



Forsyningssikkerhed for det danske energisystem frem til 1995

Christensen, P. Skjerk; Daub, J.; Dietrich, O. W.; Laut, P.

Publication date:
1978

Document Version
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):
Christensen, P. S., Daub, J., Dietrich, O. W., & Laut, P. (1978). Forsyningssikkerhed for det danske energisystem frem til 1995. Roskilde: Risø National Laboratory.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Forsyningssikkerhed

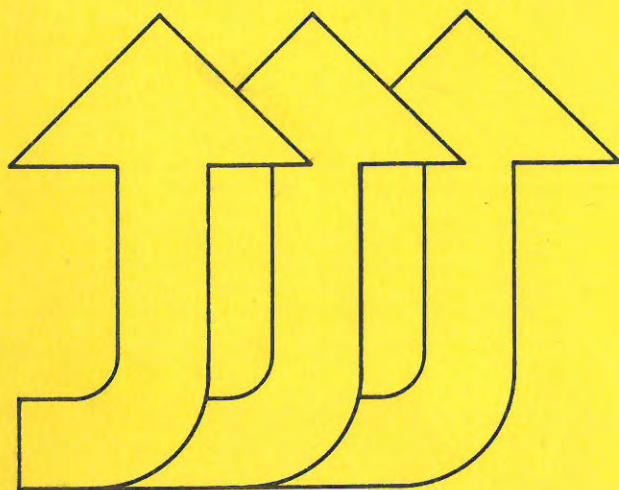
for det danske energisystem frem til 1995

P. Skjerk Christensen

J. Daub

O. W. Dietrich og

P. Laut



Forsøgsanlæg Risø, 4000 Roskilde, Danmark

September 1978

FORSYNINGSSIKKERHED

for det danske energisystem frem til 1995

af

P. Skjerk Christensen, J. Daub
O.W. Dietrich og P. Laut*

* Også Fysisk Laboratorium B og K, Danmarks Ingeniørakademi
2800 Lyngby

OVERSIGT

	side
FORORD	2
1. INDLEDNING	3
2. SAMMENFATNING	7
3. FORSYNINGSSIKKERHED FOR ENKELTE BRÆNDSLER	15
a. Kul	15
b. Olie	25
c. Naturgas	34
d. Nukleart brændsel	43
e. Supplerende energikilder	50
4. FORSYNINGSSIKKERHED FOR DET SAMLEDE ENERGISYSTEM ...	53
a. Tekniske vurderinger	54
b. Udbygningsplaner og kriseeksempler	58
c. Energisystemets fleksibilitet	60
d. Eksempel på "kriseøvelse"	62
e. Resultater af "kriseøvelser"	66
APPENDIKS A: Substitutionsskemaer	71
Appendiks B: Kriseberegninger	78
REFERENCER	90

TABELLER

2.1 Omkostninger ved etablering af brændselslagre ..	10
4.1 Substitutionsskema 1976	55
4.2 Lagerkapaciteter	57
4.3 Mulige vedvarende nedskæringer af leverancer ...	60
4.4 Eksempel på "kriseøvelse"	62
4.5 Konsekvenser af 50% oliekrise	66
4.6 Konsekvenser af gassvigt	67
4.7 Konsekvenser af stop for nukleart brændsel	68
A.1-6 Substitutionsskemaer	72-77
B.1-11 Kriseberegninger	79-89

FORORD

"Forsyningssikkerhed" er et begreb, som ofte benyttes i debatten om Danmarks energiforsyning. Den række af rapporter om energisituationen, som er offentliggjort i de seneste år, har imidlertid især drejet sig om teknisk-økonomiske forhold, medens forsyningssikkerhed har spillet en mindre rolle. På baggrund af oliekrisen i 1973 identificeres en reduceret olieimport ofte med en øget forsyningssikkerhed. Nærværende rapport er udarbejdet som et forsøg på en noget mere detaljeret analyse af forsyningssikkerhed. Specielt tillægges det betydning, hvor stor en del af energisektoren, som kan omstille forbruget fra et brændsel til et andet, eller har teknisk-økonomisk mulighed for tilstrækkelig store brændselslagre. Konklusionerne, som kan drages af denne analyse, bliver naturligvis mere komplicerede at fortolke end dem der fremgår ved alene at måle nedskæringen i olieimporten - men forhåbentlig også mere sande.

Forfatterne ønsker at rette en tak til de institutioner, firmaer og enkeltpersoner, som under udarbejdelsen af rapporten har bidraget med oplysninger.

1. INDLEDNING

Det danske energisystem har hidtil i udpræget grad været markedsstyret. De seneste års prisstigninger på energi og forventningerne om en kommende knaphed på olie har imidlertid ført til ønsket om en overordnet, statslig styring af væsentlige dele af energisektoren. De forholdsregler og beslutninger der fremover er nødvendige for at sikre Danmark en økonomisk og teknisk forsvarlig energiforsyning er nemlig yderst kapitalkrævende, og vil få indflydelse på bl.a. valutaforhold og beskæftigelse. Det drejer sig først og fremmest om øgede isoleringsforanstaltninger, om udnyttelse af kraftvarme (spildvarme fra kraftværker), samt eventuel indførelse af naturgas og kernekraft i Danmark.

Offentlig
planlæg-
ning

En målsætning for den statslige energiplanlægning er udarbejdet af Handelsministeriet i "Dansk Energipolitik 1976" ¹ (DE-76). Omkring 40% af det danske energiforbrug går til komfortvarme, og planlægningen af energiforsyningen indenfor dette område behandles af et særligt Varmeplanudvalg nedsat af Handelsministeren. Udvalget har udfærdiget to delbetænkninger om henholdsvis "Varmeplanlægning" ² (VPU-1) og "Organisation og Styring af Varmeforsyningsplanlægningen" ³ (VPU-2). I VPU-1 opstilledes 5 udbygningsalternativer for den danske energiforsyning frem til 1995. De 5 alternativer, som alle bygger på samme totale energiforbrug, afspejler forskellige varianter af endnu ikke trufne politiske beslutninger specielt om naturgas og kernekraft. Beregningsgrundlaget i VPU-1 har dannet basis for de vurderinger af investeringer i energisektoren, som er offentliggjort i Planredegørelse 1: "De offentlige investeringer 1978-90" ⁴ fra Budgetdepartementet under Finansministeriet. Senest har regeringen ved Finansministerens redegørelse til Folketinget den 16. maj 1978 foretaget en foreløbig prioritering af investeringer i bl.a. energisektoren.

Forsynings- De ovenfor omtalte redegørelser og betænkninger
sikkerhed har i det væsentlige beskæftiget sig med økonomiske
 forhold vedrørende den fremtidige energiforsyning.
Der er imidlertid også andre forhold, som bør til-
lægges betydning ved dansk energiplanlægning. Blandt
disse er forsyningssikkerhed, som er forsøgt vur-
deret i nærværende rapport. En særlig opmærksom-
hed tillægges naturligvis betydningen af de end-
nu ikke truffede beslutninger om naturgas og kerne-
kraft.

Naturgas Naturgassen i den danske del af Nordsøsoklen er
den første større energiressource indenfor dansk suve-
rænitetsområde, som udfra en teknisk og økonomisk vur-
dering kan udnyttes. Det er naturligvis en bemærkelses-
værdig situation for et land, som hidtil har været
næsten totalt afhængig af energiimport. Hvis naturgas
indføres i Danmark er det tanken, at den først og
fremmest skal anvendes til opvarmningsformål, hvor den
kan erstatte olie - og ganske specielt den dyre gas-
olie, som benyttes i individuelle fyr. Gassen vil her-
ved bidrage til at nedbringe olieimporten. Hvorvidt
denne reduktion i olieimport er synonym med en forbedret
forsyningssikkerhed er et af de spørgsmål, som tages op
i denne rapport.

Kernekraft Kernekraft vil kun i ringere grad reducere olie-
importen, idet den overvejende del af elektricitetspro-
duktionen på det tidspunkt kernekraft kan blive aktuel
i Danmark (efter 1990) er omlagt til kul. Men som nævnt
ovenfor om naturgas, kan størrelsen af olieimporten
ikke a priori bruges som mål for forsyningssikkerheden
- en nøjere analyse af samspillet mellem forskellige
brændsler er nødvendig. Det antages i DE-76, at byg-
ningstakten for kernekraftværker vil være et værk hvert
andet år. Det betyder, at maksimalt 3 værker kan være
i drift i 1995, det år som angiver tidshorizonten i
denne rapport. Den optimale effekt af kernekraft vil
derfor ikke kunne bestemmes i denne undersøgelse, men
tendensen vil dog fremgå klart.

Forsynings-
svigt

På baggrund af oliekrisen i 1973 identificeres forsyningssikkerhed sikkert af de fleste med "politisk" forsyningssikkerhed, refererende til det faktum, at en leverandør kan nedskære brændselsleverancer af politiske eller lignende grunde. Og særlig opmærksomhed hæftes naturligvis på den stærkt monopoliserede råolieforsyning fra OPEC-landene. Men forsyningssikkerhed har også at gøre med teknisk pålidelighed. For den enkelte forbruger er det afgørende naturligvis om den nødvendige energi i form af brændsel, elektricitet eller varme, bliver leveret. Ethvert leveringsstop, hvad enten årsagen er politisk eller teknisk, bør såvidt muligt undgås. Til en vurdering af forsyningssikkerhed hører en analyse af følgende to spørgsmål:

- a. Hvad er sandsynligheden for forsyningssvigt af hvert af de brændsler, som indgår i energisystemet?
- b. Hvad er konsekvensen for forbrugeren af hvert af disse forsyningssvigt?

I det omfang disse spørgsmål kan besvares kvantitativt kan forsyningssikkerheden vurderes ved at sammenholde (multiplicere) konsekvenserne af forsyningssvigt med sandsynligheden for at disse svigt indtræffer. Medens tekniske uheld ofte kan behandles statistisk, er det imidlertid ikke muligt at angive sandsynligheden for politisk forårsagede forsyningssvigt. Derfor er undersøgelsen i denne rapport ikke gennemført til et logisk konsekvent resultat. Spørgsmålet om sandsynligheden for forsyningssvigt er kun underkastet en kvalitativ vurdering for de enkelte brændselstyper. Til gengæld er konsekvenserne for nogle tænkelige forsyningssvigt forsøgt behandlet kvantitativt. Det er gjort udfra den erkendelse, at en forbruger, som med kort varsel kan omstille sit energiforbrug fra en energiform til en anden, subsidiært har et tilstrækkeligt lager af et brændsel, vil være gunstigt stillet ved et forsyningssvigt. Omvendt vil en forbruger, som er bundet til ét brændsel uden lager rammes af øjeblikkelig energimangel. Denne "smidighedsfaktor" kvantificeres i rapporten i et sub-

stitutionsskema for det danske energisystem. Det vil heraf fremgå, hvor stor en andel af forbruget af et specifikt brændsel, der kan erstattes af andre brændsler. Konsekvenserne af et forsyningssvigt kan derfor målsættes under hensyntagen til brændselslagrenes størrelse. De tænkelige forsyningssvigt, for hvilke konsekvenserne er vurderet i rapporten, er følgende: et teknisk gassvigt, et stop for levering af beriget kernebrændsel, og en oliekrise med leveringsreduktion til 50% af normalforbruget.

Rapportens
opbygning

Rapporten er opbygget på følgende måde. Forsyningsstrukturen for de enkelte primære brændsler som tænkes at indgå i det danske energisystem frem til 1995, er beskrevet i kapitel 3. Herunder er omtalt de væsentlige tekniske, økonomiske og politiske forhold, som betinger forsyningssikkerheden, samt den langsigtede ressourceproblematik. Samspillet mellem de enkelte brændsels typer i den danske forbrugsstruktur for forskellige udbygningsalternativer frem til 1995 er behandlet i kapitel 4. Her opstilles de ovenfor omtalte substitutionsskemaer, og deres anvendelse til "situationsspil" med forsyningssvigt belyses ved de førromtalte tre eksempler. Rapportens konklusioner er samlet i det efterfølgende kapitel 2.

2. Sammenfatning

Forsyningssikkerhed er et af de kriterier, der bør indgå i en vurdering af fremtidige udbygningsmuligheder for det danske energisystem. Men forsyningssikkerhed er et vanskeligt kvantificerbart begreb med såvel tekniske som politiske aspekter. Denne rapport forsøger at indkredse problemerne omkring forsyningssikkerhed dels ved en beskrivelse og vurdering af forsyningsstrukturen og ressourcemængder af de enkelte brændsler, som kan tænkes at indgå i den fremtidige danske energiforsyning, og dels ved at analysere konsekvenserne for den danske forbruger ved et forsyningssvigt af et specifikt brændsel.

I det følgende sammenfattes først rapportens vurderinger for de enkelte brændselstyper, og derefter omtales forsyningssikkerheden for det samlede danske energisystem.

Kul

Danmarks kulimport har de senere år været præget af en spredning på flere kuleeksporterende lande - en udvikling som synes at fortsætte. Samtidig har det internationale kulmarked været karakteristisk derved, at producenterne har oparbejdet store lagre, og kulhandelen har været baseret på korttidsaftaler. Der forventes imidlertid i perioden frem mod 1995 en kraftig stigning i efterspørgslen efter kul. Da kullene i stor udstrækning anvendes til elproduktion, vil kuleefterspørgslen være afhængig af kernekraftudbygningen. Såfremt den nuværende tendens i mange lande til at udskyde bygningen af kernekraftværker varer ved, kan stigningen i behovet for kul blive meget voldsom. Enkelte lande vil i år 2000 få brug for kulmængder, der er op til 6 gange så store som forbruget i dag. Selvom ressourcemængderne er tilstrækkelige til flere hundrede års forbrug, kan det frygtes, at udbygningstakten for minedrift og transportsystemer får vanskeligt ved at holde trit med forbrugsstigningen. Problemerne er mangeartede, spændende fra et

enormt kapitalbehov og masserekuttering af minearbejdere til miljøproblemer specielt ved åben minedrift. Og vigtigst er måske et utilstrækkeligt incitament til en forceret udbygning i mange producentlande, som ikke er økonomisk afhængige af kuleksport. På længere sigt er der derfor ikke grund til overdreven optimisme angående kulforsyningerne; Danmark bør sikre sig bedst muligt ved langtidsaftaler med mange producentlande. Kortvarige kriser er mindre sandsynlige og kan i et vist omfang imødegås ved reservelagre, som kan etableres med beskedne økonomiske omkostninger (se tabel 2.1).

Olie

Strukturen i olieforsyningen er udfra et forsynings-sikkerhedsmæssigt synspunkt særdeles foruroligende. Resourcerne er geografisk koncentreret specielt i Mellemøsten, og begrænset produktionskapacitet eller manglende incitament til at pumpe olien op kan med kort varsel bevirke en olieknaphed. Modforholdsregler herimod i form af lagre hos forbrugeren er mulige med moderate økonomiske omkostninger (se tabel 2.1). Den tekniske forsynings-sikkerhed for olie er i og for sig stor, idet tankskibskapaciteten er tilstrækkelig og det lokale distributions-system via tankbiler er velfungerende. En sammenlignende vurdering af stigningstakten for produktion og behov for olie peger mod en knaphedssituation endnu i dette århundrede.

Naturgas

Modsat olien, vil en naturgasforsyning fra danske felter i Nordsøen have stor politisk forsynings-sikkerhed. Her vil tværtimod den tekniske forsynings-sikkerhed være afgørende. Der er tale om et meget centraliseret produktions- og transmissionssystem. Naturgassen skal pumpes fra et begrænset antal platforme over lange afstande i et enstrenget rørsystem. Under normale, fredelige forhold vil der kunne opnås en meget høj grad af teknisk forsynings-sikkerhed, hvis der økonomisk ofres tilstrækkeligt på konstruktion af systemet. Men systemets centrale natur gør det sårbart overfor ekstreme situationer som krigstilstande, terroristaktioner og

arbejdsnedlæggelser på feltet eller på landingsanlægget. Forsyningsstandsninger på under en dags varighed kan næppe mærkes af forbrugerne, idet gassen i rørsystemet virker som reservelager. Ved forsyningssvigt af længere varighed end en dag vil lagre og udlandsforbindelser være de mulige modforholdsregler, der kan træffes. Der er ikke for det danske naturgasnet planlagt et egentligt reservelager. De lagre, der eventuelt etableres i salthorste i Jylland, er sæsonlagre, som indgår i den normale drift til sæsonudjævning. Hvis et forsyningssvigt hænder midt på foråret er lagrene muligvis tomme, og de bidrager derfor ikke til forsynings sikkerheden. Egentlige reservelagre kunne etableres, men omkostningerne er formentlig prohibitive (se tabel 2.1). Aftaler med Tyskland og Sverige om levering af gas i en krisesituation må derfor prioriteres højt. Det er dog kun en del af det danske gasforbrug, der teknisk set kan dækkes fra udlandsforbindelser.

Nukleart brændsel

Nukleart brændsel skal i modsætning til de øvrige energiråstoffer igennem en række processer både før og efter udnyttelsen i en reaktor. Berigningsprocessen er for øjeblikket - og vil i en tid fremover være - det forsynings sikkerhedsmæssigt svageste led i dette såkaldte "ydre brændselskredsløb". Berigningsleverancer domineres af den amerikanske stat, selvom europæisk ejede selskaber er på vej ind på markedet. Politisk bestemte leverancestop for berigningstjeneste må anses for mulige. Med en berigningskapacitet, der er tilpasset de enkelte leverandørers ordrebøger, og med udbygningstider på mindst 4 år, vil det normalt ikke være muligt at opnå erstatningsleverancer fra anden side med mindre end 4 års varsel. Det vil dog i højere grad end for noget andet brændsel være muligt at sikre sig ved opbygning af lagre. Uranlagre er per bruttoenergienhed ca. 5 gange billigere end olielagre og ca. 20 gange billigere end naturgaslagre. Hvad uranforsyningerne angår, er der med den usikre

situation omkring kernekraften idag en risiko for, at der ikke i tide bliver gennemført den nødvendige pro-spektering og udbygning af minekapacitet og behandlingsanlæg.

Lagre

Forsyningssikkerheden afhænger i høj grad af tilstedeværelsen af brændselslagre i nærheden af forbrugsstedet. I tabel 2.1 nedenfor er vist de investeringer og driftsomkostninger, der er forbundet med etablering af brændselslagre. Det fremgår heraf, at det nukleare brændsel indtager en særstilling med hensyn til prisbillighed.

Tabel 2.1

Omkostninger ved etablering af brændselslagre[§]

	Kul	Olie ^{§§}	Naturgas	Nukleart brændsel
Investering (kr/Gcal)				
i lageranlæg	0 ^x	15	140	~0
i lagerbrændsel	33	60	60	15
Arlige kapitaludgifter (kr/Gcal/år)				
m/konstant br.pris	1.3	3	11	0.6
m/stigende br.pris (% p.a. i parentes) ^{**}	1.1 (1%)	2 (3%)	10 (3%)	0.5 (2%)

[§] Priser er opgivet i kr. per Gcal brutto. En opgørelse på grundlag af Gcal netto vil give visse forskydninger.

^{§§} Olietyper vægtet efter nuværende forbrugsmønster.

^x Marginalinvesteringer ved udvidelse af eksisterende lagerkapacitet er forsvindende. Hvis havne- og transportfaciliteter inkluderes bliver investeringen op mod 30 kr/Gcal.

^{**} For brændselsprisstigninger er anvendt repræsentative værdier.

Det må forventes, at et kernekraftværk vil have et lager svarende til imellem et og to års forbrug. Også kullagre kan etableres med rimelige omkostninger, blandt andet fordi investeringen i marginale lageranlæg er forsvindende. Modsat er lagre af naturgas meget bekostelige, og det må samtidig bemærkes, at de ikke i almindelighed kan etableres nær forbrugsstedet. Der er ikke planer om at etablere reservelagre for naturgas i Danmark og de planlagte sæsonlagre vil kun i en del af året kunne tjene som reserve. Selve gasnettet indeholder en lagerkapacitet svarende til én dags forbrug. Det bemærkes, at det for nærværende er pålagt olie- og kulleleverandører at have et lager svarende til mindst 90 dages forbrug.

Substitution Konsekvenserne for samfundet og for den enkelte forbruger af forsyningssvigt på et brændsel afhænger i høj grad af mulighederne for at omstille forbruget bort fra det kriseramte brændsel. Rapporten har søgt at vurdere disse substitutionsmuligheder for forskellige udbygningsscenarier for det danske energisystem, specielt sådanne som introducerer naturgas og kernekraft i Danmark. Substitutionsskemaer, som er opstillet for hvert scenario, viser med rimelig detaljeringsgrad, hvormeget brændsel af forskellig art, der forventes anvendt i forskellige samfundssektorer i 1985 og 1995, og hvor stor en del af hvert brændsel der indenfor disse sektorer kan substitueres med andre brændsler. Som en direkte anvendelse af substitutionsskemaerne er det beregnet, hvor stor en nedskæring i importen af hvert brændsel Danmark vedvarende kan tåle uden serviceforringelse. Resultaterne heraf viser, at alle fremtidsscenarier, som er vurderet, giver en forbedring i forhold til situationen i 1976, der er benyttet som reference. I overensstemmelse med foreliggende planer er det i naturgasscenariet forudsat, at ca. halvdelen af gaskunderne vægtet efter forbrug er afbrydelige, d.v.s. at de kan omstilles til et andet brændsel. Med denne forudsætning betyder indførelse af natur-

gas, at olieimporten kan tåle en væsentlig forøget vedvarende nedskæring. Til gengæld kan naturgassen ikke selv tåle nogen nedskæring. Det er i øvrigt markant, at kul kan tåle en meget kraftig vedvarende nedskæring i alle scenarier.

