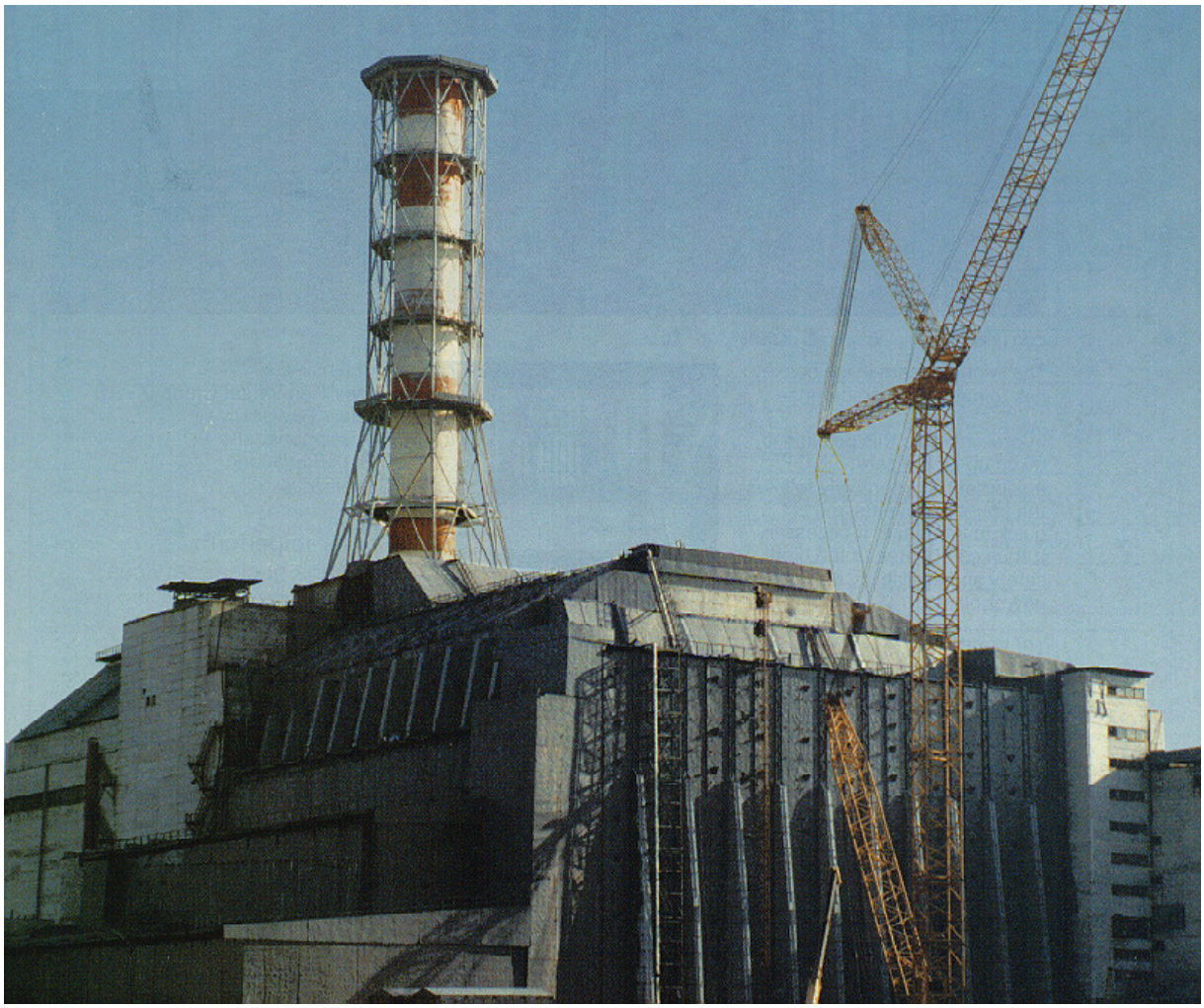
RISØ

Risø-R-1021(DA)

International kernekraftstatus 1997

Redigeret af C.F. Højerup, B. Majborn og P.L. Ølgaard



Forskningscenter Risø, Roskilde
Marts 1998

Resumé Rapporten er den fjerde i en serie af årlige rapporter om den internationale udvikling inden for kernekraften med særlig vægt på sikkerhedsmæssige forhold. Den omtaler udviklingen i 1997 og dækker følgende emner:

- Generelle tendenser inden for kernekraftudviklingen
- Gennemgang af, hvad der kan gøres ved verdens plutoniumlagre
- Statistiske oplysninger om kernekraftens el-produktion
- Større, sikkerhedsrelevante hændelser i 1997
- De svenske kernekraftværker og udviklingen i Sverige
- Udviklingen inden for reaktorsikkerhed i Østeuropa
- Kernekraftudviklingen i forskellige lande
- Udviklingstendenser for forskellige reaktortyper
- Udviklingstendenser inden for brændselskredsløbet.

Forsidebilledet viser den såkaldte sarkofag, der blev bygget omkring den Tjernobyl-reaktor, som i 1986 blev ramt af verdens hidtil alvorligste reaktorulykke. Holdbarheden af sarkofagen og behovet for at renovere den har givet anledning til såvel tekniske undersøgelser som politisk debat i 1997.

ISBN 87-550-2371-1
ISSN 0106-2840
ISSN 1395-5101

Afdelingen for Informationsservice, Risø, 1998

Indhold

Figurer 4

Forord 5

1 Tendenser i kernekraftudviklingen 7

2 Årets tema-artikel: Hvad gør man med plutoniumlagrene? 9

2.1 Fremstilling af plutonium 9
2.2 Anvendelse af plutonium til våbenbrug 10
2.3 Anvendelse af plutonium til energiproduktion 10
2.4 Politiske holdninger til plutoniumproblemet 10
2.5 Mellemoplagring af plutonium 11
2.6 Destruktion af plutonium 12
2.7 Vanskeliggørelse af tilgængeligheden af plutonium 12

3 Kernekraftens elproduktion 13

4 Gennemgang af større, sikkerhedsrelevante hændelser i 1997 17

5 Barsebäck-anlægget og andre svenske kernekraftværker 21

5.1 Barsebäck-værket 22
5.2 Ringhals-værket 22
5.3 Oscarshamn-værket 23
5.4 Forsmark-værket 23
5.5 Svensk kernekraft og fremtiden 24

6 Udviklingen i Østeuropa med hensyn til reaktorsikkerhed 25

6.1 Tjernobyl-reaktoren 25
6.2 Andre RBMK-reaktorer 26
6.3 VVER-reaktorer 27
6.4 Skibsreaktorer 28
6.5 Bilateralt østsamarbejde 31

7 Udviklingstendenser i andre lande 35

7.1 Frankrig, Tyskland, Storbritannien 35
7.2 Øvrige vesteuropæiske lande 41
7.3 Centraleuropæiske lande 42
7.4 SNG-lande 45
7.5 Nord- og Sydamerika 50
7.6 Asien, Afrika og Australien 52

8 Udviklingstendenser inden for forskellige reaktortyper 55

8.1 Trykvandsreaktorer (PWR) 55
8.2 Kogendevandsreaktorer (BWR) 58
8.3 Tungtvandsreaktorer 60
8.4 Gaskølede reaktorer 61
8.5 Hurtigreaktorer 61

9 Udviklingstendenser inden for brændselskredsløbet 63

9.1 Uranproduktion og -pris 63
9.2 Uranberigning 64
9.3 Oparbejdning eller direkte deponering af brugt brændsel 65
9.4 Nedlægning af nukleare anlæg 67
9.5 Deponering af lav-, mellem- og højaktivt affald 69

APPENDIKS A: INES, den internationale skala for uheld på nukleare anlæg 72

APPENDIKS B: Anvendte forkortelser 74

Figurer

Figur 3.1. Udviklingen i den samlede installerede elektriske effekt inden for forskellige geografiske regioner. 14

Figur 3.2. Den procentdel af mindre, vesteuropæiske landes elforbrug, der er produceret i landenes kernekraftværker. 15

Figur 3.3. Denprocentdel af en række større industrilandes el-forbrug, der er produceret i landenes kernekraftværker. 16

Figur 3.4. Den procentdel af en række østlandes el-forbrug, der er produceret i landenes kernekraftværker. 16

Figur 5.1. Kernekraftværker i Sverige - Finland. 21

Figur 6.1. Fordeling af danske bevillinger (mio. kr.) på bevillingsår og modtagerland. 31

Figur 6.2. Arbejdsgangen i informationssystemet. 33

Figur 6.3. Der er placeret to informationscentre i Jylland og to i København. 33

Figur 6.4. Svaret på et spørgsmål om, hvor der ligger reaktoranlæg af RBMK typen (Tjernobyl) kan gives som et kort med ikoner, der angiver placeringen af anlæggene. Kortene er vektorbaserede, hvilket giver ubegrænsede zoom muligheder. Hvis der klikkes på en ikon 34

Figur 7.1. Kernekraftværker i Frankrig. 37

Figur 7.2. Kernekraftværker i Tyskland. 39

Figur 7.3. Kernekraftværker i Storbritannien. 40

Forord

Denne rapport er den fjerde i en serie, der har til formål at informere om den globale udvikling på kernekraftområdet med særlig henblik på dets sikkerhedsmæssige forhold. Formålet med rapporten er at informere myndigheder, medier og offentlighed om kernekraftudviklingen.

Rapporten er udarbejdet af den nukleare videnberedskabsgruppe, som har til formål at bevare og udbygge nødvendig viden om reaktorer og deres sikkerhedsproblemer. Gruppen består af ca. 15 personer fra Forskningscenter Risø, Danmarks Tekniske Universitet (DTU) og Beredskabsstyrelsen (BRS). Gruppen følger udviklingen inden for kernekraften, den afholder to årlige seminarer med emner inden for det nukleare område, og den udsender hvert år denne statusrapport.

I lighed med 1996-rapporten er der også bragt en tema-artikel i år. Denne beskæftiger sig med, hvad man kan gøre med det plutonium, der kommer fra kernevåben eller fra kraftreaktorer.

Følgende medlemmer af videnberedskabsgruppen har bidraget til rapporten med de afsnit, som er nævnt i parentes efter deres navn.

Per E. Becher	Risø	(8.4)
Knud Brodersen	Risø	(9.3, 9.4 og 9.5)
Peter B. Fynbo	Risø	(6.3, 7.3 og 7.4)
Frank Højerup	Risø	(7.1, 7.3 og 8.3)
Søren E. Jensen	Risø	(7.4 og 8.5)
Uffe Korsbech	DTU	(4 og App. A)
Benny Majborn	Risø	(7.2)
Kirsten H. Nielsen	Risø	(8.1 og 8.2)
Erik Nonbøl	Risø	(5, 6.1, 6.2, 7.3 og 7.4)
Jens S. Qvist	Risø	(9.1 og 9.2)
Knud L. Thomsen	Risø	(7.6)
Bjørn Thorlaksen	BRS	(6.5)
Povl L. Ølgaard	DTU	(1, 2, 3, 6.4 og 7.5)

Såfremt nogen skulle ønske at få uddybet de i rapporten behandlede emner, er man meget velkommen til at kontakte forfatteren af det pågældende afsnit eller en af redaktørerne.

1 Tendenser i kernekraftudviklingen

Der er ikke i 1997 sket de store ændringer i kernekraftudviklingen. Ved starten af 1997 var den samlede kernekraftkapacitet i verden steget lidt sammenlignet med året før, men stigningen er geografisk set ulige fordelt. Udbygningen foregår primært i Østasien, hvor også energiforbruget stiger mest.

Kernekraften spiller en vigtig rolle for elforsyningen i en række lande. I Frankrig og Lithauen dækkes mere end 75% af elforbruget med kernekraft. I Belgien og Sverige dækker kernekraften mere end 50%, I Schweiz, Slovakiet, Ukraine, Bulgarien og Ungarn mere end 40% og i Sydkorea, Japan, Spanien og Tyskland mere end 30% af elforbruget. For Vesteuropa er kernekraftens andel i elproduktionen ca. 35%, mens den for hele verden er godt 15%.

I 1997 var der en stigning i antallet af sikkerhedsrelevante hændelser. Der var to klasse 3 hændelser, d.v.s. alvorlige hændelser, hvorved der sker udslip af mindre mængder radioaktivitet eller uheld med strålingskilder, der fører til signifikante persondoser. Den ene fandt sted i Japan, hvor en brand og en eksplosion i et anlæg til behandling af lavaktivt affald medførte frigivelse af radioaktivt støv. Den anden indtraf i Italien, hvor skødesløs omgang med en kobolt-60-kilde medførte, at en arbejder fik en strålingsdosis, der er langt over det tilladelige. Desuden var der to uheld i forbindelse med militære aktiviteter, et i Rusland og et i Georgien, der svarede til klasse 3 hændelser.

Endvidere var der 17 klasse 2 hændelser, d.v.s. hændelser, som viser, at det krævede sikkerhedsniveau ikke opretholdes. Der var 9 klasse 2 hændelser på kernekraftværker og 8 ved oparbejdningsanlæg, i industrien og på forskningslaboratorier. Disse 17 klasse 2 hændelser var fordelt med fire i UK, tre i Frankrig, to i Sydafrika samt én i Tyskland, Sverige, Canada, Ungarn, Rumænien, Ukraine, Indien og Bangladesh.

I 1997 vedtog den svenske Rigsdag en lov, der gør det muligt for regeringen at ekspropriere og lukke kernekraftværker, uden at dette er begrundet i sikkerhedsmæssige årsager. Det er denne lov, som vil blive benyttet til at lukke Barsebäck-værkets ene reaktor i 1998. Værket fortsætter dog med at forberede renoveringer, der har været planlagt for de kommende år. Der er ikke opnået enighed mellem værkets ejer, Sydkraft, og regeringen om, hvilken form for erstatning, nedlukningen skal medføre.

Fra vestlig side har man siden Tjernobyl-ulykken i 1986 lagt pres på Ukraine for at få lukket alle Tjernobyl-værkets reaktorer. Der er indgået en aftale mellem G-7-landene og Ukraine om, at værket skal lukkes senest i år 2000 mod, at udlandet skal yde en støtte på ca. 700 mio.$ til at bringe den forulykkede Tjernobyl-4 reaktor i forsvarlig stand samt et lån på 650 mio.$ til at færdiggøre to kernekraftværker, der skal erstatte Tjernobyl-værket. Det har vist sig, at det har været vanskeligt at få indsamlet de 700 mio.$, ligesom der også er vanskeligheder med lånet til færdiggørelse af erstatningsværkerne. Det kan betyde, at Tjernobyl-værket ikke bliver lukket ned inden år 2001.

På grund af manglende økonomiske ressourcer er der kun sket få fremskridt med ophugningen af de gamle russiske atomubåde, som i stigende antal bliver lagt op med brændsel i ubådenes reaktorer. Ubådene repræsenterer en potentiel risiko for den befolkning, der lever nær ved de flådebaser, hvor ubådene er lagt op.

Beredskabsstyrelsens nukleare sektorprogram, der støtter forbedringer i den nukleare sikkerhed i østlandene omkring Østersøen, har været i gang siden 1994. Programmet har ydet støtte på en række områder, bl.a. ved at stille et elektronisk informationssystem, NUCINFO, der er udviklet herhjemme, til rå-

dighed for de baltiske lande, Polen og Rusland. Systemet er beregnet til at hjælpe med informationsformidlingen i tilfælde af nukleare uheld.

