er noget, der ophører med den officielle beskikkelse – har peget på nødvendigheden af at indføre værdifaste obligationer, og det er han jo i øvrigt langt fra den første, der har gjort.

Det er dog klart, at det er mindre end en halv besked om, hvad man bør gøre, så længe det ikke er sagt (1) hvorledes værdifasthed skal defineres og så længe det ikke er fortalt (2) hvilken rentefod, der skal gælde, og sidst, men måske ikke mindst: (3) hvordan beskatningsreglerne skal være.

Vi har så ofte set, at reformer, der var vel mente, og i og for sig vel begrundede førte til højst uønskede konsekvenser, fordi de blev indført på en forkert måde, og fordi man havde undladt at gennemtænke konsekvenserne af det, man gjorde – eller måske fordi man med vilje overhørte indvendinger fra dem, der havde tænkt.

Det er da klart, at indfører vi værdifaste obligationer med en rentefod, der er for lav, så bliver de ikke solgt, og vi må lave støtteforanstaltninger for byggeriet og for industrien, ligesom vi sådan set kunne gøre det i dag, hvis vi altså ikke frygtede konsekvenserne. Bliver renten sat for højt bliver låntagerne nødligende og vil falde socialbudgettet til byrde. Så det er nemt nok at lave ulykker og at lave falske løsninger af et problem, som blot får problemet til at dukke op i en ny og som oftest endnu værre form.

Så kæreste hr. vismand, vi må vide, hvad renten skal være og hvordan den skal beskattes.

Eller skal vi sige, at det er et godt spørgsmål for et stykke fremtidsforskning at finde ud af, hvad man i fremtiden kan belaste samfundsbudgettet med som rentefod for en risikofri og værdifast investering?

Vi midtredende har jo oplevet forskelligt i rentefodder: 3-3½-4 pct. før krigen, 0 pct. under krigen og så et crescendo i årene efter krigen mod 20-25 pct. – men altså ikke for værdiskrede pengeinvesteringer, for når inflationstab og skat er trukket fra, så er vi jo ikke ukendt med et pænt rundt nul eller med et negativt tal som det virkelige renteafkast af en kapital.

Der er virkelig et behov for at få besked om, hvad der er ret og rimeligt. Hvad er ågerrente og hvad er krænkelse af ejendomsretten i form af en skattemæssig ekspropriation af en retmæssigt tilkommende rente?

Hvis økonomer har et svar på disse spørgsmål, ville jeg ønske de ville forklare det for lægfolk i let forståeligt sprog, og hvis de faktisk er lige så rádvilde som jeg mistænker dem for at være – gid de så ville indrømme det og være med til at finde frem til et svar.

Set med en fysikers øjne er renten egentlig noget mærkeligt noget og ud fra de bevaringssætninger, han er vant til at arbejde med, helt uforståeligt. Helt imod gammel sund fornuft, som det udtrykkes i ordssprog som: Du kan ikke både spise din kage og have den. Og imod Moselovens bud og meget mere.

Hvis jeg får 200.000 kr. for et stykke arbejde og betaler de 100.000 i skat, bruger de 50.000 med det samme og ønsker at udsætte mit forbrug af de sidste 50.000 i nogle år, fortjener jeg så at blive belønnet for det med et renteafkast eller skal jeg betale en forsikringspræmie for at få dem opbevaret enten i form af skat eller i form af et inflationstab. Skal jeg med andre ord affinde mig med at mine 50.000 kr. for hvert år bliver lidt mindre værd – svarende til at det som jeg har skabt ved min arbejdsindsats nok heller ikke er skabt for evigheden, men bliver slidt ned år for år?

Eller kan jeg eventuelt betragte det som noget helt neutralt, at jeg bare kan bruge de penge, jeg selv har tjent, på det tidspunkt det passer mig eller mine arvinger uden hverken at skulle belønnes for det eller betale for det?

Der er tre parter i sagen, mig selv, en foretagsommand, der vil låne mine penge for at producere et eller andet, og samfundet – staten – som bl.a. har de opgaver at garantere retsordenen omkring os, så ikke nogle bolsjevikker fra indland eller udland render med værdierne, og at arrangere en social forsorg, der sætter mig i stand til at nyde besiddelsen af min formue med sindsro og uden at blive distraheret af iøjnefaldende nød omkring mig.

Sysler man lidt med begreberne langs disse linier og har man fysikerens bevaringssætninger i baghovedet, så synes jeg let man kommer dertil, at det meget vel kan forholde sig omtrent som følger:

Når vi og vores økonomer betragter det som noget givet, at vi både kan beholde vores penge og spise renter af dem, så beror det på, at vi i nogle århundreder her i den vestlige verden har levet i en tilstand af næsten kontinuert ekspansion, opdagelsesrejser – kolonialisering – slavehandel – nye arealer under plov – mineredrift – udvidet mineredrift – industrialisering – løn-

slaver – olieboringer – mere olieboringer – mere industri – automatisering – produktivitet o.s.v.

Denne stadige udvidelse af aktiviteterne betingede en interesse i at folk udsatte deres forbrug og investerede pengene, og en begrundelse for at præmiere det med en nettorente. Blev renten for høj eller udvidel-sestakten lidt for lille, kom der lidt inflation, men i det store hele var der ekspansion og derfor også en nettorente.

I et stationært samfund hvor nye initiativer stort set blot afløser nedlagte, kan forholdet derimod godt ligge helt anderledes, og har man ikke som i Mose-loven et forbud mod rente, så sørger de økonomiske love ganske enkelt for at der bliver en inflation, som balancerer gennemsnitsrenten ud til et rundt nul. Måske er det da det der sker omkring os.

Til en vis grad kan man betragte det som en harm-løs juleleg, der stiller folk tilfreds ved at de får lov at se stadig større tal på deres selvangivelser, og nok kun delvis erkender at nettoafkastet er nul; men når det kommer til betragtninger over hvad der er ret og rime-

ligt i henseende til beskatning af kapitalvinding på investeringer og på fast ejendom, er det ikke ligegyldigt, hvilket rentesyn man lægger til grund.

For vismand Ølgaards værdifaste obligationer betyder det i givet fald, at lovgivningsmagten må sørge for at andre kommer til at bløde for den rente, han garanterer køberne af hans obligationer.

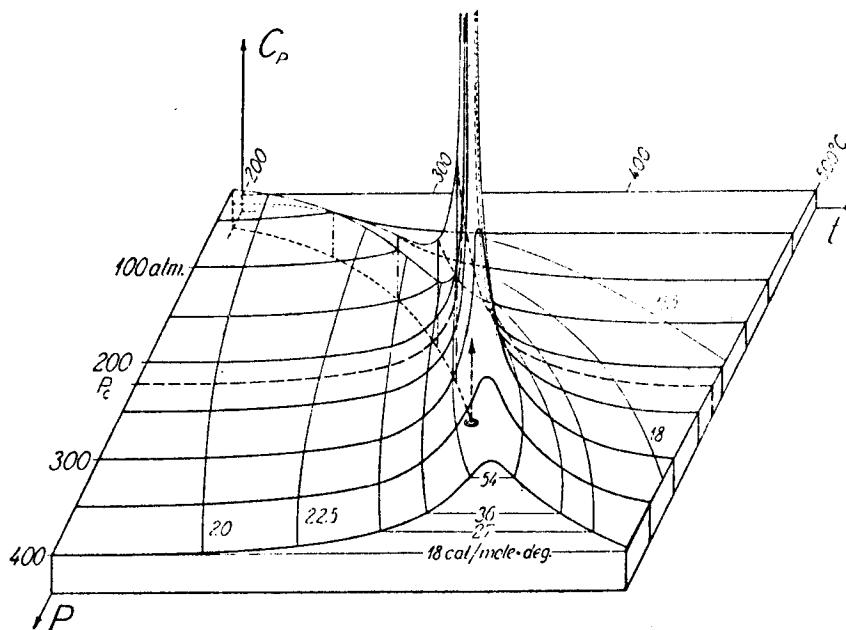
Helt specielt bliver der også konsekvenser, når forskellige lande er indblandet i låneforholdene, og inkasso af renten kan blive grundlag for handelskrige eller rigtige krigsmed bomber og kanoner.

Affinder vi os på hjemmefronten med at nettoren-ten er nul, er det måske ikke rimeligt at forlange en klækkelig nettorente af investeringer i u-landene.

Så alt i alt kan der være god grund til at vi interesserer os for spørgsmålet:

Hvad kan samfundet bære som nettorentefod til kapitalejeren for en risikofri og inflationssikret in-vestering?

Er svaret: nul?



Variation of specific heat (C_p) of water (liquid and gas) with temperature and pressure.

DYNAMISK ØKONOMI

Otto Byrge

Økonomiens betydning

Økonomi optager sindene meget. Som borgere i samfundet har vi økonomiske forpligtelser og rettigheder. Økonomien er en uadskillelig del af vort dagligliv, og det er et fælles folkeligt anliggende. Økonomi er et af de vigtigste politiske emner, for det optræder i sammenhæng med indkomster, skatter, afgifter, penge- og valutapolitik og meget andet.

Betydningen af ordet økonomi

Økonomi er et græsk låneord, som betyder husstyrse eller husholdning. Denne oprindelige betydning er det godt at holde fast ved, for det, det gælder om i forhold til det enkelte lands kriser og de internationale kriser er at være opmærksom på betydning af »husholdning«, d.v.s. en velovervejet disposition over goderne.

Forholdsvis let overskueligt er årskredsløbet inden for den »husholdning«, som en landbrugsvirksomhed udgør: Her er der i løbet af et år tale om en »produktionsgang«, udsæd om foråret, dyrenes græsning om sommeren, høsten om efteråret, fodringen af dyrene om vinteren. Der er en række kredsløb inden for denne økonomikreds.

Økonomi og politik

Økonomi som fagligt område kan føres nogle århundreder tilbage med navne som Adam Smith og Ricardo. Økonomerne beskæftiger sig med pris dannelsen og konjunkturerne. Visse af økonomerne har haft stor politisk betydning, Adam Smith er liberalismens teoretiker og Karl Marx socialismens. I vore dage er befolkningen fordelt politisk efter de økonomiske teorier, de foretrækker og efter deres egne interesser. De politiske magtkampe er til en vis grad udtryk for en uenighed om de økonomiske teorier. Men de er også udtryk for, at teorierne om de komplicerede sammenhænge ikke er tilstrækkeligt udtømmende og entydige til at udgøre vejledning for de dispositioner, der foretages i vore dage.

Videnskabelige gennembrud

I middelalderen var der en strid om jordens form – var den rund eller flad? I dag ved vi, at den er rund. Men det gav anledning til ophidsede diskussioner, hvor standpunkt stod mod standpunkt.

Et andet eksempel er planeternes stilling i solsystemet. Var det himmelen, der bevægede sig, og jorden,

der stod stille? Gik solen rundt om jorden? I dag ved vi, at planeterne inklusive jorden kredser om solen, hver i deres bane, hver med deres omløbstid. Og vi ved, at jorden har et eget kredsløb, en rotation om sin egen akse. Men vi ved endda utroligt meget mere om universet, om solsystemer og mælkeveje.

Mange mysterier om vor egen krops funktioner er erstattet af anatomisk-fysiologisk viden. I oldtiden mente man, at »safterne« fandtes hver på deres sted i legemet. Det var forbløffende sent, at kendskabet til blodets kredsløb med hjertet som drivende muskel blev opnået (William Harvey 1616). I dag er dette kredsløb børnelærdom i skolen.

Komplicerede sammenhænge i astronomien foreligger i dag nøjagtigt beskrevet.

Atomfysikken er et andet meget kompliceret område, hvor det er lykkedes videnskabsmændene at nå frem til eksakte beskrivelser og beregninger.

I dagligdagen udnytter vi mange af de komplicerede sammenhænge. De indgår bl.a. i indviklede produktionsprocesser, styret og kontrolleret ved elektronisk databehandling.

Ofte opstår de teoretiske landvindinger på grænseområder mellem forskellige videnskabelige discipliner. Det gælder også for den teoretiske økonomi. Imidlertid er økonomiens komplikationer så store, at det er vanskeligt at få fuld dækning og verifikation af modellerne. Sædvanligvis er økonomerne ikke uddannet i videregående matematik, og det har gentagne gange været grunden til, at økonomerne har afvist bidrag fra ikke-økonomer. Et interessant eksempel stammer fra 1873: Civilingeniør Frederik Bing og matematikeren, dr. phil. Julius Petersen udviklede i det nystiftede Nationaløkonomisk Tidsskrift nogle ligninger om arbejdsløn og kapital. Men deres bidrag og forklaringer blev aldrig anerkendt af økonomerne.

Derimod er dr. techn. Ivar Jantzen et eksempel på en ingeniør, hvis analyser af virksomhedsøkonomi og hans rationelle kalkulationsmodeller har vundet anerkendelse blandt økonomer.

Egne arbejder. Studiekredsen 1979–1980

Jeg har i tiden fra omkring 1930 beskæftiget mig meget med økonomi. Jeg deltog således aktivt i bevægelsen »Jord, arbejde, kapital«. Og lige siden har jeg gang på gang forsøgt i skrift og tale at skabe interesse for en matematisk behandling af økonomiske sammenhænge. Jeg har særligt beskæftiget mig med pen-

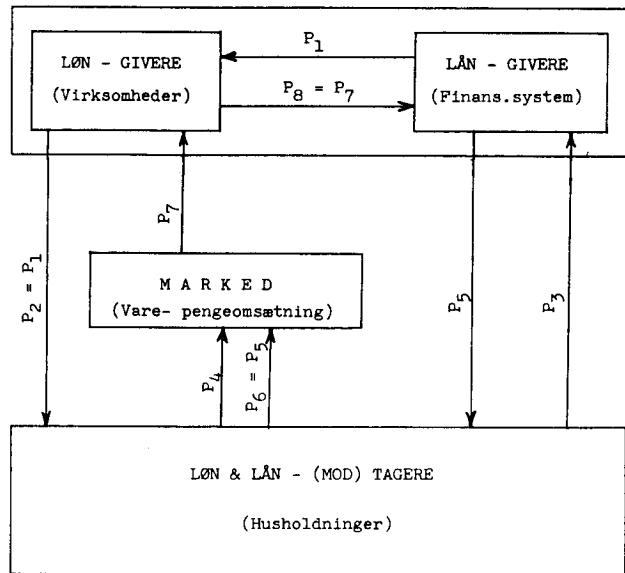


Fig. 1. Finansieringsmodellen

gesystemer, kredit, rente, inflation og gældsvækst. Derom har jeg udgivet forskellige skrifter, se literaturlisten. Gældsvækstingen i Danmark har jeg behandlet for perioden 1818 til 1974.

I årene 1979 og 1980 har jeg min høje alder til trods intensiveret arbejdet, og i den forbindelse haft megen glæde af samarbejdet i en studiekreds om økonomiske sammenhænge i den danske økonomi. I studiekredsen satte vi os som mål at belyse følgende emner:

1. Økonomiske modeller for varekredsløb og pengekredsløb
2. Undersøgelser over gældens vækst i Danmark, herunder nettogælden til udlandet
3. Andre økonomiske forhold såsom bruttofaktorindkomst, skatter og afgifter, ØD og LM
4. Muligheder for rationalisering af pengesystemet.

For at kaste et strejflys over arbejdet i studiekredsen gengiver jeg i figur 1 den første økonomimodel, jeg fremlagde i kredsen.

Modellen anskueliggør et enkelt økonomisk netværk. Den blev i studiekredsen anvendt til beregninger over gældens vækst ud fra forskellige sæt forudsætninger.

Modellen blev i studiekredsen udbygget ved succesive generaliseringer, således at både arbejdssindkomster, renteindkomster og virksomhedsindkomster blev inddraget.

Beregningerne blev gennemført på NEUCC ved elektronisk databehandling.

Studiekredsen er fra efteråret 1980 at regne forandret til en redaktionsgruppe, der som nyt mål har sat sig udarbejdelsen af en debatbog med den foreløbige arbejdstitel: Pengesystemet som reguleringsmekanisme i samfundsøkonomien.

Min kontakt med Jørgen Koefoed

IGennem de senere år havde jeg jævnlig kontakt og interessante samtaler med Jørgen Koefoed. Vi drøftede både Danmarks økonomi og verdensøkonomien. Jørgen Koefoed har selv skrevet en række artikler om økonomiske problemer, se eksemplerne i litteraturlisten.

For mig var det altid inspirerende at drøfte økonomiens problemer med Jørgen Koefoed, og vi kunne gensidig inspirere hinanden. Han havde en evne til at angive frugtbare analogier mellem økonomi og energi, og vi var enige om at betragte den stigende gæld som et forureningsproblem.

Særlig vil jeg fremhæve den artikel, Jørgen Koefoed skrev i festskriften i anledning af Thorkil Kristensens 80-års dag:

Dynamik og ligevægt.

På sporet af oliekrisens mekanik?

I det følgende vil jeg tillade mig at gengive nogle stykker fra denne artikel, idet de citerede betragninger gav mig en impuls, som jeg vil omtale til slut i denne artikel:

»Lad os se på forudsætningerne, som vi kan opfatte som ret generelle for komplekse, dynamiske systemer med lang levetid, hvad enten de er af biologisk, økonomisk eller industriel art.

Der behøves:

- 1) En *kilde* (somme tider flere). For et vandkraftværk, en stadig forsyning af vand fra et højtliggende reservoir.
- 2) *Afløb* – Værket skal kunne blive af med vandet på et lavere niveau, og det skal have et kundesystem til at aftage den producerede el-kraft, og et kølevandssystem til at skaffe spildvarmen bort.
- 3) *Isenkram (hardware)* – til at formidle koblingsprocessen: rørsystem, turbiner og dynamoer.
- 4) *Servosystemer (hardware og software)* – bl.a. til at regulere vandstrømmen i takt med forbruget af elstrøm.

Betrakter vi verdenssamfundet som et stort kredsløb, der beror på tilløb af strålingsenergi fra solen og afgivelse af infrarød stråling til universet suppleret med dræning af Jordens ressourcer og afløb af affaldsstoffer til dens »recipienter«, så må vi yderligere hefte os ved, at det for dets funktion beror på et umådeligt antal lokale kredsløb, der er koblet til hinanden på yderst kompliceret måde, idet afløb fra det ene kredsløb er kilde i andre kredsløb og vice versa.

Opdelingen i lokale kredsløb kan gøres mere eller mindre detailleret, og i praksis er opdelingen efter landegrænser naturlig, men selvfølgelig opbygges hvert enkelt land igen af et stort antal lokale kredsløb, der igen kan opløses helt ned til den enkelte families dynamiske lokalkredsløb.

.

Velstanden blev især fremtrædende i de lande, der var pionerer i den teknologiske udvikling, og det var frem for alt i USA.

Når velstanden kunne nå de højder, var det i stor udstrækning takket være en enorm dynamik i udviklingen af know-how. Man kunne i pionerlandene stadig udvikle nye »know-how-tunge« produkter, der kunne eksporteres til formidable priser, og arbejdskraften kunne udnyttes til stadig mere profitable job. Andre lande opnåede en stor forbedring i deres kår ved at overtage den produktion, der var blevet for lidet lønsom for dem, der var forud i udviklingen. Teknologi-overføring gjorde begge parter mere velhavende, så længe som der stadig var nye og mere avancerede opgaver til den frigjorte arbejdskraft. Det var en dynamisk situation, der beroede på stadige nyudviklinger og på, at der var *ulige* betingelser for nyudvikling, så der stadig var mindre udviklede områder, hvor produkterne kunne afsættes, og hvor råstoffer og rå arbejdskraft kunne hentes for en billig penge.

Det var et dynamisk kredsløb, der skaffede alle profit. Lønmodtagerne fik lønprofit, kapitalen investeringsprofit, samfundet samfundsprofit igennem stigende skatter og afgifter og udvidet adgang til forbrugsgoder. Men dynamikken beroede på de store uligheder, som nødvendigvis måtte blive mindre som tiden

gik, og på et eller andet tidspunkt måtte udviklingen tabe moment, og det måtte give problemer.«

I slutningen af januar 1980 udarbejdede jeg en model, der er inspireret af Jørgen Koefoeds foran citerede artikel., se figur 2.

Centralt i figuren optræder en fabrik. Den opfattes som et dynamisk system i den betydning, Jørgen Koefoed har defineret. I kraft af »tilløb« af råvarer, arbejdskraft og kapitalgoder kan der iværksættes en produktion. »Afløbet« skal forstås som fordelingen af de producerede varer. Noget af »afløbet« går til individer i deres egen skab af købere eller forbrugere, noget går til »vækst«.

Individerne indgår i modellen både som producenter og konsumenter.

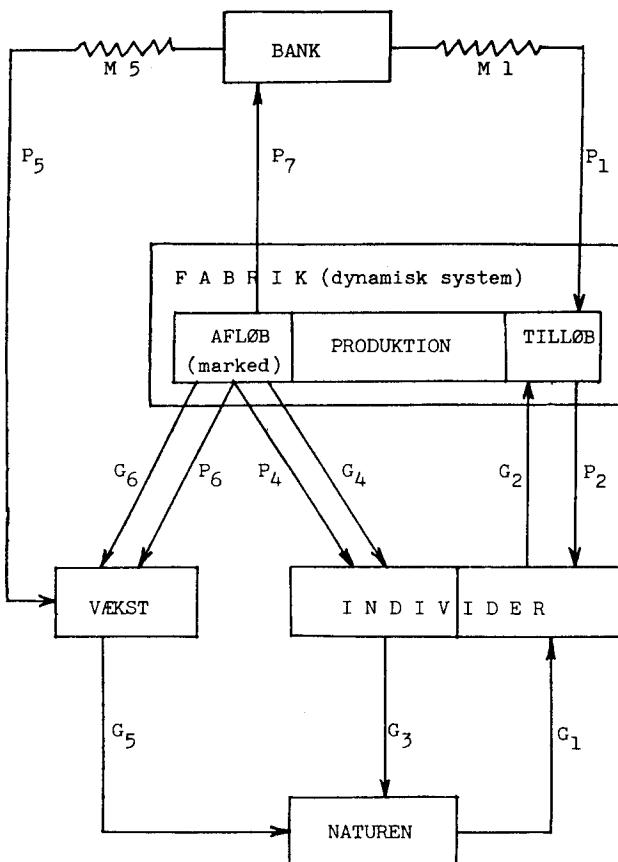
Det, der er betegnet som »vækst« kan være investering i nye produktionsanlæg, det kan også være investering i undervisning og uddannelse af børn og voksne.

Reguleringssystemet findes foroven i figuren. Man kan kalde det et servosystem. Pengesystemet bør indrettes, så det kan være et servosystem, der fremmer produktionen. Der må ikke blive inflation, varerne skal blive afsat, der skal sikres beskæftigelse til individerne, og gældsforsurenningen skal undgås.

Man kan anvende elektriske analogier på det viste system, og således anvende Kirchhoffs love.

Knudepunktsloven udsiger, at summen af de til et knudepunkt indgående strømme skal være lig med summen af de fra samme knudepunkt udgående elektriske strømme.

Fig. 2. Pengesystemet som reguleringsmekanisme



LITTERATURLISTE

Otto Byrge:

Snurrige Økonomiske Teorier, 1970 - 1975 (samlet i et værk juni 1975):

1. GÆLDSSTIGNINGENS BETYDNING. Ingeniørens Ugeblad 31. maj 1970. Ingeniør og Bygningsvæsens Minikronik 11. september 1970.
2. EN STUDIE I SAMFUNDSØKONOMI. Referat fra et middagsselskab den 6. april 1971. Ingeniørens Ugeblad 7. maj 1971.
3. TO ØKONOMISKE EKSPERIMENTER afholdt på Forsvarsakademiets stabskursus for Søvæsenet 3. juni 1971.
4. SNURRIGE TEORIER om hvornår det bliver gode henholdsvis dårlige tider. Foredrag holdt ved de værnepligtiges kontaktmøde i Forsvarets Forskningsstjeneste 7. september 1971.
5. ALTERNATIVET TIL KAPITALISME OG KOMMUNISME
 - a. indlæg til en studiegruppe på Danmarks tekniske Højskole august 1972.
 - b. FEJLEN I MARXISTISK TEORI, indlæg til en studiegruppe på Danmarks tekniske Højskole juni 1975. Rapport fra mindretallet i en studiekreds om marxistisk teori.
 - c. GÆLD OG INFLATION, indlæg til en studiegruppe på Danmarks tekniske Højskole forelagt ved Nationaløkonomisk Forenings seminar 22. november 1974.
6. GÆLDSUDVIKLINGEN I DANMARK 1818 - 1974. DANMARKS NETTOGÆLD TIL UDLANDET 1920 - 1977 og andre tabeller. 4. indlæg til en studiekreds på Danmarks tekniske Højskole. I kommission hos Teknisk Forlag, 1979.

Ole Immanuel Franksen:

Matematisk programmering i økonominen belyst ved fysiske analogier. Særtryk af Erhvervsøkonomisk Tidsskrift nr. 3, 1967.

Jørgen Koefoed:

1. ENERGI OG ETIK. Weekendavisen, Berlingske Aften, 16. juli 1976.
2. HVAD ER DEN RIGTIGE RENTEFOD FOR EN VÆRDIFAST OBLIGATION? Kronik i BØRSEN 11. januar 1978.
3. BRØD OG SKUESPIL? Anmeldelse af »lønmodtagernes medejendomsret«. Artikler om ØD af Hans Brems, Pär Carlsten, Hans Zeuthen, Arne Lund, Jørgen Freddy Hansen og Thorkil Kristensen. Udgivet af Sparekassen SDS, 1978. Orientering om Fremtidsforskning nr. 2, 1978.
3. KRISE OG DISHARMONIER. Kommentarer til Thorkil Kristensen's: Crisis and Disharmonies in the World Economy, fra Akademisk årsmøde den 20. januar 1979, Orientering om Fremtidsforskning nr. 1, 1979.
4. DYNAMIK OG LIGEVÆGT. På sporet af oliekrisens mekanik? Festskrift i anledning af Thorkil Kristensens 80 års dag. Teknisk Forlag a-s, Akademiet for Fremtidsforskning, 1980.

ENERGY, EXERGY, ENTROPY

Jørgen Koefoed

In the sweat of thy face shalt thou eat bread. (Gen. 3.19)

From Genesis, and perhaps even more distinctly from the Sumerian genesis, which is about a thousand years older, can we read that work and energy have played an important rôle in man's ideas about what is most fundamental in life.

It would be possible to write the history of mankind in a meaningful way, through the development of its energy turn-over and its energy sources.

In such a history the last decades would be the culmination of a climactic evolution in energy consumption, starting at the time of the industrial revolution. Kept at a reasonable rate of expansion as long as we were depending on coal, which we had to dig up in the sweat of our faces - or to be precise - in the sweat of the miners' faces.