Forsynings- kriser

Det egentlige formål med substitutionsskemaerne er at vurdere konsekvenserne af forsyningssvigt. Rapporten vurderer tre krisetyper: en 50% olieimportnedskæring, et gassvigt såvel uden som med 30% nødforsyning fra udlandsforbindelser, og endelig et leveringsstop for beriget nukleart brændsel. Under kriserne indføres forskellige realistiske kriseforanstaltninger som forbrugsreduktion og tvungen omlægning. Derefter beregnes, hvor lang tid brændselslagrene vil vare, og hvor stort et udækket behov der findes, den dag det første lager for et ikke-substituerbart brændsel tømmes. Dette brændsel kaldes det "kritiske brændsel", og det fortæller sammen med mankoen, hvilke samfundssektorer som først rammes fatalt af krisen, og hvor hårdt de rammes.

Oliekrise

Uden omlægninger og forbrugsreduktioner vil olielagrene under en 50%-oliekrise vare 6 måneder i alle scenarier. Det er en følge af påbudte olielagre til 90 dages forbrug. Men omlægninger og forbrugsreduktion kan forlænge lagervarigheden. I naturgasscenarierne forøges lagervarigheden af olie med ca. 50% i forhold til til situationen i 1976 (hvor lagervarigheden var knap 7 måneder med forbrugsbegrænsninger). Denne gunstige indvirkning af naturgassen hænger nøje sammen med den tidligere nævnte forudsætning om ca. 50% afbrydelige gaskunder. Det bemærkes, at den store omstillelighed for naturgassen ikke er begrundet i forsyningssikkerhed men i sæsonudjævning af gasforbruget. Kernekraftscenariet og de såkaldte grundscenarier uden nye energiformer men med forøget kraftvarmeproduktion øger lagervarigheden med ca. 25% i forhold til 1976. Alle foranstaltninger - men mest naturgassen med mange afbrydelige forbrugere - må således siges at øge forsyningssikkerheden uden en oliekrise. Forøgelsen er dog moderat i forhold til den forsyningssikkerhed der opnås ved kriselagre af olie.

Transportsektoren, er næsten totalt baseret på olie og rammes derfor kun under en oliekrise. Da dieselolie og gasolie (fyringsolie) i det væsentlige er samme produkt, er der nogen substitutionsmulighed imellem dieseltransport og opvarmning. Det kritiske brændsel i transportsektoren er benzin, og uanset hvilket udbygnings-scenario der vælges, tømmes lageret for benzin efter 7 måneder med en 10% reduktion på privat transport, som antaget i denne rapport.

Gassvigt

I og med at naturgassen indføres og dermed bidrager til olieforsyningssikkerheden, indføres også muligheden for et teknisk gassvigt. Der er i rapporten redegjort for hvilke foranstaltninger, der kan foretages ved opbygningen af gasforsyningen, for at mindske sandsynligheden for et gassvigt. Men det kan ikke udelukkes, at et svigt indtræffer, og på grund af dårlige lagringsmuligheder er det den krisetype, som bliver fatal på den korteste tid. På det uheldigste tidspunkt af året og uden mulighed for nødforsyning fra udlandet kan krisen blive fatal allerede efter få dage. Men på en "middeldag" i året kan det vare ca. en måned, og med 30% nødforsyning fra udlandet ca. 3 måneder. Eksemplet viser betydningen af for Danmark at skaffe sig aftaler og tekniske installationer som muliggør nødforsyning af den nævnte størrelse.

Leverings-
stop for
nukleart
brændsel

Medens kernekraften kun yder et begrænset bidrag ved forsyningssvigt på olie og gas, har den selv en høj teknisk forsyningssikkerhed i systemet. Selv under pessimistiske antagelser om lagerkapaciteten (et års forbrug) bliver et leveringsstop for beriget nukleart brændsel ikke mærkbart bortset fra forbrugsbegrænsningen før 20 måneder efter krisens indtræden.

Metode-
udvikling

Den metode, som er udviklet i rapporten til vurdering af konsekvenser af forsyningssvigt, kan finde videre anvendelse i energiplanlægningen henimod øget teknisk forsyningssikkerhed. Metoden kan således bestemme "kritiske punkter" i energisystemet, hvor der teknisk

bør skabes omstillingsmuligheder for at øge forsynings-
sikkerheden. Og metoden kan også bidrage til at vurdere,
hvilke kriserestriktioner der bør indføres under givne
krisebetingelser og med et fastlagt forsyningssystem,
for at de nødvendige samfundsbehov for energi kan dækkes
længst muligt. Det skal bemærkes, at i de "kriseøvelser",
som er gennemført i denne rapport, er der forudsat mi-
nimal styring af forbrugsmønstre. Forbrugsmønstret
under kriser er fastlagt bl.a. på baggrund af faktiskke
forhold under oliekrisen i 1973. Det er imidlertid mu-
ligt med den udviklede metode at angive optimale for-
brugsmønstre, således at brændselslagrene varer
længst muligt. Gennemførelse af sådanne omstillinger vil
kræve en kraftigere styring specielt af elforbruget,
end det hidtil er praktiseret, men foreløbige beregninger
viser, at lagervarigheden på det kritiske brændsel i
visse tilfælde kan forøges væsentligt ved optimering.

3. FORSYNINGSSIKKERHED FOR ENKELTE BRÆNDSLER

3a. Kul

Stigende kulforbrug I 1972 importerede Danmark 2.3 Mt kul, svarende til 8% af landets samlede energiforbrug. Fem år senere, i 1977, var kulimporten steget til 5.6 Mt og svarede nu til 18% af det samlede energiforbrug.

Indtil oliekrisen i 1973/74 var oliens andel i kraftværkernes brændselsforbrug vokset støt. Ved kulminationen i 1972 var 79% af det anvendte brændsel - vægtet efter kalorieindhold - olie. Siden da er oliens andel som brændsel faldet, og kullet andel vokset tilsvarende fra år til år. I 1977 var kulandelen nået op på 50% og udviklingen fortsætter i denne retning. Således har ELKRAFT (tidligere KRAFTIMPORT) planer om en om- og udbygning af Amager-, Stignæs- og Asnæsværkerne til et samlet beløb på 650 mill. kroner. Herved skulle kulandelen for de sjællandske kraftværker bringes op på 80% omkring midten af 1981. Tilsvarende regner ELSAM med at forøge kulandelen, således at det samlede brændselsforbrug i 1988 forventes at komme til at bestå af ca. 7.5 Mt kul og 1 Mt olie, ligeledes svarende til en kulandel på ca. 80% vægtet efter kalorieindhold.

Også til produktion af procesvarme i en række energiintensive industrier har kul fået en renæssance. Det drejer sig først og fremmest om cement-, sukker- og papirindustrien. Forbruget af kul i industrien i 1977 var på 1 Mt.

Stor forsynings-sikkerhed

Forsyningssikkerheden for kul har i mange år været overordentlig stor og kan forventes vedblivende at være stor i endnu en årrække. På længere sigt kan der imidlertid opstå problemer, som kan true forsyningssikkerheden. Dette forhold er diskuteret senere i det foreliggende afsnit. Årsagen til, at forsyningssikkerheden for kul i dag er stor ligger i flere forhold: Når det drejer sig om kortvarige forsyningsvigt vil der kunne

Krise
lagre

trækkes på kriselagrene, således at produktionen på kraftværkerne og i industrien vil kunne fortsætte uændret. Efter overenskomst med handelsministeriet har f.eks. elværkerne til enhver tid kriselagre af brændsel (kul + olie) svarende til mindst 3 måneders midelforbrug, idet de dog som ekstra sikring i tilfælde af langvarige isvintre er forpligtet til hvert år pr. 1. februar at ligge inde med et samlet kriselager svarende til mindst 4½ måneds forbrug. I tilfælde af, at kultilførslerne eksempelvis halveres, vil elproduktionen således kunne fortsætte uændret i op mod et halvt år eller længere afhængig af årstiden. I øvrigt er lagerbeholdningerne i praksis som regel langt større end overenskomstens mindstekrav. Dette skyldes, at elværkerne ved kulindkøbene udnytter de sæsonmæssige prissvingninger, og for at kunne købe store partier, når kulprisen netop er gunstig, er det nødvendigt at råde over store lagerfaciliteter. Den totale lagerkapacitet i 1977 svarer til ca. 10 måneders forbrug.

De større kulforbrugende industrier har deres egne lagre af kul. Således sørger sukkerfabrikkerne altid for at have kul nok til hele sukkerroekampagnen inden dens start. Også de mindre forbrugere er ganske godt sikrede, idet importørerne, som f.eks. Hovedstadens Kulimport A/S, foretager hovedparten af kulindkøbene om efteråret, når fragtraterne er lave, og de har da lagerbeholdninger svarende til ca. et års forbrug.

Mulighe-
derne for
udvidelse
af lag-
rene

Hvis der af en eller anden grund opstod et politisk ønske om en udvidelse af landets samlede lagerbeholdning af kul, ville udnyttelsesgraden i de allerede eksisterende lagerpladser formentlig kunne øges. En sådan udvidelse af kriselagrene ville altså kunne opnås uden investeringer i nyanlæg.

En yderligere forøgelse af lagerkapaciteten kunne opnås ved at udvide eksisterende lagerpladser. Omkostningerne ved sådanne udvidelser ville stort set alene bestå i udgifterne til køb af egnede arealer, d.v.s. udgifter, der er forsvindende i forhold til den investere-

ring, som selve de oplagrede kul repræsenterer. Det bemærkes, at kul efter løsningen transporteres med bulldozer, og at en investering i kraner og banelegemer derfor ikke er nødvendig.

På steder, hvor en simpel udvidelse af kullagerpladsen ikke måtte være mulig, kan det evt. blive nødvendigt at bygge samlede anlæg, der omfatter havne- og andre transportfaciliteter. Sådanne anlæg er naturligvis kostbare. Med et rundt tal kan prisen på et samlet anlæg af havne-, transport- og lagerfaciliteter med en kapacitet på 0.5 Mt kul anslås til at ligge omkring 100 mill. kr. Hertil kommer så prisen på de oplagrede kul.

Omkostninger ved lagre En udvidelse af kriselagrene med 1 Mt kul (elværkernes nuværende årsforbrug er ca. 4 Mt) vil med nu-gældende priser kræve en investering på ca. 200 mill. kr. til indkøb af kullene. Udgifterne til indretning af lagerpladsen negligeres i den følgende beregning. Antages en realrente på 4% p.a. vil de årlige kapitaludgifter beløbe sig til 8 mill. kr./år, svarende til 1.3 kr/Gcal kul/år. Elprisen vil med et års lager belastes med 0.3 øre/kWh. Der skal dog i denne forbindelse mindes om, at et kriselager, der kunne sikre elværkernes drift i et år, også måtte omfatte kraftværksolie svarende til et års forbrug.

Kul-tilførslerne Tilførslerne af kul til Danmark har i de sidste mange år været præget af en overordentlig stabilitet. Bortset fra mindre forsinkelser ved isvintre - det drejer sig her om forsinkelser af størrelsesordenen 14 dage - er forsyningssvigt et ukendt begreb.

Minearbejderstrejke En situation, hvorved tilførslerne af kul fra et kulekørsporterende land reduceres eller standses, kan opstå i forbindelse med en minearbejderstrejke. Følgerne af en minearbejderstrejke afhænger naturligvis af dens omfang, men også af størrelsen af producenterne og

forbrugernes lagre. I de senere år har producenterne lagre af kul været særlig store på grund af overproduktion bl.a. forårsaget af recessionen indenfor stålin-
dustrien. Der skal senere redegøres for at denne situa-
tion formentlig vil ændre sig med et forventet efter-
spørgselspres på kul, og effekten af en minearbejder-
strejke vil derfor blive stærkere. Som et konkret ek-
sempel fra en tid med store producentlagre kan nævnes
den store amerikanske strejke, der startede 6. decem-
ber 1977 og sluttede sidst i marts 1978. Den omfattede
160 000 minearbejdere og gjorde yderligere 50 000 mand
arbejdsløse inden for industrier, der måtte lukke på
grund af svigtende kulleverancer. Enkelte steder, i
West Virginia og i det vestlige Maryland, måtte visse
industrikunders elforbrug nedskæres med 30%, men i øv-
rigt var strejkens virkninger langt mindre end først
frygtet. Uorganiseret arbejdskraft og minearbejdere
tilhørende konkurrerende fagforbund fortsatte med at
bryde kul, der blev transporteret til de af strejken
berørte områder i det østlige USA. Strejken resultere-
de i et produktionstab på ialt 130 Mt, svarende til 5%
af et års verdensproduktion. Eller sagt på en anden
måde: 15% af den samlede verdensproduktion i de fire
måneder, strejken varede. Eksportpriserne på amerikanske
kul steg med 50%, hvilket medførte, at eksporten prak-
tisk taget gik i stå, således at den kilmængde, der
blev handlet til de høje priser, var forsvindende. An-
dre kulproducenter rundt omkring i verden forsøgte uden
held at udnytte situationen til at presse kulpriserne i
vejret. Ved strejkens afslutning var de amerikanske kul-
lagre stort set tomme. Eksporten var standset og kommer
næppe igang igen før i 1979. Alligevel vedblev verdens-
markedet for kul at være købers marked med relativt sta-
bile priser.

Konkluderende kan det derfor siges, at strejken,
på trods af et betydeligt omfang, kun har haft beskedne
virkninger såvel inden for som uden for USA. Denne om-
stændighed kan ses som et udtryk for, at verdensmarkedet
for kul i denne periode har haft en elasticitet, der var

i stand til at absorbere selv ganske betydelige forsyningssvigt. Elasticiteten skyldtes ikke, at der var væsentlige muligheder for en regulering af kulproduktionen, men eksistensen af de før omtalte store lagerbeholdninger af kul overalt i verden. Ved de forventede mindre lagerbeholdninger hos producenterne i fremtiden vil kulmarkedets elasticitet over for produktionsbortfald blive reduceret og en udvidelse af forbrugernes kriselagre blive aktuel.

Transport-
strejke

Kultilførslerne kan også bringes i fare ved omfattende transportarbejderstrejker, der f.eks. lammer søtransporten, havnefaciliteterne eller transporten over land. Der kendes ingen eksempler på, at transportarbejderstrejker i mærkbart omfang har påvirket kultilførsler til danske elværker.

Spredning af
importen
på flere
lande

Et forhold, der skønnes at øge forsyningssikkerheden, er den spredning af den danske kulimport på flere og flere kuleksporterende lande, som har fundet sted i de seneste år. Eksempelvis skal det nævnes, at den danske kulimport i 1973 næsten udelukkende kom fra Polen og USSR, der leverede hhv. 83% og 13%. I 1977 var kulimporten blevet spredt på flere lande: Polens andel var faldet til 46% (idet den absolutte mængde leveret kul dog havde holdt sig praktisk taget konstant), USSR leverede nu 16%, Vesttyskland ligeledes 16%, Canada 8% og Sydafrika 7%. Og udviklingen synes at fortsætte i retning af endnu større spredning. Det kan således nævnes, at der netop er indgået kontrakter med australske producenter om levering af over 1 Mt kul. Også mulighederne for levering af kinesiske kul har været drøftet i forbindelse med en kinesisk regeringsdelegations besøg i Danmark i maj 1978.

I EF diskuteres i øjeblikket en subsidiering af EF-kul med 12 \$/t. Hvis den gennemføres vil den formentlig medføre en forøgelse af den vesttyske andel i den danske kulimport.

Denne spredning af den danske kulimport på flere kuleeksporterende lande vil formentlig mindske virkningerne af strejker og krisesituationer, samt vanskeliggøre eventuelle forsøg på politisk pression.

Danmarks mange havne, der er indrettet eller kan indrettes til losning af kul, bidrager til at øge landets forsyningssikkerhed. Praktisk taget alt kul kommer til Danmark ad søvejen, og de mange havne muliggør relativt ukomplicerede forsyningslinier til bl.a. kraftværkerne.

Ingen IEA-kriseaftaler for kul
De seneste års rigelige lagerbeholdninger og rigelige forsyninger med kul er grunden til, at det ikke har været nødvendigt inden for International Energy Agency, IEA, at etablere aftaler for kul på linie med de aftaler, der er indgået for olie, og som i situationer med reducerede olieforsyninger skal sikre en nogenlunde rimelig fordeling af de olietilførsler, der evt. kan fremskaffes.

Forsynings-sikkerhed på længere sigt
En vurdering af forsyningssikkerheden på længere sigt, d.v.s. 20-30 år frem, må nødvendigvis, som alle langtidsforudsigelser, være behæftet med stor usikkerhed. Udviklingen af verdens kulproduktion og kulforbrug samt af de internationale medkedsforhold for kul, er bestemt af overordentlig mange forskelligartede faktorer. Nogle af de vigtigste, som vil blive omtalt i det følgende, er: Størrelsen og den geografiske fordeling af verdens samlede kulreserver, prisudviklingen for olie, udbygningstakten for kernekraft, mulighederne for kanalisering af den til udbygningen nødvendige kapital og arbejdskraft, miljøpolitiske gruppers holdning og indflydelse samt eventuelle løsninger på en række tekniske problemer i forbindelse med produktion og anvendelse af kul.

Verdens
kul-
reserver

En omstændighed, der bidrager positivt til forsyningssikkerheden på længere sigt, er den kendsgerning, at verdens samlede kulreserver er store. Ved den 10. Verdensenergikonference i Istanbul ⁵ i 1977 blev de opmålte reserver af brydeligt ^{*}) kul angivet til 493 000 Mt stenkul og 144 000 Mt brunkul. De samlede opmålte kulreserver er således 640 000 Mt. 60% af de brydelige reserver er koncentreret på tre lande: USSR, USA og Kina. 20% af reserverne findes i Europa, dog næsten udelukkende i Tyskland, Polen og Storbritannien. Desuden findes der brydelige reserver i Australien (4%), Sydafrika (4%) og Canada (1.6%). Fordelingen af disse reserver må naturligvis erkendes at være ret skæv geografisk set. Men der skal dog gøres opmærksom på, at f.eks. Australiens beskedne andel på 4% trods alt svarer til 10% af det nuværende verdensforbrug i 100 år. Det samlede verdensforbrug af kul beløber sig til ca. 2600 Mt pr. år og med det nuværende forbrug vil der således alene i de opmålte reserver være kul nok til 250 år. Hertil kommer så de kulforekomster, der er påvist ved prøveboringer, men endnu ikke er opnået. Det skønnes, at der fra disse forekomster med kendt teknik vil kunne produceres ca. 10 gange så meget kul, som fra de allerede opmålte forekomster. Et sidste bidrag til kulressourcerne kan forventes at komme fra de dele af verden, hvor der endnu ikke er foretaget systematiske eftersøgninger efter kul. Vurderinger baseret på geologiske kriterier peger i retning af, at der også her er store forekomster.

Problemer

Imidlertid må det pointeres, at eksistensen af store kulreserver naturligvis ikke i sig selv giver nogen garanti for, at det danske behov for kul på længere sigt vil kunne dækkes. I det følgende skal der gives en kort redegørelse for nogle af de faktorer, der kan frygtes

^{*}) Ved brydeligt kul forstås kul, der på økonomisk rentabel vis kan produceres ved tekniske metoder, der er kendt i dag.

at ville hæmme ekspansionen af kulproduktionen eller på anden måde skabe uro på verdensmarkedet.

Vigende oliepriser Olieprisen har i de sidste år været vigende. Dette har i mange lande svækket tilskyndelsen til at omlægge forbruget fra olie til kul. Denne tendens har igen dæmpet incitamentet til at forberede en øget kulproduktion. Det kan frygtes, at olieprisen vil stige drastisk om få år, når den nuværende overproduktion af olie er indhentet af den almindelige forbrugsstigning. Efterspørgslen efter kul kan da forventes at stige lige så drastisk, og det er ingenlunde sikkert, at produktionsudbygningen vil kunne holde trit med efterspørgslen i en sådan situation.

Udskydelse af kernekraft Såfremt den nuværende tendens i mange lande til at udskyde bygningen af kernekraftværker varer ved, må der bygges flere kulfyrede kraftværker i stedet for. Efterspørgslen efter kul vil herved blive øget. Prognoser, der baserer sig på en ekstrapolation af den nuværende stigningstakt i energiforbruget og som forudsætter en udskydelse af kernekraften, peger i retning af en voldsom stigning i behovet for kul. Enkelte lande vil i år 2000 få brug for kulmængder, der er op til 6 gange så store som forbruget i dag. Det er langt fra sikkert, at verdens kulproduktion vil kunne tilgodese dette behov. Det skal i øvrigt i denne sammenhæng bemærkes, at forbrænding af kul i så stor målestok kan frygtes at medføre uacceptable miljøpåvirkninger herunder måske give anledning til klimaændringer.

Kapitalbehovet Den kapitalinvestering, der kræves for at etablere en kulproduktion er i løbet af få år steget fra omkring 10 \$ pr. ton produktionskapacitet pr. år til 30-40 \$ pr. t/år. En betydelig øgning af kulproduktionen vil derfor kræve enorme investeringer, som kulindustrien imidlertid ikke selv vil være i stand til at præstere. Dette skyldes, at priserne på kul igennem mange år har været

så lave, at der ikke er sket nogen større kapitalakkumulering. Og tilførsel af kapital udefra er ikke uden problemer. Således er der kræfter inden for den amerikanske kongres, der ønsker at afskære olieindustrien fra at investere i kulindustrien. Formålet er at hindre dannelsen af energikarteller, der kunne frygtes at ville reducere den frie konkurrence mellem forskellige brændselstyper og give mulighed for manipulation med brændselspriserne.