Frankrig, der er Europas førende kernekraftland, satte to kernekraftenheder, hver med en elektrisk effekt på 1500 MW, i drift i 1997. Samtidig besluttede den nye, franske regering at lukke Superphenix, et kernekraftværk, der er forsynet med en hurtig reaktor.

En række lande har projekter med opgradering af deres kernekraftværker, d.v.s. forøgelse af værkernes effekt. Dette gælder f.eks. Finland, Schweiz og Spanien.

I Rusland lider elværkerne fortsat under, at de ikke får penge for den strøm, de leverer. Det giver problemer med at betale lønninger, med vedligeholdelse og med brændselsleverancer. Det forsinker også færdiggørelsen af de kernekraftenheder, der var under bygning, da Sovjetunionen gik i opløsning.

Som i andre vestlige lande forberedes i USA et frit marked for elektricitet. Dette betyder, at landets elselskaber ikke mere vil være beskyttede i deres hjemmeområde, men må indstille sig på konkurrence. Da byggetiden på en del af de amerikanske kernekraftværker har været på mere end det dobbelte af de europæiske (12 år eller mere i USA mod 6 år i Europa), er de blevet meget dyre. Hidtil har regningen kunnet sendes videre til forbrugerne, men det vil snart ikke mere være tilfældet. For at kunne afskrive de dyre værker, inden det frie marked bliver en realitet, har nogle selskaber lukket nogle af deres dyreste enheder. Det har i 1997 medført, at tre amerikanske kernekraftværker er blevet lukket ned, før deres driftstilladelse udløb. En faktor i nedlukningen har også været, at de amerikanske sikkerhedsmyndigheder har krævet gennemført en række moderniseringer, som vil belaste værkernes økonomi.

Det el-selskab i Canada, som har det største antal kernekraftenheder, Ontario Hydro, har besluttet at tage det meget drastiske skridt at lukke syv kernekraftenheder i en periode på nogle år for at samle alle kræfter om at få selskabets resterende enheder til at køre tilfredsstillende. Årsagen til dette drastiske skridt er manglende ledelse og styring i selskabet, ikke manglende sikkerhed.

Udbygningen af kernekraften fortsætter som allerede nævnt i Østasien. Den økonomiske krise, der i 1997 ramte denne del af verden, kan dog betyde, at udbygningen af kernekraften kan komme til at gå langsommere end planlagt.

De tendenser til stigning i uranprisen, som blev omtalt i sidste års statusrapport, har vendt sig til et prisfald. En væsentlig faktor er her, at højtberiget uran fra USA's og Ruslands atomvåben nu konverteres til lavt beriget uran, hvorefter det kan anvendes til kraftreaktorbrændsel. Dette betyder også, at behovet for berigningskapacitet bliver mindre.

Et andet spørgsmål, som er oppe til diskussion, er, hvad man gør ved verdens lagre af plutonium, hvad enten disse hidrører fra kernevåben eller fra oparbejdning af kraftreaktorbrændsel. Årets tema-artikel belyser denne problematik.

2 Årets tema-artikel: Hvad gør man med plutoniumlagrene?

I de senere år er det i forbindelse med reduktionen af antallet af kernevåben i USA's og Ruslands arsenaler blevet diskuteret, hvad man skal gøre med de spaltelige materialer, plutonium og højt beriget uran, i de destruerede våben. Det højt berigede uran (næsten rent uran-235 eller ^{235}U) giver ikke anledning til de store problemer, idet det relativt let kan blandes med naturligt eller depleteret uran. Herved fås lavt beriget uran, der kan anvendes som brændsel i kernekraftværker, og som ikke er anvendeligt i kernevåben. Anderledes stiller det sig med plutonium, som ikke kan "denatureres" ved blanding med andre stoffer.

Hertil kommer, at driften af kernekraftværker i reglen giver anledning til produktion af plutonium, som i nogle tilfælde udvindes ved kemisk oparbejdning, d.v.s. opløsning i syre og udvinding ved kemiske processer. Også her rejser spørgsmålet sig om, hvad man skal gøre med det udvundne plutonium.

2.1 Fremstilling af plutonium

Plutonium fremstilles i reaktorer ved neutronindfangning i uran-238 (^{238}U), der udgør 99.3% af naturens uran (resten er ^{235}U). Herved dannes uran-239, som hurtigt omdannes til neptunium-239 ved radioaktivt henfald. Også denne kerne omdannes ganske hurtigt ved radioaktivt henfald til plutonium-239 (^{239}Pu), som er det plutonium, der anvendes i kernevåben. ^{239}Pu kaldes også våbenplutonium og fremstilles i såkaldte produktionsreaktorer, som er karakteriserede ved, at uranbrændslet i disse kun bestråles i kort tid.

Også i kraftreaktorers uranbrændsel dannes plutonium, men da brændslet her bestråles i lang tid, flere år, bliver det et andet plutonium, man får fra disse værker. Efterhånden som koncentrationen af ^{239}Pu øges i reaktorbrændslet, vil også ^{239}Pu indfange neutroner. Herved vil ^{239}Pu-kernerne i de fleste tilfælde undergå kernespaltning eller fission. Men i godt 25% af tilfældene vil der dannes en ny plutoniumkerne, ^{240}Pu. Dette betyder, at koncentrationen af ^{240}Pu i reaktorbrændslets plutonium stiger med tiden. Også ^{240}Pu vil indfange neutroner, hvorved der produceres ^{241}Pu-kerner, der ligesom ^{239}Pu-kerner er spaltelige. Men det er ikke altid, at neutronindfangning i ^{241}Pu giver anledning til fission. Godt 25% af neutronindfangningerne giver anledning til dannelse af ^{242}Pu.

Af ovenstående ses, at mens det våbenplutonium, som fremstilles i produktionsreaktorer, er næsten rent ^{239}Pu (^{240}Pu-indholdet er ca. 5%), så indeholder kraftreaktorplutonium langt mere af de øvrige plutoniumisotoper. En typisk sammensætning af kraftreaktorplutonium fra en trykvandsreaktor er

56% ^{239}Pu, 27% ^{240}Pu, 12% ^{241}Pu og 5% ^{242}Pu

Som omtalt ovenfor udvindes plutoniumet i kemiske oparbejdningsanlæg, hvor det adskilles fra uranet og de ved kernespaltningerne dannede fissionsprodukter.

2.2 Anvendelse af plutonium til våbenbrug

De kernevåben, som befinder sig i kernevåbenmagternes arsenaler, er alle fremstillet af våbenplutonium og ikke af kraftreaktorplutonium. Der er to grunde hertil. For det første undergår ^{240}Pu såkaldt spontan fission, d.v.s. dens kerner spaltes - og udsender neutroner - uden nogen udefra kommende påvirkning. Et stort indhold af ^{240}Pu betyder, at der hele tiden udsendes neutroner fra plutoniumet. Dette giver stor sandsynlighed for, at kædereaktionen ved detonation af bomben starter for tidligt, og at våbnets sprængstyrke formindskes væsentligt og bliver mere uforudsigelig. Den anden grund er, at varmeudviklingen i våbenplutonium er langt mindre end i kraftreaktorplutonium. Hvis man ønsker at bruge kraftreaktorplutonium til våbenproduktion, medfører dette behov for særlig køling, og det komplicerer våbenkonstruktionen.

Specielt fra amerikansk side er det blevet hævdet, at man kan lave kernevåben ved hjælp af kraftreaktorplutonium, og at det derfor er nødvendigt at kontrollere kraftreaktorplutonium lige så nøje som våbenplutonium. Denne opfattelse deles ikke fra fransk side.

2.3 Anvendelse af plutonium til energiproduktion

Plutonium anvendes allerede i dag til energiproduktion, idet ca. en tredjedel af den energi, der produceres i de to dominerende kraftreaktortyper, trykvandsreaktoren (PWR) og kogendevandsreaktoren (BWR), hidrører fra spaltning af de plutoniumkerner, der produceres i reaktorerne under driften (jfr. afsnit 2.1).

Disse reaktortyper er imidlertid ikke særlig effektive til at udnytte verdens uranressourcer, idet de kun kan udnytte omkring 1% af disse. Der findes imidlertid en tredje reaktortype, den hurtige formeringsreaktor, som i princippet er i stand til fuldt ud at udnytte verdens uranressourcer til energiproduktion. Den producerer nemlig (ved neutronindfangning i ^{238}U) mere spalteligt materiale, end den forbruger til energiproduktionen. I denne type er det spaltelige materiale plutonium. Med hurtige formeringsreaktorer vil verdens uranressourcer kunne dække verdens nuværende elforbrug i flere tusinde år. Når denne reaktortype hidtil kun er blevet bygget i meget beskedent omfang, er årsagen bl.a., at den ikke er økonomisk konkurrencedygtig med andre reaktortyper.

Det er også muligt at anvende plutonium som brændsel i dagens reaktortyper, d.v.s. PWR og BWR. Det sker f.eks. i Frankrig og Tyskland. Imidlertid er det væsentlig dyrere at fremstille plutoniumholdige brændselselementer (de såkaldte MOX-elementer) end de sædvanlige uranelementer til disse reaktortyper. MOX står for Mixed OXide, d.v.s. elementer, der indeholder en blanding af PuO_2 og UO_2. Når man alligevel i nogle lande benytter MOX-elementer, er det formentlig for at reducere lagrene af kraftreaktorplutonium. Det er uden større ændringer muligt at erstatte ca. 30% af brændselselementerne i en PWR eller en BWR med MOX-elementer. Ønsker man udelukkende at benytte MOX-elementer i en reaktor, skal en række ændringer indføres. Bl.a. må antallet af kontrolstave øges.

2.4 Politiske holdninger til plutoniumproblemet

Det er interessant at konstatere, at man i forskellige lande finder meget forskellige holdninger til, hvad man bør gøre med plutoniumet . Noget forenklet kan disse holdninger beskrives på følgende måde.

I USA har man i adskillige år betragtet plutonium som affald, man skal slutdeponere i undergrunden på passende vis. I overensstemmelse med denne politik har USA bl.a. lukket alle sine kemiske oparbejdningsanlæg. I den seneste tid synes der dog at være en ændring i holdningen på vej, idet man synes villig til at omdanne i hvert fald en del af det overskydende våbenplutonium, i alt ca. 50 tons, til MOX-brændsel til kraftreaktorer. Årsagen til denne holdningsændring er formentlig, at man i USA trods talrige studier og forbrug af milliarder af dollars ikke har kunnet opnå enighed om, hvordan det radioaktive affald, herunder plutonium, skal deponeres. Ved at omdanne våbenplutonium til brugt brændsel opnår man, at det bliver væsentlig vanskeligere tilgængeligt p.g.a. de brugte elementers høje indhold af radioaktive stoffer.

I Vesteuropa er den dominerende holdning, at overskudsplutonium skal omdannes til MOX-brændsel og anvendes i kernekraftværker.

I Rusland og Japan er man af den opfattelse, at da plutonium er et væsentlig bedre brændstof i hurtige kraftreaktorer end i dagens reaktorer, bør plutoniumet oplagres, indtil de hurtige reaktorer bliver konkurrencedygtige. Rusland har ca. 100 tons overskydende våbenplutonium. I Rusland og Japan synes man dog ikke uvillig til som en overgangsordning at brænde MOX-brændsel i eksisterende reaktorer. For Ruslands vedkommende forudsætter det dog nok, at Vesten betaler for et anlæg til fremstilling af MOX-brændsel.

Men uanset om man går ind for det ene eller det andet, må man være indstillet på, at det overskydende plutonium skal opbevares i lagre i mindst 10 til 20 år, før den af de enkelte lande foretrukne fremgangsmåde fuldt ud kan realiseres.

2.5 Mellemoplagring af plutonium

Som det fremgår af afsnit 2.4. kommer man ikke udenom, at der gennem en årrække skal oplagres overskydende plutonium. I sådanne lagre anbringes plutoniumet i små, tætte stålbeholdere i betonbunkers, og beholderne anbringes på en sådan måde, at kritikalitet ikke under nogen omstændigheder, f.eks. ved jordskælv eller oversvømmelse, kan forekomme. Hvor der er tale om våbenplutonium vil det i reglen blive oplagret på metallisk form, mens kraftreaktorplutonium sædvanligvis vil forekomme som en kemisk plutoniumforbindelse.

Spørgsmålet om kontrol med det oplagrede plutonium rejser sig uundgåeligt, og gennem årene har der været fremsat forskellige forslag om oprettelse af en international plutoniumbank, f.eks. under FN's kerneenergiorganisation IAEA. Grundideen i en sådan bank er, at det overskydende plutonium deponeres i banken, hvorfra det kun udleveres igen, når det deponerende land kan dokumentere, at det har brug for plutoniumet til fredeligt formål. Deponeringen foregår under international kontrol.

Senest er den amerikanske tænketank, RAND, fremkommet med et forslag, som har fået en vis publicity herhjemme, idet Grønland er nævnt som en af placeringsmulighederne for plutoniumlageret. I RAND's forslag er der dog ikke tale om en bank, men om en slags "fængsel", idet deponeret plutonium kun kan frigives, såfremt alle landene bag lageret er enige herom. Det forekommer lidet sandsynligt, at Rusland vil gå ind på et sådant forslag, idet det vil give USA vetoret over det deponerede, russiske plutonium. Når man fra amerikansk side er interesseret i en ordning af denne art, er det formentlig, fordi man frygter, at forholdene i Rusland kan udvikle sig på en sådan måde, at man ikke har fuld kontrol over plutoniumlagrene.

Mellemlagring af plutonium kan naturligvis udstrækkes på ubegrænset tid, indtil der er brug for plutoniumet, f.eks. til hurtige formeringsreaktorer. Der er imidlertid lande, f.eks. USA, der i hvert fald ikke i dag vil acceptere en sådan

løsning, men som på længere sigt ønsker at slutdeponere plutoniumet eller i hvert fald gøre det meget vanskeligt tilgængeligt.

2.6 Destruktion af plutonium

Den eneste effektive måde til at slippe af med plutonium er at destruere det, d.v.s. at lade det undergå kernespaltning. I så fald omdannes det til fissionsprodukter. En sådan omdannelse kan ske i en reaktor. Specielt hurtige reaktorer er effektive til at destruere plutonium, idet ikke alene ^{239}Pu og ^{241}Pu, men også ^{240}Pu og ^{242}Pu kan spaltes af de hurtige neutroner i disse reaktorer. Ved en sådan plutoniumdestruktion fremstilles brændslet som en blanding af plutonium og et materiale, der ikke ved neutronindfangning giver produktion af nye, spaltelige kerner. Reaktoren adskiller sig derfor fra en formeringsreaktor (der producerer mindst lige så meget spalteligt materiale som den forbruger) ved ikke at indeholde ^{238}U. Det var den tidligere franske regerings hensigt at anvende den franske hurtigreaktor Superphenix til sådanne forsøg, men de synes nu aflyst, idet den nuværende regering planlægger at lukke Superphenix.

Brug af hurtige formeringsreaktorer vil naturligvis også i sidste ende betyde destruktion af såvel alt plutonium som alt uran, men dette vil tage meget lang tid.