But as oil drilling developed, and the oil came up more or less by itself, the consumption could accelerate without limits, as it seemed, and our annual consumption corresponds by now to what it has taken nature about a million years to deposit.

The attitude shifted also. Through the first periods of the industrial revolution, fuel economy was a major concern of engineers and managers, but as oil became abundant and cheap, it did not matter so much, and saving of manpower and expansion of the production came into focus of attention instead. The value of human work rose at the same time to fantastic heights, so that to day in this country the minimum wages in the negotiations just finished was settled at 35 liter of oil *per hour* at retail price incl. VAT.

So if Danish industry intend to survive, it will be mandatory to economise both in oil-power and in manpower.

To save energy it will be significant to understand its nature. I can refer on this point to a recent discussion in our local Engineering Weekly on the economy of district heating of houses by what is usually referred to as waste-heat from power plants. An author put forward the view that modern turbine technique is now so advanced, that the cooling water can be let out so few degrees above ambient temperature that it is useless for heating purpose. If it is to be let out at some higher temperature, less power is produced. Therefore, he maintained, there is no such thing as waste-heat.

I think he was right in this statement, but still I am

also convinced of the economical advantages in the combined generation of power and heat.

What is the solution to this paradox?

According to the principles we will be discussing in a few moments, it is quite clear, that the answer is in the analysis of the household heating process, which is so extremely wasteful. Heat is produced at a temperature in the flame above 1000°C and could in principle produce quite a lot of work before it was transferred to the circulating water at 70°C, but this work is wasted in the ordinary household oil burner.

So therefore the advantage of the combined power and heat plants is not that it utilizes waste-heat, but that it will produce electric power from waste work or waste exergy from the heating process.

It is of some importance for the analysis of the problems and the planning of a reasonable strategy that we have a clear concept of the nature of the problems. Although thermodynamics is a well established and very fundamental discipline, a remarkable amount of loose talk and ill-defined concepts are flowing around in the discussion.

Energy - Exergy

Energy, for one thing is a well defined concept, but the word is used abundantly to mean rather free energy, available energy, or latent work; recently the word exergy has been proposed for this interpretation.

Energy is always conserved according to the first law. Very fundamental for much useful physics and a tremendous step forward in the knowledge of mankind when it was formulated. From a social and economical point of view possibly rather overrated, however.

In a practical way it corresponds to that I say that money I have spent is also a kind of money, so if I add the amounts I have spent to the amount I still have in my pocket - well then my money is conserved.

In double entry book-keeping you actually do something of the sort, so that you can always balance debit and credit, regardless whether your business is flourishing or it is about to go bankrupt.

However useful the concept of energy may be for the keeping of the account books of the physicists, it should never be forgotten that what actually matters is to have power to do some useful work, so whenever we speak about energy problems or energy crisis what we really mean is exergy problems or exergy crisis.

Now unlike other thermodynamic functions, exergy is not defined for a given system in itself, but is characteristic of a system in relation to its surroundings. A large reservoir of water in equilibrium with the surroundings at summer temperature will have zero exergy, but if we can keep it at constant temperature till the surroundings are at winter temperature, it will represent an appreciable amount of exergy. Likewise in winter, in the old days, people sawed up the ice crust on lakes into neat ice blocks and stored them in ice-houses for use in summer, when they were a valued commodity and did represent some exergy.

But of course this was not free. It involved labor and investment and the industry died when refrigeration machinery took over with coal or oil as a cheaper source of the necessary work.

Entropy

Fundamental for the understanding of the difference between exergy and energy is the concept of *entropy*.

Entropy has always been a problem child, and since information theory and statistical ideas about probability, order and disorder have been widely introduced to explain it, matters have gone from bad to worse.

Much could be gained in clarity, I believe, if thermodynamics was taught more widely along the lines indicated by my long deceased teacher and professor, J. N. Brønsted(1). I think his work has gained new interest in connection with the growing interest in exergy questions and also through some new developments in our institute by T. S. Sørensen(2). I will try to give a short account of that part of his »energetics« which will be relevant to our problems.

A very wide range of the things which are going on around us in every day life and in industry can be looked upon as built up of one or more basic processes of a few categories and to each category corresponds a certain quantity and its conjugate potential, and entropy and temperature are exactly such a pair of conjugate entities.

Equal potential is a condition for equilibrium and any possibility for an energetic quantity to move from a higher potential to a lower, means lack of equilibrium, a tendency for something to happen, a source of work to be performed against frictional forces. To any such transport of a quantity, a loss of work is connected which in modern terminology we may call a loss of *exergy* in the basic, energetic process:

$$\delta A = (P_1 - P_2)\delta K$$

Any such isolated transport will be an irreversible process and will give rise to an equivalent production of heat, $\delta Q''$, or better of entropy, $T\delta S''$.

Basic processes are often coupled to each other in a more or less perfect way to that part of what is lost in

exergy by one down stream transport is gained in another up-stream transport, and when coupling is complete, we have a state of partial equilibrium, or in other words a reversible process, which means a process for which there is no net driving force and which will therefore proceed with zero velocity.

$$\sum_i \delta A_i = \sum_i (P_i^i - P_j^i) \delta K^i = \delta Q'' = T \delta S'' \geq 0$$

In reversible processes, entropy production is zero, and entropy enters just as the energetic quantity of thermal processes. It can – through what are usually called reversible Carnot engines – be transported from high to low temperature and provide work for us, or we can supply the work from outside sources and pump it up from a lower to a higher temperature in a »heat pump« as we usually call it, although preferably it should be referred to as an »entropy pump«.

As long as we consider reversible processes, the thermal process behaves exactly like the other energetic transport processes. The difficulties start with the irreversible processes, but if we for a moment forget about heat and just do our reasoning in entropy, there is hardly any difficulty.

Take a thermal conductor and put in an amount of entropy $\delta S'$ at the higher temperature T_1 and, at the other end, you can take out at the lower temperature, T_2 , the same entropy *plus* an extra amount $\delta S''$ which has been produced in the irreversible process. The temperature difference is the driving force and an exergy $\delta A = (T_1 - T_2)\delta S'$ has been spent to overcome the friction, accompanied by an entropy production. The quantitative relation is:

$$T_2 \delta S'' = \delta A = (T_1 - T_2)\delta S'$$

so the total entropy delivered at T_2 is

$$\delta S' + \delta S'' = \delta S'(1 + (T_1 - T_2)/T_2) = (T_1/T_2)\delta S'$$

The difficulty in describing the same process in terms of heat is that heat is not a conserved entity and while we would like to say that in the irreversible process heat is produced $(T_2\delta S'')$ we also find that the amount of heat delivered at T_2 : $T_2(\delta S' + \delta S'')$ is exactly the amount which was put in at T_1 , namely $T_1\delta S'$, and that's what makes it so confusing.

Now, in the household heating process, the walls of our houses are entropy conductors – poor entropy conductors, we hope, but conductors all the same – and most of the year, most of us are not content with living in rooms which are in thermal equilibrium with surrounding nature, so exergy must be supplied to maintain the desired temperature difference. We can use an entropy pump to pump back the entropy at the same rate as it leaks out, and at a much lower expenditure in exergy than that of an oil burner.

Entropy will be produced partly in the machinery, which will not function as an ideal Carnot-machine, and partly in the process of heat conduction through the walls of the house, and we will never be able to avoid some entropy production.

It is, altogether, worth remembering that we can never avoid entropy production, we can only attempt to minimize it by improving the coupling between the exergy source and the desired process. Zero entropy production means equilibrium, equilibrium means that nothing can happen – no life process – only death.

One of the well established principles to minimize entropy production is the counter current principle widely used in technology in heat exchanges, fractional distillation, extraction processes and so on. The exchange of heat and of chemical substance is arranged in such a way that the driving potential differences (temperature and chemical potential) are as small as possible and, hence, entropy production minimal.

Irreversible Thermodynamics – Coupling of Processes

The more general theories of processes close to equilibrium are usually discussed under the heading of irreversible thermodynamics. The same equations can be derived by Onsagers reciprocity relations and by Brønsted's transport complex principles, but while the former is a kind of »black box« theory, the latter has more heuristic value in pointing directly to a coupling mechanism which binds the various transport phenomena together.

Nature itself provides a multitude of examples of economic coupling mechanisms as the simple heat exchange between arterial and venous blood in »rete mirabile«, which protects ducks and other swimming fowls from loosing too much heat to the water they swim in, and which similarly protects the fertility of men by keeping their testes a few degrees below body temperature.

Much more defined are couplings of the chemical membrane transport processes in the cells, which brings about possibilities to synthesize the most wonderful and complicated chemical compounds at the cost of burning glucose and oxygen to carbon dioxide and water, and which makes it possible for some fishes to accumulate almost pure oxygen in their swim bladder, while swimming around in deep waters of very low oxygen content.

Please remember, all the fine enzyme catalyzed processes, which the biochemists have cleared up for us in recent years, if they took place, all of them at one location, they would just make us use our food reserves to burn like little candles. The coupling of the processes is only possible because the enzymes are on different locations and because the various products have to pass membranes to come from one step to the other.

However inspiring these complicated and highly exergy economical arrangements may be, they are very difficult to copy in macroscopic machinery because diffusion over cell size distances is a very quick process, cheap in exergy, but over macroscopic distances it is a slow and costly process.

This is the great obstacle to the utilization of the

exergy source represented by the rivers of sweet water diluting the ocean water. It is easy to calculate that the work of dilution is equivalent to a fall of the same amount of water in the gravitational field of the earth over 200 m.

The invention of much improved membrane materials with specific transport of ions and of water, is of little help. All the exergy will be spent on transport through film layers and for pumping and stirring as long as we cannot invent an apparatus where transport of cell size distances can be coupled to a power generating system. Brønsted, by the way, pointed to this potential power source as early as 1916.

Effects of Elasticity

The great power loss over the film layer in membrane diffusion is also responsible for the fact that membrane filtration processes in practice are not nearly so attractive as they »ought to be«. In the design of a membrane module the engineer has to choose between saving power and get a very small output and an altogether poor economy because of a well developed film layer resistance, or to use an enormous amount of pumping power to create turbidity in order to increase output. In a recent account of the work at »De Danske Sukkerfabriker« with their membrane modules, R. Frik Madsen has described how they have succeeded in finding a set of »in between« working conditions at which the exergy economy is very much better than could be expected from simple theories. Several explanations are proposed, and most likely, one of the more important contributions will turn out to come from a stirring effect of some standing waves or similar kinds of elastic vibrations. It is important to remember that standing waves if they take place between elastic walls will store energy from phase to phase with a dissipation – and hence an entropy production – which is very small compared to that of turbulent whirls.

Analogous effects are probably involved in the so-called »drag reduction«, caused by small additions of polymers to the water in a fire-hose and in the power economy of the swimming motion of sharks and whales.

It is at least by now a well-established fact that many insects obtain an enormous saving in exergy by the insertion of elastic bands together with muscles in the operation of their wing motion.

Related problems are dealt with on an advanced level in the thermodynamic studies of the so-called »dissipative structures«, which deal with a group of non-linear phenomena in systems far or at least rather far from equilibrium. Connection to technological problems in e.g. the extraction process is well established but most likely, we will see many more practical applications in the not too far future.

Electrochemical Coupling

Returning to the problem of an efficient energetic coupling between processes, electrochemistry should be mentioned as providing particularly good examples. Since most electrolytes are impermeable for electrons and conduct through ion migration and since metals are in exactly the opposite situation, there is in most cases a perfect coupling of the passage of electric current to the chemical electrode reactions.

The power economy of electrochemical processes is among electrochemists considered as being very far from good, and there is an active search for better catalysts for the electrode processes and for better solutions of the ion transport problems near the electrode interfaces. Compared to other energy transformations, the economy is not bad, however.

In the hydrogen research programmes, the various proposals for direct thermal production of hydrogen are usually judged in comparison to the practical alternative: conventional generation of electricity by steam turbine plus electrolytic production of hydrogen and oxygen, and the economy of all thermal projects has come out very badly.

An analysis of the situation in terms of the present viewpoints would indicate that the impracticability of the thermal processes is due mainly to the poor coupling of the thermal process to the chemical processes. As long as one thinks only in terms of a number of manufacturing plants between which ton loads of heavy chemicals are transported in order to turn out a relatively small amount of gaseous hydrogen, all projects are deemed to be much too expensive both in investment costs and in running expense.

To arrive at something with just some possibility of a practical value, one has to attempt an imitation of the kind of tight energetic coupling, which we have in the electrochemical cells, and to try to think in terms of thermochemical cells. An idealized example is shown in fig. 2. The water dissociation takes place at high temperature and the entropy rich products pass through specific membranes and are conducted through a counter current heat exchange in which the water vapour is heated. H_2 and O_2 thus arrives at ambient temperature and the system $H_2O/O_2/H_2$ has gained an increase in chemical potential equal to the free energy of formation of water at the expense of the thermal exergy gained by the net transport of the entropy difference between products and reactants. It is of course not a mere coincidence that $\Delta^{\circ}G(T_2) \sim (T_1 - T_2) \Delta^{\circ}S$ since, ne-

glecting such details that ΔC_p may be different from zero, it means that $\Delta^{\circ}G(T_1) \sim O$.

We can in fact make specific membranes both for H_2 and for O_2 with palladium foil and doped zirconium oxide ceramics, respectively. The hindrance for the realization of the thermochemical production of hydrogen is therefore »only« that the required temperature difference is much too large to match practical heat sources and available materials.

Since $\Delta^{\circ}S$ is about $44 \text{ J/K} \cdot \text{mol } H_2$ and $\Delta^{\circ}G = -230 \text{ kJ/mol } H_2$, $(T_1 - T_2)$ should be well over 5000 K so obviously we have to rely on some available processes with higher entropies of reaction and couple them to the hydrogen production.

The inverse of the sulfuric acid synthesis and the inverse Deacon process are among the favorite candidates for thermal hydrogen production, and they have also much larger entropies of reaction (238 J/K and 68 J/K) and in fig. 5 we have sketched a possible – or to put it more correctly – a not altogether impossible way of coupling the transport of double the equivalent amount of H_2SO_4/SO_2 reaction complex over a temperature difference of about 800 K .

It is obvious that we should look for dissociation processes, since number of gaseous particles is the most important contribution to entropy, and since hydrogen has a very low entropy, there is no advantage in producing it at a high temperature.

Conclusion

My aim with this paper has been to give you an impression that fundamental thermodynamics has not yet been exhausted for possibilities of creative thinking and that the way J. N. Brønsted chose to present it, may offer some advantages particularly in respect of heuristic force.

In the public debate of today the tendency is to put all the blame for fuel waste, for pollution, for unemployment and for everything on the engineers. I think this is a gross injustice, since many members of the engineering professions have for generations tried in vain to be allowed to design plants, which saved energy, were protected against pollution, were good places to work in, and so on, but they were not allowed to work along such lines, since the important thing was production fast and cheap and economy in investment.

When the claims of society takes a different turn, good engineers will be ready to live up to the new kind of conditions and they will need good theoretical tools.

THERMAL EXERGY AND ITS STORAGE*

Jørgen Koefoed

It is a great privilege and quite a responsibility to have been given the task of opening the series of talks at this meeting.

We are going to discuss TES - thermal energy storage - under the sponsorship of NATO as part of its scientific programme, and our main object is to participate in outlining the strategy in a war against waste of natural resources, a kind of warfare which hopefully in the years to come will be a major concern of the industrialized part of the world.

For the last generation or two, we have lived in a period of a production boom, which has greatly influenced our way of life and our way of thought. We have grown self-confident and have become accustomed to look upon our own generation as cleverer than any other, when in fact we were standing on the shoulders of previous generations and just happened to live in that historical period when most of the easy oil deposits were depleted under colonial or quasi-colonial political conditions.

In many ways we have been living in a collective petroleomania from which we will have to recover mentally, technically, politically, economically, socially - if we can.

Much will have to be turned upside down in that process, as much has been turned upside down in the oil-rich years. The man who kept the habits of using his bicycle and firing his stove twice or thrice a day with coke or logs was considered mildly insane by his neighbour who drove a car and had an oil-burner, plus of course a rowing machine or a stationary bicycle for physical exercise.

The engineer who pointed out that with some extra investment a considerable amount of oil could be saved, was looked upon with suspicion and was allowed to go on with his project only if he could prove a very definite profit even with a high interest on the investment, which he rarely could, since oil was so terribly cheap.

In one of our conference papers it is stated that only for the last two or three years has there been an awareness of the limitations of all resources, and politically this is true. Scientifically it is not. Certainly in my own country, and I guess it is true of most countries, some people have been worried all the time, but

until recently they have been speaking as crazy prophets, recognized neither at home nor abroad.

Thus, much which was considered as nonsense has now become sense, but it may be appropriate to put in a word of caution: this does not mean that any crazy project now deserves to be taken seriously. Economic considerations will be no less important in the future, if we are to utilize the next twenty to forty years of comparative richness in energy to prepare society for the time when oil and gas get *really* short.

It is of some importance for the analysis of the problems and the planning of a reasonable strategy that we have a clear concept of the nature of the problems. Although thermodynamics is a well established and very fundamental discipline, a remarkable amount of loose talk and ill-defined concepts are flowing around in discussion.

Energy, for one thing is a well defined concept, but the word is used abundantly to mean rather free energy, available energy, or latent work; recently the word *exergy* has been proposed for this interpretation.

Since energy is always conserved, we need not bother much about it here; the energy crisis is actually an exergy crisis and Thermal Energy Storage is actually Thermal Exergy Storage. I am glad to see that our Dutch colleagues⁽¹⁾ agree with me on this point.

Two other fundamental concepts are temperature and entropy.

Entropy has always been a problem child, and since information theory and statistical ideas about probability, order and disorder have been widely introduced to explain it, matters have gone from bad to worse.

Much could be gained in clarity, I believe, if thermodynamics was taught more widely along the lines indicated by my long deceased teacher and predecessor, J. N. Brønsted⁽²⁾. I think his work has gained new interest in connection with the growing interest in exergy questions and also through some new developments in our institute by T. S. Sørensen⁽³⁾. I will try to give a short account of that part of his »energetics« which will be relevant to our problems.

- (1) Fischer, L. S., van Koppen, C. W. J. and Mennik, B. D., The Thermodynamics and Some Practical Aspects of Thermally Layered Heat Storage in Water, Eindhoven Univ. of Technology, WPS375.11.R247 (Nov. 1975).
- (2) Brønsted, J. N., Principles and problems in Energetics, Danish Original 1946, English Ed., Interscience 1955.
- (3) Sørensen, T. S., Brønstedian Energetics, Acta Chem. Scand. (in press).

* Thermal Energy Storage. The report of a NATO Science Committee Conference held at Turnberry, Scotland, 1st - 5th March, 1976. Editor: Eugene G. Kovach. Scientific Affairs Division, North Atlantic Treaty Organization, Brussels, Belgium.

A very wide range of the things which are going on around us in every day life and in industry can be looked upon as built up of one or more basic processes of a few categories and to each category corresponds a certain quantity and its conjugate potential:

Category of basic process	quantity	potential
spatial	V	-p
gravitational	m	Φ
thermal	S	T
electric	q	ψ
chemical	n_1	μ_1
	n_2	μ_2
	:	:

Equal potential is a condition for equilibrium and any possibility for an energetic quantity to move from a higher potential to a lower means lack of equilibrium, a tendency for something to happen, a source of work to be performed against frictional forces. To any such transport of a quantity, a loss of work is connected which in modern terminology we may call a loss of *exergy* in the basic, energetic process:

$$\delta A = (P_1 - P_2)\delta K$$

Any such isolated transport will be an irreversible process and will give rise to an equivalent production of heat, $\delta Q''$, or better of entropy, $T\delta S''$.

Basic processes are often coupled to each other in a more or less perfect way so that part of what is lost in exergy by one down stream transport is gained in another up-stream transport, and when coupling is complete, we have a state of partial equilibrium, or in other words a reversible process, which means a process for which there is no net driving force and which will therefore proceed with zero velocity.

$$\sum_i \delta A_i = \sum_i (P_i^i - P_2^i) \delta K^i = \delta Q'' = T\delta S'' \geq 0$$

In reversible processes, entropy production is zero, and entropy enters just as the energetic quantity of thermal processes. It can – through what are usually called reversible Carnot engines – be transported from high to low temperature and provide work for us, or we can supply the work from outside sources and pump it up from a lower to a higher temperature in a »heat pump« as we usually call it, although preferably it should be referred to as an »entropy pump«.

As long as we consider reversible processes, the thermal process behaves exactly like all the other energetic transport processes. The difficulties start with the irreversible processes, but if we for a moment forget about heat and just do our reasoning in entropy, there is hardly any difficulty.

Take a thermal conductor and put in an amount of entropy $\delta S'$ at the higher temperature T_1 and, at the other end, you can take out at the lower temperature, T_2 , the same entropy *plus* an extra amount $\delta S''$ which has been produced in the irreversible process. The

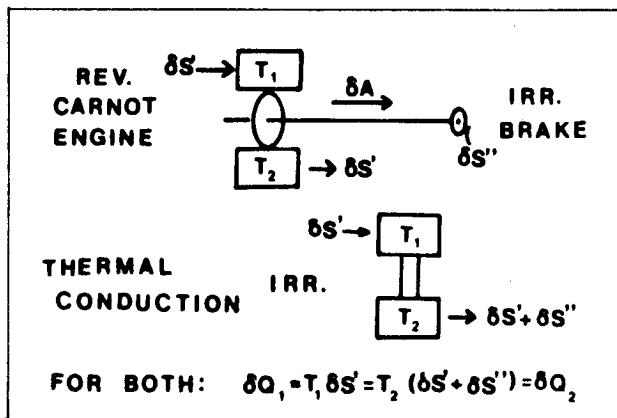


Fig. 1. When thermal exergy is utilized in a Carnot engine which drives a brake, entropy is produced in the brake and we have no difficulty in seeing that heat is produced. When thermal energy is used for driving an entropy current through a heat conductor, entropy is likewise produced, but we hesitate to say that heat is produced, although the total processes are closely analogous.

temperature difference is the driving force and an exergy $\delta A = (T_1 - T_2)\delta S'$ has been spent to overcome the frictional resistance accompanied by an entropy production. The quantitative relation is:

$$T_2 \delta S'' = \delta A = (T_1 - T_2)\delta S'$$

so the total entropy delivered at T_2 is

$$\delta S' + \delta S'' = \delta S'(1 + (T_1 - T_2)/T_2) = (T_1/T_2)\delta S'$$

The difficulty in describing the same process in terms of heat is that heat is not a conserved entity and while we would like to say that in the irreversible process heat is produced ($T_2 \delta S''$) we also find that the amount of heat delivered at T_2 : $T_2(\delta S' + \delta S'')$ is exactly the amount which was put in at T_1 , namely $T_1 \delta S'$, and that's what makes it so confusing.

Now, the walls of our houses are entropy conductors – poor entropy conductors, we hope, but conductors all the same – and most of the year, most of us are not content with living in rooms which are in thermal equilibrium with surrounding nature, so exergy must be supplied to maintain the desired temperature difference. We can use an entropy pump to pump back the entropy at the same rate as it leaks out (or in).

Entropy will be produced partly in the machinery, which will not function as an ideal Carnot-machine, and partly in the process of heat conduction through the walls of the house.

Now unlike other thermodynamic functions, exergy is not defined for a given system in itself, but is a characteristic of a system in relation to its surroundings. A large reservoir of water in equilibrium with the surroundings at summer temperature will have zero exergy, but if we can keep it at constant temperature till the surroundings are at winter temperature, it will represent an appreciable amount of exergy. Likewise in winter, in the old days, people sawed up the ice

crust on lakes into neat ice blocks and stored them in ice-houses for use in summer, when they were a valued commodity and did represent some exergy.

But of course this was not free. It involved labor and investment and the industry died when refrigeration machinery took over with coal or oil as a cheaper supply of the necessary work.

So with TES in general: it requires investments and the processes do not take place without losses of exergy.

First the transport of heat in and out of the accumulating body. Without a temperature difference we get no flow of entropy and as we have just seen, any flow is accompanied by a loss of exergy and a production of entropy. In an interval around the equilibrium temperature the rate at which a phase transformation will take place will be roughly proportional to the temperature differential, being zero at the equilibrium temperature itself and going in one direction above and in the opposite direction below.

Taking as an example the transformation of Glauber salt, we see the problem much more clearly if we look at it as a problem of exergy than if we concentrate only on heat or energy. The equilibrium temperature of 31°C is just 8-10 degrees higher than the room temperature at which the heat is needed. That means that to express it in terms of exergy you should multiply by the Carnot fraction $(T_1 - T_2)/T_1$, which in this case comes out at 1/30 or 1/40, so when transport losses in taking the entropy in and out, in making the chemical processes run in avoiding the troubles of seeding and segregation, are covered, there is hardly anything left for useful purposes.

By going to a system with an equilibrium temperature around 50°C, as with sodium thiosulfate, the situation is much improved since we now have a temperature span of about 30°, making the Carnot fraction 1/11 instead of 1/30. The price of the material is against us in this case, but prices on chemicals are not simple; when we are dealing with quantities which may eventually change market conditions completely, and with chemicals in which no scarce elements are used, we may very well get much lower prices than those quoted today, if we create a market for large quantities.

Expressed in other words, the question we are discussing in whether TES for room heating purposes should be evaluated through comparison with the work needed in an entropy pump to bring the entropy back from the surroundings to which it has leaked out, or with the wasteful, but by now far more common, way of substituting for it by burning oil in an oil stove. Since the former method is an idealised process and actual entropy pumps perform at a factor 3 or 4 short of the ideal, the answer is not quite simple, and must, I believe, come in as a kind of compromise.

For applications other than room heating, the problems are somewhat different, and the competing

processes are different since we will be dealing with exergies, which can drive a generator of some kind and lead to storage, for instance in batteries as hydrogen or as $\text{CO} + \text{H}_2$, as in the »Eva-Adam« project; I would classify this as chemical exergy storage rather than TES.

The viability of TES projects will probably be highly dependent on their combination with other functions. Let us think for instance of the possibility of using an underground store of liquid nitrogen as an implementation of TES, though with a sign opposite to most others. First we would probably have to improve the liquification process and the utilization of liquid nitrogen as a source of mechanical work. Even if this could be done efficiently, we would probably find that the viability of such a scheme would depend entirely on the possibility of utilizing the liquified air for some other purpose at the same time, as for instance for a supply of pure oxygen to some burners, where one could diminish the chimney losses incurred by the unnecessary heating of vast amounts of nitrogen.

An integral view of complete systems in which TES enters will therefore be necessary in many cases, and most certainly transport losses in exergy for all kinds of transport must be taken into account.

Optimal size and location of the stores will be important and most probably we will have to look with some suspicion on our philosophy that large and centralized installations are always more economic than smaller and more widely distributed ones.