Forholdene er naturligvis ikke ens i de forskellige kulproducerende lande, men da USA er verdens største kuleeksportør, kan der være mening i at se specielt på de amerikanske forhold.

Transport

Transporten fra minerne til udskibningshavnene af en stærkt stigende kulproduktion vil i mange tilfælde kræve en bekostelig udbygning af jernbaneforbindelserne. En billigere transportmåde er at pumpe kul i finmalet og opslemmet tilstand gennem rørledninger. Metoden kræver imidlertid et så stort vandforbrug, at det kan have miljømassige konsekvenser, selv ved recirkulation af vandet.

Rekruttering af minearbejdere

En øgning af den amerikanske produktion fra 1978-niveauet (ca. 700 Mt/år) til en produktion på f.eks. 2 000 Mt/år ville kræve en rekruttering af yderligere 100 000 - 160 000 minearbejdere udover det nuværende antal på ca. 150 000 mand. En sådan masserekruttering over en kortere årrække er i sig selv ikke problemløs. Dertil kommer, at mange af minearbejderne måtte bosætte sig i landområder, der i dag er forholdsvis tyndt befolket. Det må forudses, at etableringen af sådanne nye minebyer vil støde på lokal modstand.

Sociale hensyn

Som en yderligere illustration af, hvor mange og hvor forskelligartede forhold, der må medtages ved en vurdering af forsyningssikkerheden for kul på længere sigt, skal den amerikanske arbejderbeskyttelseslov for

kulminer af 1969 kort nævnes. Den hævdes at have medført en vis reduktion i produktiviteten, samtidig med at den har pålagt mineindustrien betydelige økonomiske forpligtelser over for de minearbejdere, der har pådraget sig erhvervssygdommen anthrakose ("sorte lunger"). Udgifterne hertil, der i 1975 beløb sig til ca. 1 mia. \$, blev fra og med 1976 pålagt mineindustrien. Det er klart, at en sådan konflikt mellem på den ene side minearbejdernes krav om betryggende arbejdsforhold og rimelige understøttelser i tilfælde af erhvervssygdom, og på den anden side mineindustriens ønsker om ekspansion og effektivisering, kan bidrage til yderligere at komplicere udviklingen.

Retablering
af land-
skaber

Mange af de store kulforekomster i USA ligger i ringe dybde under udmærket landbrugsjord. Den åbne minedrift, der bruges i sådanne tilfælde, vil i første omgang omdanne hele landstrækninger til "månelandskaber". Det er ikke alle politiske kredse i de implicerede delstater, der er overbeviste om, at det vil være muligt for mineselskaberne at retablere landskabet og gøre det egnet til landbrug igen.

Utilstrækkelig moti-
vation

Et af de mest intrikate og i virkeligheden helt fundamentale aspekter i kulproblematikken er, at de store producentlande måske vil være utilstrækkelig motiverede til for alvor at øge kulproduktionen. Deres økonomier er ikke afhængige af, at indtægterne fra kuleksporten øges i et forceret tempo. For de kulimporterende lande på den anden side kan det blive af vital interesse, at produktionsstigningen bliver så stor, at den ikke blot kan tilgodese producentlandets eget voksende behov, men også tillader øget eksport. Den pris, det kulproducerende land kommer til at betale for den øgede minedrift, kan vise sig at være høj, nemlig i form af store landstrækninger, der bliver ødelagt for stedse. Det er bl.a. denne risiko, der har medført politisk pres fra miljøgrupper, med det formål at dæmpe ekspansionen.

Ny teknik og nye anvendelser
Det kan forventes, at udvikling af nye teknologier til mere effektiv og miljøvenlig forbrænding af kul, f.eks. "fluidized bed"-teknikken, samt billiggørelse af metoderne til fremstilling af syntetisk naturgas fra kul og konvertering af kul til flydende brændsel, yderligere vil øge efterspørgslen efter kul på verdensmarkedet. Hos forbrugerne vil denne nyudvikling af forbrændings- og behandlingsanlæg kræve store kapitalinvesteringer. Det vil derfor formentlig være nødvendigt ved langfristede leveringsaftaler at etablere en leverancesikkerhed for de kulimporterende lande, samtidig med at producenterne får sikkerhed for en stabil afsætning og kullene til rimelige priser.

Krig
Der er i ovenstående vurderinger ikke taget hensyn til en egentlig krigssituation, der direkte involverer Danmark. De forhold, der måtte opstå i forbindelse med en moderne krig, skønnes at være så lidet forudsigelige, at en nærmere analyse forekommer meningsløs. Det skal dog nævnes, at de store kullagre, som f.eks. elværkerne råder over, og som ligger i umiddelbar nærhed af selve værkerne, for en tid vil sikre den fortsatte drift af elværkerne selv under ekstremt vanskelige forhold.

3b. Olie

Forbruget
Verdensforbruget af olie lå i 1977 omkring 3000 Mt og udgjorde knap halvdelen af det samlede energiforbrug. Den danske nettoimport af olieprodukter i 1977 var på 15 Mt og dækkede 81% af landets samlede energibehov. Til sammenligning kan det nævnes, at fem år tidligere, i 1972, var nettoimporten 17 Mt olie, svarende til 93% af det samlede energiforbrug. Der kan således konstateres en moderat nedgang i det danske olieforbrug såvel absolut som relativt til andre brændsler. Olieforbrugets fordeling på de forskellige samfundssektorer så i 1977 således ud: Bolig og erhverv: 37%, transport: 24%,

kraftværker: 17%, fjernvarmeværker: 11%, industri: 10%, gas- og koksværker: 1%.

Importen

Den danske import af råolie og olieprodukter kommer fra mange lande: I 1977 var mængdefordelingen følgende: U.K. (16%), Iran (15%), Holland (13%), USSR (11%), Sverige (9%), Belgien (7%), Norge (7%), Saudi Arabien (5%), Vesttyskland (3%), Italien (2%), Frankrig (2%), Nigeria (2%), Kuwait (2%), Øvrige Østeuropa (1%), Syd- og Centralamerika (1%), Gabon (1%), Finland (1%), Grækenland (1%), Andre (1%). Denne oversigt kan vel siges at afspejle forsyningsnettets komplicerede struktur. Olieprodukter til danske brugere raffineres i stor udstrækning i andre industrilande, ligesom Danmark selv rafinerer til eksport. Forsyningsvejene behæftes derved med en ekstra mulighed for komplikationer af teknisk og politisk art.

Forsynings- sikkerhe- den

Forsyningsikkerheden for olie er af flere årsager problematisk. Usikkerheden m.h.t. olieforsyningerne både på kortere og på længere sigt er den egentlige drivkraft bag de mange initiativer, der er taget verden over for at skabe mere sikkerhed og stabilitet på energiområdet.

OPEC

En af årsagerne til usikkerheden omkring olieforsyningerne er den kendsgerning, at en meget stor del af den samlede verdenseksport af råolie, nemlig omkring 70%, er koncentreret på de 13 OPEC-lande^{x)}.

Denne koncentration giver mulighed for at benytte olieleverancerne til politisk pression. Også prisudviklingen giver anledning til usikkerhed. Men på dette område har der dog udviklet sig en vis gensidig afhængighed. En industriel udvikling af olielandene forudsætter en stabil udvikling af den vestlige verdens økonomi, således at den vestlige verden dels er i stand til totalt at betale et stort beløb for olien, og dels

x) Algeriet, Ecuador, Forenede Arabiske Republik, Gabon, Indonesien, Iran, Iraq, Kuwait, Libyen, Nigeria, Qatar, Saudi Arabien, Venezuela.

er en stabil samhandelspartner. Saudi Arabien, Kuwait og De Arabiske Emirater udgør i denne forbindelse særtilfælde, idet deres olieindtægter overstiger deres interne finansieringsbehov. Til gengæld vil disse lande af interne politiske grunde og af hensynet til deres udlandsinvesteringer have en yderligere interesse udover det samhandelsmæssige i en udvikling uden internationale kriser.

Politiske problemer

De politiske problemer i forbindelse med at sikre olieforsyninger kan have forskellig karakter og behøver ikke nødvendigvis at være knyttet til OPEC-landene. Eksempelvis har USA nægtet tilladelse til eksport af Alaska-olie til Japan. De miljømæssige risici ved olieledningen over Alaska menes således kun at kunne forsvares med henvisning til USA's eget behov for olien. Et andet intrikat politisk problem opstår i de tilfælde, hvor et olieeksporterende land slet ikke har brug for de ekstra indtægter, som en forøgelse af olieproduktionen giver. Saudi Arabien vil således kun financiere samtlige landets udviklingsprojekter med indtægterne svarende til en olieproduktion på maksimalt 410 Mt/år. Den nuværende produktion ligger på 450 Mt/år, og der er et udbygningsprogram i gang, der skal bringe produktionen op på 730 Mt/år engang i begyndelsen af 1980'erne. Industrilandene har brug for denne øgning, medens producentlandet faktisk ikke har direkte økonomisk interesse i den.

En faktor, der virker stabiliserende på verdensmarkedet, og som derved også øger forsyningsikkerheden, er den kendsgerning, at Saudi Arabien for tiden har en uudnyttet produktionskapacitet på 150 Mt/år. Det betyder, at Saudi Arabien, der netop af flere grunde er særlig interesseret i en rolig økonomisk udvikling i den vestlige verden, vil kunne neutralisere eventuelle leveringsstop fra andre olieproducerende lande, ved at sætte sin egen produktion tilsvarende i vejret.

IEA

Som en modvægt mod de olieeksporterende landes organisation OPEC dannedes på amerikansk initiativ i november 1974 "International Energy Agency", IEA, der skulle varetage de olieimporterende landes interesser. IEA er en organisation inden for rammerne af OECD. Den har for tiden 19 medlemslande ^{*}), der repræsenterer 52% af verdens samlede energiforbrug, og 93% af det energiforbrug, OECD's industrialiserede medlemslande tegner sig for. Formålet med oprettelsen af IEA er gennemførelsen af et fælles energiprogram, der skal koordinere medlemsstaternes energipolitik: 1) Olieafhængigheden skal mindskes ved besparelser, udvikling af alternative energikilder og energiforskning i almindelighed. 2) Et informationssystem vedr. det internationale oliemarked skal opbygges, og der skal føres konsultationer med olieselskaberne. 3) Et samarbejde med de olieeksporterende lande såvel som med de olieimporterende lande uden for IEA skal etableres for at sikre et stabilt internationalt energimarked til fordel for alle de implicerede lande. 4) Derudover skal IEA søge at sikre medlemslandene mod virkningerne af eventuelle fremtidige oliekriser med leveringsstop eller reduktion af olietilførslerne.

Krise-
aftaler

Alle disse enkeltmål har naturligvis som overordnet målsætning en sikring af olieforsyninger til rimelige priser såvel på kort som på lang sigt. I lov nr. 165 af 7. maj 1975 ratificerede Danmark aftalen om det internationale energiprogram. I aftalen forpligtes medlemslandene til at etablere krisereserver af olieprodukter svarende til 90 dages nettoolieimport, beregnet på basis af den gennemsnitlige import for hele året. Aftalen forpligter yderligere medlemslandene til i en krisesituation at nedskære olieforbruget med 7-10%, afhængig af krisens alvor. De olietilførsler, der herefter måtte være til rådighed, fordeles så i forhold til landenes behov

^{*}) Belgien, Canada, Danmark, Grækenland, Irland, Italien, Japan, Luxembourg, Nederlandene, New Zealand, Norge, Spanien, Sverige, Schweiz, Tyrkiet, U.K., U.S.A., Vesttyskland, Østrig.

idet der tages hensyn til det normale forbrug, de aftalte forbrugsinskrænkninger samt et vist pålagt forbrug af egne krisereserver.

IEA aftalerne vedrørende oprettelsen af kriselagre af olie, svarende til 90 dages forbrug, træder først i kraft i 1980. De danske kriselagre har dog allerede i flere år haft stort set denne størrelse. Dette forhold går tilbage til EF-direktivet nr. 68/414 af 20/12-1968, der indeholdt en henstilling om oprettelse af 3 mdr. lagerbeholdning. I Handelsministeriets bekendtgørelser af 22/12-1972 og 12/2-1973 fastsattes størrelsen af henholdsvis de civile "beredskabslagre" og "mindstelagrene af mineralolie og mineralolieprodukter" til ialt at svare til 25% af landets samlede årsforbrug indenfor hver af kategorierne: benzin, gas- og diesellole, samt fuelolie. Den eneste forskel mellem EF-reglerne og de nye IEA-regler, hvad angår lagerstørrelse, er, at IEA-reglerne tager hensyn til en art spildprocent, der skyldes, at olietankene i praksis ikke kan tømmes fuldstændigt. Herved kommer IEA kravet om 90 dages lagerbeholdning til at svare til 99 dages lagerbeholdning efter de hidtidige EF-regler.

Verdens
olie-
ressourcer

En anden faktor, der har betydning for forsynings-sikkerheden på længere sigt, er den omstændighed, at stigningen i verdens samlede olieproduktion må forventes at gå i stå om 10-20 år. Alle analyser, selv de meget optimistiske, peger i retning af, at olieproduktionen vil nå et plateau engang mellem 1985 og 1995. Hvor mange år olieproduktionen derefter vil kunne holde sig på dette plateau, afhænger bl.a. af, hvor højt produktionen presses i vejret, inden den når op på plateau-værdien. Jo højere produktionsplateauet kommer til at ligge, desto hurtigere vil olielagerne naturligvis blive tømt, og desto hurtigere vil produktionskurven begynde at falde. Højden af produktionsplateauet menes at komme til at ligge omkring 4-5000 Mt/år.

I forbindelse med den 10. Verdensenergikonference i Istanbul i september 1977, nåede en gruppe eksperter fra mange lande frem til at vurdere størrelsen af verdens udvindelige olieressourcer⁵ til 239 000 Mt. Dette tal omfatter den oliemængde, der kan forventes at blive produceret såvel fra de allerede opmålte oliefelter (ca. 100 000 Mt) som fra oliefelter, der forventes at blive opdaget i de kommende år. En stor del af ressourcerne udgøres af oliemængder, der kan forventes at blive produceret fra tidligere nedlagte oliefelter ved anvendelse af en forbedret - og forøvrigt også mere kostbar udvindingsteknologi med indvindingsgrader på omkring 40%. Ved de produktionsprocesser, der anvendes i dag, udvindes i gennemsnit omkring 25% af den olie, der ligger i undergrunden. Man regner altså med, at der fra en række tidligere nedlagte oliefelter kan produceres yderligere 15%, hvorved den samlede indvindingsgrad kommer op på de nævnte 40%. Det anslåede tal for de samlede ressourcer (239 000 Mt) omfatter ikke evt. forekomster i arktiske områder og forekomster på store havdybder, da teknologien til udvinding her endnu ikke er udviklet. Ved opgørelsen af olieressourcerne har det været et krav, at produktionen kunne gøres økonomisk rentabel enten i dag eller i en overskuelig fremtid. I denne forbindelse er grænsen for produktionsprisen sat ved 20 \$/bbl eller ca. 900 kr (1976)/t.

Den geografiske fordeling af de ovennævnte samlede udvindelige olieressourcer på 239 000 Mt blev ved 10. Verdensenergikonference vurderet således⁵: USA/Canada: 11%, Vesteuropa: 4.5%, Kina, USSR samt socialistiske lande i øvrigt: 23%, Mellemøsten og Nordafrika: 42%, Afrika syd for Sahara: 4.5%, Latinamerika: 9%, Syd- og Østasien: 6%.

Ukonventionelle
reserver

Ovennævnte opgørelse over olieressourcerne omfatter udelukkende konventionelle olieforekomster. Udover disse findes der store olieforekomster, der betegnes som "ukonventionelle". Det drejer sig bl.a. om olieskifer, der forekommer i store mængder i Colorado, Utah og Wyoming (USA) samt i USSR. Produktionsomkostningerne antages at ligge noget over 900 kr/t. Størrelsen af olieskiferres-

sourcer er anslået til 400 000 Mt, hvoraf dog kun 30 000 Mt vil kunne produceres ved metoder, der er kendt i dag. Udvinning af skiferolie sker fortrinsvis i Kina og USSR. Verdensproduktionen var i 1975 på ca. 7 Mt.

Andre ukonventionelle olieresourcer er oliesand og tunge olier, der findes i Alberta (Canada) og i Orinocoflodens delta (Venezuela). Verdensressourcerne er her anslået til 300 000 Mt, hvoraf 5-10% vil kunne produceres. Et produktionsanlæg i Canada producerer 2.5 Mt olie af oliesand. Et nyt anlæg med en årsproduktion på 6 Mt påbegynder produktionen i løbet af 1978. Olien produceres uden subsidier til konkurrencedygtige priser.

Omdannelse af kul til olie vil måske i fremtiden kunne bidrage til at sikre forsyningerne med olie og olieprodukter. Nyudviklede processer giver et udbytte på 1 ton råolie for hver 2 tons kul. Produktionsomkostningerne vil ved produktion i stor målestok formentlig kunne nedbringes til 800-1000 kr/t. Smd. 42

Stigning i
oliefor-
brug

Verdensforbruget af olie var, som nævnt ovenfor, i 1977 på omkring 3 000 Mt/år med en stigningstakt på 4% p.a. De første år efter oliekrisen frem til 1976, var stigningstakten i olieforbruget helt nede på 0.4% p.a. Dette skyldtes dels, at en række mindre vintre i USA og Europa reducerede olieforbruget til opvarmningsformål, og dels den almindelige økonomiske recession i den vestlige verden.

Nordsøgen
og Alaska

I de seneste år er verdensmarkedet også blevet påvirket af olieproduktionen i Nordsøen og i Alaska. Nordsøproduktionen, der i 1977 var på 51 Mt (hovedsagelig fra engelske og norske felter, den danske andel var på 0.5 Mt), ventes i 1978 at blive 150 Mt/år for i 1980 at nå op på 190 - 230 Mt/år. De samlede olieforekomster i Nordsøen er anslået til 3 000 Mt, d.v.s. en oliemængde svarende til det nuværende årlige verdensforbrug. Alaska-produktionen, der kom igang i løbet af 1977, er i det væsentlige begrænset til den oliemængde

den byggede rørledning har kapacitet til, d.v.s. 60 Mt/år. Vurderes betydningen af oliefelterne i Nordsøen og i Alaska ud fra et globalt perspektiv, må det konstateres, at deres samlede bidrag til verdensproduktionen - under forudsætning af olieforbrugets nuværende stigningstakt - kun dækker 2-3 års forbrugsstigning.

Overproduk-
tion i
1978

Den olierigeligbed, der for tiden er at spore på verdensmarkedet, må tilskrives et tilfældigt sammentræf af omstændigheder. Situationen må betegnes som ganske ustabil på længere sigt. Det kan forventes, at den nuværende olierigeligbed på verdensmarkedet om 4-5 år vil være afløst af et kraftigt efterspørgselspres med deraf følgende prisstigninger.

Som illustration af forbrugsstigningens eksponentielle karakter kan det nævnes, at verdens samlede olieforbrug gennem tiderne frem til 1977 ved den 10. Verdensenergikonference⁵ blev anslået til 43 000 Mt. Dette tal bør sammenholdes med det nuværende verdensforbrug af olie på omkring 3 000 Mt/år.

Opnåelig
produk-
tionsstig-
ning

Sammenlignes størrelsen af verdensressourcerne (239 000 Mt) med størrelsen af det årlige verdensforbrug (3 000 Mt), kan det umiddelbart forekomme, som om ressourceproblematikken ikke kan være særlig aktuel. Det kan se ud som om, der må være olie nok til mange års forbrug, selv om forbruget skulle fortsætte med at stige. Her er det imidlertid vigtigt at huske, at over halvdelen af de anslåede olieressourcer slet ikke er fundet endnu. Det drejer sig om ressourcer, som geologerne regner med vil blive lokaliseret i løbet af de kommende år. Og eksperterne mener nu, at det i overvejende grad er de lettest tilgængelige af jordens oliefelter, der i dag er fundet og opmålt. Fremtidige fund bliver formentlig vanskeligere at lokalisere og vanskeligere at udvinde. Således skønnes det, at knap halvdelen af de resterende forekomster ligger offshore. Konsekvensen er, at udbygningstakten for olieproduktionen ikke kan holde trit med stigningen i verdensforbruget.

Verdens olieproduktion ventes at toppe engang omkring 1990 med en årsproduktion på 4-5000 Mt. Efter år 2000 vil omfanget af de årlige oliefund falde under produktionstallet, og herefter vil størrelsen af de samlede kendte og opmålte ressourcer reduceres fra år til år. Eftersøgningen efter olie kræver en stor indsats af risikovillig kapital. Chase Manhattan Bank har vurderet kapitalbehovet til olieeftersøgning og etablering af produktionsanlæg i den nærmeste tiårsperiode til 900 Mia \$.

Ringe fleksibilitet mht olieforbruget

Prisen pr. Gcal kraftværksolie ligger i 1978 50-60% over prisen pr. Gcal kul. Dette har medført, at alle de forbrugere, der har mulighed for at fyre med kul i stedet for med olie, er gået over til kul. Den udvikling har bevirket, at et evt. fremtidigt forsyningssvigt vil ramme hårdere end ved oliekrisen i 1973. De forbrugere, der i dag bruger olie, vil ikke i en krisesituation være i stand til at gå over til et andet brændsel. De bruger i forvejen et dyrt brændsel, fordi andre, billigere brændselstyper ikke egner sig til deres behov. I modsætning til situationen under oliekrisen 1973 foreligger der altså i dag ikke substitutionsmuligheder i nævneværdigt omfang. Herved bliver lagerbeholdningerne olieforbrugernes mest pålidelige sikring af forsyningerne.