En anden og mere eksotisk måde at destruere plutoniumlagrene på, er at sende den til solen med en raket. Metoden er imidlertid meget dyr og synes forbundet med så store risici, at den næppe er acceptabel.

2.7 Vanskeliggørelse af tilgængeligheden af plutonium

Der er foreslået en række metoder til at gøre verdens plutoniumlagre vanskeligere tilgængelige.

Den, der ligger mest lige for, er brug af plutoniumlagrene til fremstilling af MOX-brændsel med efterfølgende anvendelse af brændslet i reaktorer. Efterfølgende kan man opbevare elementerne, først i vandbassiner og senere i luftkølede betonbeholdere, indtil man får brug for det indeholdte plutonium. Alternativt kan man anbringe elementerne i geologiske slutdeponier.

Metoden indebærer, at brændslet i mange år vil være så radioaktivt, at det ikke vil være tilgængeligt for uvedkommende, at man får udnyttet en del af plutoniumet til energiproduktion, og at man om ønsket senere kan udvinde plutoniumet.

En anden metode, som man specielt i USA har beskæftiget sig med, er såkaldt vitrifikation. Ved denne sammensmelter man plutonium, fissionsprodukter og glaspulver og den herved dannede glasmasse udstøbes i cylindre, som derefter anbringes i geologiske slutdeponier. Fissionsprodukterne gør, at cylindrene er så radioaktive, at de ikke i mange år er tilgængelige for uvedkommende.

En tredje metode, som man også overvejer i USA, er direkte deponering af plutonium, passende emballeret, i dybe borehuller (2 til 4 km's dybde).

Herudover har en række mere eller mindre eksotiske metoder været foreslået. En er at bringe plutoniumet i kredsløb omkring jorden ved hjælp af raketter. Metoden er dels dyr, men billigere end at sende det ind i solen, dels har man risikoen for, at en raket ikke virker og falder tilbage til jorden (se afsnit 2.6).

Det er også blevet foreslået, at plutoniumet anbringes i et hulrum nede i jorden, hvorefter der detoneres en kernesprængladning i hulrummet. Herved

smelter plutoniumet sammen med den omgivende klippemasse. Denne metode er i strid med den internationale aftale om stop for prøvesprængninger.

Endelig har det været foreslået at anbringe plutonium i borehuller i havbunden, at skyde plutoniumbeholdere ned i havbunden samt at begrave beholderne på havbunden. Disse metoder er næppe i overensstemmelsen med London-aftalen mod dumpning af affald i havet.

Det gælder for alle disse metoder, at de kun vanskeliggør tilgængeligheden af plutoniumet. De umuliggør den ikke.

3 Kernekraftens elproduktion

Udbygningen af verdens kernekraftanlæg er fortsat vokset langsomt, idet væksten i de senere år primært er foregået i Østasien, der også har den største stigning i elforbruget, og i Østeuropa, hvor Rumænien i 1996 satte sit første kernekraftværk i gang. Figur 3.**Error! Unknown switch argument.** viser udviklingen i den samlede installerede elektriske effekt for forskellige geografiske områder. Effekten er givet i GWe (Gigawatt elektrisk effekt). 1 GW er lig 1 million kilowatt. Til sammenligning tjener, at den samlede installerede effekt i de danske kraftværker er godt 8 GWe.

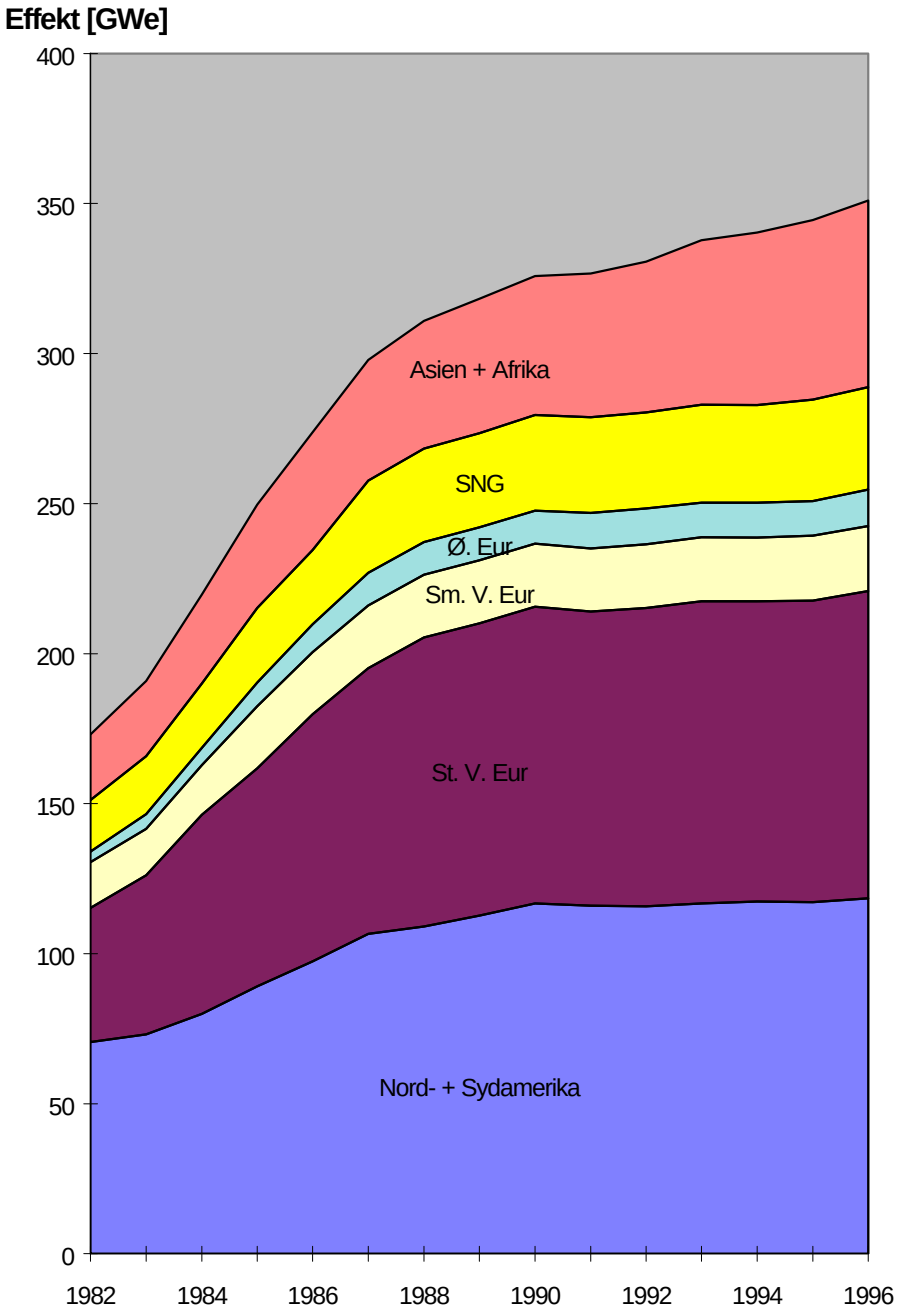
Den nederste kurve (det violette område) angiver den installerede effekt i kernekraftværkerne i Nord- og Sydamerika.. Her dominerer USA ved starten af 1997 med 85,0% af områdets effekt. Derefter kommer Canada med 12,6%, Mexico med 1,1%, Argentina med 0,8% og Brasilien med 0.5%.

Afstanden op til næste kurve (det bordeauxrøde område) angiver kernekrafteffekten i de større, vesteuropæiske lande, d.v.s. Frankrig, Tyskland, Storbritannien og Spanien. Her har Frankrig 58,5%, Tyskland 21,8%, Storbritannien 12,6% og Spanien 7,1%. Afstanden mellem anden og tredje kurve (det beige område) angiver kernekraftefekten i de mindre vesteuropæiske lande, d.v.s. Belgien, Finland, Holland, Schweiz, og Sverige. Her har Sverige den største andel, 46,3%, så følger Belgien med 26,3%, Schweiz med 14,2%, Finland med 10,9% og til slut Holland med 2,3%.

Herefter følger de østeuropæiske lande (det blå område), der omfatter Bulgarien, Litauen, Rumænien, Slovakiet, Slovenien, Tjekkiet og Ungarn,. Her har Bulgarien 29,0%, Litauen 19,4%, Ungarn 14,2%, Tjekkiet 13,5%, Slovakiet 13,4%, Rumænien 5,3% og Slovenien 5,2 af områdets kernekrafteffekt.
Afstanden mellem de to kurver, der omgiver SNG, angiver kernekrafteffekten i Rusland, Ukraine, Kasakhstan og Armenien (det gule område). Her dominerer Rusland (58,3%) og Ukraine (40,4%), mens Armeniens og Kasakhstans andele er beskedne, kun henholdsvis 1,1% og 0,2%.

Det øverste, rosa område omfatter Asien og Afrika, d.v.s. Japan, Sydkorea, Kina, Taiwan, Indien, Pakistan og Sydafrika. Her dominerer Japan med 68,1% af den installerede kernekrafteffekt. Dernæst følger Sydkorea med 14,7%, Taiwan med 7,8%, Kina med 3,5%, Sydafrika med 3,0% Indien med 2,7% og sluttelig Pakistan med 0,2%.

I 1996 blev der sat 5 kernekraftenheder med en samlet elektrisk effekt på 5717 MWe i drift: Chooz-B1 i Frankrig, Genkai-4 og Kashiwazaki Kariwa-6 i Japan, Cernavoda-1 i Rumænien og Watts Bar-1 i USA. Der blev ikke lukket nogen kernekraftværker ned i 1996.



*Figur 3.**Error! Unknown switch argument.**. Udviklingen i den samlede installerede elektriske effekt inden for forskellige geografiske regioner.*

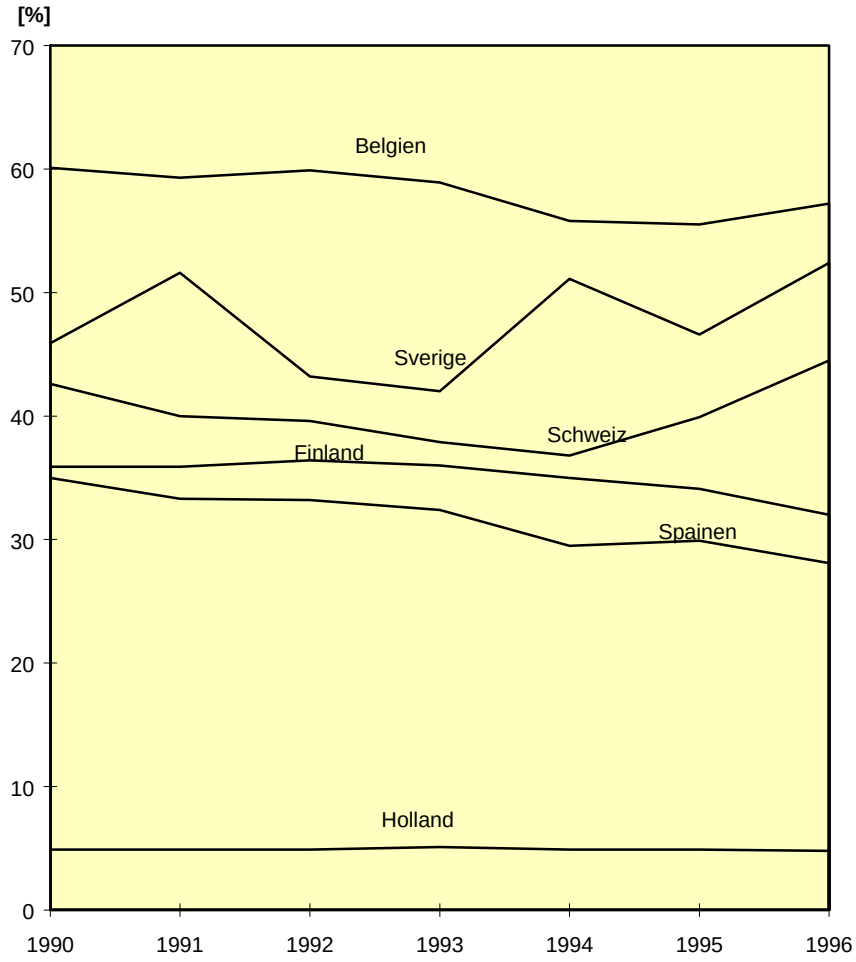
Hvad angår verdens kernekraftreaktortyper, så er trykvandsreaktoren (PWR= Pressurized Water Reactor) ved starten af 1997 den dominerende med 64,0% af den installerede effekt. Herefter følger kogendevandsreaktoren (BWR = Boiling Water Reactor) med 22,3%. Dette betyder, at letvandsreaktorerne står for 86,3% af al kernekrafteffekt. Den resterende effekt leveres af tungtvandsreaktorer (5,3%), af Tjernobylreaktortypen (RBMK) (4,3%), af gaskølede grafitreaktorer (3,4%) og af andre reaktortyper (0,7%).

I Figur 3., 3.3 og 3.4 er vist den brøkdel af en række landes elforbrug, som kommer fra kernekraftværker. Fig. 3.2 viser kernekraftens andel i elproduktionen i en række mindre, europæiske lande. I 1996 var denne andel 57.2% i Belgien, 52,4% i Sverige, 44,5% i Schweiz, 32,0% i Spanien, 28,1% i Finland og

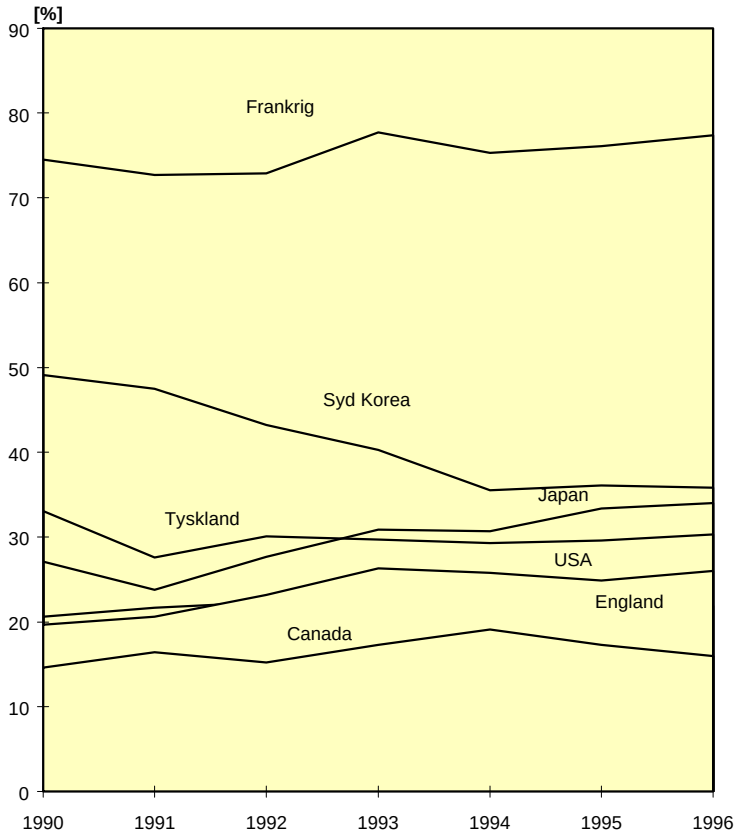
4,8% i Holland. Fig. 3.3 viser andelen i en række større industrilande. I 1996 var denne 77,3% i Frankrig, 35,4% i Sydkorea, 34,0% i Japan, 30,3% i Tyskland, 26,0% i Storbritannien, 21,9% i USA og 16,0% i Canada. Fig. 3.4 viser andelen i en række østeuropæiske og SNG-lande. I 1996 var andelen 83,4% i Litauen, 44,5% i Slovakiet, 42,8% i Ukraine, 42,2% i Bulgarien, 40,8% i Ungarn, 20,0% i Tjekkiet og 13,1% i Rusland. Værdien for Rusland er påvirket af, at næsten alle russiske kernekraftværker ligger i den europæiske del, mens en stor del af industrien ligger øst for Ural.