In many cases the relevant question may be how to avoid or how to minimize the need for TES. I have been wondering why for peak shaving it has not been more widely discussed that a negative sink may be just as useful as a positive source. In other words, if the power stations by tariff concessions could persuade some of their customers to diminish their consumption at times of peak load, they could save the investment in peak load generators.

TES like all the other technological problems involving exergy saving and development of alternative exergy sources – provides a tremendous challenge to engineers and scientists.

In concluding this talk I would like to end on an historical note and give a thought to the men on whose shoulders we are standing.

Not a few of them have had their activities on this island and to give just a sketchy account of the history would require at least one whole lecture. I wish to mention just three names, because they had an important part of their activity in the nearby University of Glasgow: Dr. Joseph Black, Lord Kelvin, born William Thomson, and Rankine.

To Joseph Black (1728-99) we owe the concepts of latent heat and specific heat, which we know he lectured upon around 1758.

Two other names could be mentioned: Benjamin

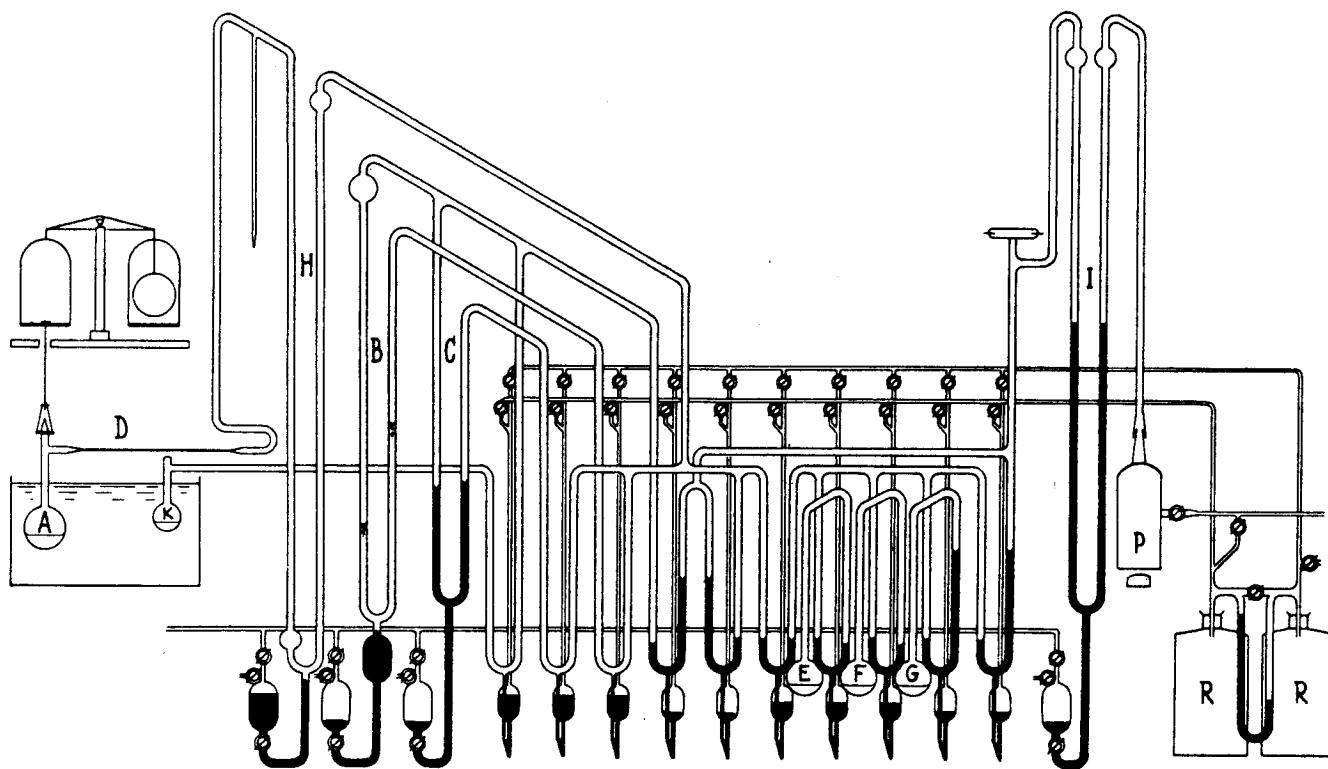
Thomson, known as Count Rumford of the Holy Roman Empire, and Sir Francis Simon. They were not born in Britain and my reason for recalling them is their commitment to making use of their scientific minds in the service of society, particularly in connection with fuel economy.

Count Rumford had also a keen sense for psycho-

logy. He is quoted as saying that we wished to *render it fashionable* to care for the plight of the poor people. He obviously did not think it would help to appeal to common sense or to morality – the folly of fashion would be a much more powerful ally.

Maybe we have something to learn from him also on this point.

The apparatus used for vapor pressure measurements of paraffin mixtures.



CALORIES, JOULES AND DOLLARS

Jørgen Koefoed*

A balanced judgement on the feasibility of an energy project should be based on a complicated cooperation of physical, technical, economic and sociologic viewpoints. A clarification of concepts should be the first step towards creating an understanding between the experts from the various fields considered.

A physicist may state the so-called equivalence between heat and work and he will be ready at any time to convert calories into joules by multiplication with 4.2, but if an engineer or an economist neglects the difference, it is equally fatal as if a general states that a soldier is a soldier and neglects the difference between the live and active soldiers, and the wounded and the dead soldiers.

Speaking always about energy, and neglecting that the problems are always about free energy – exergy, if you like – we can make serious mistakes.

Acting in the belief that exergy is scarce and must be provided at any price, we may add to the deterioration of our economy, when actually exergy is abundant and the problems are created »only« by the fact that it is not available exactly where and when we need it.

Transport and storage of exergy, therefore, come into the focus of attention. Many complications in the evaluation come from the fact that oil is so easy to store and to transport, that it is superior for practically all applications and tend to monopolize the whole field, when it is available. A much greater diversity is to be expected when we have to go to other exergy sources and other exergy vectors.

An attempt to evaluate systems like the »Tepidus«-system will today involve many questions that are asked and only a few answered, but you have to start the discussion, nevertheless.

Calories, Joules and Dollars

The energy-crisis has inspired a lot of very interesting work, and if we wish for a future of reasonable wealth and welfare, we certainly have to rely upon that quite a lot of technological innovation will result from this work.

From past experience we can learn, however, that very few of the projects will be dominating and the vast majority will turn out to be of academic interest, only. It will not be the ingenuity invested, which will

decide the fate of a project, but rather trivial and mostly economic circumstances.

It is an important task, therefore, to allocate funds for research and development in the energy sector, and technologists and economists meet the challenge equally unprepared. Scientists must learn to think in economic terms and economists must learn some science, so that the two parts can speak to one another in a meaningful way.

Physicists, however, have done their best to blur the issue by woolly expressions as high-grade and low-grade thermal energy and by confusing statements about equivalence of heat and work and about the conservation of something called energy.

Whenever we speak about energy in economic, technical or social context, we *always* mean free energy, – or exergy as it is often called by now. It means »latent work«, something which under some circumstances can cause something to happen – good or evil. And when this something has happened the exergy is gone and something we can often call heat appears in a proportional amount.

Heat was originally measured in calories and it is considered a great step forward that it is by now internationally agreed to transform the calories into joules by multiplication with an appropriate factor (4.2) so that you can directly add the heat evolved to the exergy remaining, and see, that you get the same figure as you had for exergy before the experiment. Just as, after the battle, a general may add the numbers of dead, wounded and captured soldiers to the remaining live and active soldiers and get the same number as he had of live and active soldiers before battle.

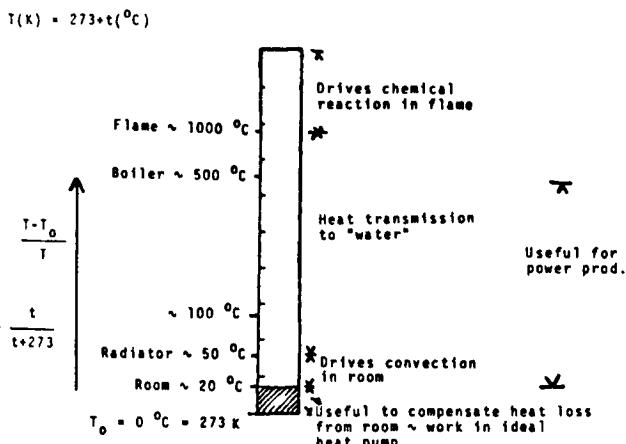
This, most obviously, does not make the dead soldiers any more useful for the next days battle, and it is only in the book-keepers sense that a dead soldier is an equivalent of a live soldier.

Now one of the difficulties with the exergy is that it does not always die all at once. As long as there is a place at a lower temperature, T_0 , ready to receive the heat it still has some power to perform work, so that an amount of heat, Q , at usefull temperature T_1 , will represent a remaining exergy of $Q(T-T_0)/T$. The fraction $(T-T_0)/T$ we can refer to as Carnot's fraction.

To explain this in an exact way, it would be necessary to introduce the entropy. $S = Q/T$, but let us here only refer to other sources³, and sketch the results in a

* Thermochemical Energy Storage, Stockholm, January 7-9, 1980

diagramme and a table, demonstrating the difference between an analysis in terms of »heat« and in terms of »exergy«.



% Utilization	Heat-wise	Exergy-wise
El. radiator	100	7
Oil-burner	85	6
Power/district heat	(40)/50	(40)/4
Ideal heat pump	1500	100
Real heat pump	450	30
Real heat pump/ power/distr. h.	180 + 50 = 230	12 + 4 = 16

The result of the analysis is, that whether I heat my house with an oil-burner or an electric resistance-heater, the utilized exergy is only a small part of the energy drawn from the burner or the resistance wire, namely $(T_{room} - T_{outdoor})/T_{room}$, which with a room temperature of 20°C and with 0°C outside gives a factor of about 1/15, corresponding to a utilization of about 4-5% if you allow for transmission losses for the electricity, and chimney losses for the oil-burner.

According to Marchetti¹ 5% is about the average efficiency of exergy utilization in the western world. It is impossible to obtain 100% since that is the ideal value, obtainable at infinitely low rates of the various transport processes or infinite areas of heat transmission and so on, but a change to 50% efficiency should not be altogether impossible and could cut our consumption to one tenth! – and where would the oil crisis then be?

It is therefore for good reasons that we take interest in such inventions and devices which can improve our efficiency in exergy utilization, as for instance those which are the subject of this seminar. Heavy investments and many good inventions are needed.

A system like the Tepidus-system is characterised by the amount of heat which it is able to store and to deliver in a room or to some cold water, *and* by the temperature at which it is able to deliver it. The advantage of it over simple thermal storage devices like a tank of water, is that the thermal exergy is transfor-

med into chemical exergy and stored as such. It is an advantage because you can stop the loss process completely and for any length of time by closing a tap, whereas it is impossible to construct a perfect thermal insulator, and very costly to construct just moderately good thermal insulation.

To judge its performance in comparison with electrical devices, we can either compare with the consumption in an electric radiator or with the consumption of a heat pump. Heat-wise or exergy-wise, in other words. The difference is a factor of about *seven*.

Now, which is the more fair way to compare the capacity, depends in the first line on investment costs.

The great advantage of the electric radiator is its low cost, and the reason for the restricted use of electric heat pumps is the high investment needed, so if a chemical heat pump can be established at a much lower cost than the electrical, then it is fair to use the heat-comparison, but if the costs are comparable, the exergy figures are the more reasonable to use.

The fact, that calories can easily be converted to joules does not make heat or work all that equivalent.

In actual fact, unfortunately, the situation is much more complicated.

We can make up a price to day for the cost of the investment and a price for the return we get from the benefits. But relevant to a research development project is the price ten to twenty years ahead when production and implementation will be in full bloom – if lucky – and the prices of the benefits twenty to fifty years ahead, when amortization will be running.

The merits of an exergy device, furthermore, should be judged in connection with a *total analysis* of the exergy losses from the *primary source to the end-purpose* utilization. Much superficial talk condemns electricity for heating, because of the losses in the generation process, but possibilities in the end application to use just the necessary amount of exergy, and no more, may easily make up for the generation losses.

Prices are only scalar entities for the superficial mind, and an overall price index gives a very insufficient means of including the evolution with time in the calculations.

A price, actually, is rather a scalar product of a basic requirement matrix containing: necessary materials, man hours, exergy, investment capital etc. and a basic price matrix containing: materials prices, wages, oil prices and electricity tariffs, etc.;(ingredient matrix) \times (price matrix) = total price.

This applies both to cost price and to benefit prices, and in both cases actual prices are of little interest. The relevant figures are cost prices some 5–10 years ahead when projects will be carried out in actual hardware and benefit prices some 10–30 years ahead when they are producing.

In several ways political decisions interfere through taxation, duties, V.A.T., subsidies and price control. Price control means that some increase in market

value of a commodity is confiscated from the supplier and given as a subsidy to the consumer.

Prices can be expressed in any currency, in joules or in tons of oil, and currencies can be corrected for inflation in several ways, for some certain purpose, one or another of the different procedures may be the more convenient, but no known solution gives the universal tool to cope with all inherent difficulties.

One further complication lies in the choice of what annual interest to count with. It could be discussed at considerable length, but my proposal is to count at 0% p.a. I think that good physical arguments can be given for that choice and I am sorry that time does not permit to discuss it.

The requirement matrix elements are changed by changes in technology, and these changes depend both on developments in intelligence and on the developments in the elements of the price matrix.

If wages for instance in 1973 was in the range of 100–400 liters of oil per hour and to-day is rather in the range of 15–50 l, this represents a trend which will be going on for the years to come, but not necessarily for very many, and not necessarily to any very extreme figure. The figure for year 2000 is anybodys guess.

One of the decisive elements is the economic structure of the *natural resources*. I know of no better analysis than that of the Norwegian Committee on this matter², and it is impossible to give more than a summary of my own conclusions from it:

- 1) A resource has no money-value before an infrastructure has been established to utilize it.
- 2) Such infrastructure will not be established before the more easily available deposits are about to be exhausted.
- 3) Since primary cost of one' production is only a minor part of the total cost, it does not normally give use to drastic rises in product price when a new generation of deposits take over.
- 4) Special conditions apply to energy sources, but the particular features will not be really significant for a very long time.

The present state of affairs on the exergy market is therefore very atypical and depends on the very special political development. It is important not to over-react to the present troubles.

Another very important factor is the *coupling* to other technological developments.

For the »thermochemical« storage projects, this means, particularly their usefulness in connection with peak shaving on the electrical network, their possible combination with heat exchange from the waste water from the house or from the community and many other possibilities.

To emphasize the importance of *coupling*, I would like to point out the probable role of the automobile for the structure of the present energy situation. From the view-point of traditional economics it is not easy to understand why the substitution of coal with oil in the fifties went on so fast and why it went so far as it actually did. The oil companies, one would think, could have got a much better return for lower investment by keeping higher prices for fuel oil and by a much slower rate of substitution.

My guess is, that the driving force was the demand for gasoline for the autocars and the choice of the investors was to invest in large cracking plants or to invest in drilling new oil fields and dispose of the less useful fractions of the oil by dumping them on the fuel market.

I think that a detailed study of the development of prices and markets for the different petroleum fractions would be very interesting and throw som badly needed light on the important coupling between developments in different fields.

In any case we are by now in a situation where the cry out for exergy sources and exergy saving devices sometimes rise to such heights that no price seems too high for any amount of exergy, however small. This, of course, is highly unrealistic. *Exergy is abundant*, but it is not always in the place or at the time, where we need it.

Our society has come into an addict-pusher relationship to the OPEC oil dealers and the lead time for developing the relief sources is uncomfortably long.

In ten years time utilization of tar sands and bituminous deposits may be in full bloom and stabilize the exergy prices and it is the situation at that time which will be of interest for the implementation of Thermochemical Storage.

The situation at that time depends primarily on the sense of our decision-makers.

Will they get sound advice? Will they draw the sensible conclusions? Will they be able to enforce them?

Discussions in »Akademiet for Fremtidsforskning« have been vital for the development of the ideas of this paper and I am particularly grateful to E. Høgh and T. B. Jansen for their kind permission to draw on unpublished material.

1. C. Marchetti: Energy Systems – The Broader Context.
Technological Forecasting and Social Change 14, 191-203 (1979)
2. Norges ressursituasjon i global sammenheng.
Norges offentlige utredninger 1974:55
3. J. Koefoed: Thermal Exergy and its Storage. NATO Conference on Thermal Energy Storage, Turnberry, Scotland, March 1976

EN DANSK FREMTID 1975*

Erik Høgh

Skal man på et givet tidspunkt udvikle for fremtiden i Danmark, spiller mange forhold ind. De aktuelle hovedproblemer farver retningen. Det mulige eller den mulige udvikling farver også retningen. Den mulige udvikling er med de kendte tekniker desværre det vanskeligste at bestemme, selv om fremtidsforskningen i de senere år særlig med substitutionstekniken¹⁾, envelope²⁾ og den morfologiske³⁾ teknik har hjulpet lidt på mulighederne for at fastlægge udviklingen i fremtiden.

Man har den mulighed selv at bestemme et samfunds fremtid, medens man holder øje med de aktuelle hovedproblemer og den mulige udvikling, så godt man nu bestemmer denne.

Det danske samfunds aktuelle (på skrivetidspunktet) hovedproblemer, hvilke det har fælles med den øvrige industrielle verden, er (1) usikkerheden i energiforsyningen, både om den er der og prisen, (2) styringen af samfundet, d.v.s. ønsket om at gøre samfundet såvel som institutioner og virksomheder mere ultrastabile⁴⁾, samt (3) hvad Danmark i vid forstand skal leve af ud over at producere mad og drikke, uddannelse, velfærd, retssikkerhed, demokrati, samarbejdstekniker og boliger. Hertil kommer problemet, hvorledes man vil klare, hvad folk skal udvirke og foretage sig, når få skal producere, hvilket vil være en sandsynlig følge, hvis vort samfund løser problemerne (1), (2) og (3).

Den mest afgørende udvikling inden for teknologien ser ud til at ligge i områderne, automation, datateknik, kraft og energiudvikling på anden måde end gennem olie og kulfyrede dampkraftværker. På lidt længere sigt kommer laserstråler formodentlig ind i billedet.

Da vor kulturkreds i de sidste 20 år har været meget olieafhængig, og da olien som energikilde nu er blevet et problem, har dette også indflydelse på gødningssituationen (Ammoniak) og dermed på fødevaresituationen. En problemløsning af energisituationen må derfor også indeholde en løsning på gødningssituacionen.

I det omfang man tager ny teknologi i anvendelse, bør man lære af fejtagelserne fra vore samfunds overgang fra kul til damp⁵⁾, hvoraf man skulle forstå, at enhver ny teknologi har gennemgribende kon-

sekvenser for enhver uddannelse og eksisterende teknologi. Man må omhyggeligt begynde forfra med enhver uddannelse og arbejdsproces, når ny teknologi indføres, hvis man vil vinde tid og undgå fejtagelser, ulykker og økonomiske tab.

Vil man ud fra de skitserede aktuelle hovedproblemer (1) til (3) og en fornemmelse af den teknologiske udvikling inden for energiområder opstille et billede af de teknologiske muligheder kan man gå flere veje. I sammenhængspildiagrammet 1 kan man se de sandsynlige teknologiske udviklingsmuligheder.

Hvis man skal kendtegnne vor samfundstype med få ord er det, elektricitet og brugen af elektricitet. N. Wiener⁶⁾ har for mange år siden gjort opmærksom på dette forhold, samtidigt med at han påviste vore vanskeligheder ved at drage konsekvenserne af denne situation ved udbygningen af vor struktur i ledelse, industriudbygning og bybygning. N. Wiener sagde, hvad skal man f. eks. med fabrikshaller, når elektromotoren er opfundet.

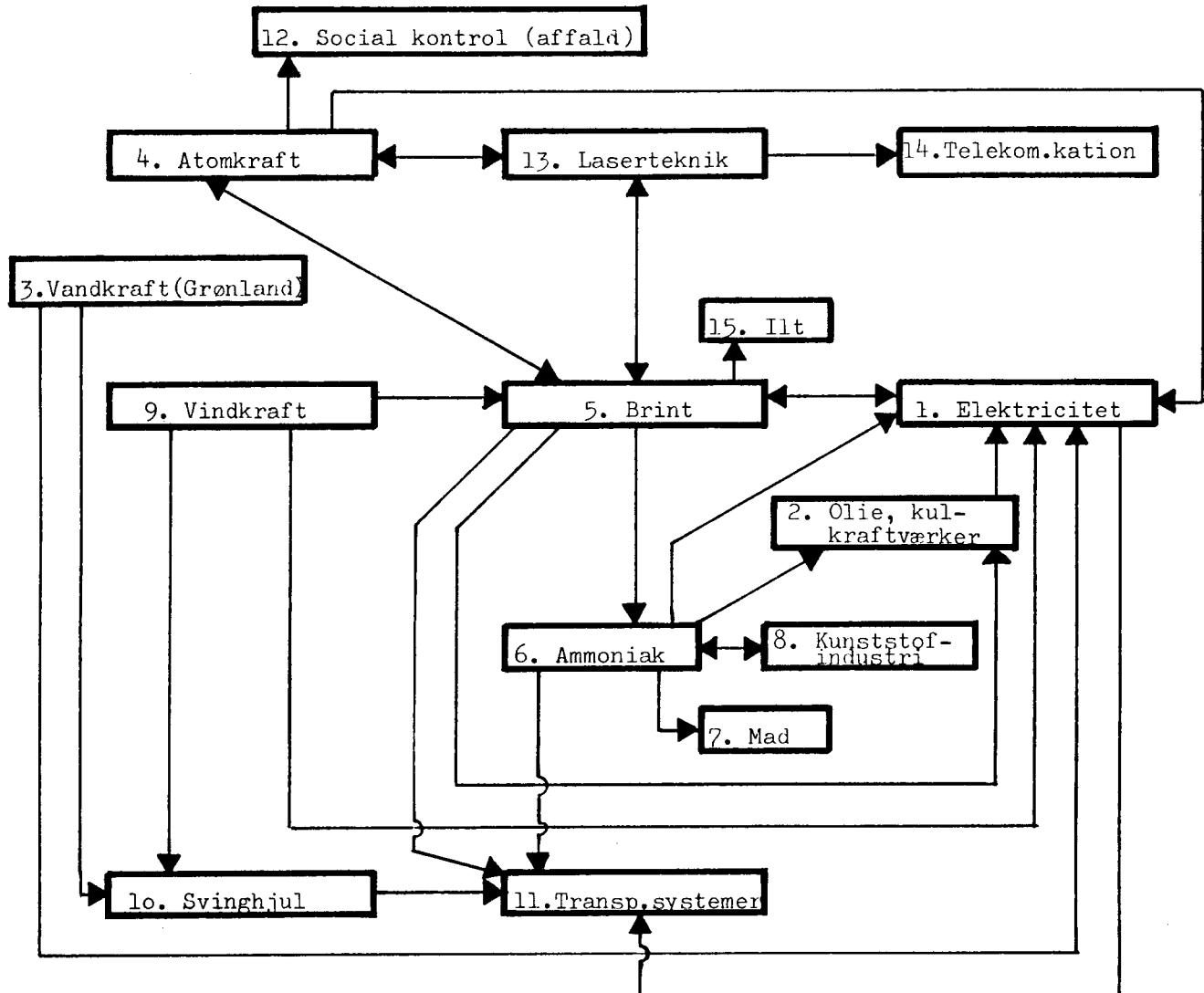
Sammenhængspildiagrammet 1 kredser da også om 1, elektricitet med 5, brint som et centrale punkt.

Hovedmåden i dagens Danmark at producere elektricitet på er gennem 2, olie og kuldampkraftværker. Man diskuterer som alternativ 4, atomkraftværker⁷⁾. Spøge røster har ønsket videreudvikling af 9, vindkraft⁸⁾ og udnyttelse af 3, vandkraften på Grønland⁹⁾.

Skulle man i dag opstille en liste over den mest sandsynlige gennemførelse af alternativer til olie og kulkraftværkerne ville den formodentlig se sådan ud: atomkraftværker, vandkraft på Grønland og udvikling af vindkraft, hvoraf de to sidste procedurer har meget små muligheder. Men en nærmere analyse kunne måske vise, at den socialt og økonomisk mest hen-sigtsmæssige energialternativudvikling i Danmark kunne være: vandkraft på Grønland, vindkraft og fusionsværker til sin tid omkring år 2000 i stedet for de nu kendte fissions atomkraftværker med eller uden beriget uran. Denne sidste udviklingsrække hænger især sammen med 12, affaldsproblemet, der er et spørgsmål om effektiv social kontrol, idet man med nutidens kendskab til atomaffald skal kunne oprette et kontrol og sikkerhedssystem, der skal være i århundreder måske i 1000 år. At man i dag har evner hertil, kan man have berettiget tvivl om, når effektiv kontrol med opbygningen af konkrete atomkraftværker selv i velstyrede samfund er vanskelige at gennemføre¹⁰⁾. På

* Tilblevet ved diskussion med Jørgen Koefoed i 1974. Et eksempel på praktisk tværfagligt samarbejde i Akademiet for Fremtidsforskning.

Teknologisk sammenhængspildiagram 1.



den anden side har en social kontrolinstitution, som pavekirken i Rom, i næsten 2000 år været i stand til at overleve, således at studier af pavekirken kunne give ideer til en social kontrolinstitution, der vogtede atomaffald og som kunne overleve kulturer og stater. På sin vis skulle en langtidsvarende kontrolsituation for atomaffald have en mere reel overlevelsesbaggrund end pavekirkens mere ubestemmelige religiøse forestillinger.

Det som umiddelbart skulle gøre 3, vandkraft på Grønland egnet som hjælp til løsning af vores energiproblemer hænger sammen med, at den udviklede 1, elektricitet gennem elektrolyse af vand fører til udvikling af 5, brint og ilt. Denne 5, brint kan bruges som brændstof i de eksisterende 2, kraftværker eller, da det i dag er lettere at transportere, gennem Habers proces forenes med kvælstof til 6, ammoniak, der og-

så bruges direkte henholdsvis som brændstof i 2, kraftværkerne eller som gødning, så man får mere 7, mad. Man vil senere i artiklen vende tilbage til nogle rentabilitetsbetragtninger.

FLS-industrigruppen¹¹⁾ og de danske elektricitets-selskaber¹²⁾ har i mange årtier beskæftiget sig med 9, vindkraft, således at man over en årrække kunne vente, at man på økonomisk forsvarlig måde kunne anvende 9, vindkraften på samme måde som 3, vand-kraften på Grønland til produktion af 5, brint og 6, ammoniak.

Både 3, vandkraft på Grønland og 9, vindkraft kan knyttes til energiopbevaringsindretninger, 10, svinghjul₁₃₎. Svinghjul fordrer dog mere forskning og praktisk erfaring, før de er fuldt anvendbare. Svinghjulteknikken kunne anvendes indbygget i transportmidler i stedet for benzin m.v., d.v.s. svinghjul fører lige

over i 11, transportsystemer, nye former for transportmidler.