Prisen for kriselagre

Ved etablering af kriselagre skal der investeres såvel i selve olien som i tankanlæg. Et lager på 1 Mt olie vil med dagens priser koste ca. 600 mill kr. for olien og ca. 200 mill kr. for tankanlæggene. Ved uændrede oliepriser, 4% p.a. realrente og 40 års økonomisk levetid for tankanlæggene udgør de hertil svarende årlige kapitaludgifter ca. 34 mill. kr. Et kriselager svarende til et års olieforbrug vil i dette tilfælde belaste olieprisen med godt 3 kr/Gcal, svarende til en prisforøgelse på godt 4% af den nuværende markedspris. Antages i stedet for, at olieprisen stiger fra det nuværende niveau med 3% real p.a., vil de årlige kapitaludgifter i middel andrage ca. 20 mill. kr., og et lager svarende til et års forbrug vil i middel be-

laste olieprisen med 2 kr/Goal, svarende til en prisforøgelse på ca. 2.5%.

3c. Naturgas

Indledning

Den væsentligste forsyningssikkerhedsmæssige fordel ved en forsyning af Danmark med naturgas fra den danske del af Nordsøen ligger i den kontrol, vi dermed opnår over en del af vore energitilførsler. Denne fordel er helt evident og skal ikke behandles her. I stedet vil vægten blive lagt på, hvordan tekniske, økonomiske og aftalemæssige forhold påvirker forsyningssikkerheden. De følgende betragtninger vedrørende forsyningssikkerhed er i al væsentlighed baseret på oplysninger fra "Dansk Olde og Naturgas A/S" (DONG).

Som det vil fremgå af det følgende, vil forsyningssikkerheden i væsentlig grad være afhængig af naturgas-systemets teknisk-fysiske udformning og af de aftaler, der opnås med naturgasleverandører og tilgrænsende forsyningsselskaber. Da det danske gassystem endnu ikke er endeligt fastlagt, og aftaleforhandlingerne kun er nået til det sonderende stade, er det på indeværende tidspunkt kun i begrænset omfang muligt at kvantificere forsyningssikkerheden ved en dansk naturgasforsyning.

Med hensyn til den tekniske forsyningssikkerhed viser erfaringer, at der kan opnås en meget høj grad af forsyningssikkerhed ved omhyggelig specifikation af materialedata, ved at stille høje kvalitetskrav til kritiske komponenter, og ved at dublere på kritiske punkter i systemet. Endvidere ved at etablere beskyttelse, hvor væsentlige dele af systemet kan tænkes at blive udsat for skadelige ydre påvirkninger, og ved at sikre en høj håndværksmæssig kvalitet af systemet. Der skal i det følgende gives eksempler på, hvad disse krav betyder i praksis.

Anlæg offshore og landingsanlæg

På anlæggene offshore og på landingsanlæggene må installeres en teknisk reserve. Denne reserve er af betydning for opretholdelsen af gasleverancerne under nedlukning af dele af anlæggene for vedligeholdelse eller som

følge af tekniske uheld. Det bemærkes i øvrigt, at en række væsentlige komponenter - herunder borehuller og pumpeudstyr - i en nødsituation vil kunne levere større gasmængder, end de er udlagt til.

Søledning

Transmissionsledningen fra gasfelt til landingsanlæg (ofte omtalt som søledningen) betragtes normalt som et udsat led i systemet. Eksemplet med et større skib der kaster anker og river hul på ledningen, har ofte været nævnt. En dublering af ilandføringsledningen vil imidlertid af økonomiske grunde næppe komme på tale. For de danske Nordsøfelter vil det være teknisk muligt at blive tilsluttet Emden-ledningen, men det rejser problemer om kapaciteten af denne ledning, af landingsanlæg, og af vesttyske og danske transmissionsledninger. Tilbage rejser denne løsning det specielle problem, at den danske stats forkøbsret til Nordsøgassen kun gælder for gas ilandført i Danmark. I den danske situation synes den bedste løsning at være en enkelt, vel beskyttet ledning. Det skal ses i lyset af, at der kun vil være begrænset trafik af større skibe over ledningen, og at der ved de reparationer, der hidtil har været nødvendige af søledninger, såvidt det vides, altid har kunnet ske en udskydelse af reparationen til et belejligt tidspunkt. Selve reparationen af en ledning vil normalt kunne gennemføres inden for få døgn. Skal der imidlertid først skaffes et reparations-skib, som i tilfælde af dårligt vejr evt. må afvente en vejrbedring, kan det let tage over 1 måned, fra skaden er indtruffet, til reparationen kan finde sted.

Gasfordelingsnet i land

Gasfordelingsnettet i land søges sikret gennem valg af materialedata, ved etablering af ringledninger og ved ekstra beskyttelse af ledningerne på udsatte steder. På ældre naturgasledninger er det forekommet, at revner forplantede sig over en flere km lang strækning. Udnyttelsen af indhøstet materialeviden har dog medført, at revner på nyere ledninger er et relativt lokalt fænomen. Ofte vil transmissionen af gas gennem beskadigede rør kunne fort-

sætte, efter at nogle klamper er monteret over hullet. Den egentlige reparation vil tage mindre end 1 døgn. Det skal i øvrigt bemærkes, at statistisk optræder langt de fleste læk ved kompressorer og ventiler, og reparationerne kan her som regel gennemføres uden afbrydelse af gasleverancerne. Ved ringledninger søges gasforsyningen gjort mindre afhængig af de enkelte ledninger. I det danske tilfælde har der været tale om en trebenet transmissionsledning med et ben fra Egtved til de tyske systemer, et ben fra Egtved over Fyn til København og et ben fra København over Falster til Vesttyskland (se fig. 3.1).

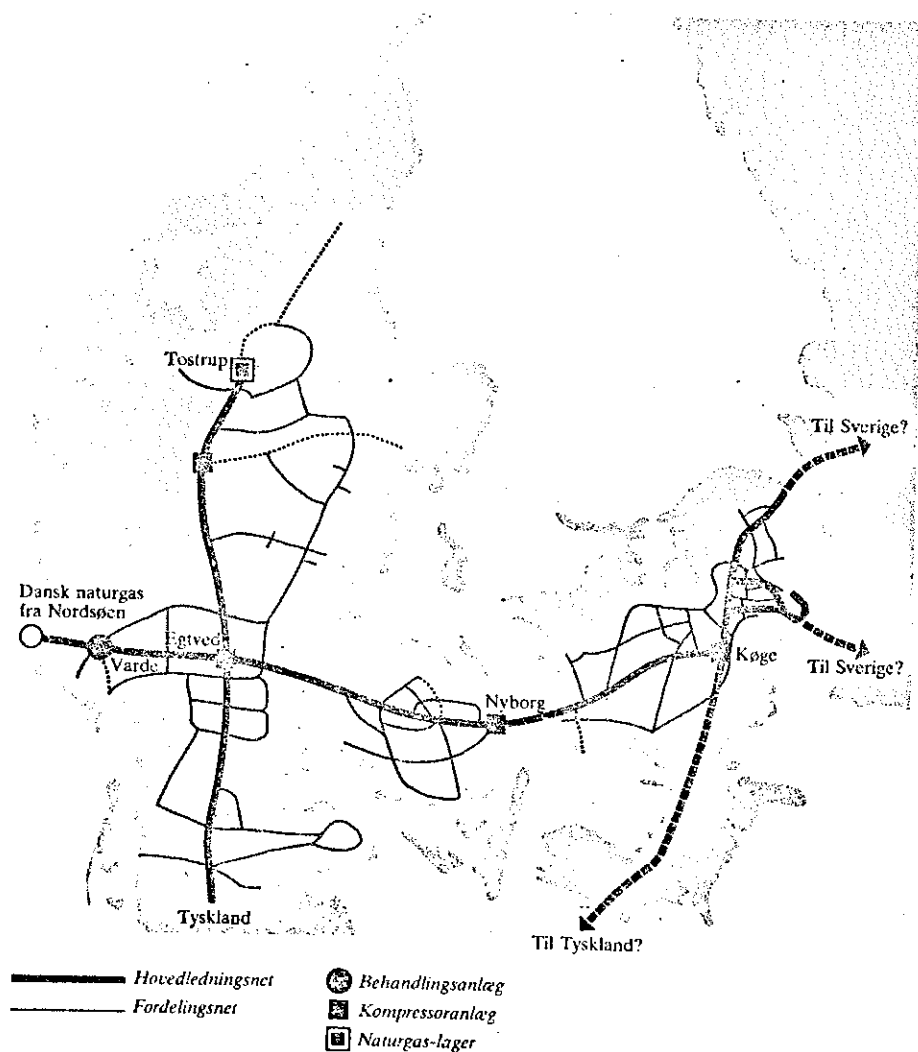


Fig. 3.1: Foreslået gasnet i Danmark.
(Figuren er reproduceret fra ref. 4)

Den forsyningssikkerhedsmæssige værdi af en sådan trekant afhænger naturligvis af de enkelte bens - herunder det tyske systems- overførselskapacitet. I de nyeste danske planer er et ben fjernet af økonomiske grunde; herved er forsyningssikkerheden blevet reduceret.

Transmissionsled-
ning under
St. Bælt

For gastransmissionsledninger under større vandveje indenfor forsyningsselskabets område er forholdene i store træk som for søledninger. For Danmarks vedkommende kommer her specielt Store Bælt på tale, som en relativ snæver vandvej med stor skibstrafik. Ledningen bør her sikres med et 5 m dække, og undlades forbindelsen fra København over Falster til Vesttyskland, bør det alvorligt overvejes at dublere ledningen under Store Bælt (i skitseprojektet er der kun en ledning); kan Danmark trække på reservegaslagre i Sverige, mindskes behovet naturligvis for den anden ledning.

Ledninger-
nes lager-
og over-
førsels-
kapacitet

Væsentlig ved en vurdering af gasfordelingsnettets bidrag til forsyningssikkerheden er den lagerkapacitet, der ligger i ledningerne, samt mulighederne for ved en forøgelse af trykket og af trykfaldet i de enkelte ledninger at kompensere for afbrudte forsyningslinier. Det danske net vil i udbygget stand indeholde en gasmængde svarende til ca. 1 døgn's maksimumforbrug for "ikke-afbrydelige kunder". Mulighederne for ved regulering af tryk at øge overførselskapaciteten i ledningerne afhænger af de sikkerhedsmarginer, der er anvendt i den tekniske udlægning af systemet og af den installerede kompressorkapacitet (kompressorernes maksimalydelse vil være større end deres designydelse). I det skitseprojekt, der foreligger for det danske gastransmissionssystem, vil det kun i stærkt begrænset omfang være muligt ved regulering af tryk at øge overførselskapaciteten.

Reserve-
og sæson-
lagre

Gasforsyningen kan endvidere sikres ved etablering af passende placerede gaslagre. Der vil normalt i systemerne være etableret gaslagre, der er beregnet til sæsonudjævning. I Danmark overvejes det således at placere et sæsonudjævningslager ved Tostrup nær Viborg. Lageret er beregnet til sammen med de direkte leverancer fra Nordsøfelterne at kunne dække behovet en kold vinter. Dette lager vil i begrænset udstrækning kunne tjene reserveformål. Ved en afbrydelse af gasforsyningen fra Nordsøen sidst på foråret eller om sommeren vil der uden videre kunne trækkes på lageret i et omfang svarende til den arbejds-gasmængde, der er tilbage fra vinteren, og den genopfyldning, der evt. siden har fundet sted. Om efteråret og først på vinteren vil lageret ligeledes kunne bidrage med reserveleverancer. Hvis der under en krise kun er foretaget et mindre træk på lageret vil det kunne reetableres enten ved at øge trykket i transmissionsledningen fra Nordsøen, når den normale forsyning er genoprettet, eller eventuelt gennem øgede leverancer fra udlandet. Et større træk på lageret kan imidlertid føre til en mangelsituation længere hen på sæsonen. Senere på vinteren vil mulighederne for at benytte lageret til reserveformål være afhængig af vejrforholdene. En kold vinter vil lageret under normale driftsforhold i en vis periode yde maksimalleverancen, som det er udlagt til, og sidst på sæsonen vil lageret være tømt for arbejds-gas; i denne periode vil lageret kun have stærkt begrænset reserveværdi. En mindre kold vinter vil der ikke være behov for lagerets fulde kapacitet til at dække gasbehovet, og lageret vil derved kunne tjene reserveformål. I forbindelse med en vurdering af sæsonudjævningslagerets reserveværdi skal det endvidere nævnes, at en mindre reserve findes i den såkaldte cushion-gas; trækkes der for hårdt på denne gas, er der imidlertid en risiko for, at lagerkavernerne klapper sammen.

Set udfra et reservesynspunkt ville det i øvrigt være ønskeligt med en lagerplacering nærmere forbrugscentret end tilfældet er for Tostrup; derved ville der opnås

større uafhængighed ved afbrydelser af transmissionsledninger.

Som et eksempel på, hvad et egentligt reservegaslager af en given størrelse vil koste, skal angives data fra skitseprojektet for Tostrup-lageret. Kapaciteten af dette lager er ca. 250 mill. m³ arbejdsgas; herudover vil det indeholde ca. 200 mill. m³ cushion-gas. Anlægsudgifterne for dette lager incl. kompressoranlæg, men excl. gas og rørledning fra lager til hovedtransmissionsledning, vil ifølge foreliggende overslag andrage ca. 500 mill. kr. Hertil kommer investeringerne i gas; med en gaspris på 45 øre/m³ bliver beløbene ca. 110 mill. kr. i arbejdsgas og ca. 90 mill. kr. i cushion-gas. Totalinvesteringen bliver således ca. 700 mill. kr. eller ca. 200 kr./Gcal gas. Investeringerne i arbejdsgassen og i en væsentlig del af cushion-gassen vil kunne frigøres igen, når lageret nedlægges; gasprisen vil formodentlig være steget til den tid. Antages en økonomisk levetid for lageret på 30 år, en realrente på 4% p.a. og en prisstigning for gas på 3% p.a. medfører den nævnte investering en driftsøkonomisk udgift på ca. 35 mill. kr./år eller ca. 10 kr./Gcal gas/år. I en fuldstændig driftsøkonomisk opgørelse skal hertil tages hensyn til de løbende driftsudgifter, til scrapværdi af lager excl. gas og til udgifter i forbindelse med rørledningen fra lager til hovedtransmissionssystem.

Eksisterende gasværker Det skal bemærkes, at under opbygningsperioden af et dansk gassystem vil der kunne opnås et væsentligt reservebidrag ved en ombygning af eksisterende gasværker.

Afbrydelige kunder Forsyningssikkerheden vil endvidere kunne bedres ved at andelen af forbrugere, der kan skifte fra gas til en anden energikilde øges (en større andel af afbrydelige kunder). Bragt til sin fulde konsekvens vil det dog være en meget dyr løsning. At finde det rette balancepunkt - herunder fastlæggelse af kundekreds og afsætningsmængde - kræver detaljerede undersøgelser.

Aftaler med
udlandet

En yderligere sikring af gasforsyningerne kan opnås ved aftaler med andre naturgasleverandører og med tilgrænsende naturgasforsyningsselskaber. I Danmarks tilfælde vil det have stor betydning at kunne opnå aftaler med de leverandører, der føder ind på det kontinentale system, med de tyske fordelingsselskaber og med det svenske fordelingsselskab om naturgasleverancer til Danmark i tilfælde af svigt af egen forsyning. I de fleste tilfælde må man regne med, at produktionsselskaberne vil kunne øge leverancerne, evt. under driftsøkonomisk mindre gunstige forhold; yderligere gasmængder vil kunne stilles til disposition for Danmark ved afbrydelse af gasleverancer til kunder, der også kan anvende andet brændsel. For at Danmark kan nyde godt af disse potentielle leverancer må transmissionsmulighederne eksistere. Hvad angår aftaler sydpå, står Danmark i en relativ svag forhandlingsposition og må regne med dels en væsentlig udgift og dels en form for gensidighed i gasleveranceaftalerne. I forhandlingerne med Sverige står Danmark stærkere, da en væsentlig del af den gas, der indgår i de svenske naturgasplaner, påtænkes transmitteret over dansk område. Det bemærkes i øvrigt, at det i Sverige overvejes at etablere store lagre med flydende gas (LNG).

Drastiske
forstyrrelser

Det foregående har drejet sig om metoder, hvorved forsyningssikkerheden for naturgas under normale forhold kan gøres så god som mulig. Som det vil være fremgået, er graden af gasforsyningssikkerhed, der kan opnås under normale forhold, i vid udstrækning bestemt af, hvad der økonomisk ofres på systemet. Anderledes forholder det sig med de forhåbentlig sjældne, men mere drastiske forstyrrelser. Systemets centrale natur gør det her meget sårbart. Et stort uheld ude på feltet eller i landingsanlægget kan næsten totalt standse gasleverancerne til forbrugerne i et halvt år. Få personer vil kunne lamme gasforsyningen ved en arbejdsnedlæggelse. I en krigssituation vil det være let for en fjende at afbryde gasforsyningen, og terrorister, der ønsker at lamme gasforsyningen, vil have let spil; de hjælpes af længden af

transmissionsledningerne, der gør en effektiv bevogtning umulig.

Over for denne form for trusler mod gasforsyningen er den eneste effektive modforholdsregel en sikring ved flerstrengethed i energivalget. Forbrugerne må med kort varsel kunne skifte fra gas til kul, olie eller elektricitet. Denne løsning vil dels påvirke afsætningsgrundlaget for gassen (herunder kundekredsen) og dels føre til ekstra investeringer i anlæg og brændselslagre. Bragt til sin fulde konsekvens vil det imidlertid, som tidligere nævnt, være en meget dyr løsning.

Forsynings-
sikkerhed
på længe-
re sigt

Den typiske "levetid" for et enkelt gasfelt er 20 år. For det danske CORA felt vurderer DUC⁶, at udvindingen kan holdes på maksimum i 12 år, hvorefter gasmængden falder jævnt og er halveret efter en 6-års periode. I slutperioden kan CORA feltet suppleres med andre felter (i det væsentlige med associeret gas fra oliefelter), og produktionen kan derved holdes på nogenlunde konstant niveau over en ca. 20-årig periode.

DeGolyer and MacNaughton-rapporten⁷ om de danske gasforekomster er noget mere optimistisk, idet den forventer, at gassen vil strække til ca. 30 års produktion.

Nordsøen
tømmes

Efter de foreliggende vurderinger vil gasudvindingen i den danske del af Nordsøen derfor være kraftigt reduceret henimod år 2010, og samtidig må det forventes, at de nu kendte gasfelter i den øvrige del af Nordsøen vil være nær udtømmning. Der kan derfor næppe blive mulighed for, at Danmark kan købe naturgas fra engelske eller norske felter. Allerede fra omkring 1990 vil der med den nu forekommende udbygningstakt af naturgasnet på kontinentet forventes knaphed på gas. Investeringen i gasfordelingssystemet på kontinentet er meget stor, og når Nordøfelterne nærmer sig tømning vil efterspørgslen efter en energibærer, der kan udnytte dette net blive stor. Nedenfor nævnes nogle af de muligheder, der kan tænkes at imødekomme dette behov.

Flydende
naturgas
(LNG)

Naturgas består af mere end 90% methan, og for at fortætte naturgas kræves en temperatur på -162°C . Det er naturligvis kostbart, men muligt at transportere flydende naturgas i kryoskibe. Der foregår i dag eksport af flydende naturgas bl.a. fra Nord-Afrika, og den handles til en pris på ca. 80 kr./Gcal. Da også USA og Japan vil være storkunder til flydende naturgas, må prisen i en knaphedssituation forventes at stige.

Gas fra
USSR

Naturgaseksport fra Sovjetunionen vil næppe komme på tale i stor skala. Ifølge WAES-undersøgelsen⁸ vil Sovjetunionen være nær balance i produktion og forbrug af naturgas. Vurderingen antyder, at Sovjetunionen måske vil have et mindre importbehov på længere sigt.

Syntetisk
naturgas
(SNG)

Syntetisk naturgas fra kulgassifikation på anlæg der anvender kendt teknologi, vil med nugældende priser koste ca. 100 kr./Gcal i middel over anlæggenes levetid. Af denne pris udgør udgiften til kul ca. 60%. Med en mulig teknologisk udvikling og kulpriser, der må forventes at stige mindre end gasprisen, er det tænkeligt, at SNG vil være konkurrencedygtig endog før naturgassen er opbrugt. *Indl. p. 21*

Brint

Der er i de senere år fremkommet tanker om, at brint på meget langt sigt kunne blive en mulig energibærer. Den grundliggende ide er at opnå en lagringsmulighed for elektrisk energi fra kernekraftværker og vindgeneratorer, eller for høj-temperaturvarme fra høj-temperaturreaktorer, således at disse kapitalintensive anlæg kan udnyttes bedst muligt. Direkte lagring af elektricitet i f.eks. batterier er for kostbar i stor skala og kommer næppe på tale, med mindre der sker et gennembrud for en ny teknologi på dette område. Men brint er en mulighed som sekundært (tertiært) brændsel både fra elektricitet ved elektrolyse af vand, og fra høj temperaturvarme (ca. 1000°C) ved termokemisk spaltning af vand. Høj-temperaturanlæg kunne foruden en høj-temperaturreaktor være et fokuserende solanlæg.