For verden som helhed dækkede kernekraft 17% af elforbruget i 1996. For Vesteuropa var kernekraftens andel 36%, for Østeuropa 14%, for Nordamerika 19% og for det fjerne Østen 18%.

Ved starten af 1997 var der i alt 442 kernekraftværker i drift med en samlet installeret elektrisk effekt på 351 GWe. Det samlede antal driftsår er for kernekraftværker nået op på 8135 reaktorår. I januar 1997 var der 36 kernekraftværker med en samlet effekt på 27,9 GWe under bygning.



Figur 3. Den procentdel af mindre, vesteuropæiske landes elforbrug, der er produceret i landenes kernekraftværker.



Figur 3. Denprocentdel af en række større industrilandes el-forbrug, der er produceret i landenes kernekraftværker.



Figur 3.. Den procentdel af en række østlandes el-forbrug, der er produceret i landenes kernekraftværker.

4 Gennemgang af større, sikkerheds-relevante hændelser i 1997

Efter tre år med bemærkelsesværdigt få alvorlige sikkerheds-relaterede hændelser på verdens ca. 450 kernekraftenheder oplevede man i 1997 ni hændelser, der blev vurderet til klasse 2 på INES skalaen (International Nuclear Event Scale; se appendix A). Derudover konstateredes der et større antal af de mindre alvorlige klasse 1 hændelser. Uheld, der er alvorligere end klasse 2, forekom ikke ved kernekraftværker. Men klasse 3 uheld med strålingskilder forekom tre steder i verden (Rusland, Italien og Georgien). Her blev personer udsat for kraftige strålingsdoser. Et klasse 3 uheld forekom også på et japansk anlæg for behandling af lavaktivt affald. Her skete der ingen personskader, men der opstod en svag forurening af den allernærmeste omegn. Herudover skete der i 1997 syv klasse 2 hændelser på andre typer anlæg.

En i sikkerhedsmæssig henseende betydningsløs hændelse blev vidt omtalt i store dele af de europæiske massemedier i februar 1997. Det var afsporingen af en togvogn med brugt kernekraftbrændsel, der skete i Frankrig. Brændslet transporteredes i en solid stålbeholder, som var uskadt og i øvrigt blev liggende på togvognen efter afsporingen. Ingen personer blev bestrålet, og ingen radioaktivitet slap ud. Beholdere af den pågældende type kan tåle at ramme ind i en betonvæg med 100 km/t og herefter udsættes for en benzinbrand i 30 minutter - og alligevel fortsat være tæt. Sikkerhedsmæssigt rubriceredes hændelsen derfor i INES klasse 0 - altså uden for den egentlige skala.

På den franske kernekraftenhed Dampierre 1 konstaterede man d. 14. december 1996 en lækage i et mindre rør, der var forbundet direkte til reaktortanken. En vis lækage akcepteres fra sådanne rør, men da lækagen voksede med tiden, stoppede man reaktoren og undersøgte årsagen. Sædvanligvis forventer man lækager ved samlinger og bøjninger, men lidt forbavsende viste det sig, at der var en revne i den lige del af røret. Årsagen menes at være skiftende varmepåvirkninger fra koldt og varmt vand. Det franske el-selskab EdF, som ejer værket, besluttede at undersøge rørene på andre tilsvarende værker. I løbet af 1997 fandt man begyndende revner på to andre enheder, Dampierre 3 og Fessenheim 2. Hændelsen bedømtes til klasse 2 på INES-skalaen.

Den 2. og 3. februar 1997 oplevede det britiske oparbejdningsanlæg Sellafield to hændelser, der begge vurderes til INES klasse 2. Den 2. februar skete der en frigivelse af radioaktivitet i den bygning, hvor man oparbejder magnoxbrændsel fra nogle britiske kernekraftværker. Der slap ikke radioaktivitet ud til omgivelserne, men seks arbejdere fik radioaktivitet på sig og måtte dekontamineres.

Dagen efter bevirkede et voldsomt uvejr, at regnvand skyllede radioaktivt vand ud i omgivelserne og forurenede veje og pladser. Omgivelserne blev forurenet med i alt ca. 5 GBq (ca. 1,5 Curie). Hændelsen betragtedes som alvorlig, da selv et meget kraftigt uvejr ikke burde kunne få de observerede konsekvenser.

Den 4. marts 1997 konstaterede operatørerne på den franske kernekraftenhed Paluel 1, at neutronintensiteten i reaktoren nogle timer havde været mere ujævnt fordelt mellem top og bund end tilladt i henhold til specifikationerne. Der viste sig at være en fejl i det computerprogram, der kontrollerer neutronintensiteten, og som opdateres en gang om måneden. En medarbejder havde begået en fejl, som den efterfølgende kontrol ikke havde opdaget. Der var ikke nogen sikkerhedsmæssig risiko ved situationen; men hændelsen og personalets

handlinger pegede på, at der var noget galt med uddannelsen og indstillingen til sikkerhedsspørgsmål. Derfor vurderedes hændelsen til INES klasse 2, og myndighederne krævede forbedringer af uddannelse og organisation.

På det japanske brændselssanlæg Tokai skete der d. 11. marts 1997 en eksplosion i et forsøgsanlæg til behandling af lavaktivt affald. Om formiddagen gik de automatiske alarmer i gang i et rum, hvor lavaktivt affald indstøbes i asfalt. Temperaturen var høj, og man kunne udefra se, at der var brand i rummet. Et sprinklersystem blev straks sat i gang, og ilden blev øjensynligt slukket. Lidt senere kom der alarm fra detektorer, der målte radioaktivt støv i rummet; det samme gjorde detektorer i et andet rum. Alt personale blev derfor beordret udendørs. Der måltes ingen radioaktivitet uden for bygningen, men inde i bygningen fortsatte dannelsen af radioaktivt støv, hvilket indikerede, at der stadig var ild et sted. Man prøvede flere gange forgæves at fastslå, hvor der var ild. Ved 20-tiden om aftenen skete der en eksplosion i rummet, og døre og vinduer blev ødelagt. Anlæggets måleinstrumenter viste kortvarigt forhøjede strålingsniveauer. Eksplosionen formodes at have slukket ilden, for der opstod ikke længere røg eller radioaktiv støv. I løbet af natten undersøgtes anlægget og omegnen, og umiddelbart uden for anlægget måltes der svag, radioaktiv forurening. Arbejderne blev efterfølgende undersøgt for radioaktivitet, men de havde kun fået ubetydelige doser fra uheldet. De højeste niveauer var på under 0,05% af det tilladte niveau for bestråling. Da eksplosionen helt ødelagde det rum, hvori affaldsbehandlingen foregik, er uheldet blevet takseret til klasse 3 på INES-skalaen.

Samme dag, altså den 11. marts 1997 fik en arbejder på det sydafrikanske kernekraftværk Koeberg en strålingsdosis på 32 millisievert, da han fejlagtigt låste sig ind til reaktoren. Selv om reaktoren var stoppet, var der fortsat et højt strålingsniveau. Heldigvis konstaterede han hurtigt fejlen og forlod rummet igen. Hans nøgle var beregnet til et naborum og burde ikke kunne bruges til reaktorrummet. Denne fejl ansås så alvorlig, at hændelsen blev bedømt til klasse 2, selv om strålingsdosen var under den tilladte grænse på 50 millisievert.

På samme værk, altså Koeberg i Sydafrika, blev nogle arbejdere d. 2. maj udsat for strålingsdoser over det tilladte niveau. Som led i noget rutinearbejde skiftede man filter i en vandbassin. Forud for arbejdet havde man målt et ret lavt strålingsniveau på stedet, men efter et stykke tid konstaterede en af de tre arbejdere, at hans måleinstrument slog ud over skalaen. Arbejdet blev straks afbrudt. Ved hjælp af arbejdernes persondosimetre kunne man kort efter konstatere, at de havde modtaget henholdsvis 50, 90 og 105 millisievert. Da den tilladelige dosisgrænse på 50 millisievert blev overskredet uden at føre til personskader, blev hændelsen bedømt til klasse 2 på INES-skalaen.

På et anlæg til behandling af metalskrot i Sachsen-Anhalt i Tyskland opdagede man d. 15. maj ved en rutinekontrol en kraftig cæsium-137 kilde (200 GBq = 5 curie). Kilden var uskadt, og der var ikke sket nogen forurening af lokaliteten. Personalet på stedet havde ikke været i nærheden af kilden. Kontrollen virkede derfor helt efter hensigten. Men kilden viste sig at være transporteret fra Hamburg af et hollandsk transportkompagni, der ikke var opmærksom på dens eksistens. Da der var tale om en kraftig kilde, bedømtes hændelsen til klasse 2, og en undersøgelse af en mulig bestråling af chauffør og andre personer blev igangsat.

På den indiske kernekraftenhed Kakrapar oplevede man d. 18. maj 1997, at to (ud af 14) kontrolstave bevægede sig for langsomt ind i reaktoren, da den skulle stoppes efter en driftsforstyrrelse. Denne opstod under den månedlige kontrol af et reservesystem for stop af reaktoren (indsprøjtning af lithiumholdig væske). At to af kontrolstavene ikke fungerer korrekt, udgør ikke nogen risiko. De øvri-

ge kan stoppe reaktoren med god sikkerhedsmargin. Men man konstaterede efterfølgende, at en af stavene allerede dagen forinden havde bevæget sig for langsomt, uden at man havde gjort noget for at afklare årsagen og udbedre fejlen. Derfor takseredes hændelsen som klasse 2 på INES-skalaen.

Den 17. juni skete der et alvorligt strålingsuheld på et russisk militæranlæg 400 km øst for Moskva. På anlægget arbejdes der bl.a. med atomvåben, og der er om hændelsen kun oplyst, at en arbejder fik så stor en strålingsdosis, at han fik alvorlig strålingssyge og blev sendt til et hospital i Moskva. Hændelsen er ikke af myndighederne blevet vurderet i forhold til INES-skalaen, men den svarer til klasse 3.

Den 14. juli 1997 skete der en klasse 2 hændelse på en forskningsreaktor i Bangladesh. Da man om morgenen skulle starte reaktoren, opdagede man, at vandstanden i reaktorbassinet var faldet 7,5 cm og fortsat faldt. En tilsluttet beholder viste sig at være rustet igennem, og en del vand var sivet ud. Vandet var meget svagt radioaktivt og havde forårsaget en beskeden forurening af stedet. Inden man fik stoppet lækagen, var der sivet op mod 2000 liter vand ud fra reaktorbassinet.

På et fransk laboratorium for kraftig røntgenstråling blev sikkerhedsreglerne overtrådt d. 18. juli 1997, idet nogle forskere gik ind i selve bestrålingsrummet uden at røntgenkilden var sikret mod igangsættelse. Heldigvis kom røntgenanlægget ikke i funktion i den pågældende periode, og ingen blev derfor udsat for den kraftige bestråling. På grund af overtrædelsen af sikkerhedsforskrifterne takseredes hændelsen til klasse 2.

I Ukraine var der d. 22. august 1997 et uheld på kernekraftenheden South Ukraine 2, hvor et nyt brændselselement blev ødelagt. Reaktoren var nedlukket, og man var ved at udskifte det brugte brændsel med nyt. Med brændselslademaskinen havde man placeret et nyt element i reaktoren, og selv om maskinens indikator viste, at elementet var frigjort, fulgte det alligevel med maskinen ud af reaktorkernen igen - uden at operatøren opdagede det. Først da man hørte en usædvanlig støj fra reaktoren, konstaterede man fejlen. Et nyt brændselselement er kun meget svagt radioaktivt , og der var derfor ikke involveret radioaktivitet i uheldet, og det skadede element kunne umiddebart fjernes fra maskinen. Hændelsen takseredes alligevel som klasse 2 på INES-skalaen, idet den fejlagtige visning også kunne være sket med brugt, radioaktivt brændsel.

På den ungarnske kernekraftenhed Paks 3 var man d. 20. august 1997 i færd med at afprøve et nyt kontrolsystem til turbinen. En uventet høj vandstand i en dampgenerator bevirkede en udkobling af turbinen, og umiddelbart herefter stoppedes reaktoren automatisk. En af 37 kontrolstave kom imidlertid ikke helt ind i reaktoren, og personalet startede en nedkøling af reaktoren. Det viste sig bagefter, at den samme kontrolstav havde været ude for et lignende problem et par uger tidligere, da reaktoren startedes efter det årlige brændselsskift. Man fik den gang kontrolstaven til at fungere korrekt ved gentagne gange at føre den ind og ud af reaktoren. Selv om der ikke havde været problemer med at stoppe reaktoren - de øvrige stave kunne rigeligt klare dette - bedømtes hændelsen til klasse 2 på INES-skalen. Det forhold, at man tidligere havde haft problemer med kontrolstaven uden fuldt at afdække årsagen, blev betragtet som en betænkelig sikkerhedsmæssig brist.

På den svenske kernekraftenhed Ringhals-4 opdagede man d. 27. september 1997, at ventilerne til det pumpesystem, der skal overbruse reaktorindeslutningen i tilfæld af et alvorligt havari, var lukkede. Reaktoren var under opstart efter det årlige brændselsskift, og tryk og temperatur var lave, da fejlen opdagedes og rettedes. Det konstateredes efterfølgende, at instruktionerne for betjeningen af de pågældende ventiler var uklare. Da ventilernes korrekte indstilling

er væsentlig for begrænsning af følgerne af alvorlige havarier, takseredes hændelsen til klasse 2.

På en arbejdsplads ved Triviso i Italien blev en arbejder d. 30. september 1997 udsat for en strålingsdosis på 890 millisievert fra en cobolt-60 kilde, der benyttedes til kontrol af materialer. Kilden var fejlagtigt aftenen forinden blevet efterladt i en bestrålingsopstilling, og man havde ikke som påkrævet kontrolleret, om den var blevet overført til en afskærmende transportbeholder. Den bestrålede arbejder var i færd med at samle udstyr sammen, da han noterede, at hans dosimeter var gået ovenud af skalaen. Den modtagne dosis var langt over den tilladte grænse på 50 millisievert og på grænsen til at kunne give en ubehagelig strålingssyge. Endvidere var forskrifterne groft overtrådt. Hændelsen takseredes til klasse 3 på INES-skalaen.

I begyndelsen af oktober 1997 konstaterede man på en militærbase i Georgien, at 10 soldater gennem en længere periode var blevet kraftigt bestrålet af en cæsium-137 kilde. Fire af soldaterne blev overført til Frankrig for specialbehandling og to andre til Tyskland. Der er ikke givet nærmere oplysninger om, hvordan bestrålingen af soldaterne er sket. Ulykken er ikke officielt blevet vurderet i relation til INES-skalaen, men konsekvenserne svarer til klasse 3.