I stedet for at bruge brinten (ammoniakken) som brændstof på f. eks. 2, kraftværker eller i 11, transportsystemer¹⁴⁾ kunne man anvende brinten (ammoniakken) direkte til elektricitetsfremstilling ved hjælp af elektrokemiske brændstofceller¹⁵⁾. 5, brinten kan også udvikles af atomkraftværkers overskudsproduktion gennem elektrolyse¹⁴⁾ for siden at bruges som brændstof på sædvanlige 2, kraftværker i spidsbelastnings-situationer. Hertil kommer den måske mere effektive termokemiske brintudvikling¹⁴⁾¹⁶⁾¹⁷⁾, hvor man direkte anvender en energikildes varme til at spalte vand i dets bestanddele for at få brint.

Ønsker man at udvikle fusionskraft, hvor kWh prisen nærmer sig 0, er der et nødvendigt samsplil mellem 5, brint, 13, laserteknik¹⁸⁾ og 4, atomkraft. Mere nærværende vil der være et samsplil mellem 13, laserteknik og 4, atomkraft i forbindelse med berigelse af uran gennem lasermetoder¹⁹⁾.

Som væsentlige yderligere »biprodkter« ved det opstillede diagram 1, med 5, brint som centrum, fås en revolutionerende udvikling af 14, telekommunikation i takt med udviklingen af 13, laserteknikken. Som væsentligt biprodukt af elektrolysen af vand fås 15, ilt ligesom en 8, kunststofindustri kan udvikles i takt med 5, brint og 15, iltproduktionen. 1, elektriciteten kunne også danne grundlag for traditionelle, som nye elektrisk drevne 11, transportsystemer.

Det effektive ved fremtidsstyring er samsplillet mellem den valgte fremtid og det teknologisk og socialt mulige. Modstanden ved en valgt fremtid vil sikkert være mindre, hvis man som udgangspunkt vælger den bestående tekniske og sociale verden og ikke forventer væsentlige ændringer i menneskets tankegang og politisk og social revolution som betingelse, før man sætter sig i bevægelse mod de valgte mål for fremtiden.

På den anden side må man sikkert være fleksibel over for ændringer af vejene, der fører til målene, når ændringerne er betinget af senere opståede væsentlige aktuelle problemer og konflikter eller af pludselige uforudsete teknologiske brugbare opfindelser eller energikilder.

D.v.s. samordningen af fremtidsforskningen, udannelsesprogrammet, finansieringsprogrammet og erhvervsudviklingsprogrammet for den valgte fremtid skal tilstræbe at være et ultrastabilt²⁰⁾ system.

For Danmark er det centrale udgangspunkt i 1975, at vi anvender olie og kulfyrede kraftværker og benzin og oliedrevne biler og andre transportfartøjer.

Skal man forandre på energibasis, kunne man skaffe brint ved vandkraft på Grønland eller på lidt længere sigt ved vindkraft i Danmark og på endnu længere sigt ved fusionsværker.

Tager man det aktuelle kraftværksystem og transportsystem som udgangspunkt, kan man på basis af brint udvikle andre drivstoffer end benzin og olie. Tabel 1 viser f. eks. en opstilling af forskellige bildriv-

stoffere hvad angår vægt og volumen, men samme brændværdi.

Tabel 1. Oversigt over forskellige bildrivstoffere²¹⁾.

	Vægt (kg)	Volu- men (1)	Bmkg.
Benzin (ISO-Oktan)	55,3	80	
Brint (H_2) flydende	21,0	300	- 252°C
Af H_2 syntetiserede driv- stoffere			
Metanol	124,9	158	
Ammoniak	136,7	167	- 30°C
Hydrazin	152,5	151	
Metan, flydende	50,7	122	- 175°C

Dette kan også opstilles på en anden måde. Forbrændingsvarmen pr. vægt og rumfangenhed²¹⁾ for de i tabel 1 opstillede drivmidler ser således ud:

	Kcal/g	Kcal/cm ³
Flydende brint	28,9	2,02
Metan	11,97	4,97
Benzin (Iso-Oktan)	10,98	7,59
Metanol	4,86	3,84
Ammoniak	4,44	3,63
Hydrazin	3,98	4,02

Med sit høje energiindhold pr. vægtenhed er brint f. eks et egnet brændstof for store transportfly, idet nyttelosten ville kunne stige²¹⁾.

Om man skal anvende det ene drivmiddel fremfor det andet afhænger oftest af dettes \$/MBTU pris. Prisen for den i et brændstof udvundne termiske energi udtrykkes i enheden \$/10⁶ BTU = \$/MBTU. $1\$/MBTU \approx 0,00341\$/Kwh(th) \approx 3,97\$/Gcal$. General Electric²¹⁾ har beregnet en brintpris på 3,35 \$/MBTU ved en strømpris på 10 mills/Kwh, hvor 1 mill = 1/1000 \$ $\approx 0,6$ øre ved elektrolyse af vand i brint og ilt. 1973²¹⁾ har man for Forbundsrepublikken Tyskland udregnet energiprisen for forskellige drivmidler til:

	Energipris \$/MBTU
Naturgas	0,8
Flydende gas	1,5-2
Svær olie	1
Brunkul	0,6
Stenkul	1,4

At gøre brint flydende er ansat til 1,3 til 1,8 \$/MBTU.

Danske elektricitetsværkers²²⁾ brændstofpriser ligger for øjeblikket på ca. 5 \$/Gcal ved kulfyring og på ca. 6,7 \$/Gcal ved oliefyring eller på 1,3 \$/MBTU ved kul og 1,7 \$/MBTU ved olie.

Ved en Kwhpris på 1,2 øre produceret ved vandkraft kunne brint måske i dag være konkurrencedygtig som

Tabel 2. Oversigt over faste investeringer pr. installeret kw i forskellige tekniker, samt omkostninger i råstoffer. 1973-74.

Faste investeringer	pris pr kw (1973-74)	drift (råstof)	bemærkninger
1. Vindkraft ²⁴⁾	2400 - 3500 kr	gratis, vind. 8,5 øre spares pr kwh vindkraft.	pris pr kwh (16% forrentning, 20 års afskrivning. Vedligeholdelse, 3 øre pr kwh) 0,25 kr ved 2700 kwh pr kw installeret, årligt 1 kw er ellers lig 8760 kwh pr år (fuld udnyttelse).
2. Kul, oliefyret kraftværk ²⁴⁾	1000 - 1600 kr	40 kr/Gcal olie 30 kr/Gcal kul 1,7 \$/MBTU ved olie og 1,3 \$/MBTU ved kul.	8,5 øre spares pr kwh vindkraft.
3. Atomkraftv. ²⁴⁾	2500 kr	8 \$/1b U ₃ O ₈ \simeq 0,2 \$/MBTU ²⁷⁾ .	
4. Vandkraftværk	svinger, normalt større end for 2. Kul, oliefyret kraftværk	gratis, vand.	
5. Svinghjul ²⁵⁾	730 kr	gratis vand, overskudsel.	anvender man svinghjul til at opbevare overskudselektricitet tabes 7% ved genbrug
6. Vandløfter ²⁵⁾	1100 kr	gratis, vand, overskudsel	bruges til opbevaring af vand i damme, hvor vand er løftet af overskudselektricitet. Ved genbrug tabes 27%.
7. Fusionsværk ²⁶⁾	usikkert	usikkert	måske 0,006 øre pr kwh \simeq 53 øre pr kw
8. Solenergi ²⁸⁾ solceller	4300 kr 1800 kr	gratis solen	14,5 m ² pr kw. Nedskrivning på 5-15 år
9. Planteenergist. ²⁹⁾ 0,5% konvertering af sollys	»gratis« eller prisen pr ha divideret med 6 kw	gratis, solen	gennemsnitligt 130 g kulstof fixeret pr m ² pr år ved fotosyntese ²⁹⁾ . Eller 0,5% af 1000 kwh pr år pr m ² = 50.000 kwh pr år pr ha ³⁰⁾ . Pr km ² pr år 5.000.000 kwh
10. Oliekilde ³¹⁾	9 - 180 kr (praksis 25-500 kr 30% tab)	gratis, råolie	Nordsøen 6300 £ pr ton olie pr dag i investeringer. Kuwait 315 £ pr t olie pr dag. (533 kw). Pris før 1973, 18-12,6 \$ pr t olie.

energikilde til traditionelle elværker enten over flydende brint eller ammoniak.

Man kan også angribe omkostningsproblemet ved brintudvikling på en anden led. Principielt skal man anvende 15,4 Kwh²³⁾ pr. 0,45 kg brint, når man skal skille brint fra ilt i vand. Er tabet ved elektrolysen 50% skal man anvende 31 Kwh pr. 0,45 kg brint eller 68 Kwh pr. kg brint. D.v.s. man i dag skal anvende 68000

Kwh pr. ton brint og principielt aldrig kan komme under 34,200 Kwh pr. ton for brint. 1 ton brint svarer til ca. 6 ton ammoniak. Med dagens teknik får man pr. 1000 Kwh 87 kg ammoniak eller pr. 1000 Kwh 762 ton ammoniak *årligt*. Heri er ikke medregnet gennemsnitlige driftsforstyrrelser på gængse ammoniakværker på 20% af årsproduktionen.

Uanset hvilken energiform man anvender, skal man tage hensyn til omkostninger ved

1. Faste investeringer.
2. Driftsomkostninger.
3. Distributionsinvesteringer.
4. Driftsomkostninger ved distributionsinvesteringer.
5. Evt. råvarer eller råmaterialer, pris for.
6. Evt. konverteringsomkostninger i øvrigt.
7. Kontrolomkostninger.
8. Afskrivninger.
9. Miljø og andre sociale omkostninger. F. eks. at kulminearbejdere sundhedsmæssigt ødelægges og eller landskaber lægges øde og skal genskabes.

Nogle former har små faste investeringer pr. kw andre har store, men har til gengæld ingen eller små råstof eller råmaterialeomkostninger. Hvis mange energiudviklingsmuligheder derfor er til stede, skal man være varsom med at bestemme om en energiudviklingsteknik er mere økonomisk end en anden, særlig hvis enkelte dele eller elementer er undergivet stigende og fortsat forventelige stigende priser og/eller utsat for politisk vilkårlighed og pression. Hertil kommer det helt endnu uigennemskuelige problem, hvad der egentlig ville ske, hvis statsmagten »socialiserede« energipriserne på den måde, at enhver børger kun skulle betale en lav eller ingen pris pr. Kwh, uanset om det var til privatforbrug eller til erhvervsbrug. Energipriserne var da bragt på niveau med udgifterne til forsvaret, helsetjenesten, folkepensionen o.s.v.

I tabel 2 er forsøgt opstillet en oversigt over omkostninger i 1974 pr. installeret kw ved forskellige teknikker.

Udover de direkte installationsomkostninger er anført visse drifts-, råstof eller brændselsomkostninger ved de enkelte energiudviklingsformer. Til sammenligning er opstillet to energiudviklingssystemer. For det første energitransformationerne ved fotosyntesen og for det andet olie og gasudvikling fra kilder i jorden. Blandt de øvrige energiudviklingsformer ser man, at den laveste pris pr. installeret kw 1973-74 er på 1000-1600 kr. for kul og oliefyrede kraftværker og højest for anvendelsen af solenergi på 4300 kr. Hvad der så er dyrest for forbrugerne er derudover bestemt af distributionsudgifter og evt. brændselsudgifter for grundenergistoffet. For sammenligningens skyld kan anføres, at for brændselsceller er installationsomkostningerne pr. kw³²⁾ 600 kr. Atomkraftværker er noget dyrere (1973-74) pr. installeret kw, 2500 kr., end kul og oliefyrede kraftværker.

Brugen af vindkraften har en lavere installationspris pr. kw, 2400-3500 kr., end brugen af solenergi. Men kwhprisen for elektricitet fra vindkraftanlæg er (1973-74) ca. 12,5 \$/MBTU.

Hvis energiprisen også er afgørende for mængden af knaphedsgoder til brug og fordeling, og hvis det er korrekt, at det samfund, som har lave energipriser har større udviklingsmuligheder og højere styringspoten-

tiel, er resultaterne under punkt 10, oliestiske, i tabel 2 af afgørende betydning for valget af en energiudviklingspolitik.

Det ses her, at investeringen pr. kw i en oliestiske (oliekilden omregnet til kw) i f. eks. Kuwait er 9 kr.! Det betyder, at man i f. eks. Kuwait i princippet f. eks. kan levere metan eller anden olieenergi gratis eller til meget lav pris. En alternativ energiudvikling uden brug af jordolie og jordgas, der kan konkurrere med energiudvikling baseret på olie og gas, må derfor siges at have vanskelige kår, aktuelt set. På længere sigt, hvis teknikerne kan løse de praktiske problemer, og hvis der findes økonomiske muligheder i evt. energiudkonkurrerede industrisamfund, ser det ud til, at den »gratis« energi i uudtømmelige mængder ligger i opbygningen af fusionskraft⁴¹⁾.

Der er et andet væsentligt argument for fusionskraft. Selv med lave oliepriser vil energipriser blive for høje til udvikling af gødning til ulandene²³⁾, hvorimod udvikling af fusionskraft kunne bryde denne situation. På den anden side vil de på det nærmeste uudtømmelige energimængder, fusionskraft ville skabe, sætte menneskeheden i en situation, der kan minde om situationen, da menneskeheden gik fra jæger og samlerstadiet til det bofaste landbrug og husdyrbrug. I fusionskraftsamfunds vil hovedspørgsmålet blive, hvad skal man lave, når man ikke skal arbejde for at opnå føde, husly og knaphedsgoder. Det væsentligste fremtidsforskningsprogram, hvis man udvikler fusionskraft, er vurdering af fusionskraftens konsekvenser og opstilling af modeller til løsning af problemer som følge af evt. fusionskraft i lyset af forskellige målsætningsmønstre for menneskene i et fusionskraftsamfund.

Problemerne omkring bestemmelsen om fusionskrafts gennemførelse og problemerne omkring bestemmelse af følgerne af evt. fusionskrafts indførelse er stærkt slørende af mangel på en egentlig viden om samfundsprocesserne, kapitals betydning, energiomkostningernes betydning og de basale leveomkostningernes omfang. Dette til trods for *K. Marx's* synspunkter og produktion og hans sociologiske modstander *V. Pareto's* produktion og synspunkter for generationer siden. En væsentlig forudsætning også for løsning af energiudviklingspolitiken er derfor iværksættelse af en egentlig omfattende grundlæggende samfundsforskning, især inden for sociologiens område, hvilket i nyere tid især er påpeget af sociologen *G. Lundberg*.

Hvor komplicerede vores samfundsforhold er, kan bl.a. ses af punkt 9, planteenergistof, i tabel 2. Den altomfattende udnytter af solenergien er jordoverfladen. Planters udnyttelse af solenergien er her omregnet, som anført i tabel 2, til 6 kw årligt pr. ha. Man kunne forestille sig, at man dyrkede jorden med planter, der kunne omformes til energidrivkraft eller elektricitet. Fra naturens hånd er jorden gratis. Men vort sociale system har gjort jorden dyr. Hvis man i dag

Tabel 3. Priser i \$/MBTU ved forskellige energiudviklinger og brændstofpriser³²⁾

Pris \$/MBTU	Prissituationer				
	1	2	3	4	5
Kul	0,00	0,15	1,4		3,0
Gas (Metan) (CH_4)	0,00	—	0,8	2,0	3,0
Atombrændstof	0,00	0,05	0,2		
Vandkraft (el)	0,00	0,60	3,0	0,05	
Transformation					
Kul til brint (H) til el (E)	$u^x \left\{ \begin{array}{l} 1,43 \\ 4,08 \end{array} \right\} E^b$	$u \left\{ \begin{array}{l} 2,32 \\ 5,01 \end{array} \right\} E^b$	$u \left\{ \begin{array}{l} 5,07 \\ 7,76 \end{array} \right\} E^b$		
Kul til brint (H)	$u \left\{ \begin{array}{l} 0,61 \\ 1,37 \end{array} \right\} H$	$u \left\{ \begin{array}{l} 0,84 \\ 1,60 \end{array} \right\} H$	$u \left\{ \begin{array}{l} 2,71 \\ 3,47 \end{array} \right\} H$		$u \left\{ \begin{array}{l} 5,11 \\ 5,87 \end{array} \right\} H$
Atomkraft til el (E) udelukkende	$u \left\{ \begin{array}{l} 2,73 \\ 5,91 \end{array} \right\} E$	$u \left\{ \begin{array}{l} 2,86 \\ 6,04 \end{array} \right\} E$	$u \left\{ \begin{array}{l} 3,23 \\ 6,41 \end{array} \right\} E$		
Kul til el (E) udelukkende	$u \left\{ \begin{array}{l} 2,49 \\ 5,67 \end{array} \right\} E$	$u \left\{ \begin{array}{l} 2,87 \\ 6,05 \end{array} \right\} E$	$u \left\{ \begin{array}{l} 5,99 \\ 9,17 \end{array} \right\} E$		
Kul til metan (CH_4) til el (E)	$u \left\{ \begin{array}{l} 1,84 \\ 5,48 \end{array} \right\} E^b$	$u \left\{ \begin{array}{l} 3,53 \\ 6,25 \end{array} \right\} E^b$	$u \left\{ \begin{array}{l} 7,28 \\ 11,00 \end{array} \right\} E^b$		
Atomkraft til brint (H) til el (E)	$u \left\{ \begin{array}{l} 2,95 \\ 5,60 \end{array} \right\} E^b$	$u \left\{ \begin{array}{l} 5,13 \\ 7,82 \end{array} \right\} E^b$	$u \left\{ \begin{array}{l} 5,80 \\ 8,49 \end{array} \right\} E^b$		
Atomkraft til brint (H)	$u \left\{ \begin{array}{l} 2,13 \\ 2,89 \end{array} \right\} H$	$u \left\{ \begin{array}{l} 2,67 \\ 3,43 \end{array} \right\} H$	$u \left\{ \begin{array}{l} 3,12 \\ 3,88 \end{array} \right\} H$		
Kul til metan (CH_4)	$u \left\{ \begin{array}{l} 0,68 \\ 1,47 \end{array} \right\} \text{CH}_4$	$u \left\{ \begin{array}{l} 0,91 \\ 1,60 \end{array} \right\} \text{CH}_4$	$u \left\{ \begin{array}{l} 2,78 \\ 3,47 \end{array} \right\} \text{CH}_4$		
Vandkraft (el) til brint (H) til el	$u \left\{ \begin{array}{l} 1,10 \\ 3,75 \end{array} \right\} E^b$	$u \left\{ \begin{array}{l} 2,51 \\ 5,20 \end{array} \right\} E^b$	$u \left\{ \begin{array}{l} 6,93 \\ 9,62 \end{array} \right\} E^b$		
Vandkraft (el) til brint (H)	$u \left\{ \begin{array}{l} 0,28 \\ 1,04 \end{array} \right\} H$	$u \left\{ \begin{array}{l} 1,00 \\ 1,76 \end{array} \right\} H$	$u \left\{ \begin{array}{l} 3,88 \\ 4,64 \end{array} \right\} H$	$u \left\{ \begin{array}{l} 0,34 \\ 1,10 \end{array} \right\} H$	
Metan (CH_4) til brint (H)	$u \left\{ \begin{array}{l} 0,34 \\ 1,10 \end{array} \right\} H$	—	$u \left\{ \begin{array}{l} 1,38 \\ 2,14 \end{array} \right\} H$	$u \left\{ \begin{array}{l} 2,94 \\ 3,70 \end{array} \right\} H$	$u \left\{ \begin{array}{l} 4,24 \\ 5,00 \end{array} \right\} H$
Metan til el (E)	$u \left\{ \begin{array}{l} 1,16 \\ 3,81 \end{array} \right\} E^b$	—	$u \left\{ \begin{array}{l} 3,14 \\ 5,83 \end{array} \right\} E^b$	u	

x) uden fordelingsudgifter = u. xx) El gennem brændsceller = b.

antager, at en ha koster ca. 30.000 kr. i Danmark, vil kw-prisen gennem jordens brug være ca. 5.000 kr. altså den dyreste energiudvikler pr. »installeret« kw.

Energi, bortset fra føde, gennem dyrkning, vil næppe være en økonomisk farbar vej i vort nuværende samfund. Formodentlig ville kwhprisen være højere ved anvendelse af jorden end kwhprisen gennem vindkraftenergi og solcelleenergi.

Skal man kunne konkurrere med gratis eller lav-prisolie og gas, må man vurdere mange energiudviklingsformer samt spekulere på andre distributionsformer end kabler og ledninger til energidistribution.

I stedet for at bruge el produceret af olie og kul-

fyrede kraftværker eller fra atomkraftværker, kan el produceres af vandkraftanlæg eller fra brændsceller der fyldes med brint, ammoniak eller metan. Transporten af energi (brint m.v.) til brændscelle-elværkerne kan ske med rørledninger, der er billigere i anlæg og drift end kabler.

At orientere sig mod vandkraftværker, brændscelle-værker og fusionsværker er ud over pris og leveranceusikkerheden for olie og gas også bestemt af den forøgede uro over den stadig stigende udnyttelse af fossile brændstoffer til energiudvikling.

I tabel 3 er opstillet en oversigt over energiomkostninger orienteret mod brint- og elproduktion. Udreg-

ningsgrundlaget fremgår af note 32. Der er anført 5 prissituationer. Den første prissituation er bestemt ved, at grundbrændselsspriserne er sat til 0 kr., d.v.s. at grundbrænslets er gratis; kun konverteringen til den ønskede energiform koster noget. I hver af de fem prissituationer er, ud for hver energiudviklingsform, anført to tal. I hvert felt er anført et tal med u og et uden u. Tallet med u er prisen for vedkommende energi i \$/MBTU uden distributionsomkostninger. Tallet uden u er prisen \$/MBTU for vedkommende energiform, men her er medregnet distributionsomkostninger, d.v.s. både langdistancedistribution (500 km) og lokaldistribution. Hvor energiformen er brint og metan, er distributionsformen rørledninger. Hvor elektriciteten er angivet ved E er distributionsformen hele vejen kabler og ledninger. Hvor elektriciteten er angivet ved E^b er elektriciteten frembragt i et brændselscelleelværk. I dette tilfælde er langdistancedistributionen rørledninger, medens lokaldistributionen er kabler og ledninger.

I prissituation 1, hvor grundbrændselsspriserne er 0, fås følgende ikke-u-priser med den billigste først og den dyreste sidst. Priser i \$/MBTU.

1. Vandkraft (el) til brint	1,04
2. Metan til brint	1,10
3. Kul til brint	1,37
4. Kul til metan	1,47
5. Atomkraft til brint	2,89
6. Vandkraft (el) til brint til el (E ^b)	3,75
7. Metan til el (E ^b)	3,81
8. Kul til brint til el (E ^b)	4,08
9. Kul til metan til el (E ^b)	5,48
10. Atomkraft til brint til el (E ^b)	5,60
11. Kul til el (E)	5,67
12. Atomkraft til el (E)	5,91

Ganger man hver af disse priser med 2, får vi kWh-prisen i ører. Det ses her, at den billigste konvertering, når brændstofpriser er 0, er vandkraftel til brint og den dyreste atomkraft til el udelukkende. Det ses også, at den billigste elproduktion er over brændselsceller, der forsynes med metan eller brint over rørledninger.

De beregnede priser er baseret på en afskrivningstid på 30 år og med en rentefod på 9,3%. Dette gælder i øvrigt alle prisberegninger, hvor intet andet er anført.

Energidistributionsanlæg er over jorden.

Tager man prislejet i 1973, i slutningen af året, fås prissituation 3 i tabel 3.

I prissituation 3 er vandkraftprisen sat til 6 øre pr. kWh, d.v.s. 3,0 \$/MBTU.

I denne situation er energiproduktionspriserne, d.v.s. ikke-u-priserne i \$/MBTU med den laveste pris først, følgende:

1. Metan til brint	2,14
2. Kul til brint	3,47
3. Kul til metan	3,47

4. Atomkraft til brint	3,88
5. Vandkraft til brint	4,64
6. Metan til el (E ^b)	5,83
7. Atomkraft til el	6,41
8. Kul til brint til el (E ^b)	7,76
9. Atomkraft til brint til el (E ^b)	8,49
10. Kul til el	9,17
11. Vandkraft til brint til el (E ^b)	9,62
12. Kul til metan til el (E ^b)	11,00

Det ses her, at grundbrændselssenergipriserne har indflydelse på størrelsen, og rækkefølgen af omkostningerne for den udviklede energi.

Hvis vandkraftprisen kan sættes til 1,2 øre pr. kWh vil brintprisen blive 1,76 \$/MBTU, hvor u-prisen vil blive 1 \$/MBTU. Dette skulle være muligt. (Prissituation 2).

Hvis metanprisen og kulprisen er 3 \$/MBTU, bliver ikke-u-prisen i \$/MBTU for metan til brint 5,00 og kul til brint 5,87.

Dette svarer til prissituation 5.

Selvom man kan levere vandkraft til 1,2 øre pr. kWh, vil man, hvis man kan levere kul til 0,15 \$/MBTU, prissituation 2 (1972 priser), kunne levere brint fra kul til 1,60 \$/MBTU, u-pris 0,84 \$/MBTU.

Ser man bort fra vandkraft, vil de sandsynlige priser for brint et stykke tid fremover blive nedennævnte (i parentes u-priser). Priserne er i \$/MBTU.

1. Atomkraft til brint	3,43 (2,67) (prissituation 2)
2. Kul til brint	3,47 (2,71) (prissituation 3)
3. Metan til brint	3,70 (2,94) (prissituation 4)

Dette taler for at fremme elkraft på Grønland til 1,2 kWh timen, men en kWhpris på nær 4 øre ville også i en sådan prisudviklingssituation være konkurrencedygtig.

Selvom det skulle være muligt at udvikle konkurrencedygtig vandkraft på Grønland, og selvom der skulle være tilstrækkelige vandmængder på Grønland, hvorom intet sikkert vides i skriveøjeblikket, går energieksperternes vurdering af energiudviklingsforløbet ikke i retning af rækkefølgen, vandkraftel, vindkraftel og fusionskraft.

Dette ses af tabel 4. Tabel 4 rummer resultaterne 31^b fra en Delfiundersøgelse blandt 40 eksperter i 7 lande. Frem til år 2000 regner eksperterne med udvikling i atomkraften og i udvikling i tekniker, der anvender fossile brændstoffer. Fra år 2000 begynder andre energiformer at dukke frem, solkraft og fusionskraft.

For de enkelte emner er typisk to årstal i tabel 4. Det er de »konservative« 50% af undersøgelsesgruppens anslag af, hvornår de anførte emner effektivt slår igennem.