Selvom et naturgasfordelingsnet med visse modifikationer antagelig kan bruges til transport af brint, er effektiviteten ved fremstilling af brint ikke så høj, som det kunne ønskes. Forskning kan måske ændre dette forhold, men der er ikke enighed blandt sagkyndige om brintens muligheder i større skala.

Efter 2010 Konkluderende om den langsigtede gasforsynings-situation kan det siges, at der formodentlig vil være mulighed for at udnytte et eventuelt dansk gasnet selv efter år 2010, men hvilken energibærer der bliver tale om, og til hvilken pris den kan købes, kan der kun gisnes om.

3d. Nukleart brændsel

Brændsels-
kredsløb

Brændslet i et kernekraftværk er uran, evt. iblandet plutonium. Før uranen kan benyttes i reaktoren, skal den gennem flere processer. Er der tale om brændsel til et kernekraftværk af letvandsreaktortypen (LWR), skal uranen omdannes fra U_3O_8 til UF_6 , den skal beriges (uran 235-koncentrationen øges fra 0.7% til 2.5 - 3%), og der skal fabrikeres brændselselementer. Når brændselselementerne udtages af reaktoren efter typisk 4 år vil de være højradioaktive, og vil endvidere have et restindhold af uran og plutonium. En særlig behandling er derfor påkrævet. Brændselselementerne vil først henstå $\frac{1}{2}$ - 2 år i en køledam ved kraftværket, for at den mere kortlivede aktivitet kan dø hen. Derefter sendes elementerne enten til slutdeponering i et centralt lager eller til et oparbejdningsanlæg; fra oparbejdningsanlægget går det radioaktive affald i koncentreret form til slutdeponering, mens restindholdet af uran og evt. af plutonium anvendes til nyt brændsel.

Disse forskellige led - ofte omtalt som den ydre del af det nukleare brændselskredsløb - vil i det følgende blive behandlet udfra et forsyningssikkerhedsmæssigt synspunkt.

Uran

De største uranproducentlande udenfor den kommunistiske verden er i dag USA, Canada og Sydafrika. Blandt de mindre, men dog stadig betydningsfulde producentlande, kan nævnes de tidligere franske kolonier i Vestafrika. Australien er en potentiel meget stor producent, men på grund af politiske vanskeligheder er det hidtil kun blevet til små leverancer. Meget tyder dog på, at Australien fremover bliver storleverandør af uran på verdensmarkedet. I Sverige er der fundet meget store uranforekomster, men af politiske, miljømæssige og økonomiske årsager vil der formodentlig kun ske ringe brydning af denne malm indenfor de næste årtier. I Danmark er fundet uran på Grønland. På indeværende tidspunkt er det imidlertid ikke klart, om det ud fra et økonomisk synspunkt vil kunne betale sig at udvinde den grønlandske uran - afgørende er her uranressourcernes størrelse, de tekniske forhold og prisudviklingen på uranmarkedet. De politiske forhold omkring en eventuel brydning af den grønlandske uran er heller ikke afklaret. Store uranmængder findes i havvand, men det er imidlertid yderst tvivlsomt, om det nogensinde bliver økonomisk rentabelt at udvinde denne uran. Endelig bør det nævnes, at interessen for eftersøgning og prospektering har været koncentreret om den udfra økonomiske og politiske forhold mest gunstige uran. Der er meget store områder for potentielle uranfunde, hvor der kun er foretaget en meget begrænset prospektering.

Uran- efter- spørgsel

Uranefterspørgslen vil naturligvis være bestemt af udbygningstakten for kernekraftværker. Men det er også af betydning, hvilke typer reaktorer der bygges, herunder specielt om der sker et gennembrud for anlæg baseret på formeringsreaktorer. Endvidere vil kernekraftværkernes belastningsfaktorer, uran 235-indholdet i affaldsuranet fra berigningsanlæggene og omfanget af genbrug af plutonium og uran fra oparbejdede brændselselementer have indflydelse på uranefterspørgslen.

De i dag kendte økonomisk interessante uranreserver vil kunne dække det forventede behov til ca. år 2000.

Situationen på lidt længere sigt er uklar, specielt som følge af Carter-administrationens negative indstilling til udviklingen af formeringsreaktoren og til oparbejdning af brugt brændsel.

Forsynings-
sikkerhed

Udfra et forsyningssikkerhedsmæssigt synspunkt er problemet ved uran ikke et ressourceproblem - i hvert fald ikke i de næste årtier. Derimod er der på baggrund af de historiske forhold på uranmarkedet og den usikre situation omkring kernekraften i dag en risiko for, at der ikke i tide bliver gennemført den nødvendige prospektering og udbygning af minekapacitet og behandlingsanlæg.

Der er et relativt stort antal uranmineselskaber, som i overvejende grad ligger i lande, der kan betragtes som Danmark venligssindede. I modsætning til olieforsyningen skulle der derfor ikke på grund af monopolisering være grund til at frygte et uranforsyningsstop (når bortses fra midlertidige arbejdsnedlæggelser). Som det imidlertid vil være fremgået af ovenstående, må en overvejende del af uranleverancerne en tid fremover forventes at komme fra nogle få lande, og det er kendetegnende for disse lande, at export af uran kun kan finde sted med myndighedernes godkendelse. For intet af landene er indtægten fra salg af uran til udlandet af afgørende betydning for økonomien. Dette sammenholdt med de politiske forhold i leverandørlandene medfører en risiko for, at der vil blive lukket af for uranleverancerne - eventuelt med henvisning til ikke-spredningsproblematikken eller hensynet til egne langtidsforsyninger. Mulighederne for, at Danmark kan forhandle sig frem til selvstændige aftaler, er her ringe som følge af vore Euratom forpligtelser.

Løsningen på de forsyningssikkerhedsmæssige problemer for uran kan for Danmark enten være opbygningen af lagre, eller udvinding af den grønlandske uran. Lagerproblematikken vil blive omtalt senere. Mulighederne for en udvinding af den grønlandske uran undersøges for tiden.

Konversion
 $U_3O_8 \rightarrow UF_6$

Fra uranminernes behandlingsanlæg leveres uran som uranoxid, U_3O_8 . Omdannelsen af uranoxid til uranhexafluorid giver ikke anledning til særlige forsyningssikkerhedsmæssige problemer. Konversion sker efter en kendt industriel proces, og kapitalkravene og opførelsestiden for nye anlæg stiller heller ingen begrænsning. For at et midlertidigt leveringsssvigt ikke skal få følger for elektricitetsproduktionen, bør elselskaberne sikre sig ved lagre.

Uranberig-
ning

Langt den overvejende del af berigningsarbejdet for vestlige kernekraftværker er hidtil udført i berigningsanlæg ejet af den amerikanske stat. En anden leverandør af berigningsarbejde til det vestlige marked er Sovjetunionen; disse leverancer, der er væsentlige for visse elselskaber, er imidlertid kun af marginal betydning i det samlede billede. En væsentlig del af det franske og engelske behov for berigningstjeneste dækkes af nationale statejede anlæg. Nye leverandører på berigningsmarkedet er Urenco (ejet af England, Holland og Vesttyskland) og Eurodif og Coredif (ejet af Frankrig, Italien, Spanien, Belgien og Iran).

Problemerne for nye leverandører er mangefold. Teknikken er meget kompliceret og omgivet med stor hemmelighedsfuldhed. Kommercielt er det vanskeligt, for ikke at sige umuligt, at konkurrere med de amerikanske priser; disse holdes nede af en lov, der foreskriver, at kun konstaterede udgifter må dækkes for anlæggene, der alle er opført i 1940'erne og først i 1950'erne (der er dog bestræbelser for at ændre denne lov).

For elselskaberne er situationen den, at de for driften er helt afhængige af berigningstjeneste. Der er tale om en relativt lille udgiftspost, så forsyningssikkerheden går forud for prisen; men det er vanskeligt at opnå tilfredsstillende garantier for leverance af aftalt berigningstjeneste, og på det herskende marked med langtidskontrakter, der tegnes adskillige år før 1. leverance, kan elselskaberne ikke påregne at få udført berigningsarbejde hos en anden leverandør, hvis den, de har tegnet kontrakt med, viser sig ikke at være leveringsdygtig.

Dette sætter elselskaberne i en sårbar situation. Sandsynligheden for og konsekvenserne af strejker, tekniske svigt hos leverandøren og politisk betingede afbrydelser af forsyningerne må indgå i elselskabernes overvejelser. Leverandørernes lager af beriget uran vil i et vist omfang kunne modvirke virkningerne af en arbejdsnedlæggelse hos disse - hvis der da ikke bliver lagt hindringer i vejen for afsendelse af lagre. Ved vurderingen af risikoen for, at en transportarbejderstrejke skal lamme forsyningerne, bør der tages hensyn til det relativt begrænsede transportvolumen (driften af en 1000 MW LWR kræver ca. 20 t beriget uran/år). Hvad tekniske svigt angår, er det kun ved helt store uheld, at aftalte leverancer ikke vil kunne effektueres på basis af leverandørens lager af beriget uran. I tilfælde af politisk betingede afbrydelser af forsyningerne er det begrænset, hvad Danmark kan gøre. Disse afbrydelser vil eksempelvis ved aftaler med Sovjetunionen kunne skyldes en skærpelse af de øst-vestlige relationer, eller ved aftaler med USA have årsag i ikke-spredningsproblematikken. (For fuldstændighedens skyld skal det dog nævnes, at lande der har ratificeret ikke-spredningsaftalen, ikke hidtil har haft problemer med at få beriget uran til kernekraftværker.)

Den sikre løsning på de forsyningssikkerhedsmæssige problemer for berigningstjeneste er igen, at elselskaberne opbygger egne lagre. Lagerproblematikken vil som nævnt blive diskuteret senere.

Brændsels-
elementfa-
brikation

Der eksisterer et større antal brændselselementfabrikationsanlæg i verden, og de fleste lande med et kernekraftprogram har egne anlæg til fabrikation af brændselselementer. Igangsætning af ny produktion, uafhængig af licensaftaler, kræver imidlertid et vist forudgående udviklingsarbejde. Kapitalbehovet ved bygning af anlæg er relativt begrænset; de store krav ligger i sikringen af en høj kvalitet af produktet (høj kvalitet må forlanges, da udgifterne ved fabrikation af brændselselementer er små, sammenlignet med de udgifter, der er forbundet med at måtte tage et kernekraftværk ud af drift på

grund af defekte elementer). Helsingør Skibsværft er en mulig fremtidig dansk leverandør af brændselselementer.

De forsyningsikkerhedsmæssige overvejelser i relation til fabrikationen af brændselselementer er knyttet til risikoen for arbejdsnedlæggelser og tekniske svigt hos producenten. Væsentligt i denne forbindelse er det, at der formodentlig vil være tale om indenlandsk produktion med deraf følgende muligheder for at reducere forsyningsssvigtene til et minimum. Det vil kun i begrænset omfang være praktisk realistisk for den enkelte fabrik at ligge inde med lagre. Ved længere afbrydelser af leverancerne fra en given fabrik vil det være muligt at overføre produktionen til en anden fabrik.

Igen vil lagre hos elselskaberne bidrage til forsyningsikkerheden.

Oparbejdning og lagring af affald

Oparbejdning på kommerciel basis af LWR-brændsel foretages i dag kun i Frankrig. I England, Frankrig, Vesttyskland, Belgien, Japan og Brasilien er anlæg enten under opførelse eller langt fremme i planlægningsfasen. I USA står et stort oparbejdningsanlæg klar til afprøvning og finjustering, men Carter-administrationen har af politiske årsager udsat idriftsættelsestiladelsen på ubestemt tid.

Et oparbejdningsanlæg beregnet til kun at dække et eventuelt dansk behov, er som følge af stordriftsfordelene økonomisk urealistisk. Oparbejdning af brændsel fra eventuelle danske kernekraftværker må ske enten på et udenlandsk ejet anlæg eller på et internationalt anlæg, hvor Danmark er medejer (et nordisk anlæg har været foreslået).

Slutdeponering af brugte brændselselementer

For opbevaringen af det radioaktive affald, der fås som slutprodukt ved oparbejdningen, foreligger tekniske forslag. Politisk har problemet imidlertid endnu ikke fundet sin løsning. Slutdeponering af de brugte brændselselementer uden oparbejdning er hidtil kun for alvor blevet overvejet i USA, Canada og Sverige. For Danmarks

vedkommende bliver spørgsmålet om, hvad der skal ske med de brugte brændselselementer, tidligst fysisk aktuelt omkring midten af 1990'erne, og selve deponeringen af affaldet bliver først fysisk aktuel efter år 2000. Aftaler må dog træffes flere år forinden.

Forsyningssikkerhedsmæssigt giver det brugte brændsel ikke anledning til problemer. Ved kraftværket vil der være kølebasinskapacitet til at opbevare dels de brugte brændselselementer den tid, de normalt skal henstå før forsendelse finder sted, og dels en hel reaktorkerne af brændselselementer - det sidste for, at der i givet fald kan foretages reparationer på en tom reaktor. Yderligere er det muligt ved simple ændringer at øge kapaciteten af eksisterende kølebassiner. Derfor vil en midlertidig afbrydelse af afsendelsesmulighederne for brugte brændselselementer ikke få nogen driftsmæssig konsekvens.

Lagre

Et kernekraftværk af LWR-typen vil normalt få udskiftet en fjerdedel af sit brændsel en gang årligt - første gang dog sædvanligvis efter $1\frac{1}{2}$ års drift. Derfor vil anlægget det meste af tiden have et betydeligt indbygget lager. Den såkaldte "stretch-out" effekt giver et yderligere bidrag til dette lager på ca. 1 måneds brændselsforbrug (ved "stretch-out" forstås en udskydelse af tidspunktet for brændselselements-kift på bekostning af driftsfleksibiliteten og eventuelt i mindre grad effekten). Lageret af frisk brændsel bidrager yderligere til at sikre anlæggets drift, samtidig med at det øger fleksibiliteten for tidspunktet for brændselselements-kift. Typisk vil kernekraftværker have et lager, der sikrer ca. 1 års drift; hertil kommer den uran og den berigede uran, der er bundet i produktionsprocessen, samt lagrene af uran og beriget uran, som er erhvervet af forsyningssikkerhedsmæssige og økonomiske årsager. Sammenlignet med brændselslagrenes størrelse ved kul/oliefyrede kraftværker er der tale om mere end

en fordobling. Økonomisk er der kun tale om en ringe belastning på grund af den relativt lave udgift for nukleare brændselslagre.

Et lager af færdige brændselselementer svarende til 1 års drift af en 1000 MW LWR beløber sig investeringsmæssigt til ca. 250 mill. kr. eller ca. 15 kr./Gcal uran; et tilsvarende lager af beriget uran vil koste ca. 20 mill. kr. mindre. Antages en realrente på 4% p.a., en stigning i uranprisen på 2% real p.a. og uændrede realpriser for øvrige brændselskomponenter, svarer de 250 mill. kr. til en kapitaludgift på ca. 8 mill. kr./år eller ca. 50 øre/Gcal uran/år. Stigningen i elektricitetsprisen begrundet i lageromkostninger vil være på godt 0.1 øre/kWh. Med uændrede uranpriser vil kapitaludgiften være ca. 60 øre/Gcal uran/år.

3e. Supplerende energikilder

Hvilke energikilder? I "Dansk Energipolitik 1976"¹ forudses supplerende energikilder at yde et vist bidrag til opvarmning og elproduktion i perioden frem til 1995. Til opvarmningsformål regnes i 1995 med ca. 10% bidrag fra supplerende energikilder, og til elproduktion regnes med ca. 3% bidrag. Under supplerende energikilder henregnes dels de såkaldte vedvarende energikilder, her specielt solvarme og vindenergi, og dels udnyttelse af skrald, halm og andet biologisk materiale til forbrænding eller forgasning. Tillige medtages også geotermisk varme og den forbedrede udnyttelsesgrad af elektricitet til opvarmning, som kan opnås ved anvendelse af varmepumper. Det er således en meget blandet gruppering, og da det samlede bidrag til energiforsyningen er beskedent indtil 1995, skal der kun ofres få bemærkninger angående bidraget til forsyningssikkerheden.

Biologisk materiale Af de supplerende energikilder udnyttes skraldforbrænding allerede ganske intensivt i dag. Ca. 10% af fjernvarmen i Danmark (ca. 7% hvis kraftvarme inkluderes)

produceredes på skraldforbrændingsanlæg i 1977. Disse værker har en høj forsyningssikkerhed og vil bestå i det fremtidige, udbyggede kraftvarmesystem. Halm- og biogasforbrænding vil næppe indgå i de kollektive opvarmningssystemer på grund af store omkostninger ved transport af "brændslet". Men i landzoner kan de eventuelt yde et forsyningssikkert bidrag til opvarmningsformål.

Solvarme

Solpaneler forbundet med et varmelager kan bidrage med stor forsyningssikkerhed til opvarmning, især af varmt brugsvand om sommeren. Helårsopvarmning af boliger alene med solvarme må anses for umuligt i Danmark, og solvarme kan derfor kun være et supplement til en anden opvarmningsform, som oftest elvarme. Elvarmen vil med fordel kunne anvendes til opvarmning af solvarmeanlæggets lagertank, snarere end direkte i elradiatorer. Herved etableres et såkaldt akkumulerende elvarmesystem, som kan udnytte elektriciteten om natten, hvor produktionsomkostningerne er lave, dels fordi produktionen sker på grundlastenheder, og dels fordi der ikke umiddelbart kræves ekstra investeringer i værker og net.

Varmepumper

Virkningsgraden ved produktion af elektricitet fra primære brændsler er ca. 1/3. Varmepumpens virkningsgrad ved omdannelse af elektricitet til varme er ca. 3. Derfor indvindes tabet på kraftværket (som evt. udnyttes som kraftvarme) ved anvendelse af varmepumper. Det må formodes, at varmepumpen får et gennembrud inden 1995. I relation til forsyningssikkerhed forholder varmepumpen sig ganske som øgede isoleringsforanstaltninger. Den nedsætter behovet for primært brændsel, men hvis kriseforsyninger udgør en vis procentdel af normalforbruget, øger hverken varmepumpen eller isolering forsyningssikkerheden.

Geotermisk varme

Geotermisk varme bliver muligvis aktuel i Danmark, men kun i specielle geografiske områder (Salling-området). Den vil i såfald være en sikker forsyningsskilde for fjernvarme til maksimalt ca. 30.000 husstande.

Vind

Vindenergi kan, som den eneste af de aktuelle supplerende energikilder, benyttes til elproduktion. Undersøgelser pågår i offentligt og elværksregi for at bestemme de teknisk-økonomiske betingelser for indførelse af vindgeneratorer i elsystemet. Problemet ved vinden er dens ustadighed, som i øvrigt forstærkes af det faktum, at den afgivne effekt fra en vindgenerator varierer med tredje potens af vindhastighed. Hvis vindhastigheden derfor over en kort tid falder til det halve, falder udtageeffekten med en faktor 8. Dette skaber såkaldte transientproblemer ved styring af netspændingen, og sætter en grænse for, hvor meget vindelektricitet, der kan tåles på nettet uden et egentligt vindenergilager (for nærværende antages max. 5-10%). De norske vandkraftlagre kan muligvis udnyttes via Skagerak-kablerne (nu 500 MW), men de politiske og økonomiske forhold herom er helt uafklarede. Kun hvis teknisk egnede og økonomisk acceptable lagerfaciliteter kan etableres, vil vindenergien kunne yde et væsentligt bidrag til forsyningssikkerheden.

4. FORSYNINGSSIKKERHED FOR DET SAMLEDE ENERGISYSTEM

Indledning

De enkelte brændselskomponenter, som tænkes at indgå i Danmarks energiforsyning frem til 1995, er beskrevet i det foregående kapitel. Herunder er omtalt den særlige leveringssikkerhed, som kan forventes for enkelte brændsler, og de økonomiske og tekniske forhold som gør sig gældende ved opbygning af lagre. I et vist omfang kan brændsler imidlertid substituere hinanden, og specielt indgår en del brændsel til produktion af elektricitet, som i en krisesituation kan substituere brændsel specielt i opvarmningssektoren. Derfor kan forsyningssikkerheden for forbrugeren ikke alene ansues udfra det brændsel, som normalt anvendes, men må fremgå af en vurdering af det samlede energiforsynings-system.

Oversigt

I nærværende kapitel er udviklet en beregningsmetode, som belyser samspillet mellem de enkelte brændselsarter, således at konsekvenserne af et leverings-svigt på et enkelt brændsel kan vurderes i forhold til det samlede forsyningsbillede. I afsnit 4a redegøres for nogle tekniske forhold, som danner baggrund for substitutionsberegningerne. Tillige gennemgås nogle sandsynlige krisetyper og de foranstaltninger, der må formodes at blive iværksat, hvis en leveringskrise indtræffer. Da formålet med beregningerne er at bestemme, hvorlænge Danmark kan klare sig i en krisesituation, er det nemlig nødvendigt at gøre rimelige antagelser om hvilke nedskæringer, der er politisk og samfundsmæssigt acceptable. I afsnit 4b fastlægges de udbygningsscenarier, som omfattes af den foreliggende undersøgelse, og der udpeges tre krisesituationer som eksempler på leverings-svigt. Endelig specificeres, hvorledes konsekvensen af kriser måles for Danmark. Afsnit 4c beskriver energisystemets fleksibilitet, og i afsnit 4d gives en detaljeret beregningsforskrift for en "krisøvelse" med et 50% oliesvigt i 1976 som eksempel. Resultaterne for forskellige forsyningssvigt og forskellige scenarier præsenteres i afsnit 4e.