På en rumænsk kunstgødningsfabrik opdagede man i maj 1996, at en radioaktiv cobolt-60 kilde, der blev benyttet til niveaumåling i en beholder, var blevet skadet. Halvdelen af kildens oprindelige indhold af radioaktivitet på 0,1 curie var blevet opblandet med den urea-karbonat, der havde været i beholderen. Trods en langvarig søgen efter radioaktivitet, der kunne være kommet ud fra anlægget, fandt man ikke nogen. Realistiske beregninger af, hvad der kunne være sket, viste, at ingen personer på eller uden for anlægget kunne være blevet udsat for farlige strålingsdoser. Undersøgelserne var langvarige, og først i januar 1997 rubricerede de rumænske sikkerhedsmyndigheder hændelsen som INES klasse 2.

I 1997 skete der en nyvurdering af et uheld, der skete på det canadiske kernekraftværk Point Lepreau i oktober 1996. Man havde konstateret uregelmæssigheder på sekundærsiden af en dampgenerator, og en inspektion viste alvorlig korrosion i nogle rørsamlinger. En efterfølgende undersøgelse viste tilsvarende korrosion ved de andre dampgeneratorer. De skadede dele blev udskiftet, og da skaderne ikke havde haft direkte sikkerhedsmæssig betydning, vurderedes hændelsen til klasse 1 på INES-skalaen. Efterfølgende blev det klart, at der i værkets rutiner for vedligeholdelse ikke indgik kontrol af de skadede områder, hvilket blev anset for alvorligt, så der skete en opgradering til klasse 2.

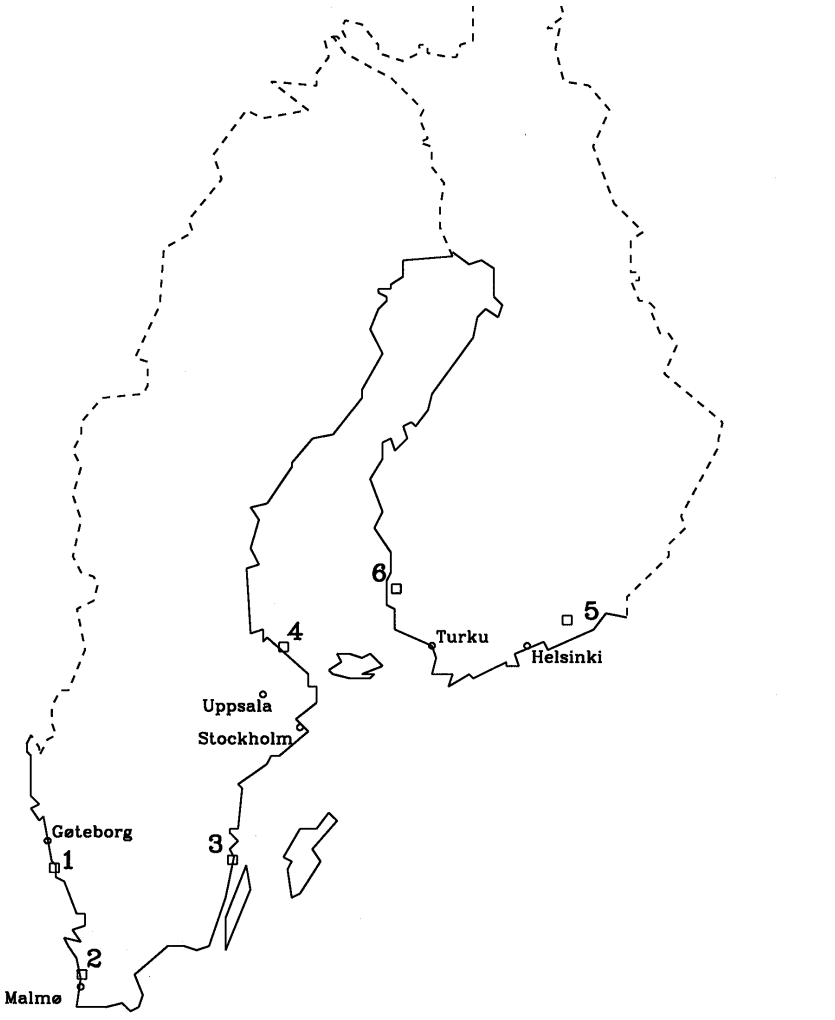
I 1997 opdagede man endvidere, at tre arbejdere på det britiske atomanlæg Dounreay i 1995 måtte have indtaget noget radioaktivt stof. Baseret på blod- og urinprøver kunne man konstatere, at strålingsdoserne til arbejderne var henholdsvis 244, 210 og 43 millisievert. Den tilladte grænse på 50 millisievert var overskredet, og hændelsen klassificeredes derfor til INES klasse 2.

Endelig skal nævnes, at det i begyndelsen af 1997 blev konstateret at en arbejder på det britiske oparbejdningsanlæg Sellafield havde optaget noget plutonium i kroppen som følge af, at han fik et snitsår i handen, mens han arbejdede ved en handskebox. Langvarige målinger viste, at han havde mere plutonium i kroppen end acceptabelt efter de gældende normer. Hændelsen vurderedes til INES klasse 2.

5 Barsebäck-anlægget og andre svenske kernekraftværker

I Sverige findes 12 kernekraftenheder fordelt på 4 værker: Barsebäck-værket i Skåne med 2 enheder af kogendevandsreaktortypen (BWR), Oscarshamn-værket i Østsmåland med 3 BWR-enheder, Ringhals-værket i Västergötaland med 1 BWR-enhed og 3 enheder af trykvandsreaktortypen (PWR) samt Forsmark-værket nord for Stockholm med 3 BWR-enheder. Den samlede installerede elektriske effekt for de 12 enheder er 10.000 MW. Placeringen af værkerne fremgår af Figur 5.

Kogendevandsreaktorerne er alle leveret af det svenske firma ABB ATOM (tidligere ASEA ATOM), mens trykvandsreaktorerne er leveret af det amerikanske firma Westinghouse.



No.	Navn	Ant. enh.	MWe.
1	Ringhals	4	3700
2	Barseback	2	1230
3	Oscarshamn	3	2300
4	Forsmark	3	3208
5	Loviisa	2	930
6	Olkiluoto	2	1470

Kernekraftværker i

SVERIGE–FINLAND

Figur 5.. Kernekraftværker i Sverige - Finland.

5.1 Barsebäck-værket

Barsebäck-værket, der ligger ca. 25 km øst for København, producerer 9 mia. kWh årligt, svarende til Malmøs og Københavns samlede elforbrug. Produktionsprisen for en kWh fra værket er ca. 16 øre, hvoraf 2,5 øre henlægges til den fremtidige håndtering af affaldet og til nedrivning af værket, når det er udtjent. Barsebäck Krafts 2 BWR enheder, hver på 615 MWe, blev taget i brug i henholdsvis 1975 og 1977.

Enhed 1 blev nedlukket den 30/4-97 for at indlede den årlige udskiftning af brændsel og vedligeholdelse af anlægget, efter at den havde været i drift siden den 3/7-96, kun afbrudt af 3 dages nedlukning i april som følge af søgræs i anlægget for filtrering af havvand til køling af kondensatoren.

Med 5 ugers forsinkelse blev enheden startet igen den 13/7-97. Forsinkelsen skyldtes, at man under en ultralydsundersøgelse af recirkulations-systemets rørføringer fandt sprækker i nogle svejsninger. Sprækkerne havde længder på 10-30 mm og dybder på 4-12 mm. Godstykkelsen af de pågældende rør er 40 mm og diameteren 600 mm. Revnerne skyldes formentlig interkrystallinsk spændings-korrosion, som kan forekomme, når et rør har været udsat for kraftige svejsninger, trækspændinger og iltholdigt vand. Udbedringen bestod i at slibe revnerne væk. Endelig måtte man skifte rotoren på generatoren - en ikke planlagt reparation , der også forsinkede opstarten.

Blok 2 blev lukket ned i midten af juli for udskiftning af brændsel og vedligeholdelse. De planlagte vedligeholdelsesarbejder omfattede bl.a. udskiftning af de elektriske gennemføringer i reaktorindeslutningen, montering af et nyt system til måling af vandniveauet i reaktortanken samt indkøring af en ny maskine til udskiftning af brændsel.

Opstarten fandt sted den 8/9-97 - en uge senere end planlagt - p.g.a. fugt i hovedtransformatoren.

Barsebäck-værket havde i 1994 en kedelig rekord i antal “Rapporteringsværdige omstændigheder” (RO) til myndighederne, idet dette antal var kommet op på 108. I 1996/97 var antallet af RO blevet reduceret til 26. Det skærpede tilsyn, som SKI, Statens Kärnkraftinspektion, indledte sidste år med baggrund i de mange hændelser, er blevet fortsat gennem 1997.

Trods den svenske Rigsdags beslutning om at lukke den ene af Barsebäck-værkets to reaktorer inden den 1/7-1998 (se afsnit 5.5) fortsætter værket med at udvide staben af ansatte. Antallet af medarbejdere er i dag på 430, en stigning på 80 over de sidste fire år. De planlagte renoveringer af anlægget i de kommende år er heller ikke er taget af programmet.

5.2 Ringhals-værket

Ringhals-værket ligger ca. 60 km syd for Gøteborg og ca. 65 km øst for Læsø. Enhed nr. 1, en BWR på 825 MWe, blev taget i brug i 1976, enhed nr. 2, en PWR på 915 MWe, blev taget i brug i 1975, mens de 2 sidste PWR-enheder, hver på 960 MWe, blev taget i brug i henholdsvis 1981 og 1983.

Ringhals 1 blev lukket ned den 25/4-97 for det årlige brændselsskift og vedligeholdelse, hvorunder bl.a. rørdele i recirkulationssystemet skulle skiftes. Opstarten skulle have fundet sted den 25/7-97, men blev udskudt til begyndelsen af oktober p.g.a. problemer med det robotudstyr, der benyttedes ved montering af tætningsringe i recirkulationssystemet.

Da Ringhals 2 startede op efter den årlige nedlukning den 18/8-97, var det med en del af nødkølesystemet koblet ud. Fejlen blev først opdaget 16 timer senere trods tydelig indikering i kontrolrummet. SKI krævede herefter et om-

fattende sikkerhedscheck af hele anlægget, inden enheden fire dage senere fik lov at starte igen. Hændelsen blev karakteriseret som klasse 1 på INES-skalaen (se app. A). Værkets ledelse gav administrative fejl skylden for hændelsen, idet der manglede en anmærkning i logbogen om, at en del af nødkølesystemet var koblet fra.

Ringhals 3 har kørt stabilt. Dog har man haft problemer med vibrationer i dampledningerne.

Ringhals 4 havde lige som Ringhals 2 en uheldig opstart efter den årlige nedlukning. Denne gang var det sprinklersystemet til reaktorindeslutningen, der var koblet ud. Der gik 20 timer inden fejlen blev opdaget trods tydelig indikering i kontrolrummet. Hændelsen blev først karakteriseret som klasse 1 på INES-skalaen, men blev senere opgraderet til klasse 2, mest p.g.a. den tilsvarende hændelse på samme værk 6 uger tidligere.

Det var anden gang inden for kort tid, at kontrolrumspersonalet under opstart ikke bemærkede, at et sikkerhedssystem var sat ud af kraft. SKI krævede herefter, at samtlige opstartsprocedurer på alle fire enheder skulle gennemgås, og at værket inden 30/11-97 skulle komme med anvisninger på, hvordan man kan undgå sådanne fejl i fremtiden. De øvrige værker i Sverige skulle inden udgangen af 1997 komme med tilsvarende anvisninger på, hvorledes man kunne forebygge denne kombination af administrative og menneskelige fejl.

5.3 Oscarshamn-værket

Oscarshamn-værket ligger ca. 50 km nord for Kalmar. Dets 3 BWR enheder på 465 MWe, 630 MWe og 1205 MWe blev taget i brug i henholdsvis 1972, 1975 og 1985.

Enhed nr. 1, som er Sveriges ældste kraftreaktor, har været nedlukket fra november 1996 til marts 1997 som følge af omfattende undersøgelser af de revner i moderatortanklåget, der blev konstateret i 1995. Den 28/10-97 blev enheden standset på initiativ fra værkets ledelse, efter at man opdagede, at en ventil til sikkerhedsfilteret fejlagtig var lukket og havde været det siden opstarten i marts. Fejlen blev tilskrevet uklare procedurer i forbindelse med montering af reaktortankens låg. Ledelsens beslutning om at stoppe reaktoren skal ses i lyset af den diskussion, der foregår mellem værker og myndigheder med det formål at forbedre sikkerhedskulturen. Det igangsatte moderniseringsarbejde, til en værdi af 900 mill. sv. kr., fortsætter som planlagt.

Enhed 2 har kørt stabilt i den forløbne periode; dog kun med 3 af de 4 recirkulationspumper i drift i den sidste del af perioden.

Oskarshamn 3 har også kørt stabilt. Dog har der været tilbagevendende problemer med afspærringsventiler på dampledningerne, som lukker for langsomt.

Generelt har Oskarshamnværket arbejdet meget med sikkerhedsspørgsmål og revision af procedurer efter sidste års uheldige hændelse, hvor nødkølesystemet på enhed 2 var afbrudt i 6 dage.

5.4 Forsmark-værket

Forsmark-værket ligger ca. 100 km nord for Stockholm og består af tre BWR-enheder. Enhed 1 og 2, begge på 1000 MWe, blev taget i brug i 1981, mens enhed 3 på 1200 MWe blev sat i drift i 1985.

Under den årlige revision på Forsmark 1 fandt man en 20 mm dyb revne i et rør, som går fra reaktortanken til kølesystemet for reaktorindeslutningen. Rørets tykkelse er på ca. 40 mm, og det er placeret mellem den biologiske afskærm-

ning og tanken, hvorfor det er meget vanskelig tilgængeligt. I første omgang håbede man at kunne slibe revnen væk, men da man konstaterede dens dybde, måtte der svejses nyt materiale på. Reparationen måtte foregå med en specielt konstrueret cylinder - 7 m lang og 1,5 m i diameter - som blev sænket ned i reaktortanken. Cylinderen havde et hul i siden, således at man med en gummipakning kunne fastgøre den til indersiden af reaktortanken, dræne cylinderen og svejse revnen indefra. Revisionen blev derved forlænget med 15 uger og værket fik et produktionstab på 150 mill. svenske kr.

Forsmark 2 har kørt stabilt i den forløbne periode. Under revisionen blev generatoren udskiftet p.g.a. vibrationsproblemer.

Forsmark 3 har også kørt stabilt i 1997 bortset fra en hændelse i begyndelsen af året, hvor de 4 hovedcirkulationspumper fejlagtigt blev stoppet i forbindelse med en afprøvning af udstyr til brandventilation. Reaktoren blev dog sikkert lukket ned via det automatiske nedlukningssystem.