Med resultaterne i tabel 4 som baggrund er det først og fremmest et politisk spørgsmål, om man skal gå vandkraft-vindkraft-fusionskraftvejen eller om man skal gå den mest sandsynlige vej atomkraft-kul/metanbrint-fusionskraft eller solenergivejen.

Tabel 4. Hvornår, vedrørende kraft-energi (en delfianalyse)^{31b)} - Det konservative anslag.

Emne	Tidspunkt
1. Brændselsceller ³⁵⁾	1980 – 1987
2. Anvendelse af kerneeksplisioner til udvikling af naturgas og olie, geotermisk varme m.v.	1980 – 1983
3. Omdannelse af kul til gas eller olie ^{33) 34)}	1982 – 1984
4. »Fejsikker« anvendelse af atomkraft ³⁵⁾	1983 – 1995
5. Gaskølede højtemperatur reaktorer ³⁶⁾	1985 – 1990
6. Højspændingstransmission over meget store afstande	1985 – 1990
7. Hurtig formeringsreaktor ³⁷⁾	1985 – 1990
8. Cryogenisk (nedkølet) transmissionssystem med undergrundskabler med stor ledjeevne ³⁸⁾	1985 – 1995
9. Anvendelse af skifferolie i stor skala	1986 – 1990
10. Magnethydrodynamik, der anvender fossilt brændstof ³⁹⁾	1988 – 1990
11. Udvikling af alt praktisk anvendelig hydroelektricitet beliggende i befolkede egne	1988 – 2000
12. Teknik til økonomisk udnyttelse af yderligere 25% råolie fra kendte ressourcer	1988 – 1998
13. Fuld automatiserede undergrundsminer	1988 – 2000
14. Cryogeniske rørledninger til transport af naturgas	1988 – 2000
15. Simple solovne til skabelse af energi til privatforbrug i tropiske og subtropiske egne	1990 – 2000
16. Billig undergrundstransmission af højspændingsenergi ⁴⁰⁾	1990 – 2000
17. Kraftoverførsel ved mikrobølger	1993 – 2000
18. »Fejsikker« system til at bore efter og udvinde undersøisk kul på en hvilken som helst vanddybde	1995 – 2002
19. Direkte omformning i glødekatoderør	1998 – 2010
20. Udnyttelse af lav »thermal difference« systemer	1999 – aldrig
21. Kontrolleret thermonuklear kraft	– 2000
22. Effektiv oplagring af energi i store mængder	2000 – 2010
23. Laserkraftoverførsler	2000 – 2010
24. Store og effektive tidevandsanlæg	2000 – aldrig
25. Høj temperaturgasreaktorer med termisk kreds, der anvender andet end helium	2010 – 2020
26. Udbredt brug af geotermisk kraft	2020 – senere
27. Relæ for solenergi via satelitopsamler	2020 – senere
28. Solenergiindretninger til generering af energi i store mængder	senere – aldrig
29. Udnyttelse af gravitationsenergi	senere – aldrig

Da der er så mange problemer knyttet til atomkraftens brug på langt sigt, skulle det være muligt at gå vandrutevejen på Grønland, udvikle vindkraft og måske solkraft for at ende med fusionskraft.

Udvikling af vandruteenergien i Grønland kunne danne basis for selvfinsansiering af de øvrige energiformer. Teoretisk er intet til hinder for udvikling af vindkraft, solkraft og fusionskraft. Gennem vandrutebrintproduktion i Grønland kan man f. eks. årligt i Grønland som biprodukt producere 1,8 t Deuterium pr. 100.000 installeret kw vandrute. Deuterium vil formodentlig blive hovedbrændstoffet i fremtidige fusionskraftværker. 9 t Deuterium vil formodentlig svare til Danmarks energiforbrug årligt omkring år 2000-2020.

Når vandruteel er udviklet i Grønland, kan man videreudvikle vindkraft i Danmark kombineret med

svinghjul og/eller brintudvikling. Man kunne forestille sig Kattegat som opstillingsområde. Men et udviklingsarbejde står tilbage, idet kwhprisen ved vindkraft med svinghjul i dag ville være ca. 33 øre. Brinprisen gennem svinghjul og vindkraft ville i dag formodentlig være 20,52 \$/MBTU. Svinghjulene ved vindkraften skulle skabe den kontinuerlige elforsyning fra den lunefulde vindkraft.

Hvadenten udviklingen i energiforsyningssystemet følger resultaterne i tabel 4 eller man vælger at følge vandrute m. v. linien, har man en baggrund for at opstille et styringsprogram for uddannelse til erhvervslivet knyttet til energiudviklingen samt mulighed for at kortlægge, hvor fremtidsforskningen skal sætte ind for at reducere uønskede følger af erhvervs- og energiudviklingen.

NOTER:

- 1) *J. C. Fisher og P. H. Pry*: A Simple Substitution Model of Technological Change, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol 3, 1971, p 75 ff.
 - 2) *R. U. Ayres*: *Technological Forecasting and Long-Range Planning*, N.Y. 1969, p 94 ff.
 - 3) *F. Zwicky*: Morphology of Propulsive Power, Calf. 1962 p 202 ff.
 - 4) Ultrastabilitet er et systems kapacitet til at vende tilbage til en ligevægtstilstand efter at være bragt i forstyrrelse af ukendte og uanalyserede krafter, imod hvilke systemet heller ikke har været eksplisit udformet.
 - 5) *J. R. Harris*: The Rise of Coal Technology, *Scientific American*, August 1974, Vol 231, Nr 2, p 92 ff.
 - 6) *N. Wiener*: Menneske og automat, Kbhvn 1963.
 - 7) Folketinget, efterårssamlingen 1974.
 - 8) a. *J. Keller-Jacobsen og M. Johansson*: Udnyttelsen af vindkraften til elektricitetsproduktion. Kbhvn 1974.
b. *Finn Borberg*: Dansk plan om vindkraft fra 135 m højde i årne, Weekendavisen, Berlingske Aften, side 4, 25. oktober 1974.
 - 9) a. Gletscher-el fra Grønland til 150 mia. kr. årlig, Ingeniørens ugeblad, 17. årgang, 15. juni 1973, nr. 24.
b. *C. Kollbrunner og H. Staub*: Gletscherkraftwerke in Grønland, Zürich 1972.
 - 10) *Berlingske Tidende*, 23. oktober 1974, Grov fejl ved svensk A-reaktor kunne have ført til katastrofe.
 - 11) se note 8, punkt b.
 - 12) se note 8, punkt a.
 - 13) a. *R. F. og S. F. Post*: Flywheels, *Scientific American*, Vol 229, Nr. 6, December 1973, p 17 ff.
b. *T. Ginsburg*: Können Schwungräder Pumpspeicherwerke ersetzen? *Neue Zürcher Zeitung*, tirsdag 16. juli 1974, Fernausgabe Nr. 193.
 - 14) *W. Seifritz*: Die Wasserstoffwirtschaft, *Neue Zürcher Zeitung*, Fernausgabe, nr. 186, p 13-15, 9. juli 1974.
 - 15) *R. A. Hoefer*: 26-Megawatt-Kraftwerk aus elektrochemischen Brennstoffzellen, *Neue Zürcher Zeitung*, 6. november 1974, nr. 484, p 73.
 - 16) a. *W. C. Gough og B. J. Eastlund*: The Prospects of Fusion Power, *Scientific American*, No 224, nr. 2, februar 1971, p 50-64.
b. *G. Cremonik*: Kernfusion mit Laser, *Neue Zürcher Zeitung*, Fernausgabe nr. 258, p 73-75, 20. sept. 1972.
 - 17) *R. H. Wentorf og R. E. Hanneman*: Thermochemical Hydrogen Generation, *Science*, Vol 185, No 4148, 26 July 1974, p 311-319.
 - 18) se angivelse i note 16)
 - 19) Uranium Enrichment: Laser Methods Nearing Full-Scale Test, *Science*, Vol 185, 16. august 1974, p 602-03.
 - 20) Ultrastabilitet, se note 4).
 - 21) se angivelse i note 14).
 - 22) se angivelse i note 8 a og læserbrev i Morgenavisen Jyllandsposten 1. november 1974 af M. Johansson.
 - 23) *D. R. Sofrany*: Nitrogen Fixation, *Scientific American*, Vol 231, No 4, october 1974, p 78, 3. spalte.
 - 24) se note 8) og 22) jfr. c *E. Høgh*: Foreløbige beregninger af omkostninger ved produktion af brint, metan og elektricitet gennem brændselsceller, der forbruger brint og/eller metan. 1975.
 - 25) se note 13)
 - 26) se note 23) p. 80 og se note 16)
 - 27) se note 14) side 14
 - 28) *T. Keller*: Das »Solarhaus« der Universität Delaware, *Neue Zürcher Zeitung*, Fernausgabe, nr. 138, 21. mai 1974, side 19-20.
 - 29) *H. T. Odum*: Environment, Power and Society, N.Y. 1971, p 50.
 - 30) Die »Solarspumpe« von Chinquetti, *Neue Zürcher Zeitung*, Fernausgabe, nr. 28, 29. Januar 1975, side 21-22.
 - 31) *E. N. Tiraso*: Oilfields of the world: Geology and Geography, intet årstal m.v.
 - 31b) Delfiteknik offentliggjort i *Børsen* 19. august 1974. N = 40 personer i 7 lande.
 - 32) *E. Høgh*: Foreløbige beregninger af omkostninger ved produktion af brint, metan og elektricitet gennem brændselsceller, der forbruger brint og/eller metan. Kbhvn 1975.
 - 33) *E. F. Osborn*: Coal and the Present Energy Situation, *Science*, Vol 185, 6. September 1974, p 838-39.
 - 36) *L. Meyer og B. Pelland*: Kernkraftwerke mit gasgekühltem Hoch Temperaturreaktor, *Neue Zürcher Zeitung*, Fernausgabe, nr. 158, onsdag 13. Juni 1973, p 17-
 - 37) *D. J. Rose*: Energy Policy in the U.S., *Scientific American*, Vol 230, No 1, January 1974, side 20-29.
 - 38) *R. A. Hein*: Superconductivity, Large-Scale Applications, *Science*, Vol 185, No 4147, 19 July 1974, p 211-222.
 - 39) Fortschritte der Magnetohydrodynamik, *Neue Zürcher Zeitung*, onsdag 4. December 1974, nr. 508, p 63.
 - 40) *D. P. Snowden*: Superconductors for Power Transmission, *Scientific American*, Vol 226, No 4, April 1972, p 84-91
 - 41) Til forståelse af fusionskrafts betydning kan anføres en række tal

1 ton kul	7,600 kwh (th)	}
1 ton råolie	10.120 kwh (th)	
1 ton brint	33.000 kwh (th)	

 1 t atombrændstof

$(U_3 O_8)$	= 180.000.000 kwh (el)	}
i en termisk reaktor		

 1 t atombrændstof

$(U_3 O_8)$	= 12.600.000.000 kwh (el)	}
i en forméringsreaktor		

 1 t deuterium (D) = 100.000.000.000. kwh (th) i fusionskraftværk - fusionskraftanlæg.
- Varmemængden (th) er ofte ca. 2,5 gange større end den nyttiggjorte elektriske energi (el).
- Se (Snur): Nei til Atomkraft, Oslo 1974, og *R. F. Post* og *F. L. Ribe*: Fusion Reactors as Future Energy Sources, *Science*, Vol 186, No 4162, 1. nov. 1974, p 399, 2. spalte.

DYNAMIK OG LIGEVÆGT

På sporet af oliekrisens mekanik?*

Jørgen Koefod

I nutidens debat spiller udtryk som ligevægtssamfund, harmoni og disharmoni en betydelig rolle. Samtidig er man sig fuldt bevidst, at både samfund og biologiske og økologiske systemer i høj grad er præget af at være *dynamiske* systemer.

Al den stund at ligevægt i streng forstand betyder en tilstand, hvori ingen processer kan foregå, altså heller ikke livsprocesser, så er det klart, at det ligevægtsbegreb, man opererer med i biologi og økologi, dækker dynamiske平衡tilstande, hvori forskellige karakteristiske størrelser holdes konstante, eller næsten konstante, igennem længere tidsperioder, fordi forsynings- og renovationsprocesser fungerer på velreguleret måde.

Heri er der næppe ret meget nyt for ret mange læsere, men alligevel kan det være værd at gentage det og udtrykke det i nogen detalje, for alt for ofte glemmer man at tage konsekvenserne af de særlige forhold, der knytter sig til dynamiske systemer.

Simple systemer, koblede systemer

Ligevægt i simple systemer følger simple love: Vand vil altid løbe nedeften, og når det ikke har noget lavere liggende sted at løbe hen, så bliver det liggende i det vi kalder en ligevægtstilstand. Tyngdekraften virker så al bevægelse sker henimod denne ligevægt og et mål for virkningen kan vi få ved det arbejde, vi kan udvinde af vandets nedfart. Det er helt enkelt proportionalt med vandmængden og med faldhøjden, og det bliver til nul, når der ikke længere er nogen vandmængde, der kan falde nogen højdeforskel.

Når vi alligevel kan lave vandmøller og vandkraftværker, der kan fungere år ud og år ind, så de kan tilfredsstille alle praktiske krav til en evighedsmaskine, så er det jo fordi vandets kredsløb i naturen er *koblet* til solenergien. En lille del af den fri energi – eller energi – som strømmer til os fra solens kærnekraftværk bruges til at fordampne vand fra have, sører og landarealer, og jordens udstråling til rummet gør, at der bliver køligere steder, hvor vanddampene fortættes og bliver til nedbør.

Fra et vandkraftværk kan vi få leveret strøm med konstant spænding og konstant frekvens, og vi kan godt i en eller anden løs forstand sige, at så er el-kraftforsyningen i en ligevægtstilstand, men det fører let til

misforståelser, for det er en balanceret tilstand, som har langt mere komplexe forudsætninger end ligevægtstilstanden i et simpelt system.

Komplekse, dynamiske systemer

Lad os se på forudsætningerne, som vi kan opfatte som ret generelle for komplekse dynamiske systemer med lang levetid, hvad enten de er af biologisk, økologisk, økonomisk eller industriel art.

Der behøves:

- 1) En *kilde* (somme tider flere). For et vandkraftværk, en stadig forsyning af vand fra et højtliggende reservoir.
- 2) *Afløb* – Værket skal kunne blive af med vandet på et lavere niveau, og det skal have et kundesystem til at aftage den producerede el-kraft, og et kølevandssystem til at skaffe spildvarmen bort.
- 3) *Isenkram* (hardware) – til at formidle koblingsprocessen: rørsystem, turbiner og dynamoer.
- 4) *Servosystemer* (hardware og software) – bl.a. til at regulere vandstrømmen i takt med forbruget af elstrøm.

Samfundsmæssigt har vi endvidere nogle forudsætninger som *viden*, *kapital* og *arbejdskraft*, men lad det hvile, og lad os i første omgang holde os til de fysisk-tekniske forudsætninger.

Det, som det er væsentligt at få slætt fast, er da det, at når vores vandkraftværk leverer strøm af konstant spænding ved vekslende forbrug, så er det ikke noget, der »sker af sig selv«, fordi der er en naturkraft, der påvirker tilstanden hen imod denne konstante værdi; men det skyldes, at der er opbygget et system af reguléringsmekanismer. Funktionen forudsætter derfor, 1) at disse mekanismer fungerer, og 2) at grænserne for deres funktionsmulighed ikke overskrides. Tørke, frost og overforbrug er de iøjnefaldende risici for at grænserne overskrides.

Servosystemets funktion er vel beskrevet og analyseret. En føler skal sende et signal tilbage til en styrekasse, der påvirker tempoet i tilførslerne således, at der kompenseres for indtrufne afvigelser fra normen. En feedback sløjfe plejer man at kalde det på dansk. Der skal dimensioneres med de rigtige tidsforsinkelser, lange nok til at man undgår nervøse svingninger, og ikke så lange at udsvingene bliver ubehageligt store. Reguleringen forudsætter, at der er noget at regulere på, og hvis den situation indtræffer, at vores vandkraftgenerator får signal om at producere mere,

* Fra: 80-erne. Festskrift i anledning af Thorkil Kristensens 80-års dag. 9. oktober 1979.

men er i en *mætningssituation* enten fordi den kører på sin maksimalkapacitet, eller fordi der ikke er mere vand at få, så må der skiftes reguleringstaktik, og styringen må udføres ved at nogle kunder afskæres for at de resterende kan få, hvad de har brug for.

Fysiologiske systemer.

Servofunktionernes betydning for vores livsfunktioner er også noget velkendt. Vor legemstemperatur, saltkoncentration, blodsukker, iltspænding, pH og meget andet, holdes inden for meget snævre grænser, så vort »indre miljø« er uforandret selv under store variationer i det ydre miljø's omstændigheder. Er vi sunde og raske kan vi tillade os at spise meget salt eller meget lidt salt. Fine servomekanismer vil sørge for at den overflødige mængde udskilles i urinen, og i mangelsituitioner sørge for at suge urinen næsten fri for salt før den udskilles. Men selv om der er et vidt spillerum, er der naturligvis grænser for tilpasningsevnen selv hos den raske organisme, og bliver der funktionsvanskeligheder, f. eks. ved nyresvigt, må et kompliceret ydre servosystem bringes i anvendelse, hvis man skal overleve.

Vor organisme er et dynamisk system, der for sin eksistens beror på en række af *kilder* med indåndingsluft, mad og drikke, *afløbsmuligheder* for udåndingsluft, urin og afføring, et *miljø*, der ikke er alt for ugæstmildt, og det fungerer, fordi der er indbygget et antal *reguleringsmekanismer*, hvorfra vi har kendskab til mange, mens formentlig mange flere er ukendte eller kun vagt erkendt. Når de svigter, bliver vi syge, og er vi heldige, kan lægen genoprette den svigtende funktion. Alt for ofte er dog den eneste praktiske mulighed en afhjælpning af de værste konsekvenser af funktionssvigt, en afhjælpning, der ofte på længere sigt fremkalder andre funktionsvanskeligheder.

Også her er systemet balance ikke noget, der kommer af sig selv, men noget, der beror på eksistensen og funktionsdygtigheden af en række servofunktioner, der opretholder det indre miljø, en effekt, der fra gammel tid betegnes som homoeostase. Og forudsætningen for, at det kan fungere, er at belastningen holdes inden for visse grænser.

Udviklingshistorie

Et andet karakteristisk træk ved komplekse dynamiske systemer er det, at de har en udviklingshistorie bag sig, der er bestemmende for deres natur. For de simple, fysiske systemer er vi vant til at ret få angivelser af værdierne af nogle eksistensvariable er tilstrækkeligt til at karakterisere hele tilstanden. For dynamiske systemer vil der under givne omstændigheder være mange mulige tilstande, og hvilken af dem, der faktisk forekommer, beror på systemets udviklingshistorie frem til det givne tidspunkt.

Økologiske systemer udvikler sig i tiden under skiftende klimaforhold, og deres struktur beror både på de aktuelle klimaforhold og på fortidens.

En skovbevoksning i et klippe landskab kan bero på, at der har været bevoksning fra en fjern geologisk tidsalder med et fugtigt og varmt klima. Som klimaet blev koldere var det skiftende arter af vækster, der trivedes i det miljø, der var dannet, men fældes træerne nu, eroderes vækstmiljøet væk, og det kan let gå sådan, at der aldrig kommer skov igen, om man så ventet tusindvis af år, fordi dannelsen af det første vækstmiljø kræver tropisklima.

Hvor der er græsvækst, kan planteædende dyr trives, rådyr, antiloper renner og den slags, og en given græsning kan give føde til en vis mængde dyr. Vinter eller tørketid kan give sæson i fødeforsyningen, og de svageste dyr vil dø først, når der bliver knaphed på græs; men er bestanden øget igennem et par gode år, kan græsset slippe op før vækstsæsonen sætter ind igen, og dyrebestanden kan simpelt hen uddø. Det hjælper ikke, at der en måned efter at det sidste dyr døde, er en yppig græsvækst, for man kan ikke fodre døde dyr med tilbagevirkende kraft.

For en langfristed stabilitet i det økologiske system kan det derfor være af betydning, at der også er en bestand af rovdyr, der regulerer bestanden af de planteædende dyr. Der vil være svingninger i de to gruppers antal, fordi flere rådyr kan kødføde flere rovdyr, men førend de sidste rådyr er gået til, vil bestanden af rovdyr være aftaget så meget, at rådyrbestanden kan tilbage igen. Den italienske matematiker Volterra har opstillet differentialligninger for den slags systemer og givet en matematisk model af kampen for tilværelsen, der netop satser på at forklare de svingninger, der var iagttaget i bestanden af en række fiskearter i Middelhavet.

Indgreb i økologiske systemer

Griber man ind i et økologisk system, kan det derfor meget let få helt andre konsekvenser end det var tilsigtet. Udrygger man visse rovdyr, fordi man skønner at rådyrbestanden er i aftagende, og i øvrigt synes, at det er synd for de søde rådyr at de bliver ædt af de glubskede rovdyr, så kan det på lidt længere sigt medføre at rådyrene uddør, når engang vinteren er streng og foråret lader vente på sig.

Rotter, berettes det, har en naturlig social evne til at holde en næsten konstant befolkningstæthed. Dræber man mange, fødes og opfostres der så mange desto flere, og først hvis man virkelig udrygger dem på et sted, får man en egentlig effekt, og ikke blot en beskæftigelsesforanstaltning, ud af det.

I Jay W. Forresters modeller for verdens dynamik fremhævedes der netop eksempler på, at foranstaltninger kunne få virkninger, der var helt andre eller direkte de modsatte af det, der var tilsigtet, og det, som man umiddelbart skulle tro. I den litteratur, som har fulgt Forresters ideer op, har dette træk næppe fået helt den fremtrædende plads som det fortjener.

En erfaring om, at en given foranstaltning har en given virkning, har kun en kortvarig værdi, for virk-

ningen kan bero på, i hvilken fase af en udvikling foranstaltningen bliver sat ind. Fodertilskud til rådyrene vil under visse omstændigheder ophjælpe bestanden, men i en anden fase af en cyklistisk udvikling vil den blot forhindre bestanden af rovdyr i at gå ned.

Samfundets kredsløb

Betruger vi verdenssamfundet som et stort kredsløb, der beror på tilløb af strålingsenergi fra solen og af givelse af infrarød stråling til universet suppleret med dræning af jordens ressourcer og afløb af affaldsstoffer til dens »recipienter«, så må vi yderligere hæfte os ved, at det for dets funktion beror på et umådeligt antal lokale kredsløb, der er koblet til hinanden på yderst kompliceret måde, idet afløb fra det ene kredsløb er kilde i andre kredsløb og vice versa.

Opdelingen i lokale kredsløb kan gøres mere eller mindre detailleret, og i praksis er opdelingen efter landegrænser naturlig, men selvfølgelig opbygges hvert enkelt land igen af et stort antal lokale kredsløb, der igen kan opløses helt ned til den enkelte families dynamiske lokalkredsløb.

Det som regulerer vekselvirkningen mellem alle disse små og store kredsløb er alt det, som holder styr på samfundsordenen: Etablerede institutioner, love og bekendtgørelser, bureaukratisk administration, tradition, etik og moral, penge og kredit, skik og brug, religion og ideologi, osv. osv.

Intet af det nævnte er uforandret over lange tidsrum, men det hele ændrer sig som regel gradvist og for en kortfristet betragtning umærkeligt. For hver enkelt delsystem gælder det, at de ydre omstændigheder, der skabes af andre delsystemer, ændrer sig i tiden, og der må ske en *tilpasning* til de ændrede betingelser.

Tilpasningen kan volde vanskeligheder, fordi reguléringsfunktionerne undervejs bliver belastet til det yderste af deres funktionsområde eller derudover. *Kriser* kan opstå og kriser kan føre til katastrofer – store eller små. Institutioner, firmaer, lande, byer, havne kan blomstre og kan blomstre af. Goder bliver til onder og under kan blive til goder.

Priser og pristal

En af reguléringsmekanismene i samfundet er naturligvis prisdannelsen på forbrugsgoder ved udbud-efterspørgsmekanismen og en tilsvarende lokalregulering af forbruget ved pengemængde – inflation – pristal sammenspil.

Mens man over for høns, køer og grise ikke har nogen særlig betænkelsighed ved at lade markedsmekanismene bestemme besætningernes størrelse, så har man allerede tidligt i historien haft betydelige hæmninger over for at lade menneskelig arbejdskraft sulte ihjel, fordi der ikke var brug for den. I en videre udvikling af den humanitære indstilling indførte man i sin tid en pristalsregulering af understøttelser og løn-

ninger, således at alle fik et tillæg, er gjorde at selv de fattigste kunne få dækket deres basisbehov for livets opretholdelse.

Men som velstanden i samfundet steg, så forskød også opfattelsen af »basisbehov« sig. Rugbrød, havregryn, margarine og kartofler gjorde det ikke længere, og gradvis forskød pristalsregulering og understøttelsespolitik sig henimod at være instrumenter, der skulle sørge for, at alle lønmodtagere og alle understøttede aldrig på noget punkt behøvede at give afkald på et forbrug af noget, de engang havde fået adgang til. Fra at være en nyttig og funktionelt uskadelig korrektion til prismekanismen for arbejdsmarkedet, udvikler systemet sig gradvist henimod at blive en totalforgiftning af prisdannelsesmekanismen. Ved at tilstræbe det umulige – nemlig at alle kan bibeholde deres forbrug også under en faktisk knaphedstilstand – bliver det oprindelige, sociale formål forspillet, og den totale pristalsregulering bliver til en inflationsfremmende foranstaltning med overvejende asocial virkning.

Nutidens krise

Verdens tilstand i øjeblikket kaldes en krise, og den kaldes en oliekrise eller en energikrise.

Absurd nok er det dog ikke sådan, at der egentlig mangler olie eller energi, det er nærmest *forventningen* om, at der engang vil blive mangel, som har skabt de politiske betingelser for at olieleverancer kan bruges som pressionsmiddel. Krisens årsager er nok dybere end de akute leveringsstop, der kan manipuleres frem.

Nogen enkelt årsag til krisen kan man næppe finde frem til. Der er nok mange forhold, der virker sammen. Skal man alligevel forsøge at pege på en hovedårsag, rammer man måske ikke så meget ved siden af, hvis man fremhæver vanskelighederne ved at få afviklet en superdynamisk periode i den vestlige økonomi, og tilpasse samfundsmechanismerne til et mere begrænset ekspansionsniveau.

For at forstå forholdet må man først forsøge at analysere de mekanismer, der formidlede den højkonjunktur, hvis *produktionsmirakel* er enestående i verdenshistorien med en enorm ekspansion i olieforbruget som et karakteristisk træk.