Metodens begrænsning Det skal allerede her bemærkes, at problematikken omkring forsyningssikkerhed er så kompleks og indeholder så mange parametre, at det ikke er muligt eller rimeligt at drage for specifikke konklusioner. Resultaterne skal snarere vurderes som sandsynlige tendenser i en fremtidig energiudbygning. Det er også en begrænsning ved den foreliggende undersøgelse, at den kun vurderer konsekvenser af postulerede leveringssvigt, men ikke beskæftiger sig med sandsynligheden for at disse svigt kan forekomme. På det punkt må alene henvises til omtalen af de enkelte brændsler i kapitel 3.

4a. Tekniske vurderinger

Substitution Ved nogle brændselsanvendelser, således udpræget indenfor transportsektoren, er der ikke mulighed for at erstatte en brændselstype med en anden. Men indenfor opvarmningsområdet og elproduktion forekommer en vis fleksibilitet. Det giver mulighed for, hvis der opstår knaphed på en brændselstype, at foretage omlægning til en anden type. Eksempelvis kan en vis del af boligopvarmningen med øjeblikkelig virkning klares af transportable elvarmeovne. En analyse af disse omstillingsmuligheder må derfor danne basis for en vurdering af konsekvenserne af et brændselssvigt.

Substitutionsskema I tabel 4.1 er vist et såkaldt substitutionskema baseret på forbrugsfordelingen af brændsler i 1976. Sektoropdelingen (lodret) er valgt således, at der opnås en passende differentiering af brændselsanvendelser. Den første talkolonne angiver for hver sektor den totale brændselsmængde målt i mill. Gcal (=Pcal= 10^{15} cal). De følgende kolonner viser, hvorledes disse brændselsmængder er opdelt procentvis på forskellige brændsler. I hver rubrik er angivet tre procenttal adskilt af skråstreger. Det midterste tal svarer til det normale forbrug, medens det første og sidste tal viser henholdsvis

Tabel 4.1

Substitutionskema 1976

Anvendelse	Primært brændsel	Total Mill.Gcal	Naturgas	Olieprodukter			Kul	Uran	Sul., vind, skred, geotermisk m.m.
				Benzin m.m.	Gasolie/ Dieselolie	Fuelolie til fjernvarm., industri m.m.			
BOLIGBENYTTELSE									
	telt	62.9							
Opvarmning	telt	43.9							
Indiv.fyreblokcen-traler		32.0		1/3/3	75/92/92	4/3/4		2/1/1	
Fjernv. fra varmecen-traler		9.9				92/92/100			0/8/8
" " kraftvarmeværker		2.0					42/52/95	5/48/58	
Andet	telt	19.0							
Primært brændsel		0.4		20/20/20	39/39/39			41/41/41	
EI		18.0							
INDUSTRY									
	telt	35.0							
Opvarmning		5.9			15/24/30	65/76/80			
Procesvarme		16.6		1/1/1	38/38/40	38/38/40		15/21/21	0/2/2
EI		12.0							
LANDBRUG/GARTN./SKOVBR./FISKEERI									
	telt	9.4							
Opvarmning		2.3			90/100/100				
Procesvarme		4.6			00/100/100				
EI		2.5							
BYGGE- OG ANLÆGSV./HANDYERK									
	telt	8.0							
Opvarmning		4.0			90/100/100				
Procesvarme		1.0			00/100/100				
EI		3.0							
HANDEL OG SERVICE									
	telt	30.0							
Opvarmning		18.0			55/60/60	30/35/35	4/5/9	1/5/6	
EI		12.0							
TRANSPORT									
	telt	35.6		71/71/71	28/28/28	1/1/1			
OFFENTLIG + ERHVERV									
	telt	22.0							
Primært brændsel		21.0		55/55/55	43/43/43	2/2/2			
EI		0.3							
PRIVAT									
	telt	14.0		95/95/95	5/5/5				
NETTO EL-EKSPORT									
	telt	-6.1							
ALLE SEKTORER									
	Pool	telt	186.6	14/14/14	33/37/38	14/15/16	13/16/29	3/17/20	0/1/1
Opvarmning			75.0	0/1/1	54/64/64	26/28/30	2/3/5	0/3/3	0/1/1
Procesenergi			22.6	1/1/1	53/53/55	28/28/29		12/16/16	
Transportenergi			35.0	71/71/71	28/28/28	1/1/1			
EI			54.0				42/52/95	5/48/58	

minimumforbrug og maksimumforbrug, svarende til de ovenfor omtalte substitutionsmuligheder. Eksempelvis kan visse kedler i elværkerne fyres med kul og olie i variabelt blandingsforhold. For hele elsektoren var den minimale olieandel 42% i 1976, medens den maksimale olieandel var 95%. Da olieandelen under normaldrift var 52% angives denne situation i skemaet ved 42/52/95. Tilsvarende vil kulandelen angives ved 5/48/58. Hvis der ingen substitutionsmuligheder foreligger er de tre procenter ens (se f.eks. benzin indenfor transportsektoren).

Elektricitet Elektricitet betegnes ofte som et sekundært brændsel. Det produceres ud fra de primære brændsler, og optræder derfor som "forbruger" af primære brændsler i substitutionskemaet. Men elektricitet kan samtidig substituere primære brændsler ved mange anvendelser (jfr. bemærkningen om elvarmeovne ovenfor). Dette kunne klargøres ved at føre et separatregnskab med sekundære brændsler. Imidlertid er det ikke fundet betimeligt

at omstændeliggøre skemaet yderligere, og substitution imellem elektricitet og primære brændsler må derfor afledes indirekte af skemaet.

Substitution i 1976 Som en foreløbig konklusion viser skemaet i tabel 4.1, at substitutionsmulighederne i Danmark i 1976 var meget begrænsede. Det var næsten udelukkende indenfor elproduktionen, der kunne substitueres. Det karakteristiske for Danmark i 1976 var naturligvis, at energiforbruget i al overvejende grad lå på to brændsler, kul og olie. Da kul er billigere end olie har de forbrugere, som kan substituere, af økonomiske grunde omstillet sig til maksimalt kulforbrug. Ved en eventuel oliekrise er der derfor ikke mulighed for yderligere substitution. Skemaet for 1976 er derfor af mindre interesse og er kun medtaget her for at demonstrere metoden på en kendt situation. Hvis naturgas og/eller kernekraft indføres i Danmark forøges substitutionsmulighederne, og konklusionerne, der kan drages af skemaet, bliver af større interesse. I afsnit 4b beskrives nogle fremtidige scenarier, hvor netop kernekraft og især naturgas giver en stærkt forøget fleksibilitet af energisystemet.

Lagre Substitutionsskemaerne skal i det følgende benyttes til at beregne konsekvenserne af brændselssvigt. Der skal senere redegøres for, hvorledes konsekvenserne måles, men det skal allerede her nævnes, at konsekvenserne naturligvis er stærkt afhængige af alternative forsyningsmuligheder, specielt fra lagre og udlandsforbindelser. Lagrene har især betydning for kul, olie og uran, medens udlandsforbindelser er afgørende for gas og elektricitet. Lagringsmulighederne og omkostninger ved lagring er behandlet i kapitel 3. Nedenfor er i tabel 4.2 angivet, hvilke lagervarigheder ved normalt forbrug og totalt forsyningsstop der er forudsat i de følgende beregninger. Tallene er for kul og olie baseret på nugældende forordning og praksis, medens de for gas og

uran er skønsmæssigt ansat på baggrund af de teknisk-økonomiske overvejelser i kapitel 3.

Tabel 4.2

Lagerkapaciteter

Brændselstype	Gas	Olje	Kul	Uran
Kapacitet (mdr)	0.5	3	3	12

Udlandsforbindelser Udlandsforbindelser for el og eventuelt for gas kan få betydning i tilfælde af tekniske vanskeligheder, som f.eks. kraftværkshavari eller brud på en gastransmissionsledning. Størrelsen af den substitution, der kan komme på tale, afhænger dels af de til enhver tid gældende aftaler, og dels af de tekniske overførselskapaciteter af forbindelserne. I tilfælde af kriser, som også rammer vore naboer, vil disse forbindelser selvfølgelig kun være af begrænset betydning.

Forbrugsreduktion Substitutionsskemaet repræsenterer naturligvis en forenkling af virkeligheden, og for at opnå realistiske konklusioner, er en yderligere detaljering nødvendig. For det første angiver substitutionsskemaet det normale energiforbrug med dets substitutionsmuligheder. I en krisesituation må det antages, at visse forbrugsgrupper pålægges at reducere energiforbruget. I den foreliggende undersøgelse er det således forudsat, at forbruget af komfortvarme nedskæres med 20% på årsbasis, og privat transport nedskæres med 10%. Det normale elforbrug nedskæres ligeledes med 10%, begrundet i frivillige besparelser hos forbrugerne (erfaringstal fra oliekrisen 1973). I tillæg til dette nedsatte elforbrug er dog i visse krisesituationer (olie- og gaskriser) regnet med et ekstraforbrug ved omlægning til elopvarmning. Der foretages ingen nedskæring i forbruget til produktion i industri og håndværk.

Krisetyper En yderligere komplikation opstår, fordi substitutionsmulighederne kan være afhængige af krisens art. Langvarige kriser vil således animere til tekniske ombygninger mod ikke-kriseramte brændsler. Men vigtigere endnu er sæsonafhængigheden. Både varme- og elforbruget har "højsæson" om vinteren i Danmark, og årsmiddelforbruget, som er angivet i substitutionsskemaet, kan derfor ikke benyttes i "spidslast"-perioden om vinteren. Til en del af analysen er derfor udarbejdet "spidslastskemaer" for at vurdere konsekvenserne ved kriser i spidslastperioden.

4b. Udbygningsplaner og kriseeksempler

Udbygningsplaner Analysen i denne rapport er baseret på nogle af de udbygningsalternativer, som er beskrevet i Varmeplanudvalgets 1. delbetænkning: Varmeplanlægning². Der er ialt fremlagt 5 scenarier, som specielt belyser betydningen af de endnu ikke truffene beslutninger om, hvorvidt naturgas og kernekraft skal indføres i Danmark. I nærværende undersøgelse behandles kun 3 af scenarierne, nemlig G, B og C, som alle kan betegnes som "rene" scenarier, d.v.s. der indføres ingen eller kun en ny energiform i hver plan. Udbygningsplan G betegnes "grundscenariet", og er en fremskrivning af beslutninger som er taget eller tendenser, som kan iagttages idag. Plan B forudsætter indførelse af naturgas, især til erstatning af olie i opvarmningssektoren, og plan C indfører kernekraft. Undersøgelsen koncentrerer sig om årene 1985 og 1995, idet alle 3 scenarier behandles i 1995, medens kun G og B behandles i 1985, da kernekraft først kan blive aktuel i 1990. Substitutionskemaer for scenarierne findes i Appendiks A.

Det bør bemærkes at "Dansk Energipolitik 1976"¹, som for nærværende må siges at repræsentere den officielle danske energipolitik, forudsætter både naturgas og kernekraft indført i Danmark. Denne variant er også behandlet i "Varmeplanlægning" som plan A. Når denne plan ikke er medtaget her, skyldes det ønsket om at analysere de separate effekter på forsyningssikkerheden af naturgas og kernekraft.

Kriseek-
sempler

Der er valgt 3 krisetyper til at belyse forsynings-
sikkerheden i de 3 udbygningsplaner, G, B og C. Det er
først en oliekrise med forsyningsreduktion til 50% af
normalforsyningen. Dette er naturligvis en drastisk ned-
skæring, men den er valgt for at opnå en markant konse-
kvens. Dernæst et stop for gastilførsler fra Nordsøen,
f.eks. ved et teknisk uheld på platform, søledning el-
ler ilandtagingsanlæg. Gaskrisen er behandlet både som
et totalstop og med 30% kriseforsyning fra udlandsfor-
bindelser. Endelig vurderes et leveringsstop for brænd-
sel til kernekraftværker. Det skal endnu engang pointe-
res, at sandsynligheden for disse kriser ikke er vurde-
ret, og at analysen derfor indskrænker sig til en kon-
sekvensberegning.

Konsekvens-
beregning

Konsekvensen af en krise kan ikke angives ved en
enkelt talstørrelse, og der ligger således et valg i,
hvorledes konsekvensen bør repræsenteres. Her er valgt
to metoder at målsætte energisystemets sårbarhed overfor
forsyningssvigt. Den ene metode er at bestemme, hvor
stor en reduktion af et brændsel der permanent kan tåles
uden serviceforringelse, d.v.s. uden at forbrugerne
mærker en reduktion. Forbruget lægges over på ikke-krise-
ramte brændsler, som forventes leveret i tilstrækkelig
mængde. For denne vurdering har lagre kun betydning for
sæsonudjævningen, idet der ikke på årsbasis tæres på
lagrene (i modsat fald kunne nedskæringen ikke tåles per-
manent). Denne metode bestemmer energisystemets fleksi-
bilitet, men har ikke direkte relation til en realistisk
krisesituation. Denne anden metode tilstræber derimod at
efterligne en virkelig krise, ved at beregne hvor læn-
ge lagre vil vare, når det kriseramte brændsel substitu-
eres mest muligt af andre brændsler (som kun leveres i
normalt omfang), og de tidligere omtalte kriseforanstalt-
ninger indføres.

4c. Energisystemets fleksibilitet

Substitu-
tionsela-
sticitet

Som nævnt i foregående afsnit, kan det være af nogen interesse at vurdere, hvilken fleksibilitet, der er i de enkelte udbygningsscenarioer. Det er undersøgt ved at bestemme, hvor stor en nedskæring af et enkelt brændsel, som vedvarende kan tåles uden serviceforringelse for forbrugerne, når øvrige brændsler leveres i tilstrækkeligt omfang. Resultaterne er vist i tabel 4.3 for det normale brændselsforbrug, d.v.s. uden indførelse af kriseforanstaltninger.

Tabel 4.3

Mulige vedvarende nedskæringer af leverancer § (i %)

Scenario, år Brændsel	1976	G 1985	B 1985	G 1995	B 1995	C 1995
Naturgas	-	-	0	-	0	-
Benzin	0	0	0	0	0	0
Olie (g) +	11	11	11	12	16	12
Olie (f) +	5	12	22	14	22	11
Olie (k) +	19	46	46	47	46	33
Kul	82	90	90	90	91	88
Uran	-	-	-	-	-	50

§ Kun et brændsel nedskæres ad gangen (hvert olieprodukt behandles som selvstændigt brændsel).

+ Olie (g): Gasolie: Olie (f): Fuelolie til fjernvarme, industri, m.m.

Olie (k): Svær fuelolie til kraftværker

Til forståelse af resultaterne i tabel 4.3 kræves følgende kommentar. For hvert brændsel ad gangen bestemmes først, på basis af substitutionsskemaer for årsmiddelforbruget, hvor stor en del af brændslet, der kan bortsubstitueres. De således fundne substitutionsværdier gælder derfor for en middeldag. I spidslastperioden er forbruget

større, og det er nødvendigt at tappe fra lageret, som hvis det "overlever" spidslastperioden, igen fyldes i brændslets "lavsæson" - og nedskæringen kan derfor tåles permanent. Hvis lageret derimod ikke "overlever" spidslastperioden, er det substitutionsmulighederne i denne periode, der angiver den mulige permanente nedskæring. Det viser sig ved denne analyse, at for alle brændsler undtagen naturgas "overlever" lageret. For naturgasscenerierne B 1985 og B 1995 kan ca. 50% af gassen bortsubstitueres på en middeldag (afbrydelige kunder), men i spidslastperioden under kolde vintre er alle afbrydelige gaskunder i forvejen afkoblet gasnettet, og der foreligger ingen yderligere substitutionsmuligheder for gas. Derfor er den mulige permanente nedskæring af gassen 0%. Det understreges, som også nævnt tidligere, at disse beregninger ikke repræsenterer realistiske krisesituationer, men alene tjener til belysning af elasticiteten i energisystemet.

Af de markante træk, der kan aflæses af tabel 4.3, skal nævnes, at benzin (transportsektoren) er helt uden elasticitet, d.v.s. der er ingen omflyttelighed af brændsel mellem denne sektor og andre sektorer. Det er også markant, at kul kan tåle en meget kraftig nedskæring. Det skyldes, at kul i almindelighed vil kunne substitueres med olie. I øvrigt noteres det, at alle scenarier, inklusive grundscenariet G, giver en forbedring af situationen i forhold til 1976; under alle omstændigheder giver de undersøgte planer en større omstillelighed end Danmark har i dag. Naturgassens indførelse betyder, at noget større nedskæringer kan tåles for brændselsolier, og i den henseende bidrager gassen til forsynings-sikkerheden. Kernekraften, som overvejende erstatter kul ved grundlastproduktion af elektricitet, har en svagere indvirkning på brændselsoliesituationen.

Det bør bemærkes, at alle samfundets energibehov er stillet lige i denne analyse; således er komfortvarme givet samme vægt som elektricitet til produktionen. I den følgende undersøgelse er der imidlertid foretaget en behovdifferenciering ved indførelse af kriseforanstaltninger.

4d. Eksempel på "kriseøvelse"

Forudsæt-
ninger

Som eksempel på beregninger af lagervarigheder under en forsyningskrise gennemgås i dette afsnit et 50% oliesviqt for 1976-scenariet. En oliekrise vil normalt berøre alle typer olier, og det forudsættes derfor, at importen af alle olieprodukter nedskæres med 50%. Hvis samfundsmaskineriet fortsatte normalt, således at den manglende olieimport skulle kompenseres ved tapning af olielagrene, ville lagrene holde i 6 måneder uafhængigt af hvilket udbygningsscenario, der vælges. Dette er en følge af forudsætningerne om 3 måneders normalforbrug i olielagrene og fortsat 50% levering. Kriserestriktioner og omlægninger mod andre brændsler kan imidlertid forlænge olielagrene udover de 6 måneder. Tabel 4.4 viser i detaljer, hvorledes restriktioner og omlægninger influerer på forbrugene af de enkelte brændsler. Beregningerne er baseret på oplysningerne i substitutionsskemaet for 1976 (se tabel 4.1). I det følgende omtales beregningerne i tabel 4.4 række for række.

Tabel 4.4
Eksempel på "kriseøvelse"

SCENARIO: 1976

KRISE: 50% oliesviqt

Brændsel	Naturgas	Olieprodukter				Kul	Uran	El _t	El _s
		Benzin m.m.	Gasolie/ Diesel- olie	Fuelolie til fj.v. ind.m.m.	Fuelolie til Kraftværk				
Normalforbrug (Pcal/år)		26.1	69.8	28.0	30.0	31.8		54.0	
Lager (Pcal)		6.5	17.4	7.0	7.5	8.0			
Kriseleverance (Pcal/år)		13.0	34.9	14.0	15.0	31.8			
Kriseforbrug u/sub. (Pcal/år)		24.6	60.1	23.8	26.8	28.8			
Kriseforbrug m/sub. (Pcal/år)		24.1	54.1	22.6	28.8	40.8			14.0
Lagervarighed (dage)		214	331	297	198	324			
Kritisk brændsel (ang. ved +)		+			+				

Note: El_t angiver brændselsforbrug til elfremstilling (brutto); El_s angiver den del af den totale elproduktion, der substituerer det kriserante brændsel.

Normalforbruget for de enkelte brændselstyper fremkommer fra rubrikkerne "Alle sektorer" i tabel 4.1, idet det erindres, at af de tre opgivne procenttal angiver

det midterste det normale forbrug uden omlægninger. Lagerets størrelse fremgår af tabel 4.2 ved omregning fra lagervarighed til energienheder. I 1976-scenariet er der kun tale om olie og kul, som begge antages at have en lagervarighed ved normalt forbrug på 3 måneder, d.v.s. lagerets størrelse er en fjerdedel af det årlige normalforbrug.

Kriseleverance og -restriktioner

Kriseleverancen er ved et 50% oliesvigt halvdelen af normalforbruget. Kriseforbruget uden substitution beregnes ved at reducere normalforbruget i henhold til antagelserne om forbrugsbegrænsende restriktioner (se afsnit 4a). For at bestemme kriseforbruget er det nødvendigt for hvert brændsel at benytte substitutionskemaets opsplitning på sektorer. Besparelserne i forhold til normalforbruget fremkommer da ved at reducere privattransport med 10%, opvarmning (komfort) med 20% og el med 10%.