5.5 Svensk kernekraft og fremtiden

De tre rigsdagspartier, Socialdemokratiet, Folkepartiet og Centerpartiet blev i 1991 enige om strukturen af den fremtidige svenske energiforsyning gennem formulering af en såkaldt trepartiaftale. I aftalen lægges der vægt på koblingen mellem tidligere afviklingsbeslutninger og hensynet til beskæftigelse og velfærd. Trepartiaftalen danner baggrund for kommissoriet for den af den svenske regering nedsatte energikommission, der i slutningen af 1995 kom med sin udredning omkring den fremtidige energiforsyning i Sverige - med og uden anvendelse af kernekraft.

Udredningens bedømmelse af *"Konsekvenserne af en kernekraftafvikling"* opererer med 3 alternativer:

A) 40 års driftstid for hver af de eksisterende 12 reaktorer.
Afviklingen af reaktorerne vil ske successivt i perioden 2010 - 2025.

B) Hurtig afvikling af kernekraften.
Afviklingen indledes i 1998 med lukning af 2 reaktorer inden år 2000, mens de resterende 10 lukkes i perioden 2004 - 2010.

C) Langsom afvikling af kernekraften.
Afviklingen indledes i 1998 således, at 1 reaktor lukkes inden år 2000, 6 reaktorer vil være lukket år 2010, hvorefter de resterende 6 successivt lukkes inden år 2025.

I begyndelsen af 1996 nedsatte den svenske regering en gruppe bestående af repræsentanter fra samtlige partier i den svenske rigsdag med det formål at udarbejde en detaljeret tidsplan for afviklingen af kernekraften på baggrund af Energikommissionens redegørelse. Planen skulle være færdig den 12. december 1996.

Folkepartiet og Moderaterne forlod forhandlingerne i november 1996. De ønskede ikke at lægge sig fast på nogen bestemt dato for start på afviklingen af kernekraften, hvilket forhandlingslederen, den socialdemokratiske minister for handel og industri, Anders Sundstrøm anså for en betingelse for at deltage i de afsluttende forhandlinger.

I februar 1997 indgik Socialdemokratiet, Centerpartiet og Vänsterpartiet en aftale om at lukke den ene Barsebäck-reaktor inden 1. juli 1998 og den anden inden 1. juli 2001.

Den 10/6-97 blev denne energipolitiske beslutning vedtaget af den svenske Rigsdag, og den 18/12-97 blev den tilhørende lovgivning fremsat og vedtaget. Den nye lov indebærer, at den svenske regering kan ekspropriere og lukke kernekraftværker uden at henvise til sikkerhedsmæssige årsager; ejerne har dog krav på erstatning.

Hensigten med loven siges bl.a. at være, at den skal bidrage til en økonomisk bæredygtig energiforsyning, der er bygget på vedvarende energikilder.

Lukkes de to enheder på Barsebäckværket og erstattes deres produktion af el med tilsvarende produktion fra kulkraftværker, vil CO_2 udslippet stige med en mængde, der svarer til CO_2 udslippet fra halvdelen af Sveriges personbiler.

Den 5. februar 1998 besluttede den svenske Regering at inddrage driftstilladelsen for blok 1 på Barsebäck-værket den 1. juli 1998. På den baggrund besluttede de svenske nukleare tilsynsmyndigheder, SKI, at intensivere tilsynet med værket for at sikre, at anlægget drives på forsvarlig vis, trods det pres personalet nu er udsat for.

6 Udviklingen i Østeuropa med hensyn til reaktorsikkerhed

6.1 Tjernobyl-reaktoren

I forbindelse med den aftale (Memorandum of Understanding), som G7-landene indgik med Ukraine i december 1995 skal alle Tjernobyl-værkets reaktorer lukkes senest år 2000, mod at vesten yder økonomisk støtte til at løse problemerne omkring den ødelagte reaktor-4 ved Tjernobyl-værket, specielt problemerne omkring sarkofagen, der omslutter denne reaktor. Endvidere skal vesten gennem lån muliggøre færdiggørelsen af to kernekraftenheder, der er under bygning i Ukraine, Rovno-4 og Khmelnitski-2, til erstatning for Tjernobyl-værket. De to værker er 80% færdigbygget, og det påregnes, at det vil koste ca. 1 mia. US$ at færdiggøre dem, inklusive en række sikkerhedsmæssige forbedringer.

Hvad problemerne omkring Tjernobyl-4-reaktoren angår, er der i et samarbejde mellem vestlige lande og Ukraine blevet udarbejdet den såkaldte Shelter Implementation Plan (SIP), som omfatter en række foranstaltninger, der skal gennemføres i perioden 1997-2005. Disse omfatter stabilisering af den nuværende sarkofag, etablering af forbedret strålingsbeskyttelse, foranstaltninger til at fjerne risikoen for utilsigtet kritikalitet i dele af den ødelagte reaktor, bygning af en ny reaktorindeslutningsbygning, fjernelse af ustabile dele af den nuværende sarkofag samt forberedelse af fjernelsen af de uranholdige dele af reaktoren. Det kan nævnes, at det fra ukrainsk side har været hævdet, at dele af den ødelagte reaktor i korte perioder har været kritisk, ligesom det også har været hævdet, at risikoen for, at sarkofagen vil falde sammen, er stor. Fra vestlig side er disse påstande blevet mødt med betydelig skepsis, idet de er opfattet som pression for at få den nødvendige økonomiske støtte.

Der er blevet lavet et overslag over, hvad SIP-projektet vil koste. Man er her kommet frem til et beløb på omkring 750 mill.US$. G7-landene har lovet at bidrage med 300 mill. $, hvoraf EU vil give 100 mill. $. Ukraine har meddelt, at

landet ikke kan bidrage med mere end 50 mill. $. Ved en donor- konference i november 1997 blev der, hovedsagelig fra vesteuropæiske lande, opnået tilsagn om yderlig 37 mill.$, men der er langt fra 387 til 750 mill. $.

Lånet til Rovno-4 og Khmelnitski-2 påregnes at blive på 650 mill. ECU, sammensat af et EURATOM-lån på op til 400 mill. ECU og et lån fra den europæiske udviklingsbank, EBRD, på op til 300 mill. En forudsætning for, at EBRD kan yde lån til færdiggørelse af disse to ukrainske kernekraftenheder, er, at en analyse viser, at en sådan investering er økonomisk. Der er blevet lavet 3 sådanne analyser. Den første viste, at investeringen hurtigt vil blive rentabel, den næste, at investeringen ikke i lang tid fremover vil være rentabel, og den sidste, at færdiggørelsen af en af enhederne er rentabel i 2001, mens den anden først senere bliver rentabel afhængigt af, hvordan den ukrainske økonomi udvikler sig.

Såfremt vesten ikke yder det lån, som aftalen mellem Ukraine og G7-landene stiller i udsigt, kan Ukraine gå til andre lande, primært Rusland, for at få det nødvendige lån. Samtidig kan Ukraine hævde, at vesten ikke har holdt sin del af aftalen og derfor fortsætte Tjernobyl-værkets drift udover år 2000.

Samme situation kan opstå, såfremt vesten ikke stiller den i memorandum'et lovede støtte til rådighed for sikring af den ødelagte reaktor-4 på Tjernobyl-værket. Værkets nuværende situation er, at reaktor-1 blevet lukket ned i 1996 med henblik på ikke at blive startet op igen, reaktor-2 har ikke været i drift siden 1991, hvor den blev ramt af en brand, reaktor-3 er p.t. nedlukket af hensyn til vedligeholdelse og reaktor-4 blev ødelagt ved ulykken i 1986. Såfremt man fra Ukraines side finder, at vesten ikke har holdt sin del af aftalen, kan det ikke udelukkes, at driften med reaktor-3 fortsætter og at reaktor-2 igen sættes i drift i en periode. Fra ukrainsk side har man luftet denne mulighed.

6.2 Andre RBMK-reaktorer

Den vandkølede grafitmodererede kanaltypereaktor af russisk design, RBMK (Reactor Bolshoj Moshnost'i Kanal'nogo = Reaktor Stor Effekt Kanaltype), findes i Rusland, Ukraine og Litauen. Tabel 6.1 viser enhederne, deres placering og afstand til Danmark.

Tabel 6.. RBMK-værker.

Værk	Antal enheder	Land	Afstand til DK
Leningrad	4	Rusland	1050 km
Kursk	4	Rusland	1450 km
Smolensk	3	Rusland	1100 km
Tjernobyl	1*)	Ukraine	1100 km
Ignalina	2	Litauen	700 km

**) Tjernobyl-1 har standset driften pr. 30 november 1996 i følge G7 aftalen fra april samme år. Tjernobyl-2 har været nedlukket siden oktober 1991 p.g.a. en turbinebrand. Tjernobyl-3 er i drift, mens Tjernobyl-4 blev ødelagt ved katastrofen i 1986.*

Så vidt vides findes der ikke i Rusland, hvor der er 11 RBMK-enheder i drift, planer om udbygning af kernekraften med nye RBMK-reaktorer. Dog har Kursk 5, en RBMK-1000 enhed, stået 90 % færdigbygget siden 1990, men dår-

lig økonomi og modstand fra befolkningsgrupper har hidtil afholdt russerne fra at færdiggøre enheden.

Et russisk forslag til en ny og mere avanceret RBMK-reaktor, MKER800 på 800 MWe, som skulle leve op til de internationale sikkerhedskrav med hensyn til reaktorindeslutning, nødkøleanlæg, separation af udstyr o.s.v. er indtil videre lagt på is - mest af politiske grunde.

6.3 VVER-reaktorer

VVER-reaktoren er den sovjetiske udgave af trykvandsreaktoren. Den findes i to størrelser med en elektrisk effekt på henholdsvis 440 MWe og 1000 MWe. For tiden er der 27 VVER-440-reaktorer og 20 VVER-1000-reaktorer i drift. De fordeler sig således:

Tabel 6. VVER-værker

Land	VVER-440	VVER-1000
Rusland	6	7
Ukraine	2	11
Finland	2	
Tjekkiet	4	
Slovakiet	4	
Ungarn	4	
Bulgarien	4	2
Armenien	1	

Der er adskillige under bygning: 2 VVER-1000 i Tjekkiet, 4 VVER-440 i Slovakiet, 5 VVER-1000 i Ukraine og 8 VVER-1000 i Rusland. På en del af disse er byggeriet dog ikke kommet ret langt eller ligger stille.

VVER-440

VVER-440 reaktoren er forsynet med 6 kølekredsløb med hver sin vandrette dampgenerator. Hvert af kredsløbene har to afspærringsventiler, der under nogle uheldsforløb kan hindre tab af kølemiddel. Primærsystemet indeholder p.g.a. de seks kredsløb en stor vandmængde, ca. 225 m^3, og den termiske belastning af brændselsstavene er lav, i middel 12-13 kW/m. Disse to forhold bidrager positivt til reaktorsikkerheden. Trykket i reaktortanken er ca. 125 bar, og kølemidlets maksimale temperatur er ca. 300 ^oC.

VVER-440-typen opdeles normalt i en første generation, VVER-440/230, og en anden generation, VVER-440/213.

Sikkerheden ved de to typer adskiller sig i det væsentlige ved følgende forhold:

- I en VVER-440/213 har reaktortanken en indvendig beklædning af poleret, rustfrit stål, 8-10 mm tyk. Model 230 mangler denne beklædning.
- Model 230 har intet egentligt nødkølesystem, men 6 pumper i to grupper kan hver yde 10-15 liter borholdigt vand pr. sekund ved 125 bar. Model 230 har ingen lavtryksnødkøling. VVER-440/213 har tre højtryks- og tre lavtryks-

pumper til nødkøling. Dertil kommer fire tryksatte lagertanke med borholdigt vand ved 60 bar. Nødkølekapaciteten siges at være tilstrækkelig til at klare et guillotinebrud på primærkredsens 500 mm rør.

- VVER-440/230 har ikke reaktorindeslutning i vestlig forstand. Bygningen omkring primærsystemet og dampgeneratorerne har ganske vist tykke vægge, som er gjort lufttætte med en 6 mm tyk beklædning af stål, men rumfanget er ikke ret stort, og det tilladelige overtryk er kun 1 bar. Model 213 har et større indeslutningsrumfang, ca. 40.000 m^3, fordi der er tilføjet et boble-kondenseringstårn på 25.000 m^3. I tårnet kondenseres dampen, når den passerer opad gennem nogle vandfyldte bakker. Det store rumfang og dampkondensationen skulle give en betragtelig trykaflastning.
- Bestrålingen af tankvæggen med hurtige neutroner er relativt kraftig. Dette kan svække svejsesømmene i reaktortanken (de kan blive skøre), især en, der sidder ud for kernen. Skørheden kan mindskes ved udglødning, hvor en halvanden meter bred zone af reaktortanken, i højde med kernen, opvarmes til mere end 475^oC i 100 timer.

VVER-1000

VVER-1000 minder mere om vestlige trykvandsreaktorer. Der er fire vandrette dampgeneratorer og en turbogenerator på 1000 MWe. VVER-1000 har en regulær reaktorindeslutning, der kan tåle ca. 4 bar overtryk. Bortset fra de første fem VVER-1000 er afspærringsventilerne i primærsystemet udeladt.

I Vesten er der langt færre betænkeligheder ved VVER-1000 end ved VVER-440, bl.a. fordi reaktoren kan tåle et brud på det største kølemiddelrør under totalt bortfald af ekstern strømforsyning, og fordi VVER-1000 har reaktorindeslutning. En enkelt svaghed er dog de "kolde" manifolder i dampgeneratorerne, som er tilbøjelige til at revne, fordi de er lavet af perlit i stedet for af rustfrit stål (som i VVER-440).

VVER-640

VVER-640 er en nyudviklet reaktortype. Den første af disse er under bygning i Sosnovy Bor vest for Sankt Petersborg. VVER-640 har fire vandrette dampgeneratorer og en turbogenerator på 640 MWe. Tryktanken er lige så stor som VVER-1000's tryktank. Da effekten er lavere, er der relativt mere vand til rådighed i tilfælde af uheld. Den lavere effekt betyder også, at neutronstrålingen på tryktankens væg bliver lavere. Derfor regnes der med, at tryktanken har en levetid på 60 år.

VVER-640 vil som den første russiske reaktor få en dobbelt reaktorindeslutning. Den indre væg bliver en stålcylinder med halvkugleformet kuppel, den ydre bliver af forspændt beton. Det samme princip er anvendt på mange vestlige trykvandsreaktorer, bl.a. de tyske.

6.4 Skibsreaktorer

USA, Rusland, Storbritannien og Frankrig har alle haft nukleart drevne ubåde så længe, at de ældste nu er taget ud af aktiv tjeneste og skal ophugges. Den indledende behandling af disse fartøjer er næsten den samme i de fire lande. Først fjernes alle våbensystemer og ubåden transporteres til det skibsværft, hvor det nukleare brændsel skal udtages af fartøjets reaktor(er). Her fjernes endvidere løst fastgjort udstyr, ligesom alle systemer med gasser og med væsker tømmes for disse. Dernæst udtages brændslet gennem et hul, der skæres i ubådens

skrog over reaktoren, hullet lukkes igen, og reaktorsektionen skæres ud af ubåden.

Det udtagne brændsel opbevares i første omgang i vandbassiner (våd opbevaring) for at sikre, at eftervarmen i brændselelementerne fjernes ved naturlig cirkulation. Senere, hvor varmeudviklingen er aftaget, kan man gå over til opbevaring i luftkølede afskærmningsbeholdere eller opbevaringsanlæg (tør opbevaring).