Hermed er det ikke sagt, at et så enormt olieforbrug var en nødvendig betingelse for de opnåede resultater i produktion og levefod; de kunne sikkert være nået med omkring en tredjedel af forbruget, men det ville have krævet en langsommere udviklingstakt og ville have stillet andre og i mange henseender større krav til teknikerne. Principielt er der naturligvis stadig mulighed for, at samfundsmonsteret kan udvikle sig i en mere energisparende retning, og det må det nødvendigvis gøre, men omstillingsprocessen giver problemer, og hvor meget produktion og velstand det kan lykkes os at redde os igennem med, det er spørgsmålet.

Oliens kredsløb

Oliens veje i det vestlige samfund i dettes blomstringsperiode er i høj grad betinget af, at vejene var banet af det britiske verdensriges herskerimperium og af USA's kapital- og teknologiimperium. Hvad enten man kan lide det eller ej, spiller de store multinationale olieselskaber en central rolle i kredsløbets funktion, og de enorme investeringer og de tilsvarende profitter er led i billedet, som man vanskeligt kan være foruden. Selvom man i dag mest hæfter sig ved det betænkellige i de magt- og kapitalkoncentrationer, som olieselskaberne repræsenterer, må man betænke, hvornår der mon var kommet skred i den industrielle ekspansion i Danmark, hvis de nødvendige oliemængder skulle være fremskaffet ved tosidede aftaler mellem et Dansk statsolieselskab og en Saudi-Arabisk olieminister.

Under olieepoken har meget skiftet natur. Oliekapitalen dirigeres ikke længere af magnater af Rockefeller-typen, men af pæne, veluddannede funktionær-direktører, der ikke selv ejer nogen stor del af værdierne, men administrerer for pensionskasser, forskningsfonds, fagforeningskasser og småaktionærer.

Opfattelsen af ejendomsretten til olien har også ændret sig. For ikke så særlig længe siden var det almindeligt antaget, at olien tilhørte den, der havde mod, kapital og viden til at hente den op. Grundejerne skulle blot have en lille erkendtlighed – undtagen måske netop i USA, hvor grudejernes ret tidligt slog igennem. Efterhånden som bevidstheden om de begrænsede oliereserver slog igennem, ændredes opfattelsen derhen, at olien tilhører den nation, hvis folk har været snu nok til at slå sig ned på det overliggende eller nærmest liggende stykke af jordskorpen.

Det mest logiske syn, at olien tilhører menneskeheden og bør administreres i FN-regi, har meget lille chance for nogen sinde at slå igennem.

Under skiftende former og med skiftende etisk baggrund flød olien til Vestens industri, og hvor der kunne stables en infrastruktur på benene, hvor der var risikovillig kapital, viden og arbejdskraft, kobledes oliestrømmen til en industriel ekspansion, der gav produktion og velstand.

Know-how's kredsløb

Velstanden blev især fremtrædende i de lande, der var pionerer i den teknologiske udvikling, og det var frem for alt i USA.

Når velstanden kunne nå de højder, var det i stor udstrækning takket være en enorm dynamik i udviklingen af know-how. Man kunne i pionerlandene stadig udvikle nye »know-how-tunge« produkter, der kunne eksporteres til formidable priser, og arbejdskraften kunne udnyttes til stadig mere profitable job. Andre lande opnåede en stor forbedring i deres kårved at overtage den produktion, der var blevet for lidt lønsom for dem, der var forud i udviklingen. Teknologioverføring gjorde begge parter mere velhavende,

så længe som der stadig var nye og mere avancerede opgaver til den frigjorte arbejdskraft. Det var en dynamisk situation, der beroede på stadige nyudviklinger og på, at der var *ulige* betingelser for nyudvikling, så der stadig var mindre udviklede områder, hvor produkterne kunne afsættes, og hvor råstoffer og rå arbejdskraft kunne hentes for en billig penge.

Det var et dynamisk kredsløb, der skaffede alle profit. Lønmodtagerne fik lønprofit, kapitalen investeringsprofit, samfundet samfundsprofit igennem stigende skatter og afgifter og udvidet adgang til forbrugsgoder. Men dynamikken beroede på de store uligheder, som nødvendigvis måtte blive mindre som tiden gik, og på et eller andet tidspunkt måtte udviklingen tage moment, og det måtte give problemer.

En lang række af organisationer blev opbygget og vandt styrke i den dynamiske periode, og de var i stor udstrækning med til at formidle udviklingen samtidig med at de varetog egoistiske interesser for en bestemt gruppe i samfundet. Så længe ekspansionen varede, var der nok til alle, og hvis nogen fik lidt for meget, kom der måske lidt inflation, men det gjorde ikke så meget så længe det kun var *lidt*: men da udviklingen tabte fart, blev organisationernes magt en negativ faktor i udviklingen, der modvirkede alle anstrengelser for at aktivere de selvregulerende prisdannelsesfunktioner, og de blev derved en væsentlig faktor i en farlig inflatorisk udvikling.

Grænser for vækst

Det billede af krisens mekanik, der er forsøgt tegnet her, kan måske summeres op derhen, at de lokale kredsløb, der i en tidligere fase af udviklingen virkede sammen til at sætte produktion og omsætning i vejet, i den nuværende fase har tendens til at modvirke hinanden og gå i baglås, således at afmatningen bliver langt større end den behøvede at være – som om de »grænser for vækst«, som til sidst bliver sat af naturens begrænsede ressourcer gør sig gældende igennem politiske og psykologiske mekanismer længe før end en faktisk ressourceknaphed kan gøre sig gældende.

Hermann Kahn's visioner om 200 års fortsat fremgang for verden med stadig bedre levestandard for alle implicerede, er de da dømt som umulige?

Det er slet ikke sikkert, for der er tale om betragninger i helt forskellig skala i tid og i rum.

Stagnationen kan være en foretelse i den vestlige verden, som i mere globalt perspektiv er et intermezzo, medens funktionen som pionerområde i udviklingen skifter plads. Den menneskelige virketrang og lyst til højere levestandard må formodes at slå igennem på steder, hvor man er parat til at leve med den grad af brutalitet, vulgaritet og vitalitet, som ser ud til at være nødvendig i de første trin af en fase med hastig ekspansion.

Det vil være helt i overensstemmelse med hvad vi kender fra økologiske systemer. Når jordbunden er

udtømt for en slags mineraler, skifter væksterne karakter, og dyrelivet følger efter, og så er det andre steder vi skal søge efter noget, der ligner det gamle miljø.

Set fra et andet synspunkt er det en nok så banal variation over et kendt tema, der ofte har været spillet som »Untergang des Abendlandes« og »Decline and Fall« – men når det kommer til stykket har vi ingen garanti for, at historien ikke kan være ret banal – somme tider.

Henvisninger

Oliekrisens mekanisme er lidt mere udførligt gennemgået i J. Koefoed: Krise og Disharmonier. Orientering om Fremtidsforskning 1978, nr. 1. p. 35. (Kommentar til Thorkil Kristensens: Crisis and Disharmonies in the World Economy).

Den almene betydning i idedadannelserne i den irreversible termodynamik og i funktionen af komplekse og dynamiske systemer findes diskuteret i artikler og bøger af Nobelpriстиagerne Ilya Prigogine og Manfred Eigen og deres medarbejdere, jvf. f.eks. Steen Leleurs artikel.

Forrester, Jay W.

1971. *World Dynamics*. MIT Press. Cambridge Mass.

Kahn, Herman.

1978/79. *World Economic Development*. Westview Press, Boulder Colorado.

Leleur, Steen.

1979. Nogle vurderinger mht. fremtidsforskningens erkendelsesside. *Orientering om Fremtidsforskning*, nr. 3, s. 5.

Volterra, V..

1931. *Théorie mathématique de la lutte pour la vie*, Gautier Villars, Paris.

Resumé

Medens ligevægt i simple, fysiske systemer etablerer sig 'af sig selv', blot man venter længe nok, så beror den stabile funktion af komplekse, dynamiske systemer på at der er *kilder* for nødvendige tilførsler og *afløb* for produkter og fungerende *reguleringsmekanismer*, der inden for visse grænser regulerer og tilpasser systemets funktion.

Den nuværende krise kan i væsentlig grad hidrøre fra at en række funktioner i de vestlige samfund er kommet nær grænserne for deres fleksibilitet og at stagnation er en konsekvens, der ikke er til at komme udenom. Den menneskelige virketrang og driften mod højere produktion og højere levefod kan dog fortsat realisere sig, blot i andre dele af verden.

ENERGIFORSYNING PÅ KORTERE OG LÆNGERE SIGT

Torben Bo Jansen

1. Planlægningens grænser.

Siden begyndelsen af 70-erne – og specielt siden oliekrisen 1973/74 – har der hersket betydelig usikkerhed om udviklingen i energipriser, energiforsyning, energiforbrug osv. De senere års energiplanlægning og -politik er reaktioner på den større variation i påvirkningerne udefra af energisektoren.

På det teoretiske plan har forsøgene på at håndtere den større usikkerhed bl.a. fundet udtryk i principper om 'planlægning under usikkerhed' (Togsved 1979). I modsætning til traditionel planlægning, der baseres på antagelser om bestemte trends i påvirkningerne udefra, sigter 'planlægning under usikkerhed' mod valg af en optimal strategi på basis af antagelser om den maksimale variation i de eksogene faktorer. Det sker ved at specificere variationsmulighederne og de til hver mulighed svarende udviklingsforløb i energisektoren. Derefter formuleres enkeltstående tiltag eller forløbende strategier for, hvorledes givne mål opfyldes under hvert udviklingsforløb. Påvirkningsmuligheder og strategier kombineres i en matriks, der udfyldes ved at beregne økonomiske og andre konsekvenser af hver strategi under hvert udviklingsforløb. På denne måde bliver usikkerheden om påvirkningerne udefra 'oversat' til en usikkerhed om de enkelte strategiers konsekvenser, og for given optimum-definition kan den optimale strategi udvælges.

Usikre påvirkninger udefra af den danske energisektor er eksempelvis primære energikilders priser, teknologisk udvikling, forbrugsudvikling, nationale energikilders betydning samt økonomiske konjunkturer. De mulige variationer i disse påvirkninger specificeres og de hertil svarende udviklingsforløb i energisektoren frem til f.eks. år 2000 vurderes. Det offentlige kan øve indflydelse på forløbene gennem effektiviserings- og besparelsepolitikker, forsyningssikkerhedspolitikker samt koncessionspolitikker. Typiske målestokke for disse politikkers konsekvenser under de forskellige udviklingsforløb er drift- og samfundsøkonomisk effektivitet og virkningerne for beskæftigelse, betalingsbalance, forsyningssikkerhed, miljø samt energisektorens fleksibilitet. Inden for disse rammer kan konkrete projekter analyseres. Dansk naturgasdistribution er således et eksempel på en energiforsyningsspolitik, hvis drift- og samfundsøkonomiske effektivitet og øvrige virkninger ændres af ændringer i primære energikilders priser, forbrugsudvikling osv. En beregning af de mulige konsekvenser informerer

om bl.a. 'den værst tænkelige følge' og kan sammenlignes med tilsvarende beregninger af f.eks. en naturgasesports konsekvenser.

'Planlægning under usikkerhed' kan ses som planlæggerens intuitive reaktion på utilstrækkelig information om planlægningsgrundlaget. I stedet for at se bort fra usikkerheden om de eksogene faktorer gennemføres en analyse, således at usikkerheden genfindes i resultaterne. Derved tilpasses planlægningsmodellen på logisk modsigelsesfri måde til ændrede realiteter. Til gengæld forudsættes implicit, at planlægning er en egnet metode til håndtering af de ændrede realiteter. Dette til trods for at planmålene opfyldelse er blevet afhængig af instabile faktorer, der unddager sig direkte planlægning.

De underforståede forudsætninger om planlægnings anvendbarhed er udtryk for usikkerhed om planlægningens grænser og en heraf følgende usikkerhed om planlægningens politiske relevans. Planlægning og hertil knyttede konsekvensberegninger opfylder behovet for at koordinere mange enkeltbeslutninger i et stort projekt eller i en stor organisation. Planlægningsanalyserne resulterer i et beslutningsgrundlag for valg mellem forskellige koordineringsmuligheder. Det kan også udtrykkes på den måde, at planlægningsteknikkerne egner sig til løsning af logistiske opgaver. Fremgangsmåden giver til gengæld ingen sikkerhed for et fremtidsorienteret beslutningsgrundlag. Resultaterne kan – som PPII illustrerede – være forældet inden beregningerne er afsluttet.

Planlægningsmodeller af energisektoren er ikke i sig selv forkerte, men de begrænser beskrivelse og analyse på samme måde som de økonomiske teorier før Keynes indsnævrede opfattelserne af den offentlige sektors opgaver og virkninger. Planlægningens implicite forudsætning er, at energisektoren er et afgrænsset system med givne samfundsopgaver og at dette afgrænsede system skal optimeres som system. Efter Keynes kunne man spørge, om en planlægning under disse forudsætninger bidrager til løsning af de økonomiske problemer eller tværtimod forstærker dem. Således sker de investeringer, der er blevet samfunds- eller driftsøkonomisk rentable som følge af de pludselige energiprisstigninger, forud for og eventuelt på bekostning af de produktivitetsforøgende investeringer, der er nødvendige for at betale øgede energiomkostninger. Da de produktivitetsforøgende investeringer allerede stagnerede i de vestlige lande inden

oliekrisen, kan investeringer i energisektoren, som isoleret set er optimale, forstærke den økonomiske uligevægt i samfundet som helhed, fordi investeringerne sker i den »forkerte« rækkefølge.

En anden begrundelse for at stille det ovenaførte spørgsmål vedrører betalingsbalancen. I 30-erne forstærkedes den økonomiske krise af de enkelte landes forsøg på gennem nationale beskyttelsesforanstaltninger at løse egne beskæftigelsesproblemer på bekostning af andre landes eksportindustrier. De aktuelle forsøg på at afskaffe underskud på betalingsbalancen virker på samme måde. Det skyldes, at de rige OPEC-lande ikke selv kan bruge alle deres olieindtægter. De skal derfor nødvendigvis oparbejde et tilgodehavende i de olieimporterende lande. De enkelte olieimporterende lande kan kun 'eksportere' deres gæld til hinanden. Det løser ingen problemer. Det skaber kun problemer.

Begge eksempler peger på, at energiproblemerne økonomisk set består i at skabe nye investeringsmuligheder, der er attraktive for de rige OPEC-lande, og som skaber en produktion, der kan forrente lånene og dermed finansiere de øgede energiomkostninger. Alternativet til energiplanlægning består således i at klargøre, hvad det er man vil, og derefter undersøge om energiforsyningen er et velegnet og anvendbart middel til at opnå det, man vil. Det kunne f.eks. tænkes, at en naturgas-distribution til virksomheder, hvor det offentlige garanterede maksimumspriser under visse betingelser – og dermed fjernede virksomhedernes usikkerhed vedrørende energiforsyningen – ville løse energiproblemerne hurtigere og mere effektivt end det planlagte naturgasprojekt.

Energiplanlægningsmodellerne skaber ikke basis for at spørge *om* energiplanlægningen f.eks. virker økonomisk destabilisende eller at stille andre spørgsmål vedrørende planlægningens forudsætninger. Det er disse begrænsninger, der udgør planlægningens grænser.

2. Den interne selvudvikling.

Sociale systemer opfylder deres mål ved at udnytte deres aktivitetsgrundlag, og aktivitetsgrundlaget sætter grænser for målformulering. Store samfundsændringer kræver store ændringer i målene og skaber derfor et behov for fornyelse af aktivitetsgrundlaget. Dette behov er forskelligt fra de koordineringsinteresser, som planlægningen tilgodeser.

For alle sociale systemer gælder, at opfyldelsen af aktivitetsmål virker tilbage på aktivitetsgrundlaget. Tilbagevirkningens styrke og konsekvenser er forskellig fra system til system og fra et tidspunkt til et andet. Den vil typisk spille en større rolle for systemer, hvis overlevelse afhænger af målopfylден. I det omfang tilbagevirkningen fornyer aktivitetsgrundlaget, vil dette i sin tur muliggøre nye eller større aktivitetsmål. Opfyldelsen af disse virker igen tilbage på aktivitetsgrundlaget osv. Der finder med andre ord en gensidig

påvirkning sted mellem aktivitetsmål og aktivitetsgrundlag, som foranlediger en større eller mindre gendigt tilpasset fornyelse af såvel mål som grundlag. Det sociale system sættes på den måde i stand til gradvis at udvikle sig ud over sine hidtidige rammer. Denne interne selvudviklingsproces åbner systemet for kvalitative fornyelser i vekselspil med omgivelserne og kan sammenlignes med biologiske systemers genmutation.

Den interne selvudviklingsproces er en søge-og-finde proces. I en søge-og-finde proces ved man ikke på forhånd, hvorledes foreliggende problemer skal løses, men kun, hvilke konsekvenser 'noget' skal have for at være en løsning. Kan de specifiserede konsekvenser ikke opnås under de valgte forudsætninger, omformuleres problemet.

Sålænge ændringerne i omgivelserne præges af forbedringskrav – dvs. krav om at gøre mere af det hidtidige og at gøre det lidt bedre end hidtil – vil opfyldelse af de aktuelle aktivitetsmål afføde nye erfaringer og teknikker, der er direkte relevante for opfyldelsen af kommende aktivitetsmål. Det betinger en relativ effektiv intern selvudviklingsproces. Det var disse betingelser, som dominerede i 50-erne og 60-erne. 70-erne har derimod været præget af nye krav til aktivitetsmålene og til måden, hvorpå målene opfyldes. Den nødvendige fornyelse af aktivitetsgrundlaget har derfor ikke kunnet baseres på de erfaringer og teknikker, som de igangværende aktiviteter afkastede, men har tværtimod krævet nye former for viden og færdigheder ud over de hidtidige.

Det betyder for det første, at 70-ernes fornyelsesbehov kun kan opfyldes gennem en søge-og-finde proces og ikke gennem planlægning, da opgaven netop består i at overskride hidtidige erfaringer og hidtidige forudsætninger. Heraf følger for det andet, at planlægning ikke skaber et fremtidsorienteret beslutningsgrundlag under de nuværende betingelser. Planlægningen vil tværtimod tendere til at effektivisere udnyttelsen af det foreliggende aktivitetsgrundlag på bekostning af fornyelser. Det betyder for det tredie, at søge-og-finde processen skal styrkes i dag sammenlignet med 60-erne på en måde, der bryder inertien og tilbøjeligheden til at udskyde fornyelser. Den fjerde og sidste konsekvens er, at de kommende år bliver præget af en konflikt mellem kortsigtede interesser for at udnytte aktivitetsgrundlaget effektivt og mere langsigtede interesser for at forny det. Den politiske opgave – set i modsætning til analytiske eller tekniske – består derfor i at udvide eller nyformulere vilkårene for, hvorledes aktivitetsgrundlaget kan og ikke kan udnyttes, således at konflikten mellem kortsigtede og langsigtede interesser ophæves.

Set i lyset af disse principper kan planlægning af energiforsyningen i bedste fald tjene kortsigtede interesser og systematisere symptomerne på den ineffektive selvudvikling, men hverken opfylder langsigtede interesser eller behovet for nyformulering af vil-

kårene med henblik på at forene kortsigtede og langsigtede interesser. Forsøgene på at anvende planlægningsteknikker på 70-ernes problemer uden at gøre sig planlægningens grænser klart er derfor ikke blot uhensigtsmæssigt; det er i sig selv anledning til yderligere problemer, (Arne Jensen 1977).

Under henvisning til Ivan Rosenqvist har Jørgen Koefoed påpeget, at påstandene om råstofmangel bygger på misforståelse af det 'normale' selvforbedrende udviklingsforløb. Udgangspunktet er, at der ikke i fysisk forstand eksisterer en råstofmangel. Problemerne vedrører den koncentration, hvori råstofferne forekommer. Jo mindre koncentreret eller lødig en forekomst er, desto større investeringer – både i penge og i energi – kræver udnyttelsen. Dette krav betinger en selvdviklingsproces, hvor udnyttelsesteknologi og anvendelsesmåder forbedres i takt med forringelser af råstofforekomsternes kvalitet. På den måde udvides de forekomster, der er økonomisk profitable til at omfatte mindre lødige forekomster – herunder affald – i takt med øget forbrug.

Det er dette 'normale' udviklingsforløb, som olieforsyningen *ikke* har gennemløbet på grund af de faldende realpriser på olien. De lave oliepriser kanaliserede i stedet selvdviklingsprocessen i retning af at udnytte mere olie. Der er således kun en lille forskel mellem rige og fattige landes økonomiske udbytte (nationalprodukt) pr. indbygger af givet olieforbrug pr. indbygger, men desto større forskel i olieforbruget pr. indbygger (Koefoed 1979a). Det maksimale økonomiske udbytte af givet energiforbrug er lavere blandt lande med et stort energiforbrug pr. indbygger end blandt lande med et mindre energiforbrug pr. indbygger (Felix 1975).

Et iøjnefaldende udtryk for indretningen af samfundsøkonomien i Vesteuropa på rigelig og billig olieforsyning er flytningen af de industrielle vækstområder fra kulbæltet Ruhr-Midtengland til kystområder med gode transportfaciliteter – bl.a. Middelhavskysten og omkring Nordsøen (Bellini 1974). Omvendt er det tænkeligt, at 'normale' stigninger i olieproduktions-omkostningerne gennem 50- og 60-erne havde øget akraft-anvendelsen. Det havde affødt en væsentlig bedre akraft-teknologi end den foreliggende, en langsommere vækst i olieforbruget, en anden samfundsøkonomisk udvikling specielt i de vestlige lande osv. – dvs. ændringer, der havde foregrebet en oliekrisse.

Det 'unormale' udviklingsforløb for olieforsyningen bragtes til en afslutning, da væksten i billig producerbar og distribuerbar olie - især fra Mellemøsten – ikke længere kunne holde trit med væksten i det globale olieforbrug. Omkostningerne ved olieprospektering, boring, produktion og distribution er vokset i 70-erne samtidig med, at der ikke er gjort helt store oliefund siden 1968 (Mitchell 1979). Der er tale om omkostningsforøgelse af en betydelig størrelsesorden. F.eks. var investerings- og produktionsomkostnin-

gerne i 1979 \$ 7-12 pr. barrel i Nordsøen mod \$ 0,25-1,35 pr. barrel i de arabiske lande.

Da oliepriserne indtil begyndelsen af 70-erne afspejlede oliens lave produktions- og distributionsomkostninger sammenlignet med andre primære energikilders, kan omkostninger – og i næste omgang forbrugerpriser – vokse meget, inden prismekanismen betinger substitutioner. Denne træghed i omstillingen fremkalder politiske indgreb på nationalt og tværnationalt plan i prisdannelse, subsidier og afgifter, spekulationsmuligheder, nationalism osv., der altsammen bidrager til at øge usikkerheden om energisystems eksogene faktorer. F.eks. faldt realprisen på olien ca. 20% fra 1974 til 1978. Det fremkaldte en pludselig, stor prisstigning i 1978. Under disse betingelser er investeringer i olieproduktion, i substitutioner for olie og i besparelser blevet udskudt, så risikoen for oliemangel snarere er vokset end faldet (Mitchell 1979).

Indretningen af samfundsøkonomien i de vestlige lande på det 'unormale' udviklingsforløb kombineret med en efterspørgselsvækst, der hindrer en fortsættelse af dette forløb, er således skyld i den aktuelle usikkerhed. Som påpeget af Jørgen Koefoed betyder dette, at investeringer i f.eks. Nordsøolie for at begrænse afhængigheden af arabisk olie er tabte, hvis det lykkes at finde meget olie, da priserne så vil falde (Koefoed 1980).

3. Energiplanlægningens politiske relevans.

Indtil begyndelsen af 70-erne var der ikke brug for en energipolitik. Det var tilstrækkeligt, at de forskellige energiforsynings-selskaber planlagde en produktionsvækst svarende til den stabile vækst i forbruget. Da behovet for en energipolitik meldte sig, var planlæggerne derfor de nærmeste til at skabe et beslutningsgrundlag. Dette er dog ikke hele forklaringen på, at energiproblemerne betragtes som planlægningsproblemer. Den anden side af forklaringen er, at den intuitive politiske løsning på omstillings-problemerne er overordnet, central planlægning, der koordinerer eller erstatter de enkelte forsyningsselskabers planlægning. Uden et politisk ønske herom, havde planlæggerne næppe heller udviklet modeller baseret på symptomerne på ændrede udviklingsvilkår.

Det vigtigste krav til et energipolitiske beslutningsgrundlag er ikke analytisk perfektion, men energipolitiske relevans. Energiplanlægning ville være politisk relevant, hvis samfundet interne selvdviklingsprocess ikke spiller væsentlig rolle for energisystemets udvikling. I det tilfælde kunne omstillingen fremskyndes gennem isolerede indgreb i energisystemets aktivitetsmål. Foreliggende analyser understøtter imidlertid ikke en antagelse om, at energisystemets aktivitetsmål kan ændres isoleret. I det følgende referes nogle af disse analyseresultater.

For så vidt angår udnyttelsen af nye primære energikilder konstaterer Marchetti på grundlag af et studie

af de sidste 100 års udvikling, »that substitution has a certain internal dynamic largely independent from external factors like final reserves of a certain primary energy source«, og »that substitution proceeds at a very slow pace, let us say of the order of 100 years to go from 1 per cent to 50 per cent market-share« (Marchetti 1977, p. 352). Han konkluderer, at hverken solenergi eller fusionsenergi kan få væsentlig betydning inden år 2050. Hvis erfaringerne fra de sidste 100 års substitutioner også er gyldige for de næste 20-40 år, er a-kraft i den foreliggende form den eneste realistiske erstatning for olie.

Marchetti har også analyseret udviklingen i udnyttelses-effektiviteten målt i procent af den teoretisk mulige effektivitet. Det tager f.eks. 80 år at øge lampers effektivitet fra 1 pct. til 50 pct. og 160 år at øge den globale elektricitetsproduktionseffektivitet tilsvarende. »The analysis shows two things I think important. 'One is that the efficiency increases in time; the second that this increase is extremely regular. There is a kind of internal clock in the evolution of technology, and the existence of this internal clock again points towards a deep-seated and stable organization in the operation of the human system...« (Marchetti 1979, p. 195-196).

I overensstemmelse med Marchetti fremhæver Brookes om den mere generelle sammenhæng mellem nationalprodukt og energiforbrug, »that increasing GDP per capita was mainly due to the harnessing of more and more mechanical slaves per man in the shape of fuel consuming machines of one sort or another. This led to the conclusion that as a country moves from a primitive state to a state of fully industrialized development its per capita energy coefficient must fall from some very high initial value, asymptotically approaching unity, (Brookes 1977, p. 56-57). Sammenhængen mellem nationalprodukt og energiforbrug er således betinget af samfundets udviklingsstadie, og Brookes afer, at sammenhængen herudover udviser væsentlige nationale særtræk.