Omlægninger

Kriseforbruget med substitution er resultatet af omlægningen bort fra det kriseramte brændsel, i dette eksempel alle olieprodukter. For gasolie og fuelolie til fjernvarmeværker sker omlægningen til elvarme (i det omfang den ekstra elproduktion, El_s , ikke bringer den samlede elproduktion, El_t , højere end 20% over normalproduktionen (i en krisesituation antages det, at tekniske reserver og udlandsforbindelser kan dække den øgede belastning). I det foreliggende eksempel ses det fra substitutionsskemaet (tabel 4.1: rubrikken "Alle sektorer"), at det normale gasolieforbrug udgør 37% af det samlede energiforbrug på 186.6 Pcal, men at 4% (ned til 33%) kan substitueres. Substitutionen sker som det fremgår udelukkende indenfor opvarmningssektoren, hvor den udgør 10% (fra 64% til 54%) af den samlede energi til opvarmning på 75.0 Pcal. Imidlertid er opvarmningssektorens forbrug reduceret med 20% ifølge kriserestriktionerne, d.v.s. fra 75.0 Pcal til 60.0 Pcal, og den mængde gasolie, der kan substitueres med el, er derfor 10% af 60.0 Pcal eller 6.0 Pcal. I tabel 4.4 skal gas-

178.9

36

7

7

39

3

57

74.1

74.1/59.3

39.1

4.2

4.2 oliens kriseforbrug uden substitution således reduceres med 6.0 Pcal for at finde kriseforbruget med substitution. Tilsvarende for fuelolie til fjernvarmeværker findes en reduktion på 1.2 Pcal og for benzin m.m. (petroleum) findes 0.5 Pcal. Det næste skridt er at bestemme hvormeget brændsel (brutto), der skal bruges på kraftværkerne for at producere en elvarmemængde, som svarer til den varme 7.7 Pcal petroleum, gas- og fuelolie afgiver hos forbrugeren. Idet det antages, at virkningsgraden af gasolie i oliefyr og fuelolie i fjernvarmesystemet på årsbasis er 0.6, og kraftværkets virkningsgrad er 0.33, skal der på kraftværkerne anvendes $\frac{0.6}{0.33} \times 7.7$ Pcal = 14.0 Pcal brændsel (se tabel 4.4: Søjle El_s). Kraftværksolie- og kulforbruget med substitution beregnes derefter i to trin: først beregnes omlægningen fra olie til kul på kraftværkerne, og derefter adderes det ekstra bidrag fra den substituerende el, El_s. Som det ses af tabel 4.1 kan olieandelen på kraftværkerne ved substitution reduceres fra 52% til 42%, medens kulandelen tilsvarende øges fra 48% til 58%. Den normale produktion på kraftværkerne andrager 54.0 Pcal el og 2.0 Pcal kraftvarme (se tabel 4.1). Med kriserestriktioner (10% på el og 20% på varme) bliver den samlede reducerede kraftværksproduktion 50.2 Pcal. Heraf kan 10% eller 5.0 Pcal altså omlægges fra olie til kul, d.v.s. mængden af fuelolie til kraftværker reduceres med 5.0 Pcal, medens kulforbruget øges med 5.0 Pcal. De endelige kriseforbrug med substitution for kraftværksolie og kul fremkommer herefter ved at addere den ekstra substituerende elproduktion El_s på 14.0 Pcal, som fordeles ligeligt på kul og olie med 7.0 Pcal på hver (der antages en lidt større olieandel på reserveanlæg).

Lagervarighed

Skemaet indeholder nu tilstrækkelige oplysninger til at bestemme lagervarighederne for de enkelte brændsels typer. De beregnes ud fra følgende formel:

$$\text{Lagervarighed (i dage)} = \frac{\text{Lager}}{\text{Kriseforbrug m/sub.-kriseleverance}} \times 365$$

220 Lagervarighederne i tabel 4.4 viser, at det kritiske
217 brændsel ved denne kriseøvelse er kraftværksolien, hvis
lager tømmes (198) dage efter krisens indtræden. Benzin
m.m. er også karakteriseret som et kritisk brændsel med
lagertømning efter (214) dage. De øvrige olier og kul har
lagervarigheder nær eller over 300 dage. } text

Bemærk-
ninger

Når kraftværksolien rammes længe før de andre brændselsolier, skyldes det den kraftige omlægning til elvarme, der er "postuleret" i kriseøvelsen. Det er muligt at gennemføre en optimering af omlægningen, således at alle brændselsolielagre varer omtrent lige længe. Det vil imidlertid i praksis kræve en styring specielt af elforbruget, som der ikke i nyere tid er præcedens for i Danmark. Det er derfor fundet mest realistisk i den foreliggende undersøgelse af antage, at forbrugerne kompenserer for en del af det manglende opvarmningsbrændsel med elvarme. Bemærk dog, at elvarmekompensationen er indregnet i kriserestriktionerne, således at den effektive reduktion af komfortvarmeforbruget er 20%. Tanker om metodens anvendelse under antagelser om øgede styringsmuligheder for optimal omlægning omtales sidst i rapporten.

4.9
12.1 Når krisen efter knap 7 måneder er blevet fatal for kraftværksolie kan det aflæses i skemaet, tabel 4.4, hvor stor en manko, der bliver for det manglende brændsel. Kriseforbruget for kraftværksolie er (28.8) Pcal (her-22.6 af (7.0) Pcal til substituerende el), medens kriseleverancen er (15.0) Pcal. Der mangler altså knap halvdelen af det nødvendige brændsel. Hvilke forbrugere der rammes, og hvor hårdt de rammes i denne "fatale" kriseperiode, vil fremgå af substitutionsskemaet, tabel 4.1. Nye kriserestriktioner vil her være påkrævet, men de er ikke vurderet i den foreliggende undersøgelse.

Den her beskrevne kriseøvelse for 1976 findes sammen med kriseøvelser for andre scenarier og andre typer brændselssvigt samlet i appendiks B. Resultaterne præsenteres i det følgende afsnit 4e.

4e. Resultater af "kriseøvelser"

Oliekrise Lagervarighederne for de kritiske brændsler ved 50% oliesvigt i de forskellige udbygningsscenarier for energisystemet er vist i tabel 4.5.

Tabel 4.5

Konsekvenser af 50% oliekrise

Scenario, år	1976	G 1985	B 1985	G 1995	B 1995	C 1995
Kritisk brændsel [§]	olie(k)	olie(k)	olie(g)	olie(g,f)	olie(g)	olie(g,f,k)
Lagervarighed (mdr)	7.3 6.6	7.8	10.0	9.2	10.2	8.2

§ Det brændsel for hvilket lageret tømmes først. Følgende betegnelser er anvendt:

Olie(k): Svær fuelolie til kraftværker

Olie(f): fuelolie til fjernvarme, industri, m.m.

Olie(g): gasolie, til bl.a. individuelle fyr.

Resultaterne i tabel 4.5 viser, at i alle fremtids-scenarierne er lagervarigheden længere end i 1976. Naturgassen (B-scenarierne) forøger varigheden af olielagrene med ca. 50% i forhold til 1976. Dette skyldes bl.a., at der er forudsat mange såkaldte afbrydelige gaskunder, specielt fjernvarmeværker og industri, som antages at kunne bruge både gas og olie. Kernekraften (C 1995) har en forholdsvis mindre, men dog mærkbar, effekt på en oliekrise. Når forlængelsen af lagervarigheden er mindre for kernekraften end for gassen, skyldes det dels, at kernekraft kun indgår i elproduktionen, som i 1995 for den øvrige del af elproduktionens vedkommende er stærkt kulbaseret, og dels at kun 3 kernekraftværker kan være i drift i 1995. Når grundscenarierne (G-scenarierne) også giver en forbedring i forhold til 1976, selvom der ikke introduceres nye brændsler, hænger det sammen med den kraftige kraftvarmeudbygning, som betyder, at en større andel end normalt af fjernvarmen kan produceres på kulfyrede værker under en oliekrise. Det bemærkes, at forøgelsen af lagervarigheden ved de forskellige foranstaltninger er moderat i forhold til den lagervarighed, der primært opnås ved kriselagrene af olie.

Gassvigt

Som omtalt i kapitel 3, er gaslagrene, som påtænkes etableret i forbindelse med et dansk naturgassystem, beregnet til sæsonudjævning af gasforbruget. På nogle tidspunkter af året er det tomt, på andre er det fuldt, og oftest er det under fyldning eller tømning. Der er her gjort den forenkende antagelse, at et stop af gaskulførslerne indtræffer, når arbejdslageret er halvt fuldt og indeholder gas svarende til 14 dages normalforbrug. Under fortsat normal drift vil krisen for gaskunderne derfor blive fatal efter 14 dage. Men som ved oliekrisen kan lagervarigheden forlænges ved omlægninger. Således frakobles alle afbrydelige gaskunder (fjernvarme og industri), og så megen komfortvarme, som det er teknisk muligt, omlægges fra gas til el (begrænsning ved maximum 20% ekstra elproduktion). Resultaterne for de to gas-scenarier kan ses i tabel 4.6 for såvel et totalt gassvigt som et svigt med 30% nødforsyning fra udlandsforbindelser.

Tabel 4.6

Konsekvenser af gassvigt

Scenario, år	B 1985		B 1995	
	Nødforsyning fra udlandsforb. (% af normalforbrug)	0	30	0
Kritisk brændsel	gas	gas	gas	gas
Lagervarighed (mdr)	1.0	3.1	1.1	3.3

Uden udlandsforbindelser kan gaslagrene vare i ca. 1 måned. Udlandsforbindelserne med 30% nødforsyning forøger lagervarigheden til 3 måneder og giver i øvrigt en betragtelig reduktion af manko'en, når krisen bliver fatal.

Resultaterne i tabel 4.6 repræsenterer en middel-situation, og det bør erindres, at hvis et gassvigt indtræffer, når lageret er tomt, vil krisen uden udlandsforbindelser blive fatal efter få dage. De beregnede lagervarigheder skal vurderes i forhold til de reparationstider for dele af gassystemet, som er diskuteret i afsnit 3c. I almindelighed vil en læk på søledningen kunne repareres indenfor lagervarigheden. Men der kan tænkes uheld og tidspunkter på året, hvor gasforsynings-systemet ved et totalt gasstop ikke kan retableres indenfor lagervarigheden. Et større brud på søledningen i det tidlige forår med dårligt vejr eller en storbrand på landingsanlæg eller platforme er eksempler på sådanne fatale uheld. Udlandsforbindelsernes betydning er evident i en sådan situation.

Stop for
nukleart
brændsel

Som nævnt tidligere har nukleart brændsel af alle brændsler de gunstigste lagerbetingelser. Lagerbrændslet er billigt pr. Gcal i anskaffelse, og der kræves ingen specielle lagerfaciliteter. Når lagerkapaciteten i denne undersøgelse (tabel 4.2) er sat til et år, er det et valg, som formentlig ligger i underkanten af de faktiske forhold for kernekraftværker. Hvis et leveringsstop for kernebrændsel indtræffer, antages det, at så stor en del af elproduktionen som muligt omlægges til kul og olie. Derved strækkes lageret af kernebrændsel, som det fremgår af tabel 4.7 til 21 måneder.

Tabel 4.7

Konsekvenser af stop for nukleart brændsel

Scenario, år	C 1995
Kritisk brændsel	uran
Lagervarighed (mdr)	21

Konklusion Naturgassen bidrager under forudsætning om mange afbrydelige gaskunder til forsyningssikkerheden under en oliekrise ved at forlænge lagervarigheden for olie. Men i og med at der indføres naturgas i Danmark, indføres også muligheden for gassvigt. Og gassen har af alle brændsler den korteste lagervarighed. Med de her undersøgte kriseeksempler og scenarier vil en krise uden gas i Danmark først blive fatal efter mindst 7 måneders forløb. Med gas kan en krise blive fatal efter en måneds forløb eller meget tidligere under uheldige omstændigheder. Aftaler om kriselevering fra udlandet vil være af stor betydning for krisens konsekvenser.

Kernekraften og kraftvarmeudbygningen forlænger også lagervarigheden for olie under en oliekrise, omend effekten er mindre end for naturgassen. Til gengæld har kernekraften selv lang lagervarighed under en kernebrændselskrise.

Transportsektoren rammes kun af oliekriser og har uafhængigt af valg af udbygningsscenario en lagervarighed for benzin på knap 7 måneder med 10% reduktion af privat transport.

Kriselagre yder det væsentligste bidrag til forsyningssikkerheden.

Det skal endnu en gang pointeres, at konsekvenserne som de fremgår af lagervarigheder og udækkede behov, bør vægtes med sandsynligheden for, at de forskellige kriser indtræffer. Herom henvises til de kvalitative vurderinger i kapitel 3.

Videre arbejde

Det har i denne undersøgelse af forsyningssikkerhed været nødvendigt at foretage mange antagelser om detaljer i forsyningsstrukturen 20 år frem i tiden. Selvom en del af disse antagelser er subjektive, anfægter de dog næppe tendenserne i resultaterne. Metoden, som er et første forsøg på at kvantificere konsekvenserne af forsyningssvigt, kan naturligvis gennemføres med andre forudsætninger om scenarier og krisetyper. På grundlag af beskrivelsen af kriseøvelsen i afsnit 4d er det muligt for læseren selv at ændre i substitutionsskemaernes forudsætninger om forbrugsfordelingen og substitutionsmulighederne

og beregne konsekvenserne ved leveringssvigt af brændsel.

På to områder i forbindelse med energiforsynings-sikkerhed kan den her udviklede substitutionsmetode finde yderligere anvendelse. Det ene er til vurdering af "kritiske punkter" i energisystemet, hvor der teknisk kunne etableres omstillingsmuligheder, der ville øge forsynings-sikkerheden. Det andet område er vurdering af hvilke kriseforanstaltninger og styringsmuligheder, der kunne indføres under givne krisebetingelser og med et fastlagt forsynings-system for at forlænge lagervarigheder af brændsler. Det her indledte arbejde søges fortsat efter disse retningslinier.

APPENDIKS A

Substitutionskemaer

Tabel	Scenario	Forklaring	side
A.1	1976	Reference	72
A.2	G 1985	Grundscenario	73
A.3	B 1985	Naturgassscenario	74
A.4	G 1995	Grundscenario	75
A.5	B 1995	Naturgassscenario	76
A.6	C 1995	Kernkraftscenario	77

Anvendelse	Primært brændsel	Total Mill.Gcal	Naturgas %	Olieprodukter				Kul %	Uran %	Sol, vind, skråd, geotermisk m.m. %
				Benzin m.m. %	Gasolie/ Dieselolie %	Fuelolie til fjernvarmev., industri m.m. %	Fuelolie til kraft- værker %			
BOLIGBENYTTELSE ialt		62.9								
Opvarmning ialt		43.9								
Indiv.fyr+blokcentraler		32.0		1/3/3	75/92/92	4/4/4		0/1/1		
Fjernv. fra varmecentraler		9.9				92/92/100				0/8/8
" " kraftvarmeværker		2.0					42/52/95	5/48/58		
Andet ialt		19.0								
Primært brændsel		0.4		20/20/20	39/39/39			41/41/41		
El		18.0								
INDUSTRI ialt		35.0								
Opvarmning		5.9			15/24/30	65/76/80				
Procesvarme		16.6		1/1/1	38/38/40	38/38/40		16/21/21		0/2/2
El		12.0								
LANDBRUG/GARTN./SKOVBR./FISKERI ialt		9.4								
Opvarmning		2.3			90/100/100					
Procesvarme		4.6			100/100/100					
El		2.5								
BYGGE- OG ANLÆGSV./HANDVÆRK ialt		8.0								
Opvarmning		4.0			90/100/100					
Procesvarme		1.0			100/100/100					
El		3.0								
HANDEL OG SERVICE ialt		30.0								
Opvarmning		18.0			55/60/60	30/35/35	4/5/9	1/5/6		
El		12.0								
TRANSPORT ialt		35.6			71/71/71	28/28/28	1/1/1			
OFFENTLIG + ERHVERV ialt		22.0								
Primært brændsel		21.0			55/55/55	43/43/43	2/2/2			
El		0.3								
PRIVAT ialt		14.0			95/95/95	5/5/5				
NETTO EL-EKSPORT ialt		-6.1								
ALLE SEKTORER Pcal ialt		186.6			14/14/14	33/37/38	14/15/16	13/16/29	3/17/20	0/1/1
Opvarmning		75.0			0/1/1	54/64/64	26/28/30	2/3/5	0/3/3	0/1/1
Procesenergi		22.6			1/1/1	53/53/55	28/28/29		12/16/16	
Transportenergi		35.0			71/71/71	28/28/28	1/1/1			
El		54.0						42/52/95	5/48/58	

Tabel A.1

Anvendelse	Primært brændsel	Total Mill.Gcal	Naturgas %	Olieprodukter				Kul %	Uran %	Sol, vind, skrale, geotermisk m.m. %
				Benzin m.m. %	Gasolie/ Dieselolie %	Fuelolie til fjernvarmev., industri m.m. %	Fuelolie til kraft- værker %			
BOLIGBENYTTELSE	ialt	63								
Opvarmning	ialt	33								
Indiv.fyr+blokcentraler		22		1/3/3	70/87/97				0/10/10	
Fjernv. fra varmecentraler		6				80/90/100			0/10/10	
" " kraftvarmeværker		5					10/15/95	5/85/90		
Andet	ialt	30								
Primært brændsel		1		20/20/20	80/80/80					
E1		29								
INDUSTRI	ialt	42								
Opvarmning		5			40/45/50	50/55/60				
Procesvarme		19			40/40/45	40/40/45	15/20/20			
E1		18								
LANDBRUG/GARTN./SKOVBR./FISKERI	ialt	16								
Opvarmning		4			45/50/60	30/35/45			0/15/15	
Procesvarme		8		10/10/10	80/80/80	10/10/10				
E1		4								
BYGGE- OG ANLÆGSV./HANDVÆRK	ialt	9								
Opvarmning		3		0/2/2	88/98/98					
Procesvarme		1			100/100/100					
E1		5								
HANDEL OG SERVICE	ialt	30								
Opvarmning		16		0/2/2	55/63/70	15/18/25	2/2/9	1/10/10	0/5/5	
E1		14								
TRANSPORT	ialt	40								
OFFENTLIG + ERHVERV	ialt	24								
Primært brændsel		23		50/50/50	50/50/50					
E1		1								
PRIVAT	ialt	16		90/90/90	10/10/10					
NETTO EL-EKSPORT	ialt									
ALLE SEKTORER	ialt	200		14/14/14	29/33/35	9/10/12	4/7/37	3/33/37	0/2/2	
Opvarmning		61		0/2/2	50/60/66	18/20/24	1/2/10	1/10/10	0/7/7	
Procesenergi		28		1/3/3	49/54/58	26/29/34		10/13/13		
Transportenergi		40		66/66/66	34/34/34					
E1		71					10/19/95	5/80/90	0/1/1	

1976

8 JAN 79
 rettet 26 sep 78

Anvendelse	Primært brændsel	Total Mill.Gcal	Naturgas %	Olieprodukter				Kul %	Uran %	Sol, vind, skald, geotermisk m.m. %
				Benzin m.m. %	Gasolie/ Dieselolie %	Fuelolie til fjernvarmev., industri m.m. %	Fuelolie til kraft- værker %			
BOLIGBENYTTELSE	ialt	62.9								
Opvarmning	ialt	43.9			80					
Indiv.fyr+blokcentraler		32.0		1/3/3	75/92/92	4/4/4		0/1/1		
Fjernv. fra varmecentraler		9.9				92/92/100				0/8/8
" " kraftvarmeværker		2.0				80	42/52/95	5/48/58		
Andet	ialt	19.0								
Primært brændsel		0.4	6	20/20/20	39/39/39			41/41/41		
El		18.6								
INDUSTRI	ialt	35.0			19	70				
Opvarmning		5.9			15/24/30	65/76/80				
Procesvarme		16.6		1/1/1	38/38/40	38/38/40		18/21/21		0/2/2
El		12.5								
LANDBRUG/GARTN./SKOVER./FISKERI	ialt	9.4			95					
Opvarmning		2.3			90/100/100					
Procesvarme		4.6			100/100/100					
El		2.5								
BYGGE- OG ANLÆGSV./HANDVÆRK	ialt	8.0								
Opvarmning		4.0			90/100/100					
Procesvarme		1.0			100/100/100					
El		3.0								
HANDEL OG SERVICE	ialt	30.0			52 57 57	32 33 33				
Opvarmning		18.0			55/60/60	30/35/35	4/5/9	1/5/6		
El		12.0								
TRANSPORT	ialt	35.6	21.3	71/71/71	28/28/28	1/1/1				
OFFENTLIG + ERHVERV	ialt	22.0								
Primært brændsel		21.0		55/55/55	43/43/43	2/2/2				
El		0.3								
PRIVAT	ialt	14.0	3	95/95/95	5/5/5					
NETTO EL-EKSPORT	ialt	-2.3		14 15 15	36 39 39	15 15 16	12 15 23	15 19		
ALLE SEKTORER	Coal ialt	186.6	178.6	14/14/14	33/37/38	14/15/16	3/16/20	3/17/20		0/1/1
Opvarmning		75.0	74.1	0/1/1	50/64/64	26/28/30	2/3/5	0/3/3		0/1/1
Procesenergi		22.6		1/1/1	53/53/55	28/28/29		12/16/16		
Transportenergi		35.0	6	71/71/71	28/28/28	1/1/1				
El		54.0	46.6				42/52/95	5/48/58		

Tabel A.1. 57 54 27

-72-

Anvendelse	Primært brændsel	Total Mill.Gcal	Naturgas %	Olieprodukter				Kul %	Uran %	Sol, vind, skrald, geotermisk m.m. %
				Benzin m.m. %	Gasolie/ Dieselolie %	Fuelolie til fjernvarmev., industri m.m. %	Fuelolie til kraft- værker %			
BOLIGBENYTTELSE	ialt	63								
Opvarmning	ialt	33								
Indiv.fyr+blokcentraler		22	25/29/32	1/3/3	45/58/65					0/10/10
Fjernv. fra varmecentraler		6	0/40/56			50/55/100				0/5/5
" " kraftvarmeværker		5					10/15/95	5/85/90		
Andet	ialt	30								
Primært brændsel		1	60/80/80	20/20/20						
E1		29								
INDUSTRI	ialt	42								
Opvarmning		5	20/30/40		20/30/35	30/40/45				
Procesvarme		19	5/26/35		20/22/32	20/27/38		15/25/25		
E1		18								
LANDBRUG/GARTN./SKOVBR./FISKERI	ialt	16								
Opvarmning		4	25/30/30		50/55/70					0/15/15
Procesvarme		8	0/10/15	10/10/10	75/80/90					
E1		4								
BYGGE- OG ANLÆGSV./HANDVERK	ialt	9								
Opvarmning		3	25/33/35	0/2/2	60/65/75					
Procesvarme		1	0/5/10		90/95/100					
E1		5								
HANDEL OG SERVICE	ialt	30								
Opvarmning		16	25/38/45	0/2/2	30/35/50	5/8/10	2/2/9	1/10/10		0/5/5
E1		14								
TRANSPORT	ialt	40								
OFFENTLIG + ERHVERV	ialt	24								
Primært brændsel		23		50/50/50	50/50/50					
E1		1								
PRIVAT	ialt	16		90/90/90	10/10/10					
NETTO EL-EKSPORT	ialt									
ALLE SEKTORER	ialt	200	7/13/15	14/14/14	22/24/28	5/6/9	4/7/37	3/34/37		0/2/2
Opvarmning		61	20/30/36	1/2/2	31/39/47	9/11/16	1/2/10	1/10/10		0/7/7
Procesenergi		28	5/23/30	3/3/3	37/40/51	13/18/26		10/16/16		
Transportenergi		40		66/66/66	34/34/34					
E1		71					10/19/95	5/80/90		0/1/1