Efter fjernelse af brændslet fra reaktorerne er mængden af indeholdt radioaktivitet i anlægget reduceret med omkring en faktor 10. Der er dog stadig betydelige mængder radioaktivitet i anlægget. Ca. 95% af denne sidder i komponenter inde i reaktortanken, ca. 4% sidder i selve tanken, ca. 1% sidder i afskærmningen uden for tanken og ca. 0.1% sidder i det primære kølesystem. Radioaktiviteten hidrører primært fra de radioaktive kerner Co-60, Mn-54, Fe-55, Ni-59 og Ni-63. Da disse radioaktive stoffer er produceret ved neutronindfangning inde i reaktorens ståldele, vil de kun meget langsomt kunne frigøres til omgivelserne, selv i det tilfælde, hvor ubåden synker.

Selvom man sædvanligvis interesserer sig mest for de nukleare risici, må det erindres, at ophugning af nukleare ubåde også involverer konventionelle risici så som fald, elektriske stød, brande, eksplosioner, iltmangel, frigivelse af giftige gasser og oversvømmelse. Det er derfor vigtigt at uddanne personalet med henblik på risici og at træffe fornødne sikkerhedsforanstaltninger, så som god ventilation, brandbeskyttelse og sikre stilladser.

I USA foregår ophugningen af nukleare ubåde på Pudget Sound Naval Shipyard i Bremerton i staten Washington i det nordvestlige USA. Her udskæres og forsegles reaktorsektionen, hvorefter den på en pram sejles til et deponi for radioaktivt affald ved Hanford, hvor den begraves nær jordoverfladen. USA ophugger hvert år 10-12 nukleare ubåde. Indtil nu er 71 reaktorsektioner blevet transporteret til Hanford. Det udbrændte reaktorbrændsel blev tidligere sendt til kemisk oparbejdning, men nu oplagres det i staten Idaho, for senere at blive sendt til et geologisk deponi.

I Frankrig udskæres og forsegles reaktorsektionen på ubådsværftet i Cherbourg, hvorefter den opbevares på land i 15-20 år. Herefter vil den blive skåret op og sendt til slutdeponering hos den franske organisation for behandling af radioaktivt affald, ANDRA. Det udbrændte brændsel opbevares i et særligt lager for tør opbevaring i Cadarache i nærheden af Marseille. Man planlægger ikke at oparbejde brændslet, der i stedet vil blive slutdeponeret i et geologisk deponi.

I Storbritannien udskærer man ikke ubådens reaktorsektion, efter at brændslet er fjernet fra reaktoren. I stedet holdes ubådene fortøjet på flådebaser, idet skroget med regelmæssige mellemrum inspiceres. I sidste ende vil reaktorsektionen blive skåret op og de radioaktive dele deponeret hos den britiske affaldsorganisation NIREX.

Rusland har det største antal af nukleare ubåde, der er taget ud af drift, mere end 100. I år 2000 forventes antallet at være 170-180. De fleste af disse har endnu ikke fået fjernet det udbrændte brændsel. Der er blevet lavet en plan for ophugning af disse ubåde, som er godkendt af den russiske regering, men der er ikke stillet de nødvendige midler til rådighed for planens gennemførelse.

Et væsentligt problem i Rusland er, at man ikke kan fjerne det udbrændte brændsel fra ubådene, fordi de eksisterende lagre for udbrændt brændsel ved de russiske flådebaser er fyldt op. De findes dels på land, dels på særlige depotskibe, og lagrene er ofte ikke i den ønskede stand p.g.a. manglende vedligeholdelse. Som følge heraf forbliver brændslet i ubådsreaktorerne. Tidligere blev det udbrændte brændsel efter en tids opbevaring i lagrene ved flådebaserne sendt til kemisk oparbejdning i det russiske oparbejdningsanlæg i Mayak nær Chelya-

binsk. Hvad enten årsagen er manglende transportkapacitet eller økonomiske midler, så er denne transport blevet stærkt reduceret. Et andet problem er, at Mayak-anlægget ikke vil modtage visse typer af ubådsbrændsel og heller ikke beskadiget brændsel.

I tiden umiddelbart efter, at ubådsreaktorer har været i drift, vil svigt af køling af reaktoren kunne medføre, at brændslet overopvarmes og smelter med tilhørende frigivelse af radioaktivitet. En del af denne kan slippe ud til omgivelserne. Et par år efter sidste nedlukning er eftervarmen, som hidrører fra brændslets radioaktivitet, blevet reduceret så meget, at brændslet ikke smelter, selv om kølingen forsvinder. Man overvejer derfor at dræne de ældre reaktorer for vand for herigennem at reducere risikoen for korrosion af brændslet.

Den alvorligste nukleare risiko ved de gamle ubåde er risikoen for et kritikalitets-uheld i forbindelse med udtagningen af det udbrændte brændsel. Når brændslet udtages, er der åbent fra reaktoren og ud til omgivelserne, d.v.s. der er ikke nogen reaktorindeslutning. Man har i Sovjettiden haft kritikalitetsuheld i forbindelse med udskiftning af reaktorbrændsel. Sådanne er typisk sket, når man ved løftning af reaktorlåget utilsigtet også har løftet kontrolstavene ud af reaktoren. For at undgå dette vil man dræne reaktoren for vand, før låget løftes. I så fald kan kritikalitet ikke indtræffe, selv om kontrolstavene også løftes ud af reaktoren.

Det skal nævnes, at konsekvenserne af en kritikalitetsulykke kan være meget alvorlige for personalet og befolkningen nær ulykkesstedet. Ved et kritikalitetsuheld ved den russiske Stillehavsflåde blev 10 personer dræbt. Derimod vil konsekvenserne i store afstande være ubetydelige, langt mindre end Tjernobylulykken. Det skyldes, at ubådsreaktorer har et langt mindre effektniveau og derfor indeholder langt mindre radioaktivitetsmængder, at ubådsreaktorer er en helt anden og sikrere reaktortype (trykvandsreaktor), og at ubådsreaktorer ikke indeholder store mængder grafit, som kan brænde og medvirke til frigivelse af radioaktivitet i mange dage efter ulykken.

Et særligt problem er, at man fra Sovjettiden har 5 ubåde, der har lidt reaktorhavari, hvorved brændslet blev beskadiget og ikke uden videre kan tages ud. Udtagningen kan i værste fald resultere i kritikalitetsuheld.

Efter brændselsudtagningen udskæres reaktorsektionen sammen med de to naborum, som tømmes for udstyr og forsegles. Naborummene giver disse tre sektionsenheder den nødvendige opdrift, således at de kan opbevares flydende på flådebaser. Den russiske kapacitet for ophugning af ubåde synes at ligge på omkring 5 pr. år, forudsat at de nødvendige økonomiske midler er til rådighed.

Det er endnu ikke besluttet, hvad man vil gøre med tre-sektionsenhederne. En række muligheder er under overvejelse: Flydende opbevaring, sænkning på lavt vand, opbevaring i permafrostområder, i underjordiske klippehuler og på jordoverfladen. Det er hensigten at man efter en opbevaringsperode på 50-100 år vil ophugge enhederne og genbruge det meste af de indeholdte materialer. Et sådant genbrug anses ikke for at være økonomisk i Vesten.

Man har i Rusland også mangel på faciliteter til håndtering af såvel flydende som fast radioaktivt affald.

Der er fra amerikansk, norsk og japansk side givet bistand til håndteringen af problemerne i forbindelse med de udtjente nukleare ubåde, men der kan næppe være tvivl om, at Rusland kommer til at betale størstedelen af regningen og derfor, hvis man skal komme videre, må benytte sig af procedurer, man har råd til, selv om det ikke er de bedste. Et andet problem er, at ophugningen involverer militært følsomme områder, hvor man fra russisk side er tilbageholdende med at give oplysninger, mens de lande, der giver hjælp, naturligt nok gerne vil sikre, at hjælpen anvendes som tiltænkt.

6.5 Bilateralt østsamarbejde

Baggrund

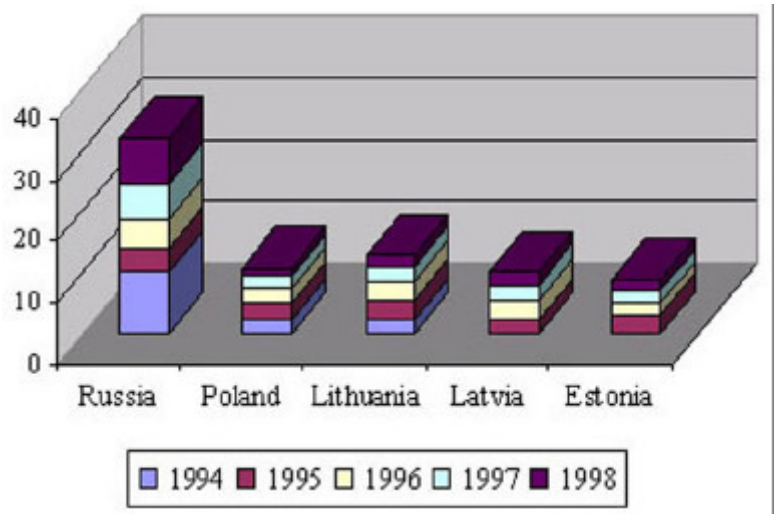
I 1994 indledte Danmark de såkaldte sektorprogrammer, der skulle erstatte de hidtidige øststøtteprogrammer for landene omkring Østersøen. Ordningen har været videreført indtil 1997, men fra 1998 vil der ske visse omlægninger for at opnå en bedre koordinering af indsatsen. Det nukleare sektorprogram, der omfatter nuklear sikkerhed, strålingsbeskyttelse og atomberedskab, er underlagt indenrigsministeriet og administreres af Beredskabsstyrelsens Tilsyn med Nukleare Anlæg.

Programmet omfatter de tre baltiske lande samt Polen og Rusland. Polen og Litauen har været med siden starten i 1994, medens de øvrige lande kom med i 1995. For hvert af årene 1994-97 har den danske stat ydet 15 mio. kr. til programmet. I 1998 er der afsat 14 mio. kr.

Eftersom Danmark ikke selv har kernekraftværker, så er det naturligt, at den danske ekspertise især findes på beredskabsområdet. Dette har præget opbygningen af programmet, men større projekter, der medvirker til forbedring af kernekraftværkernes sikkerhed, indgår også i programmet.

Oversigt

Som omtalt ovenfor har Folketinget bevilget 15 mio. kr. pr. år siden 1994 og 14 mio. kr. i 1998. Fordelingen af midlerne på lande fremgår af Figur 6.**Error! Unknown switch argument.**



*Figur 6.**Error! Unknown switch argument.**. Fordeling af danske bevillinger (mio. kr.) på bevillingsår og modtagerland.*

Tabellen nedenfor viser den samlede bevilling fordelt på lande.

	Dansk bevilling
Rusland	31,7 mio. kr.
Polen	10,7 mio. kr.
Litauen	12,8 mio. kr.
Letland	10,0 mio. kr.
Estland	8,8 mio. kr.

Programmet, der koordineres med internationale hjælpeprogrammer og de andre nordiske landes nationale programmer, omfatter følgende hovedområder:

- etablering af netværk af automatiske målestationer til hurtig varsling af radioaktivitetsudslip, herunder udveksling af måledata mellem Østersølandene
- levering af og træning i anvendelse af EDB-systemer til beslutningsstøtte og information til befolkningen i atomberedskabssituationer
- søgning efter radioaktivt materiale ved opmåling fra fly
- levering af og træning i anvendelse af mobilt måleudstyr
- kortlægning og rensning af forurenede områder i Rusland
- opbygning af et omegnsmåleprogram for området omkring Ignalinaværket i Litauen
- forbedring af brandsikkerheden på Leningrad atomkraftværket (Sosnovy Bor) ved Skt. Petersborg i Rusland
- støtte til nedlæggelse af udtjente forsøgsreaktorer i Letland og Polen

Brandsikkerhedsprojektet på Leningrad kernekraftværket er det dyreste enkeltprojekt i programmet, og det er en af hovedårsagerne til den større tildeling af midler til Rusland sammenlignet med de øvrige lande. Hertil kommer imidlertid også, at Rusland er det af landene, der har de største forureningsmæssige problemer.

Øststøtteprogrammets forskellige delelementer omtales løbende i videnberedskabets årsrapporter. I år er hovedvægten lagt på omtale af NUCINFO, der er et informationssystem, som Beredskabsstyrelsen har opbygget til brug for information til befolkningen.

NUCINFO: Et nukleart informationssystem

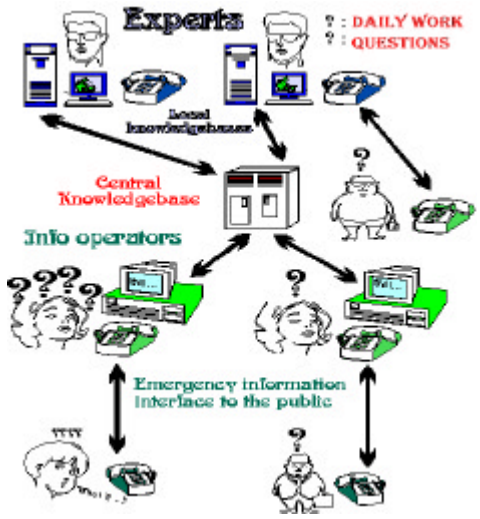
Troværdig information er et af de allervigtigste midler til beskyttelse af befolkningen i tilfælde af nukleare uheld. For at sikre så god en informationsdækning som muligt er journalister fra Danmarks Radio og Ritzaus Bureau tilknyttet det danske atomberedskab.

En særlig del af atomberedskabets informationskompleks er et computersystem, der specielt er beregnet til individuel vejledning af den danske befolkning. Det kaldes NUCINFO, og ideen til systemet er udsprunget af erfaringerne fra Tjernobylulykken. Under håndteringen af Tjernobylulykken blev det nemlig krævet, at der skulle oprettes en telefontjeneste, hvor alle kunne henvende sig og få information om ulykken. Behovet for denne tjeneste viste sig at være enormt, og da det var nødvendigt med et indgående kendskab til nukleare forhold for at kunne besvare de indkomne spørgsmål, var telefontjenesten en alvorlig belastning for atomberedskabet.

Ideen med NUCINFO er derfor, at computeren skal kunne supplere telefonoperatøren med viden om nukleare forhold, således at behovet for ekspertviden bliver reduceret. Systemet åbner mulighed for i højere grad at lægge vægt på operatørernes pædagogiske evner og sociale engagement. De nukleare eksperter skal i stedet indhente information om situationen og lægge denne ind i systemet. En oversigt over systemets funktion er vist i Figur 6.**Error! Unknown switch argument.**.

Meningen er, at operatøren skal kunne taste spørgsmål, som stilles over telefonen, ind i computersystemet i almindeligt sprog. Computeren skal derefter i løbet af nogle få sekunder levere det bedste svar, den råder over. Svaret kan være en kortfattet tekst, eventuelt suppleret med grafiske illustrationer. Opera-

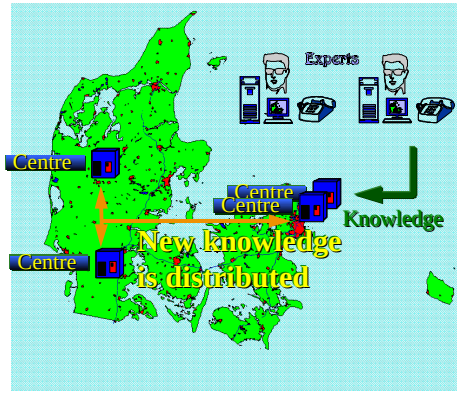
tøren skal kunne uddybe svaret ved at klikke sig igennem ”hotspots” i teksten eller i det grafiske materiale.