Mens Brookes analyserer 22 landes udvikling over en årrække, har Millendorfer og Gaspari foretaget en meget detaljeret global analyse på et enkelt tidspunkt af forholdet mellem udviklingsstadie og nationalprodukt/energiforbrug pr. indbygger. Et lands udviklingsstadie specificeres i to led. For det første besidder lande med samme sociale og kulturelle traditioner - f.eks. Nordvesteuropa og de angelsaksiske lande - en vis social effektivitet, der forklarer forskellen mellem disse lande og andre landegruppers nationalprodukt/energiforbrug pr. indbygger. For det andet besidder det enkelte land en større eller mindre informationssektor, og denne »immaterielle produktionsfaktors størrelse i forhold til energiforbruget forklarer forskellene inden for de enkelte landegrupper i nationaløkonomisk udbytte af et bestemt energiforbrug pr. indbygger« (Millendorfer og Gaspari 1971).

Samfundets energiudnyttelse og -udbytte forbedres

således løbende. Det sker imidlertid som en integreret del af den totale samfundsudvikling. Det vil derfor også være vanskeligt at fremskynde energisystemets udvikling i forhold til den øvrige samfundsudvikling gennem en overordnet økonomisk styring. I stedet kunne udviklingen som helhed søges fremskyndet ved at øge de samlede kapitalinvesteringer, men det er blevet vanskeligere efter olieprisstigningerne.

I USA er den gennemsnitlige vækstrate for produktiviteten pr. beskæftiget (målt i produktionens værditilvækst i faste priser) faldet i forhold til den gennemsnitlige vækstrate for kapitalinvesteringer pr. beskæftiget siden 1950-erne. Det samme er tilfældet i vesteuropæiske lande siden 1960-erne. Det betyder mindre, sålænge lave oliepriser sikrer en relativ stor værditilvækst i produktionen. Under de betingelser er en ren kvantitativ kapacitetsudvidelse både privat- og samfundsøkonomisk fordelagtig. I takt med olieprisstigningerne begrænses investeringsmidlerne og de fordelagtige investeringsmuligheder inden for produktionslivet.

Ifølge Voge kan det faldende produktivitetsudbytte af yderligere kapitalinvesteringer forklares af to simple antagelser. »Nous nous sommes placés dans l'hypothèse simplifiée où les travailleurs intellectuels auraient une productivité constante, celle des autres travailleurs croissant proportionnellement au capital moyen disponible par tête, en admettant aussi que les parts relatives du matériel et l'intellectuel dans le volume de production restent inchangées«. (Voge 1975, p. 365).

De to antagelser implicerer en »vækstlov« som for et givent antal beskæftigede F kan skrives

$$P = F_i - R_i^2$$

hvor 'P' repræsenterer materiel produktion og 'i' den gennemsnitlige produktivitet pr. beskæftiget - begge udtrykt ved værditilvæksten i produktionen i faste priser. 'R' repræsenterer den informationsproduktion, der er nødvendig for at øge produktiviteten 'i' én enhed (for given F), (Voge 1979, p. 3-4).

Det ses, at kapital-investeringer øger produktiviteten og derigenom den materielle produktion indtil $R_i/F = \frac{1}{2}$, hvorefter yderligere kapital-investeringer vil sænke den materielle produktion. Voge gør gældende, at USA og tilsvarende lande har nået eller næsten nået denne vækstgrænse.

Forudsat Voges »vækstlov«, der analogiserer produktionsprocessen med termodynamiske processer, er gyldig, kan de vestlige industrielandes udvikling i de kommende årtier få ét af følgende forløb:

- Økonomisk og derefter social tilbagegang, fordi de økonomiske problemer søger løst ved at øge 'i' gennem kapital-investeringer. Kapital-investeringerne, der skaber stadig større afvigelse fra ligevægtstilstanden $R_i/F = \frac{1}{2}$, sænker P. Forløbet eksemplificerer »planlægningens grænser«.
- Omstillingen til ligevægts- eller nulvækstsamfund, hvor lønmodtagernes gennemsnitlige købekraft,

investeringsniveauet og til sidst den gennemsnitlige produktivitet pr. beskæftiget stabiliseres i takt med ligevægtstilstanden $Ri/F = \frac{1}{2}$ tilnærmes og opretholdes. Ligevæktsamfonden repræsenterer i så fald ikke en utopi-forestilling, men en opretholdelse af det eksisterende industrisamfund.

- Overskridelse af de hidtidige grænser for produktionsvækst ved at sænke den informationsproduktion, der er nødvendig for at øge produktiviteten én enhed, dvs. sænke R. Det kan kun ske ved at decentralisere informationsstrukturen og opfylde koordineringsbehovene på anden måde. Betingelsen for fortsat vækst er derfor en fornyelse af industrisamfundets grundlæggende infrastruktur og dermed af samfundsformen, (Koefoed 1979b).

De referede analyser peger på meget stærke bånd mellem samfundets tekniske, sociale og økonomiske udvikling. Båndene sætter snævre grænser for de udviklingsmæssige konsekvenser af naturens eller politiske organers indgreb i den løbende aktivitet. Energisystemets udvikling kan ifølge disse resultater betragtes som en indlæringsproces. En overordnet energiplanlægning kan understøtte og korrigere »indlæringen«, men ikke direkte ændre denne »indlæringsevne«.

Marchetti har udtrykt det samme på følgende måde: »As so many of us tend to focus on the technological side of the energy problem and pretend to find there all causes, effects, and solutions, I have tried to redress the balance a little by overstressing the importance of the frame, and I would like to condense my observations in a warning: Don't forget the system, the system will not forget you.« (Marchetti 1979, p. 203).

4. Vished og uvished.

Energiomsætningen er præget af nutidig usikkerhed og uvisse fremtider. Usikkerheden er blevet betragtet som en trussel, der skal undertrykkes gennem stadig mere omfattende, centraliseret planlægning. Den indebærer imidlertid også større frihed i valg af fremtider. En sådan øget valgfrihed er dog kun ønskværdig, hvis den kan håndteres analytisk og politisk. Afgørende herfor er problemformuleringen.

En opfattelse af »noget« som et bestemt emne eller en bestemt ting er en påstand om, at tingen eller emnet er et eksempel på bestemte årsagsvirkningsforhold, dvs. en vished om nogle af de bånd eller begrænsninger, som det oplevede er underkastet. Hvis »noget« opleves som et æble, men pludselig svæver bort, har genkendelsen været fejlagtig: æbler er bl.a. defineret ved at være underkastet tyngdeloven. Et problem er en uvished om, hvorledes de begrænsninger, som et emne er underkastet, vil gøre sig gældende på et bestemt tidspunkt eller under bestemte betingelser, og problemet er løst, hvis der er skabt (tilnærmel-

sesvis) vished for, at begrænsningerne vil gøre sig gældende på en bestemt, ønsket måde.

En problemformulering er således en oplevelse af såvel vished som uvished: Identifikationen af emnet udtrykker en vished, mens oplevelsen af emnet som »problematisk« udtrykker en uvished (Jansen 1972). Hvis afgrænsningen af vished fra uvished er mangelfuld, vil det videre arbejde alene uddybe og forøge misforståelserne. Der er to typiske mangler ved problemformuleringer. Den ene er, at afgrænsning mellem uvished og vished sker vilkårligt, således at resultaterne også bliver vilkårlige i forhold til hensigten med at tage problemet op. Den anden mangel er, at uvisheden afgrænses på en sådan måde, at den er afhængig af visheden. Det medfører, at analyse-emnet ændres under analysen, således at alle analytiske følgeslutninger bliver illusoriske.

Det anførte begrunder følgende tre krav til en entydig problemformulering:

- 1) Specifikation af emnet, som utilfredsheden knytter sig til, ved egenskaber, der (a) afgrænses og identificerer emnet i forhold til andre emnetyper, og som (b) er uafhængige af egenskaberne specificeret under (2).
- 2) Specifikation af utilfredsheden, som emnet skaber, ved egenskaber, som emnet besidder, og som er anledning til uvished.
- 3) Specifikation af den form for vished om egenskaberne specificeret under (2), der ophæver utilfredsheden.

Et eksempel kan belyse de tre krav til problemformuleringen. I næsten 2000 år søgte matematikere at bevise, at den euklidiske geometris parallelpostulat ikke var et postulat, men en påstand, der kunne udledes af de fire øvrige postulater. Forsøgene skyldtes, at den omvendte påstand kan udledes, og at dette normalt indebærer, at påstanden selv også kan bevises. Der forelå med andre ord en uvished om parallelpostulatets beviselighed. Uvisheden affødte en lang række forsøg på at bevise, at en påstand om, at parallelle linier skærer hinanden, strider imod de øvrige fire postulater og derfor udelukkes af disse. I denne formulering er problemet uløseligt, fordi formuleringen underforstår, at parallelpostulatet er en egenskab, som den euklidiske geometri enten kan besidde eller mangle, mens uvisheden vedrører de egenskaber, der definerer den euklidiske geometri som emne. Problemet løstes først, da det formuleredes i formen: Er det muligt at definere en geometri ved et postulat om, at parallelle linier skærer hinanden, og den euklidiske geometris øvrige fire postulater. Det bekræftende svar på dette spørgsmål gik til gengæld i en helt anden retning end de oprindelige bevis-forsøg. Det udvidede den euklidiske plangeometri med en ny rumgeometri.

Den intuitive formulering af energiproblemerne specificerer emnet som et eller et antal samfund, uvisheden som forholdet mellem energiforsyning og -be-

hov over de næste 10-50 år og den ønskede form for vished som en gensidigt afbalanceret udvikling i udbud og efterspørgsel. En sådan formulering opfylder ikke kravet om, at emnet skal identificeres entydigt og uafhængigt af de egenskaber, der hersker uvished om. Grænsen mellem vished og uvished trækkes mellem et samfunds interne selvudviklings-processer, der forudsættes uændrede, og fejl eller forsinkelser i denne proces, der opstår fra tid til anden og kan afhjælpes gennem politiske indgreb. F.eks. skriver Häfele om IIASA's globale energianalyse: »An attempt to formulate long-term global energy-supply strategies has been undertaken. . . . The tool we have chosen is the writing of internally consistent scenarios: the greatest possible number of necessary conditions is identified and used to narrow down the scope of subjective judgement. . . . the scenarios are valued as guidelines toward conceivable energy futures and their outcomes as indicators and not as predictors. With the ordering forces of the market having lost much control, such guidelines are indispensable. This above all holds for the oil market,« (Häfele 1980, p. 19).

Når grænsen mellem vished og uvished trækkes som anført, begrænses analysen til en samfundsudvikling under de eksisterende – i den vestlige verden sen-industrielle – udviklingsvilkår. Det svarer til at analysere udviklingsmulighederne for Danmark i begyndelsen af 1800-tallet på grundlag af udviklingsvilkårene under Stavnsbåndet, der indførtes, fordi »Jorden vel i og for sig. . . . kunne give Overskud, men at dette Overskud ikke var større, end at det opslugtes af Skatterne. . . . Det var Bønderne, der gav Godset Værdi, drog Bønderne bort i større omfang, var Godset værdiløst«. (Falbe Hansen 1888, p. 3 og 6)

Den nødvendige udvidelse af analysen kan i formel henseende sammenlignes med omformuleringen af parallelpostulatproblemet fra afdækning af konsekvenser inden for den euklidiske geometri til konstruktion af en ny geometri, (Witt-Hansen 1963). Prognostiske scenarier for et videreudviklet industri-samfund skal erstattes af kontrafaktiske scenarier for et i sig selv ukendt efterindustrielt samfund, (Andur Petersen 1978).

De i sidste afsnit refererede analyser viser, at der i og for sig ikke hersker større uvished om energiforsyning og -udnyttelse, når analysen begrænses til det foreliggende samfunds-»system«. Til gengæld peger specielt Voges resultater på stor uvished om samfunds-»systemernes« fremtider. Den iøjnefaldende parallel til Voges resultater er Marx's beskrivelse af overgangen fra før-kapitalistisk til kapitalistisk samfundsproduktion. Kernen i Marx's analyse er en historisk udviklingsproces, der analytisk kan udtrykkes i form af en udvidelse af varebegrebet til at omfatte arbejdskraft til forklaring af merværdi og kapitalakumulation som en følge af differencen mellem arbejdskraftens købspris og den producerede vares salgspris. Voges resultater kunne indfortolkes i et marxistisk ana-

lyseskema på den måde, at den aktuelle form for centraliseret informations-produktion har antaget et omfang, hvor merværdien reduceres mere end den forøges af yderligere information. Overvindelse af denne vækstgrænse kan udtrykkes analytisk i form af en udvidelse af kapitalbegrebet til at omfatte medarbejdernes viden og erfaringer, dvs. at »simpel« kapitalop-hobning erstattes af akumulering og forrentning af denne viden og erfaring. Det er ikke det samme som medejendomsret over kapitalen, men indebærer, at rådighed over produktions-know-how giver adgang til kapital på samme måde som kapital idag giver adgang til produktionsmidler. Voges resultater kan selvsagt indfortolkes i andre analyseskemaer. Den anførte forklaring tjener alene til at illustrere konsekvenserne af Voges resultater for formuleringen af energiproblemerne.

Et minimumskrav til formulering af energiproblemerne på længere sigt er, at de i det mindste ikke udelukker samfundsændringer over de næste 50 år af samme størrelsesorden som i de foregående 100 år, f.eks. at industriproduktionen og den hertil knyttede serviceindustri som den kendes idag præsterer en mangedoblet værditilvækst med under 10% af den nuværende arbejdsstyrke. Det svarer til den udvikling, som landbruget har gennemløbet i de sidste 100 år. Sådanne analyser skal ikke nødvendigvis sigte mod specifikke politiske beslutninger. De skal nedbryde de mentale begrænsninger, som Jørgen Koefoed fremhæver i sit billede af oliekrisens mekanik: » . . . de 'grænser for vækst', der til sidst bliver sat af naturens begrænsede ressourcer, gør sig gældende igennem politiske og psykologiske mekanismer længe før end en faktisk ressourceknaphed kan gøre sig gældende. . . . Den menneskelige virketrang og lyst til højere leve-standard må formodes at slå igennem på de steder, hvor man er parat til at leve med den grad af brutalitet, vulgaritet og vitalitet, som ser ud til at være nødvendig i de første trin efter en fase med hastig eks-pansion«, (Koefoed 1979b, p. 21).

5. Kybernetiske principper.

Energianalyser accentuerer to generelle analyseproblemer. Det ene er en følge af sociale systemers interne selvudvikling. Selvudviklingen indebærer, at udviklingen ikke kan beskrives alene som ændringer i systemet, men også omfatter ændringer af systemet. Udviklingsanalysen skal behandle begge typer af ændringer som uvis. Analysemnet kan derfor ikke identificeres ved disse eller hine system-karakteristiske begrænsninger for den ene eller anden type ændringer. Det betyder ikke, at »naturens love« ikke gælder for systemudvikling, men at nogle begrænsninger er relevante på ét udviklingsstadie og andre på et andet stade. Hvert stade (tid) har med andre ord sin kvalitet. En analyse, der identificerer emnet ved en bestemt – aktuel eller utopisk – system-kvalitet har fastlagt udviklingsanalysens resultater på forhånd.

Dette kvalitets-problem har især præget de økonomiske analyser af energiproblemerne. Allokeringsorienterede økonomiske teorier, der betragter energien som en vare, der kan repræsenteres i analysen ved sin (markeds)pris, beskriver ændringer i systemet med givne vækstbegrensninger. Vækstorienteerde økonomiske teorier, der betragter energien som en del af samfundets infrastruktur, der repræsenteres i analysen ved vilkårene for (markeds)prisdannelsen, beskriver ændringer af systemer med givne fordelingsbegrensninger.

Man kan altid forklare den fortidige udvikling ved hjælp af teorier om det eksisterende samfundssystem – det være sig af den ene eller anden type. Det eksisterende system omfatter alle de egenskaber, der er udviklet i fortiden og som fortsat er relevante. Alle disse egenskaber indgår »fra starten« i teorien, og udviklingen kan derfor forklares uden at indføre nye kvaliteter. Enhver fortidig kvalitativ fornyelse kan i tilbageblick beskrives som en kvantitativ vækst fra meget lav værdi.

De udviklingsmuligheder, der kan analyseres på grundlag af »fortids-forklarendes« økonomiske modeller, er konsekvenser af strømme mellem nutidige anvendelsesformer – f.eks. mellem forbrug og investeringer. Sådanne analyser kan hverken forudsige eller afdække ændringer i produktionsvilkårene – f.eks. nydefinition af investeringsbegrebet og udvidelse af forbrugsbegrebet til at omfatte investeringer i hidtidig forstand. Det er disse kvalitative fornyelser, der adskiller udvikling fra virkemåde, fremtid fra tid, og som udelukker, at allokerings- og vækstteorier kan forenes i en enkelt kvantitativ udviklingsanalyse (Redmond 1979).

Det andet generelle analyseproblem vedrører sociale systemers kompleksitet. Enhver videnskabelig beskrivelse er en generalisering, der fremhæver nogle egenskaber på bekostning af andre. Derigennem reduceres »unødvendig« kompleksitet og midlet hertil er »overforenklede model systemer«, (Platt 1966, p. 24). Naturvidenskaben i snæver forstand har – i det mindste på de indledende stadier i teori-udviklingen – kunnet konstruere overforenklede eller ideale systemer ved at fastlægge systemets grænsebetingelser og på det grundlag kortlægge årsags-virknings-relationer af interesse. Da sociale systemer udvikles i et vekselspil med omgivelserne, og udviklingen ændrer de forskellige påvirkningsformers relevans for systemet, er en tilsvarende forenkling ikke anvendbar i udviklingsanalyser. Istedet er systembegrebet søgt udvidet til at omfatte de relevante omgivelser. Dette gælder f.eks. system-dynamiske modeller, hvor »systemafgrænsningen foretages på en sådan måde, at alle relationer, som er af betydning for den systemadfærd, der undersøges, er indeholdt i systemet«, (Dervimots m.fl. 1973, p. 24). Udvidelsen medfører, at de »betydningsfulde« relationer forudsættes kvalitativt uændrede og dermed bliver kvalitetsproblemet uløseligt.

Kompleksitets- og kvalitetsproblemerne er tegn på, at de grundlæggende antagelser om, hvorledes »naturens love« sætter grænser for sociale systemers udvikling, ikke er tilstrækkeligt aklarede. Relevante afgrænsninger mellem vished og uvished om sociale systemers udvikling må baseres på antagelser om, hvorledes naturens begrænsninger på én gang kan betragtes som givne og konstante vilkår for udviklingen og som vilkår, hvis betydning ændres af udviklingen. I mangel af klare antagelser bliver problemformuleringen baseret på enten intuitive eller traditionelle naturvidenskabelige forestillinger til trods for disse forestillingers iøjnefaldende utilstrækkelighed. Alternativet er en eller flere grundlæggende antagelser, der – på samme måde som de termodynamiske love – ikke i sig selv er empirisk efterprøvelige, men tjener som fundament for empiriske undersøgelser.

Der foreligger enkelte tilløb til formulering af grundlæggende antagelser vedrørende sociale systemers udvikling, bl.a. en kritiseret direkte analogering af information med negationen af entropi, (Koefoed 1975). En anden mulighed består i at formulere antagelserne som kybernetiske principper, idet kybernetikken beskæftiger sig med systemers selvudvikling. To kybernetiske antagelser, der kunne lægges til grund for udviklingsanalyser, er følgende:

1. Ethvert homeostatisk virkende system i skiftende omgivelser udvikler stadigt mere omfattende og komplekse stabilitets-tilstande.
2. Der er ingen form for afhængighed mellem omgivelser og et homeostatisk virkende system, som systemet ikke kan underlægge intern kontrol – forudsat det har tilstrækkelig tid og forskelligartethed til rådighed.

Kybernetikken analyserer systemer, der forudsætningsvis er åbne for energi. Ashby definerer således kybernetikken som »the study of systems that are open to energy but closed to information and control«, (Ashby 1956, p. 4). Kybernetikken principper kunne af den grund forekomme uegnede for analyse af begrænsninger i energiforsyningen. Samfunds-politisk set er mængden af energi imidlertid praktisk ubegrænset, men den findes især de forkerte steder, på de forkerte tidspunkter og i de forkerte former. Samfunds energiproblemer består derfor i at koordinere energiforekomst og anvendelse i tid, rum og form, og dette er et kybernetisk problem.

Antagelserne, der ikke skal behandles særskilt her, sammenfatter – og forenkler – Ashbys analyse af selvregulerende systemers tilpasningsmekanismer. Ashby konkluderer bl.a.: »In other words, every single-valued operation tends to select forms that are peculiarly able to resist its change-inducing action. In simple systems this fact is almost truistic, in complex systems anything but. And when it occurs on the really grand scale, on a system with millions of variables and over millions of years, then the states selected are likely to

be truly remarkable and to show, among their parts, a marked co-ordination tending to make them immune to the operation. The development of life on earth must thus *not* be seen as something remarkable. On the contrary, it was inevitable in the sense that if a system as large as the surface of the earth, basically polystable, is kept gently simmering dynamically for five thousand million years, then nothing short of a miracle could keep the system away from those states in which the variables are aggregated into intensely self-preserving forms», (Ashby 1960, p. 233).

Antigelserne begrunder en opdeling af udviklingsanalyser i to led. Det første led skal afdække og eventuelt ændre systemets homeostatiske virkemåde, mens det andet led skal afdække og eventuelt ændre det homeostatisk virkende systems udviklingsbane. Det kan også udtrykkes på den måde, at det første led skal sikre, at systemet løser et bestemt problem homeostatisk, og det andet led skal sikre, at den homeostatiske virkemåde resulterer i den ønskede form for vished på længere sigt.

Undersøgelsens første led vedrører systemets samvirke med foreliggende omgivelser, dvs. at emnet identificeres som et system, hvis aktivitetsgrundlag kun ændres som en funktion af tiden. Uvisheden angår udvalgte – såkaldte essentielle – kvaliteters stabilitet, og den ønskede vished kan udtrykkes i form af bestemte variationsgrænser for de pågældende kvaliteter. Analyseproblemet kan således formuleres entydigt, og det formulerede problem kræver ikke en kortlægning af alle årsags-virkningsrelationer mellem system og omgivelser. Det er tilstrækkeligt at undersøge betingelserne for homeostatisk virkemåde, dvs. (1) om instabilitet i de essentielle kvaliteter er nødvendige og tilstrækkelige betingelser for ændringer i aktivitetsmål og -delmål og (2) om aktivitetsgrundlaget skaber tilstrækkelige muligheder for variation i aktivitetsmål set i forhold til variationen i påvirkninger udefra. Til disse strukturelle betingelser føjer sig (3) betingelser vedrørende transmissionshastigheder og -kapacitet. En sådan undersøgelse kan vise, om systemet er i stand til at skabe den ønskede vished og hvilke forandringer, der eventuelt er påkrævede for at opnå den ønskede vished.

Emnet for det andet led i analysen er et system, der opretholder essentielle kvaliteter inden for fastlagte variationsgrænser, men kan fastlægge ønskede variationsgrænser. Analysen gennemføres ved dels at spekskabe vished for, er, at systemet ikke blot kan opretholde essentielle kvaliteter inden for observerede variationsgrænser, men kan fastlægge ændrede variationsgrænser. Analysen gennemføres ved dels at specificere den udviklingsbane, der skal skabes vished for, dels betingelserne for at denne udviklingsbane følges. Det førstnævnte sker med udgangspunkt i en identifikation af den virkelighed, som udviklingen skal foregå i. Den kendetegnes ved de universelle (el-

ler for analyseperioden invariante) vilkår, som naturen fastlægger for opfyldelsen af de essentielle kvaliteter. På dette grundlag kan den udvikling af systemets aktivitetsgrund, der formindsker betydningen af de angivne vilkår, specificeres i abstrakt form. De specificerede krav kombineres med eventuelle andre krav i en vektor-beskrevelse. Sættet af alle de værdier, som vektoren kan antage, udgør under ét det udviklingsrum, der står åbent for systemet for så vidt angår den foreliggende analyse, og identifierer på den måde analyseemnet som en konsekvens af den foreliggende homeostatiske virkemåde. Tilsidst udarbejdes teknikker til beskrivelse eller beregning af systemets position i det angivne udviklingsrum.

Den nødvendige betingelse for at realisere den fastlagde udviklingsbane inden for det angivne udviklingsrum er en sekundær regulerings-sløjfe. Denne regulerings-sløjfe skal fastholde en igangværende udvikling, hvis og kun hvis den er i overensstemmelse med den fastlagte bane. Er dette ikke tilfældet, skal regulerings-sløjfen ændre de interne vilkår for opretholdelse af de essentielle kvaliteter, således at andre aktivitetsmål end de hidtidige bliver stabilitets-skabende. Denne regulerings-sløjfe vil også korrigere for de ændringer i vilkår, der skyldes forandringer i omgivelserne. Den sekundære regulerings-sløjfe er tilstrækkelig til at skabe vished for en udvikling i den fastlagte retning. En fremskyndelse af denne udvikling kræver tillige retningslinier for, hvorledes vilkårene i systemet skal ændres. Sådanne retningslinier kan opstilles ved at simulere systemets udvikling under forskellige vilkårs-ændringer ved hjælp af en model, der beskriver vilkårenes – og ikke aktivitetsmålenes – gensidige betydning, (Høgh 1977, 1979).

Sammenlignet med indarbejdede planlægningsteknikker og veludviklede globale in- og output modeller er de her opstillede kybernetiske principper både meget abstrakte og meget ufuldstændige. Sigtet har været at vise, at problemformulering på grundlag af kybernetiske principper ikke begrænser udviklingsanalyser på samme måde som intuitive problemformuleringer. I den forstand er de kybernetiske principper én indgang til løsning af »... et af de væsentligste erkendelsesteoretiske problemer i fremtidsforskningen: Modsigelsen mellem de årsags-orienterede forklaringsmodeller, som videnskabelige forudsigelser bygger på, og de mål-orienterede forklaringsmodeller, der er grundlaget for beslutningstagen. Da fremtidsforskning både omfatter forudsigelses og -mål-orienterede aspekter, er udformning af forklaringsmodeller en central teoretisk opgave for fremtidsforskerne, men én som næsten alle ser bort fra«, (Linstone 1976).