Anvendelse	Primært brændsel	Total Mill.Gcal	Naturgas %	Olieprodukter				Kul %	Uran %	Sol. vind, skraid, geotermisk m.m. %
				Benzin m.m. %	Gasolie/ Dieselolie %	Fuelolie til fjernvarmev., industri m.m. %	Fuelolie til kraft- værker %			
BOLIGBENYTELSE	ialt	83								
Opvarmning	ialt	36								
Indiv.fyr+blokcentraler		23		1/2/2	60/83/93				5/15/15	
Fjernv. fra varmecentraler		7				75/85/95			5/15/15	
" " kraftvarmeværker		6					10./15/95	15./85/90		
Andet	ialt	47								
Primært brændsel		1		20/20/20	80/80/80					
E1		46								
INDUSTRI	ialt	62								
Opvarmning		7			40/45/50	45/50/55			0/5/5	
Procesvarme		28			40/40/45	40/40/45	15/20/20			
E1		27								
LANDBRUG/GARTN./SKOVBR./FISKERI	ialt	22								
Opvarmning		6			45/50/60	30/35/45			5/15/15	
Procesvarme		11		10/10/10	80/80/80	10/10/10				
E1		5								
BYGGE- OG ANLÆGSV./HANDVÆRK	ialt	12								
Opvarmning		3		1/2/2	90/98/98					
Procesvarme		1			100/100/100					
E1		8								
HANDEL OG SERVICE	ialt	44								
Opvarmning		22		1/2/2	20/25/35	10/15/25	5/10/50	2/42/45	0/6/6	
E1		22						47		
TRANSPORT	ialt	56								
OFFENTLIG + ERHVERV	ialt	37								
Primært brændsel		35		50/50/50	50/50/50					
E1		2								
PRIVAT	ialt	19		80/80/80	20/20/20					
NETTO EL-EKSPORT	ialt									
ALLE SEKTORER	ialt	278		12/13/13	24/28/30	8/10/12	5/9/43	4/38/43	1/4/4	
Opvarmning		74		1/1/1	36/46/53	17/20/25	2/4/23	1/19/21	2/10/10	
Procesenergi		40		3/3/3	48/53/57	27/30/35		10/14/14		
Transportenergi		54		61/61/61	39/39/39					
E1		110					10/19/95	5/78/90	0/3/3	

Anvendelse	Primært brændsel	Total Mill.Gcal	Naturgas %	Olieprodukter			Kul %	Uran %	Sol, vind, skuld, geotermisk m.m. %
				Benzin m.m. %	Gasolie/ Dieselolie %	Fuelolie til fjernvarmev., industri m.m. %			
BOLIGBENYTTELSE	ialt	83							
Opvarmning	ialt	36							
Indiv.fyr+blokcentraler		23	40/48/53	1/2/2	20/35/40				5/15/15
Fjernv. fra varmecentraler		7	0/43/58			35/42/85			5/15/15
" " kraftvarmeværker		6					10/15/95	5/85/90	
Andet	ialt	47							
Primært brændsel		1	60/80/80	20/20/40					
El		46							
INDUSTRI	ialt	62							
Opvarmning		7	20/35/50		15/20/35	35/45/65			0/5/5
Procesvarme		28	5/24/35		20/26/35	30/35/45	10/15/15		
El		27							
LANDBRUG/GARTN./SKOVBR./FISKERI	ialt	22							
Opvarmning		6	30/50/60		20/30/35	0/5/10			5/15/15
Procesvarme		11	0/10/20	10/10/10	70/80/90				
El		5							
BYGGE- OG ANLÆGSV./HANDVÆRK	ialt	12							
Opvarmning		3	33/66/70	0/2/2	20/32/55				
Procesvarme		1	10/25/50		50/75/90				
El		8							
HANDEL OG SERVICE	ialt	44							
Opvarmning		22	30/43/50	1/2/2	12/15/20	5/10/15	3/5/22	2/19/20	0/6/6
El		22							
TRANSPORT	ialt	56							
OFFENTLIG + ERHVERV	ialt	37							
Primært brændsel		35		50/50/50	50/50/50				
El		2							
PRIVAT	ialt	19		80/80/80	20/20/20				
NETTO EL-EKSPORT	ialt								
ALLE SEKTORER	ialt	278	8/14/18	13/13/13	15/19/21	5/7/10	4/8/41	3/36/40	3/4/4
Opvarmning		74	27/42/49	1/1/1	14/21/27	8/12/19	2/3/14	1/12/13	2/10/10
Procesenergi		40	5/22/32	3/3/3	34/41/50	20/24/31		7/10/10	
Transportenergi		54		64/64/64	36/36/36				
El		110					10/19/95	5/78/90	0/3/3

Anvendelse	Primært brændsel	Total Mill.Gcal	Naturgas %	Olieprodukter				Kul %	Uran %	Sol, vind, skrald, geotermisk n.m. %
				Benzin m.m. %	Gasolie/ Dieselolie %	Fuelolie til fjernvarmev., industri m.m. %	Fuelolie til kraft- værker %			
BOLIGBENYTTELSE	ialt	81								
Opvarmning	ialt	34								
Indiv.fyr+blokcentraler		19		1/5/5	60/79/90					5/18/16
Fjernv. fra varmecentraler		6				75/82/95				5/18/18
" " kraftvarmeværker		9					12/15/70		2/57/60	14/28/29
59										
Andet	ialt	47								
Primært brændsel		1		20/20/20	80/80/80					
E1		46								
INDUSTRI	ialt	62								
Opvarmning		7			40/45/50	45/50/55				0/5/5
Procesvarme		28			40/40/45	40/40/45		15/20/20		
E1		27								
LANDBRUG/GARTN./SKOVBR./FISKERI	ialt	22								
Opvarmning		6			45/50/60	30/35/45				5/15/15
Procesvarme		11		10/10/10	80/80/80	10/10/10				
E1		5								
BYGGE- OG ANLÆGSV./HANDVERK	ialt	12								
Opvarmning		3		1/2/2	90/98/98					
Procesvarme		1			100/100/100					
E1		8								
HANDEL OG SERVICE	ialt	40								
Opvarmning		18		1/2/2	5/13/20	5/6/10	10/12/60	2/49/50	6/13/14	0/5/5
E1		22								
TRANSPORT	ialt	56								
OFFENTLIG + ERHVERV	ialt	37								
Primært brændsel		35		50/50/50	50/50/50					
E1		2								
PRIVAT	ialt	19			80/80/80	20/20/20				
NETTO EL-EKSPORT	ialt									
ALLE SEKTORER	ialt	278		12/13/13	22/25/27	8/9/10	5/7/24	3/21/23	11/23/25	1/3/3
Opvarmning		68		1/2/2	30/39/45	15/17/21	4/5/25	1/21/21	3/7/8	2/9/9
Procesenergi		40		3/3/3	48/53/57	27/30/35		10/14/14		
Transportenergi		54		61/61/61	39/39/39					
E1		116					9/14/44	2/33/38	25/50/55	0/3/3

APPENDIKS B

Kriseberegninger

Tabel	Scenario	Krise	Side
B.1	1976	50% oliesvigt	79
B.2	G 1985	-	80
B.3	B 1985	-	81
B.4	G 1995	-	82
B.5	B 1995	-	83
B.6	C 1995	-	84
B.7	B 1985	70% gassvigt	85
B.8	B 1995	-	86
B.9	B 1985	100% gassvigt	87
B.10	B 1995	-	88
B.11	C 1995	100% uran stop	89

SCENARIO: 1976

KRISE: 50% oliesvigt

Brændsel	Naturgas	Olieprodukter				Kul	Uran	El _t	El _s
		Benzin m.m.	Gasolie/ Diesel- olie	Fuelolie til fj.v. ind.m.m.	Fuelolie til Kraftværk				
Normalforbrug (Pcal/år)		26.1	69.8	28.0	30.0	31.8		54.0	
Lager (Pcal)		6.5	17.4	7.0	7.5	8.0			
Kriseleverance (Pcal/år)		13.0	34.9	14.0	15.0	31.8			
Kriseforbrug u/sub. (Pcal/år)		24.6	60.1	23.8	26.8	28.8			
Kriseforbrug m/sub. (Pcal/år)		24.1	54.1	22.6	28.8	40.8			14.0
Lagervarighed (dage)		214	331	297	198	324			
Kritisk brændsel (ang. ved +)		+			+				

Note: El_t angiver brændselforbrug til elfremstilling (brutto); El_s angiver den del af den totale elproduktion, der substituerer det kriseramte brændsel.

Tabel B.1

SCENARIO: G1985

KRISE: 50% oliesvigt

Brændsel	Naturgas	Olieprodukter				Kul	Uran	El _t	El _s
		Benzin m.m.	Gasolie/ Diesel- olie	Fuelolie til fj.v. ind.m.m.	Fuelolie til Kraftværk				
Normalforbrug (Pcal/år)		27.9	65.3	20.8	14.6	66.5		71.0	
Lager (Pcal)		7.0	16.3	5.2	3.6	16.6			
Kriseleverance (Pcal/år)		14.0	32.7	10.4	7.3	66.5			
Kriseforbrug u/sub. (Pcal/år)		26.3	57.9	18.3	13.0 ^v	59.5		63.9	
Kriseforbrug m/sub. (Pcal/år)		25.6	53.3	17.1	13.0	(72.1)	71.4	75.7	11.8 ^v
Lagervarighed (dage)		219	289	280	234	(1074)	1236		
Kritisk brændsel (ang. ved +)		+			+				

0.7 -1.6 -1.2

Note: El_t angiver brændselforbrug til elfremstilling (brutto); El_s angiver den del af den totale elproduktion, der substituerer det kriseramte brændsel.

SCENARIO: B1985

KRISE: 50% oliesvigt

Brandsel	Naturgas	Olieprodukter				Kul	Uran	El _t	El _s
		Benzin m.m.	Gasolie/ Diesel- olie	Fuelolie til fj.v. ind.m.m.	Fuelolie til Kraftvark				
Normalforbrug (Pcal/år)	25.1	27.9	48.6	11.7	14.6	67.4		71.0	
Lager (Pcal)	1.0	7.0	12.2	2.9	3.6	16.9			
Kriseleverance (Pcal/år)	25.0	14.0	24.3	5.9	7.3	67.4			
Kriseforbrug u/sub. (Pcal/år)	21.4	26.3	43.6	10.4	13.0	60.6		63.9	
Kriseforbrug m/sub. (Pcal/år)	26.2	25.5	39.2	8.0	9.5	69.5	68.9	68.7	4.8 ✓
Lagervarighed (dage)	∞	219	297	489	611	2864	4112		
Kritisk brandsel (ang. ved +)		+	+						

Note: El_t angiver brændselforbrug til elfremstilling (brutto); El_s angiver den del af den totale elproduktion, der substituerer det kriseramte brandsel.

SCENARIO: G1995

KRISE: 50% oliesvigt

Brændsel	Naturgas	Olieprodukter				Kul	Uran	El _t	El _s
		Benzin m.m.	Gasolie/ Diesel- olie	Fuelolie til fj.v. ind.m.m.	Fuelolie til Kraftværk				
Normalforbrug (Pcal/år)		35.0	76.8	27.2	24.0	105.7		110.0	
Lager (Pcal)		8.7	19.2	6.8	6.0	26.4			
Kriseleverance (Pcal/år)		17.5	38.4	13.6	12.0	105.7			
Kriseforbrug u/sub. (Pcal/år)		33.2	69.7	24.2	21.3 ^v	94.3		99.0	
Kriseforbrug m/sub. (Pcal/år)		32.9	63.8	22.2	18.7	114.4	111.8	113.9	14.9 [✓]
Lagervarighed (dage)		207	275	287	328	1119	1580		
Kritisk brændsel (ang. ved +)		+	+	+					

Note: El_t angiver brændselforbrug til elfremstilling (brutto); El_s angiver den del af den totale elproduktion, der substituerer det kriseramte brændsel.

-26

olie	Kul
21.3	94.3
12	1.2
114.4	11.9
99.0	9.4
<hr/>	
	114.8

Tabel B.4

SCENARIO: C1995

KRISE: 50% oliesvigt

Brændsel	Naturgas	Olieprodukter				Kul	Uran	El _t	El _s
		Benzin m.m.	Gasolie/ Diesel- olie	Fuelolie til fj.v. ind.m.m.	Fuelolie til Kraftværk				
Normalforbrug (Pcal/år)		35.4	69.5	23.9	19.8	57.8	62.9	116.0	
Lager (Pcal)		8.8	17.4	6.0	4.9	14.5	62.9		
Kriseleverance (Pcal/år)		17.7	34.8	12.0	9.9	57.8	62.9		
Kriseforbrug u/sub. (Pcal/år)		33.6	63.9	21.6	17.4	51.3	56.1	104.4	
Kriseforbrug m/sub. (Pcal/år)		32.8	59.1	20.6	17.2	61.0	61.5	116.3	11.9 ✓
Lagervarighed (dage)		214	261	253	245	1645	∞		
Kritisk brændsel (ang. ved +)		+	+	+	+				

0.8 4.8 1.0 0.2 58.0 5.4

Note: El_t angiver brændselforbrug til elfremstilling (brutto); El_s angiver den del af den totale elproduktion, der substituerer det kriseramte brændsel.

Tabel B.6

SCENARIO: B1985

KRISE: 70% gassvigt

Brændsel	Naturgas	Olieprodukter				Kul	Uran	El _t	El _s
		Benzin m.m.	Gasolie/ Diesel- olie	Fuelolie til fj.v. ind.m.m.	Fuelolie til Kraftværk				
Normalforbrug (Pcal/år)	25.1	27.9	48.6	11.7	14.6	67.4		71.0	
Lager (Pcal)	1.0	7.0	12.2	2.9	3.6	16.9			
Kriseleverance (Pcal/år)	7.5	27.9	48.6	11.7	14.6	67.4			
Kriseforbrug u/sub. (Pcal/år)	21.4	26.3	43.6	10.4	13.0	60.6		63.9	
Kriseforbrug m/sub. (Pcal/år)	11.4	26.5	50.2	13.7	13.0	60.6		63.9	
Lagervarighed (dage)	94	∞	2783	529	∞	∞			
Kritisk brændsel (ang. ved +)	+								

10 0.2 6.0 3.0

Note: El_t angiver brændselforbrug til elfremstilling (brutto); El_s angiver den del af den totale elproduktion, der substituerer det kriseramte brændsel.

Tabel B.7

SCENARIO: B1995

KRISE: 70% gassvigt

Brændsel	Naturgas	Olieprodukter				Kul	Uran	El _t	El _s
		Benzin m.m.	Gasolie/ Diesel- olie	Fuelolie til fj.v. ind.m.m.	Fuelolie til Kraftværk				
Normalforbrug (Pcal/år)	39.8	35.0	53.6	18.4	22.9	99.3		110.0	
Lager (Pcal)	1.7	8.7	13.4	4.6	5.7	24.8			
Kriseleverance (Pcal/år)	11.9	35.0	53.6	18.4	22.9	99.3			
Kriseforbrug u/sub. (Pcal/år)	33.6	33.2	50.1	16.7	20.4	88.8		99.0	
Kriseforbrug m/sub. (Pcal/år)	18.1	33.4	57.4	24.1	21.0	89.4		100.2	1.2
Lagervarighed (dage)	100	∞	1287	295	∞	∞			
Kritisk brændsel (ang. ved +)	+								

155 0.2 7.3 7.4

Note: El_t angiver brændselforbrug til elfremstilling (brutto); El_s angiver den del af den totale elproduktion, der substituerer det kriseramte brændsel.

SCENARIO: B1985

KRISE: 100% gassvigt

Brændsel	Naturgas	Olieprodukter				Kul	Uran	El _t	El _s
		Benzin m.m.	Gasolie/ Diesel- olie	Fuelolie til fj.v. ind.m.m.	Fuelolie til Kraftværk				
Normalforbrug (Pcal/år)	25.1	27.9	48.6	11.7	14.6	67.4		71.0	
Lager (Pcal)	1.0	7.0	12.2	2.9	3.6	16.9			
Kriseleverance (Pcal/år)	0.0	27.9	48.6	11.7	14.6	67.4			
Kriseforbrug u/sub. (Pcal/år)	21.4	26.3	43.6	10.4	13.0	60.6		63.9	
Kriseforbrug m/sub. (Pcal/år)	11.4	26.5	50.2	13.7	13.0	60.6		63.9	
Lagervarighed (dage)	32	∞	2783	529	∞	∞			
Kritisk brændsel (ang. ved +)	+								

Note: El_t angiver brændselforbrug til elfremstilling (brutto); El_s angiver den del af den totale elproduktion, der substituerer det kriseramte brændsel.

SCENARIO: B1995

KRISE: 100% gassvigt

Brændsel	Naturgas	Olieprodukter				Kul	Uran	El _t	El _s
		Benzin m.m.	Gasolie/ Diesel- olie	Fuelolie til fj.v. ind.m.m.	Fuelolie til Kraftværk				
Normalforbrug (Pcal/år)	39.8	35.0	53.6	18.4	22.9	99.3		110.0	
Lager (Pcal)	1.7	8.7	13.4	4.6	5.7	24.8			
Kriseleverance (Pcal/år)	0	35.0	53.6	18.4	22.9	99.3			
Kriseforbrug u/sub. (Pcal/år)	33.6	33.2	50.1	16.7	20.4	88.8		99.0	
Kriseforbrug m/sub. (Pcal/år)	18.1	33.4	57.4	24.1	21.0	89.4		100.2	1.2
Lagervarighed (dage)	34	∞	1287	295	∞	∞			
Kritisk brændsel (ang. ved +)	+								

Note: El_t angiver brændselforbrug til elfremstilling (brutto); El_s angiver den del af den totale elproduktion, der substituerer det kriseramte brændsel.

SCENARIO: C1995

KRISE: 100% uranstop

Brændsel	Naturgas	Olieprodukter				Kul	Uran	El _t	El _s
		Benzin m.m.	Gasolie/ Diesel- olie	Fuelolie til fj.v. ind.m.m.	Fuelolie til Kraftværk				
Normalforbrug (Pcal/år)		35.4	69.5	23.9	19.8	57.8	62.9	116.0	
Lager (Pcal)		8.8	17.4	6.0	4.9	14.5	62.9		
Kriseleverance (Pcal/år)		35.4	69.5	23.9	19.8	57.8	0		
Kriseforbrug u/sub. (Pcal/år)		33.6	63.9	21.6	17.4	51.3	56.1	104.4	
Kriseforbrug m/sub. (Pcal/år)		33.6	63.9	21.6	22.6	66.3	36.9	104.4	
Lagervarighed (dage)		∞	∞	∞	622	622	622		
Kritisk brændsel (ang. ved +)					+	+	+		

Note: El_t angiver brændselforbrug til elfremstilling (brutto); El_s angiver den del af den totale elproduktion, der substituerer det kriseramte brændsel.

REFERENCER

1. "Dansk Energipolitik 1976", Handelsministeriet april-maj 1976.
2. "Varmeplanlægning", Første delbetænkning fra Handelsministeriets Varmeplansudvalg, Handelsministeriet, oktober 1977.
3. "Organisation og styring af varmforsyningsplanlægning", Anden delbetænkning fra Handelsministeriets Varmeplansudvalg, Handelsministeriet april 1978.
4. "De offentlige investeringer 1978-90", Planredegørelse 1, Finansministeriet, Budgetdepartementet 1977.
5. "World Energy Resources 1985-2020", IPC Science and Technology Press, New York 1978.
6. "DUC Gas Rapport", Dansk Boresekskab 1978.
7. "Rapport om tilvejebringelsen af beslutningsgrundlag angående produktion af naturgas fra CORA, DAN, VERN og BENT felterne i den danske Nordsø sektor", De Golyer and MacNaughton, 1. maj 1978.
8. "Energy: Global Prospects 1985-2000", WAES, McGraw-Hill, New York 1977.

Ved udarbejdelse af substitutionsskemaer er tillige benyttet følgende referencer:

"Elforbruget frem til 1985". Notat udarbejdet af Handelsministeriets analyse- og prognoseudvalg for energisektoren. (AP77) april 1977.

"Kortlægning af erhvervslivets energiforbrug", Dansk Kedelforening juni 1976.

"Energiefterspørgsel i Danmark 1990-2005, traditionelt og reduceret. Rapport no. 2 (IFIAS-2). Evald Brønd og Niels Moe, Niels Bohr Institutet. The International Federation of Institutes for Advanced Study (IFIAS), marts 1976.