6. Energipolitiske opgaver.

Den foregående fremstilling kan sammenfattes i følgende punkter:

- 1) Der er i 70-erne opstået et behov for en energipolitik, idet usikkerheden om energiforsyning og -forbrug er symptomer på, at et »unormalt« udviklingsforløb for olieforsyningen ikke kan fortsætte. Det stiller samfundet overfor omstillingskrav. Opfyldelsen af disse krav er en politisk opgave.
- 2) Energiproblemerne på kortere sigt – 10-15 år – kan hverken analytisk eller politisk håndteres som planlægningsproblemer. Planlægningsmodeller kan ikke inddrage vekselspillet mellem opfyldelse af planmål og ændringer i forudsætningerne for planlægningen. Stærke bånd mellem samfundets tekniske, sociale og økonomiske udvikling begrænser også virkningerne af indgreb i energisektoren alene.
- 3) Energiproblemerne på længere sigt – ca. 50 år – kan ikke formuleres som energiproblemer i nævner forstand, da uvisheden i dette tilfælde i mindre grad knytter sig til energiforsyningen og i højere grad til mulighederne for grundlæggende samfundsændringer. Relevante analyser skal derfor i det mindste inddrage udviklingsmuligheder af samme størrelsesorden som de, der har fundet sted i løbet af de sidste 100 år.
- 4) Energiproblemer kan analyseres og søges løst i en to trins proces baseret på kybernetiske principper. Det første led består i at opnå betydningen af den aktuelle usikkerhed ved at skabe betingelser for en homeostatisk virkemåde. Det andet led består i at skabe de vilkår for produktion og øvrige samfundsliv, der udvikler energisektoren i ønsket retning.

Samfundet kan anskues som en indretning, der formindsker individets afhængighed af naturens lurer – herunder ved at give individet rådighed over energimængder, som det ikke kunne opnå rådighed over alene. Samfundets essentielle kvalitet i energimæssig henseende kan ud fra denne betragtningsmåde defineres som den energimængde, som individet kan bytte sig til for given arbejdsmængde – f.eks. en times eller en dags arbejde. Jo større energimængde individet kan tilbytte sig, desto længere har samfundet fjernet individet fra arbejdsdyrets situation, (Jansen 1979).

I 50- og 60-erne foranledigede påvirkninger udefra en stabil forbedring af bytteforholdet mellem energi og arbejde, og de samme omgivelser skabte instabilitet og forringet bytteforhold i 70-erne. Samfundet virker med andre ord ikke – eller kun i ringe grad – homeostatisk på energiområdet. Variation i påvirkningerne udefra er kun i begrænset omfang blevet imødegået af ændringer i aktivitetsmål og -delmål. Det skyldes, at ændringerne i aktivitetsmål primært skal ske på forbruger-niveau, men energisektoren er ikke indrettet til at give forbrugerne mange muligheder for at opfylde samme hensigt. Forbrugerens muligheder har i hovedsagen været begrænset til energibesparelser, som sjældent i sig selv øger forbrugerens handlefrihed

og oftest blot forhaler yderligere forringelse af bytteforholdet mellem energi og arbejde. Det offentliges bestræbelser har først og fremmest sigtet mod at genskabe forsyningssikkerhed.

Den eksisterende energisektor er karakteriseret ved en høj integration mellem bestemte primære energikilder og bestemte slutanvendelser, således at sektoren er opspaltet i et antal relativt uafhængige delsystemer. Opspaltingen er sket for at opnå driftøkonomiske fordele gennem centraliseret stordrift og specialiseret distribution og anvendelse. Den deraf følgende suboptimering af energisektoren som helhed var uden betydning, sålænge olien var billig og rigelig. Det er denne indretning af energisektoren, der hindrer en homeostatisk virkemåde. Den begrænser forbrugerne muligheder for at opfylde samme hensigt på forskellige måder, og det offentlige nødsages til at skabe forsyningssikkerhed for hver enkelt primær energikilde.

Det anførte indebærer, at bytteforholdet mellem energi og arbejde kunne stabiliseres ved at skabe vilkår for nye måder at udnytte den eksisterende energisektor, som

- eliminerer aktuel suboptimering både for så vidt angår energi- som kapitaludnyttelse,
- sætte forbrugerne i stand til at opfylde samme hensigt på mange måder, som hver for sig har forskellige fordele og mangler – prismæssige, komfort, tidsmæssige osv.
- skabe mulighed for at substituere primære energikilder indbyrdes.

Det første led i energipolitikken består derfor i at finde eller opfinde tiltag, som

- 1) ændrer energisektoren som system ved at skabe nye sammenkoblinger inden for sektoren og mellem sektoren og øvrige samfund (forbruger/producent) – set i modsætning til centraliseret energiplanlægning.
- 2) udgør konkrete ændringer og inddrager ny teknik eller teknologi i energisektoren – set i modsætning til såvel politisk-økonomiske indgreb som forsøg på at forøge den eksisterende energitekniks udviklingshastighed,
- 3) begrænse antallet af opgaver, som kun kan løses ved hjælp af en enkelt primær energikilde.

Et tiltag, der opfylder disse krav, er en integration af energisektorens delsystemer på såvel fysisk niveau ved at etablere energiproduktion hos hver enkelt forbruger som på informationsniveauet ved at udnytte mikrodatamater til koordinering af produktion og forbrug.

På det fysiske eller energimæssige niveau skal de forskellige energiformer kunne substituere hinanden. Eksisterende hindringer for vilkårlig slutanvendelse af bestemt primær energikilde og for bestemt slutanvendelse baseret på vilkårlig primær energikilde skal ophæves. En sådan sammenknytning sker i praksis ved

at etablere produktion af én energiform hos forbrugeren på basis af en anden energiform – herunder også energiformer, som ikke hidtil er anvendt. Derved sænkes såvel kapacitetsbehov – med kapitalbesparelser til følge – som transmissionsbehovet og dermed transmissionstab.

Hvis integrationen på det fysiske niveau skal øge effektiviteten, er det nødvendigt at etablere et nyt informationssystem, der kan koordinere produktion og forbrug af den integrerede – og i den forstand større – energimængde. Det eksisterende informationssystem opfylder de relativt uafhængige delsystemers behov for prognoser og planlægning af en centraliseret produktion og distribution til indbyrdes uafhængige forbrugere. Det ny informationssystem skal udvide og ikke erstatte det hidtidige. Det skal skabe basis for koordinering af producenter – herunder de hidtidige storproducenter – og forbrugerens adfærd uden at at hindre den enkelte producent/forbruger i selv at afveje fordele og mangler ved forskellige aktivitetsmål. Informationssystemet skal med andre ord ophæve forskellen mellem centralisering og decentralisering.

De anførte krav til informationssystemet kan opfylles ved hjælp af mikrodatamater. Mikrodatamater skaber mulighed for at erstatte centraliseret, fejlgenerende og kostbare informationsstrømme med en decentraliseret, hierarkisk opbygget informationsstruktur baseret på små, specialiserede og billige mikrodatamater. Mikrodatamaterne kan udformes som en videreudvikling af den traditionelle el-måler og tilgøres individuelt for at opnå øjeblikkelige økonomiske besparelser. De indirekte virkninger af indførelse af en sådan ny teknologi i energisektoren vil være en reorganisering af energisektoren som system. Kombinationen af to hidtil adskilte teknologier – energiteknologi og informationsteknologi – vil åbne op for nye udviklingsmuligheder af den type, som ifølge Voge er påkrævet for at overskride industrialsamfundets vækstgrænse. De forskellige primære energikilder kan substituere hinanden i samme omfang som energisektoren integreres. Integration af energisektoren forenkler derfor betingelserne for forsyningssikkerhed til, at de enkelte primære energikilder ikke kan bortfalde samtidigt, og at begrænsninger i adgangen til én primær energikilde kan kompenseres af øget adgang til en anden – og eventuelt økonomisk mindre attraktiv – primær energikilde.

De direkte teknisk-økonomiske fordele ved en integration er belyst for enkelte aspekter, bl.a. decentraliseret kraft-varme produktion (Kofoed m.fl. 1979), reguleringssystemer for den offentlige elforsyning (New electric utility management and control systems 1979) og reguleringssystemer for store virksomheders energianvendelse (ISS Compuguard System 20X).

Når betingelserne for en homeostatisk virkemåde på energiområdet er tilvejebragt, kan energipolitikkens andet led tages op. Emnet er således ikke det eksisterende samfund eller de foreliggende energipro-

blemer, men »valget mellem fremtider« for et samfund, der er i stand til at opretholde bytteforholdet mellem energi og arbejde inden for fastlagde variationsgrænser.

Som anført består samfundets energiproblemer i at koordinere energiforsyning og anvendelse i tid, rum og form, mens energi i sig selv er praktisk ubegrænset. I analyser af samfundets udviklingsbane på længere sigt kan det være hensigtsmæssigt at præcisere energibegrebet. Energimængden i snæver naturvidenskabelig forstand er konstant og kan som sådan ikke forbruges. Det, der forbruges, er exergi. Exergi defineres som evnen til at udføre et arbejde under givne omverden-betingelser. Kernen i energibegrebet er, at det er en ulige vægt mellem en »energibærer« og omgivelserne, der kan udnyttes til at udføre et arbejde. Under udnyttelsen skabes en lige vægt mellem »energibærer« og omgivelser og energien er dermed forbrugt. Det betyder, at energien ikke er knyttet til et bestemt »stof« eller fænomen, men til forholdet mellem »stof« og fænomen og omgivelser. Eksempelvis besidder en frosset sø i 5°C omgivelser exergi. Mens køer er i varmemæssig lige vægt med den omgivne staldluft, kan køer og stald besidde energi i forhold til udtemperaturen.

I det følgende benyttes fortsat ordet energi, som en upræcis betegnelse for exergi.

De aktuelle energiproblemer kunne motivere et ønske om at begrænse samfundets afhængighed af fossile energikilder på længere sigt. Da effektiviteten af den samlede energiudnyttelse i de højt industrialiserede lande kun er ca. 5% af det teoretisk maksimale, (Marchetti 1979, p. 185), er det også teoretisk muligt at begrænse primærenergiforbruget meget.

På længere sigt forbedres bytteforholdet mellem energi og arbejde imidlertid først og fremmest ved at øge værdien af den enkeltes arbejdsresultater i forhold til omkostningerne ved råstof- og energiforsyning. Det kræver større vidensindhold i produkter og produktionsprocesser, herunder større vidensindhold i energiomsætnings-processer og energiproducter. Det vil i sin tur medføre, at energien udnyttes mere effektivt og således begrænse primærenergiforbruget i forhold til slutanvendelsen.

Betrages en forøgelse af vidensindholdet i produkter og produktionsprocesser som det generelle krav til samfundets udvikling på længere sigt, bliver det specifikke energipolitiske krav at øge vidensindholdet i energiomsætningen. Det er dette krav, der skal præciseres i en form, der kan danne basis for homeostatisk regulering.

De vilkår, som naturen fastlægger for energiomsætning, skaber behov for at flytte og omforme energi, for at bruge energi til at skabe energiforsyning og for at øge energimængden mere end aktivitetsniveauet – det sidstnævnte på grund af det uundgåelige energitab. Et øget vidensindhold i energiomsætningen kom-

mer til udtryk i, at disse tre behov reduceres. I takt med at dette sker begrænses også primærenergiforbruget i forhold til slutanvendelsen. Kravet til samfundets udviklingsbane består derfor i, at samfundets energiforstærknings-effekt skal forøges, dvs. at energiomsætningen og -udnyttelse skal vokse i forhold til energiomkostningerne ved at præstere den pågældende omsætning og udnyttelse (Slesser m.fl. 1979). Vilkårene for energisektorens interne selvdrevningsproces skal udformes, således at forøgelse af forstærknings-effekten er en funktion af tid.

Energiøkonomiske opgørelser som energiforstærknings-effekten er omdiskuterede, (Webb og Pearce 1975, Common 1976). Det er dog i alle tilfælde nødvendigt at fastlægge kravene til energisektorens udvikling på længere sigt i energiøkonomiske termer, da fastlæggelsen ellers ikke kan tjene som reguleringskriterium for ændring af bl.a. de økonomiske vilkår.

Samfundsudviklingen har hidtil fulgt en bane, som om udviklingen var reguleret af et krav om, at energiforsyningen skal vokse i hurtigere takt end forstærknings-effekten forringes. En stadig forbedring af energiforstærkningseffekten kræver derfor grundlæggende ændringer af vilkårene i samfundet i forhold til de aktuelle. Sådanne grundlæggende ændringer skal ses på baggrund af en homeostatisk virkemåde på energiområdet - f.eks. i kraft af den ovenomtalte integration - og tilsvarende store ændringer inden for samfundets øvrige sektorer, (Jansen 1980). De nødvendige ændringer af vilkårene for energiomsætninger, som isoleret betragtet ville være usandsynlige, kan derfor vise sig at være selvfølgelige led i en samlet udvikling - forudsat denne udvikling overhovedet startes.

REFERENCER:

Artiklen er blevet til på grundlag af drøftelser i Akademiet for Fremtidsforskning, fortrinsvis med Jørgen Koefoed.

Ashby, W. R.

1956 *Introduction to Cybernetics*, Methuen, London.
1960 *Design for a Brain*, Chapman & Hall, London.

Bellini, J.

1974 *Europe of regions in the 1980s*, *Futures*, Vol. 6 nr. 3, pp. 183-200.

Brooks, L. G.

1973 *Energy Resources and World Economy Growth*, Long Range Planning, Vol. 6, nr. 3, pp. 39-43.

1977 *Energy and Economy - A reply to Smil and Kuz*, Long Range Planning, Vol. 10, nr. 1, pp. 54-58.

Common, M.

1976 *The economics of energy analysis reconsidered*, *Energy Policy*, Vol. 4, nr. 2, pp. 158-165.

Devinitiotes, E. S. m.fl.

1973 *System dynamics*, bind 1, Driftsteknisk Institut, DTH.

Falbe-Hansen, V.

1888 *Stavnshånds-Løsningen og Landboreformerne*, Kbh.

Felix, F.

1975 *Energie, électricité et produit national brut*, *Futuribles*, No. 4, p. 230 ff.

Høgh, E.

1977 *Dialektik og den morfolologiske metode*, *Futuribles*, nr. 1-2, pp. 35-49.

1979 *En diskussion om ernæring. Et møde i Akademiet for Fremtidsforskning*, i T. B. Jansen (red): 80-erne. *Festskrift i anledning af Thorkil Kristensens 80års dag*, Teknisk Forlag, Kbh.

Häfele, W.

1980 *IIASA's World Regional Energy Modelling*, *Futures*, Vol. 12, nr. 1, pp. 18-34.

ISS Compuguard

v. a. *System 20X: Zentrale leittechnik mit voll dezentralisierter Intelligenz*.

Jansen, T. B.

1972 *Problem-oplevelse*, Dikon, Kbh.

1979 *Den sociale Forstærkningseffekt*, i T. B. Jansen (red): 80-erne. *Festskrift i anledning af Thorkil Kristensens 80års dag*, Teknisk Forlag, Kbh.

1980 *Udviklingen mod år 2000*, i T. B. Jansen og E. Høgh (red): *Fremtider Nu*, Teknisk Forlag, Kbh.

Jensen, A.

1977 *Planlægning i uvished*, *Futuriblerne*, nr. 1-2, pp. 10-13.

Koefoed, E. m.fl.

1979 *Naturgas i decentrale kraft-varme-værker*, Laboratoriet for Energiteknik, DTH.

Koefoed, J.

1975 *Fremtidens Verden (ann)*, *Orientering om Fremtidsforskning*, nr. 8, pp. 31-33.

1979a *Krise og Disharmonier*, *Orientering om Fremtidsforskning*, nr. 1, pp. 35-39.

1979b *Dynamik og ligevegt. På sporet af oliekrisens mekanik?* i T. B. Jansen (red): 80-erne. *Festskrift i anledning af Thorkil Kristensens 80års dag*, Teknisk Forlag, Kbh.

1980 *Hvad er Nordsøens gas og olie værd?* *Energiprisernes problematik*, *Orientering om Fremtidsforskning*, nr. 1, pp. 5-8.

Limestone, H.

1976 *Editorial note*, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 7, p. 259.

Marchetti, C.

1977 *Primary Energy Substitution Models: On the Interaction between Energy and Society*, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 10, pp. 345-356.

1979 *Energy Systems - The Broader Context*, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol. 14, pp. 191-203.

Millendorfer, H. og C. Gaspari

1971 *Immaterielle und Materielle Faktoren der Entwicklung*, *Zeitschrift für Nationalökonomie*, 31, pp. 81-120.

Mitchell, J.

1979 *Energy Crisis... again?* BP-group, London.

MIT

- 1979 New Electric Utility Management and Control Systems, Proceedings of Conference, MIT/Center for Energy Policy Research, Energy Laboratory.

Platt, J. R.

- 1966 The Step to Man, N.Y.

Petersen, A. S.

- 1978 Fremtidsforskning og videnskabelig repressivitet, i Strategi og Metodeproblemer ved tilrettelæggelse og udførelse af fremtids- og perspektivstudier, Forskningssekretariatet, pp. 69-101.

Redmond, W. H.

- 1979 Form, Change and Information, Futures, Vol. 11, pp. 402-411.

Rosenqvist, I. Th.

- 1980 Etter oss kommer overfloden? Futuriblerne, nr. 3-4.

Slesser, M. m.fl.

- 1979 Perspectives for Long-term Energy Policy, Futures, Vol. 11, pp. 44-55.

Togsved, T.

- 1979 Planlægning under usikkerhed, Symposium om Danmarks Energiproblemer.

Voge, J.

- 1975 Crise économique, production intellectuelle et technologies de la connaissance, L'Onde Electrique, No. 7, pp. 363-368.

- 1979 Information and Information technologies in Growth and Economic Crisis, Technological Forecasting and Social Change, Vol. 14, pp. 1-14.

Webb, M. og D. Pearce

- 1975 The economics of energy analysis, Energy Policy, Vol. 3, nr. 4, pp. 318-331.

Witt-Hansen, J.

- 1963 Om generalisation og generalisationsproblemer i de matematiske og historiske videnskaber, Kbh. universitets Festskrift.

**BIDRAG TIL EN BIBLIOGRAFI
TALT OG SKREVET AF JØRGEN KOEFOED
1970 - 1979***

Else Plejl

1970

- A band-structure model of the liquid state.
Mitteilungsblatt Chem. Ges., DDR, 17: 10 (1970)
Surface tension, surface enthalpy and liquid structure.
Proc. 4th Scan. Surf. Chem. Tylösand, 1970
Forskning og samfund i gennembruddets time.
Futuriblerne 1, nr. 5

1971

- Elektrokemisk termodynamik. Teorien for de jonspecifikke elektroder. Abstr. 14. Nord. Kemikermøde, Umeå, 1971, s. 26
(Bjørn Bergthorsson: Processer og termodynamikkens nulte hovedsætning. Dansk Kemi 52, 3, s. 47, 48)
debat s. 48
Mens håret vokser. Indlæg i Sletten, 2.3.71
Højskolens trivsel eller personalets. Sletten, 4.5.71
Barske følger af overproduktionen. Breve til Berlingske Tidende 30.7.71

1972

- Semi-statistical theory of the liquid-gas equilibrium.
Ber. Bunsenges. Physik. Chem. 76: 291 (1972). Chem. Abstr. vol. 76, 158997j
Reflections on the raison d'être of the university professors. Proc. 16th University Congress of the IAUPL Parma, 1972
Hvorfor er en professor. Nordisk Forum, 3, s. 137-43
Et helligt akademisk sammenhold er brudt. B.T. 19.1.72
Koral og polyp? Universitas Roskildensis på for- og Bagside. (jøk) Ingeniørens Ugeblad, nr. 16, 21.4.72
De etablerede middelmådigheder rotter sig sammen. Ing. Ugeblad, nr. 35
Emsige forskere til akademikerløn i stedet for fængselsbetjente. B.T. 25.8.72
Hvad skal vi med professorer? Kronik, Berlingske Tidende 25.9.72

- Videnskab og samvittighed. (Svar til Kaj Robert Svendsen Pol. 30.9.) Politiken 3.10.72
Kuvøsetrvsel på universiteterne. Ugeskrift for Læger 134/40. 2.10.72
An account of Denmark. Communication. Bulletin of I.A.U.P.L. (International Association of Univ. Professors and Lecturers.)

Økonomisk demokrati, erstatning for det nedlagte sygekassebureaucrati? B.T. 22.11.72

1973

- Aggregates of amphiphilic substances in dilute solutions. Micelles, filelles and spirelles. Proc. 5. Scand. Symp. Surf. Chem., Åbo 1973
The Community of Science, manu., marts 1973
Væsketilstanden. (kap. i kursuskompendium, Fys.kem. inst.), foredrag i Stockholm, nov. 1973
Mærkeligt, at der gik 15 år før nogen fandt på at gøre vrøvl. B.T. 19.3.73
Nationaliserede forskere. Kommentar i Politiken, 19.3.73
Roskilde, Aalborg, og alle de andre. B.T. 12.4.73
Energirådseri i søgelyset. Kommentar i Politiken, 27.5.73
Pas på alle de supmagere, der kalder sig forskere. B.T. 2.6.73
Letwhisky'en er der. (jøk) Bagsiden, Ingeniørens Ugeblad, 8.6.73
Glistrup gør megen uret mod mange tjenestemænd. B.T. 28.6.73
At vælge fremtid. Højrebladet, 30.6.73
Matematik for samfundet. Anmeldelse af Else og Jens Høyrups bog »Matematikken i samfundet«. Ingeniørens Ugeblad, nr. 27, 6.7.73
Matematik for kværlanter. Svar til Per Draminsky: »Matematik for professorer«. Ingeniørens Ugeblad, 27.7.73
Om den kunst at blæse og have mel i munden. Anmeldelse af Joachim Israels bog »Om kunsten at løfte sig op ved hårene og beholde barnet i badevandet«. Ingeniørens Ugeblad, nr. 36, 7.9.73
Den moderne fetischdyrkelse. Anmeldelse af Jørgen Dichs bog »Den herskende klasse«. Ingeniørens Ugeblad, nr. 48, 30.11.73
Fantasipriser. Læserbrev i Politiken, 21.12.73
Latterligt - hvis det ikke var så tragisk. Sletten 17.1.73
Lærernes patentrettigheder. Sletten, 21.2.73
Penge er noget man har, ikke noget man taler om. Sletten, 7.3.73

Vi styrer ikke mod afgrunden - vi hænger ude over den. Samtale og omtale ved Jens Ledgaard. Ingeniøren, nr. 51, 21.12.79.

1980

Energipolitik og tidsforsinkelse. Minikronik. Erhvervsbladet, 22.8.80.

Fumlegængeri. Ingeniøren, 14.3.80 (jøk)

Geogas ændrer perspektiverne for verdens energi. Ingeniøren 21.3.80.

Hvad er Nordsøens gas og olie værd? Orientering om Fremtidsforskning, nr. 2, 1980, s. 5.

MUSEN PÅ SMØRKLATTEN

På Teknisk Forlag er udkommet en samling af artikler fra tidsskriftet »Futuriblerne« 1969-79 under titlen *Fremtid er nu* – eller *Fremtider nu*, afhængigt af, hvordan man tyder typografien på bogens omslag.

I programartiklen fra første nummer, gengivet i bogen, skrev Arne Sørensen om fremtidsforskningen, at den ikke må ses blot som en sag for eksperter i lukkede laboratorier og studieceller, men som initiativ til og bidrag til fornyelsesprocesserne i samfundet, fra det lokale til det globale, og at Selskabets opgave er at modvirke det ellers uundgåelige teknokrati gennem en dialog mellem aktive borgere og eksperterne.

I en artikel i et af de første numre, »Om sociale innovationer«, stillede Arne Sørensen det spørgsmål, om revolutionernes tid er uigenkaldeligt forbi i vores del af verden. Revolutionsforventningerne fra forrige århundrede er blevet til en permanent forandringsproces langt mere revolutionerende, end Marx og hans elever har kunnet forestille sig, et klima for sociale innovationer – nyskabelser set som resultat af beslutninger, ikke som følge af økonomiske og sociologiske naturlove.

Sociale nyskabelser forekommer da også uafladelig – omend for det meste uafvidende, hvad angår de mennesker, der træffer beslutninger uden ganske at overskue konsekvenserne, og under udfoldelse af en umådelig gensidig gnavenhed, surhed og kritik. Det forholder sig med danskerne som med musen, der faldt i flødekanden og for ikke at drukne svømmede så energisk rundt hele natten, at den om morgenens sandt sig flydende på en stor smørklat. –

Artiklerne er skrevet af fagfolk fra forskellige områder: en fysiker, en politolog, en sociolog, en filosof, en kybernetiker osv. – men med udpræget tværfaglig holdning, og med samfundsfornyende – altså politisk – sigte. Afdøde professor Jørgen Koefoed, præsident for Akademiet for Fremtidsforskning, skriver om videnskabelige paradigmers – forståelsesrammers – foranderlighed og søger parallelen til samfundsforandringer, skred i værdioffattelserne, i variationerne i krystallers omdannelseshastighed under varmepåvirkning; det interessante er at finde præcis under hvilke omstændigheder en forandringsproces begynder at gøre om sig og gå meget hurtigt, og hvordan »mættningstidspunktet« indtræffer. Filosoffen Helmut Hansen søger at afgrænse en tværfaglig logik, altså lovmaessig tænkning, omkring energiproblemerne. Pædagogen Tage Møller søger elementerne i næerde-

mokratiske beslutningsprocesser. Politologen Erik Høgh påviser prognoseteknikkernes begrænsninger i politisk og organisatorisk planlægning. Kybernetikeren Erik Maaløe beskriver, hvordan det er muligt at styre udvælgelsen af de kriterier, der afgør valg mellem muligheder i en byplanlægning. Sociologen Torben Bo Jansen, formand for Selskabet for Fremtidsforskning, analyserer i to store og meget vægtige, men også vanskelige artikler, den politiske styringsproces i Danmark i 70'erne og udpeger en række valgmuligheder, som er bestemmende for udviklingen frem mod år 2000. Jansen beskriver problemerne inden for tre rammer: som velstandsproblemer (oprettholdelse af levestandard og forbrugervalg), velfærdsproblemer (ejendomsret over arbejdsresultater og velfærdsydelse) og demokratiproblemer (magtsprædning under fastholdelse af beslutningsevnen), og nøglen til konstruktiv behandling af samfundsanliggender er at slå bro over modsætningen mellem kortsigtede og langsigtede interesser. –

Arne Sørensen var en skør kugle og ubestrideligt genial. Han ville ikke slå sig til tåls med deterministisk logik og såkaldte økonomiske og andre »naturlove«, men var overbevist om, at mennesket er et væsen, som forandrer sig og kan træffe beslutninger, og at det kan nyte noget at udfordre fantasien. Da musen faldt i flødekanden, foldede den ikke hænderne og sank til bunds i from erkendelse af alle overlevelsesprognosernes deterministiske håbløshed. Den begyndte faktisk at svømme. Og se hvordan det gik. –

Bogen kan anbefales bl.a. samfundsdebattører og lærere i samfundsfag.

Helge Severinsen

Fremtider Nu. Udvalgte artikler fra Futuriblerne 1969-79, redigeret af Erik Høgh og Torben Bo Jansen (Selskabet for Fremtidsforskning). Teknisk Forlag 1980. 132 sider. Kr. 60,15.