*Figur 6.**Error! Unknown switch argument.**. Arbejdsgangen i informationssystemet.*

Beredskabsstyrelsen har arbejdet med NUCINFO konceptet igennem nogle år – og er begyndt forfra flere gange, fordi den hastige udvikling på EDB-området hele tiden har åbnet nye muligheder. Den stillede opgave var således en alvorlig udfordring for de EDB-systemer, som var tilgængelige for bare 1 – 1½ år siden, men især udviklingen af internet/intranet-værktøjerne har betydet et stort skridt fremad. I samarbejde med software-udvikleren Prolog Development Center omlagde Beredskabsstyrelsen derfor i slutningen af 1996 systemet til et intranet baseret system. En naturlig videreudvikling ville være at gøre systemet tilgængeligt via internettet, men beslutning herom er ikke truffet endnu.

Indtil videre betjenes systemet fra spørge/svar-centraler placeret fire steder i landet, jf. Figur 6.**Error! Unknown switch argument.**. Indlæggelse og opdatering af information foregår i Beredskabsstyrelsen i Birkerød eller fra kommandocentralen i Bernstorffbunkeren. Hvert af de fire informationscentre er udstyret med en fuldt opdateret server, således at centrene kan fungere autonomt, hvis der skulle opstå afbrydelser i forbindelsen til København.



*Figur 6.**Error! Unknown switch argument.**. Der er placeret to informationscentre i Jylland og to i København.*

Det er let nok at indlægge svar på almengyldige spørgsmål i systemet, men en stor del af de spørgsmål, der stilles, forventes at vedrøre den aktuelle situation. Besvarelsen af sådanne spørgsmål kræver enten, at svarene lægges ind under selve beredskabssituationen, hvilket er vanskeligt i en stresset situation, eller at der ved hjælp af situationsparametrene kan vælges mellem forskellige svarmuligheder.

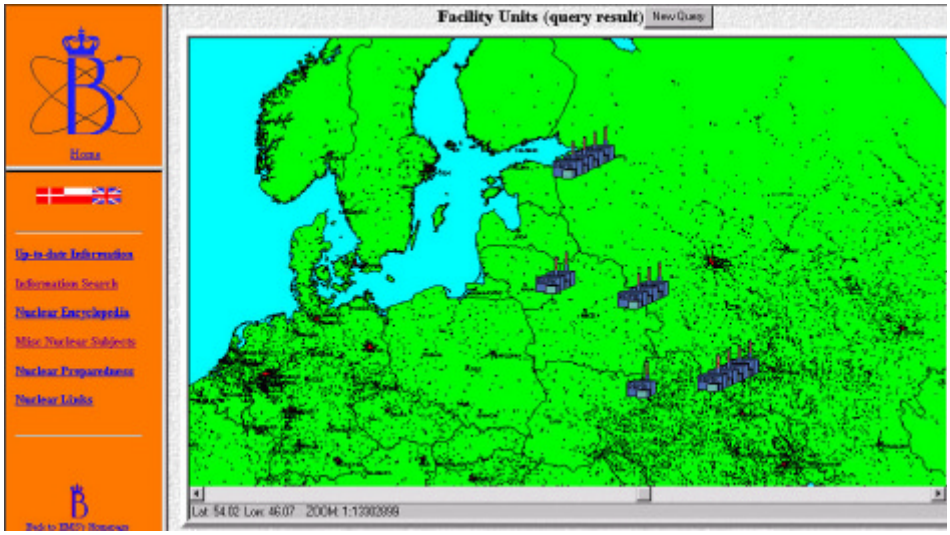
Spørgsmål vedrørende for eksempel kernekraftværkers normale funktion, radioaktive stoffers fysiske egenskaber eller helsefysiske forklaringer er således statiske af natur.

Spørgsmål om, hvad man kan spise, hvor man kan rejse hen, eller hvordan man i øvrigt skal forholde sig, er til gengæld situationsafhængige og må behandles dynamisk af systemet.

De fleste af denne type spørgsmål kan forudses, og der vil typisk være to til tre forskellige svarmuligheder, afhængig af situationen i det pågældende område. De mulige svar er derfor indlagt som forberedt tekst i systemet, og ud fra de foranstaltninger, som beredskabsledelsen iværksætter for den pågældende kommune eller amt, vælges det rigtige svar automatisk. Systemet præsenterer endvidere en oversigt i form af tabeller eller skraverede kort over hvilke restriktioner og rekommandationer, der er gældende.

Udformningen af beslutningstabellerne er blandt andet baseret på Forskningscenter Risø's undersøgelser af, hvorledes frugt og grøntsager m.v. kan kategoriseres ud fra deres påvirkning af radioaktiv forurening.

Det ville være naivt at tro, at det er muligt at opbygge et system, som kan give præcise og korrekte svar på alle spørgsmål. Selv hvis systemet omfattede information og viden om alle relevante forhold, så ville dette ikke kunne garanteres. Det svage punkt i denne sammenhæng er søgeprocessen.



*Figur 6.**Error! Unknown switch argument.**. Svaret på et spørgsmål om, hvor der ligger reaktoranlæg af RBMK typen (Tjernobyl) kan gives som et kort med ikoner, der angiver placeringen af anlæggene. Kortene er vektorbaserede, hvilket giver ubegrænsede zoom muligheder. Hvis der klikkes på en ikon*

Et simpelt sproginterface skal tage hensyn til nøgleord, endelser, synonymer, støjord og ukendte ord. Mange har oplevet vanskelighederne ved søgning på internettet, hvor der ofte opnås et stort antal, ikke særlig velstrukturerede svar.

Selv på et lukket net (intranet) kan der komme mange svarmuligheder, hvis søgningen ikke er restriktiv.

Den nuværende udgave af NUCINFO er baseret på Microsoft's Information og Index server. Brugeren kan begrænse søgningen til specifikke informationskilder, såsom det indbyggede nukleare leksikon eller det europæiske nukleare nyhedsmagasin NucNet News. Man kan også vælge kun at ville se på definitioner.

Der er lagt megen vægt på udviklingen af et kortmodul for intranet/internet. Kortmodulet anvendes til at vise placeringen af for eksempel kernekraftværker, målestationer og oversigter over aktuelle restriktioner.

Udover at skulle danne basis for spørge/svar-centralerne i beredskabssituationer bruges NUCINFO af Beredskabsstyrelsens eksperter til at holde rede på information i dagligdagen. Systemet er designet til at arbejde med mange forskellige typer information – og er altså ikke bare en hjemmeside. Det forventes, at Beredskabsstyrelsen fremover vil anvende systemet til andet end nuklear information.

NUCINFO indgår som nævnt i det danske øststøtteprogram og er leveret til de baltiske lande, Polen og Rusland (St. Petersborg området). Systemet kan anvende flere forskellige sprog, som der skiftes mellem ved at klikke på et flag. I november 1997 afholdt Beredskabsstyrelsen et tre ugers kursus i Danmark for eksperter fra ovennævnte lande. Kurset omfattede træning i brugen af NUCINFO og beslutningsstøttesystemet ARGOS NT samt vedligeholdelse og brug af de dansk konstruerede radioaktivitetsmålestationer, som Beredskabsstyrelsen har opstillet i landene. Kurset blev sluttet af med en øvelse baseret på et fingeret udslip fra Ignalina kernekraftværket i Litauen.

7 Udviklingstendenser i andre lande

7.1 Frankrig, Tyskland, Storbritannien

Frankrig

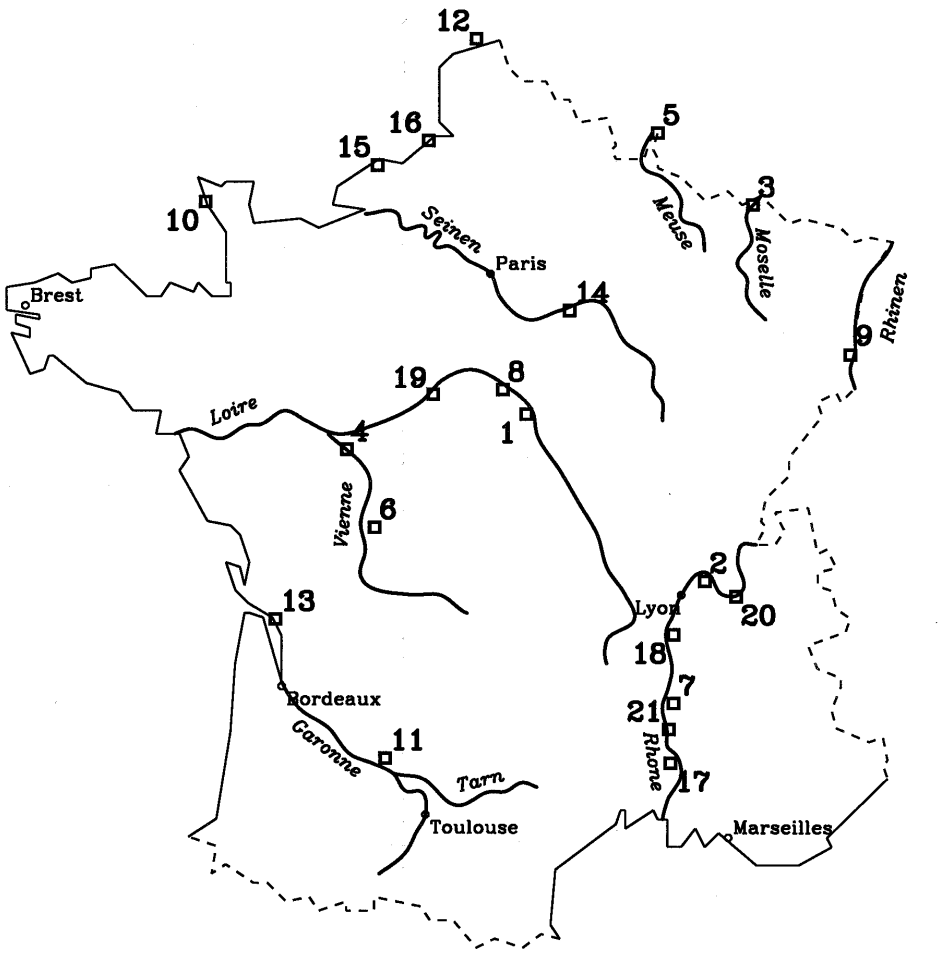
Frankrig har ved udgangen af 1997 59 reaktorer i drift med en samlet effekt på 65.500 MWe. Placeringen fremgår af Figur 7.**Error! Unknown switch argument.**. Den overvejende del af de franske reaktorer er af trykvandstypen, PWR. De er bygget af det statslige selskab, Framatome, i begyndelsen på licens fra Westinghouse, men mere og mere som rent franske typer. Enhedsstørrelsen har været stadig stigende. Man taler om 900 MWe, 1300 MWe og 1500 MWe serierne. Nummer 2 af sidstnævnte, Chooz-B2 blev idriftsat i marts og begyndte at levere strøm til nettet i april 1997.

Chooz-B1 og -B2 er de første af fire 1520 MWe reaktorer (af typen N4), der skal gå i drift. De to andre er Civeaux 1 og 2. Civeaux-1 fik indladet brændsel sidst på året, og blev tilsluttet nettet i slutningen af december.

Driften af Frankrigs reaktorer varetages af det statslige selskab, Electricité de France (EdF). Den voldsomme udbygning med kernekraft i Frankrig har fundet sted uden større folkelig modstand og giver nu en billig elektricitetsforsyning med en betydelig eksport til nabolandene. Eksporten af elektricitet beløb sig til ca. 17 milliarder FF. i 1996.

Med det tredje statslige selskab, COGEMA, til fremstilling af reaktorbrændsel og oparbejdning af brugt brændsel på anlægget i la Hague er den statslige kontrol af kernekraften i Frankrig total.

Hvad angår behandling af det brugte brændsel, satser Frankrig helt klart på oparbejdning/genbrugs-linien. Anlægget i la Hague oparbejder udbrændt brændsel, såvel Frankrigs eget som et stort antal udenlandske kunders. En ny brændselsfabrik, Melox de Marcule, fremstiller såkaldt MOX-brændsel (Mixed OXides), i hvilket det udvundne plutonium anvendes i stedet for beriget uran. MOX-brændsel anvendes nu i udstrakt grad i de franske reaktorer.



No.	Navn	Ant. enh.	MWe.
1	Belleville	2	2726
2	Bugey	4	3864
3	Cattenom	4	5448
4	Chinon	4	3778
5	Chooz	2	3032
6	Civeaux(C2 u.opf)	2	3032
7	Cruas	4	3754
8	Dampierre	4	3748
9	Fessenheim	2	1840
10	Flamanville	2	2764
11	Golfech	2	2726
12	Gravelines	6	5718
13	le Blayais	4	3804
14	Nogent	2	2726
15	Paluel	4	5528
16	Penly	2	2764
17	Phenix	1	250
18	St. Alban	2	2762
19	St. Laurent	2	1842
20	Superphenix	1	1242
21	Tricastin	4	3820

Kernekraftværker i

FRANKRIG

*Figur 7.**Error! Unknown switch argument.**. Kernekraftværker i Frankrig.*

Bestræbelserne på at udnytte uranressourcerne bedre og nedbringe mængden af højaktivt affald har også medført en udvikling og bygning af hurtige reaktorer, Phenix og Superphenix. Phenix er Frankrigs ældste kraftreaktor (1973).

Superphenix (1200 MWe) har været nedlukket i flere år p.g.a. problemer i natriumkredsløbene. Den genoptog driften i 1996, men blev hurtigt lukket ned igen af sikkerhedsmæssige årsager. Den nye franske regering, der kom til i 1997, har i valgkampen lovet at nedlukke Superphenix permanent, og reaktorens skæbne er stadig ikke afgjort. Der har været talrige henvendelser til regeringen om at tillade fortsat drift, bl.a. fra Japan, fra borgmestre i Superphenix's lokalområde, samt fra præsident Chirac.

Der har været forskellige problemer med de franske reaktorer i årets løb:

- Defekte kontrolstangsdrev i 1300 MWe reaktorerne, hvor nogle skruer har rystet sig løs og vanskeliggjort kontrolstangsbevægelsen. Samtlige 1300 MWe reaktorer vil få nye drev.
- Der er opdaget revner i rørene på et nødkølingssytem på Dampierre-reaktoren (900 MWe), og siden på mange flere af 900 MWe klassen. Revnerne er på lige rørstykker (altså ikke svejsefejl), og da de kan forårsage lækage af reaktorkølevand, betragtes de med stor alvor af de franske sikkerhedsmyndigheder. Revnernes udvikling vil blive nøje fulgt og rørene udskiftet ved første ordinære nedlukning.

I Flamanville 1 (1300 MWe) har man ved en rutineafprøvning fundet en for stor lækagehastighed fra reaktorindeslutningen (1,95% af volumenet pr. døgn mod det tilladte, 1,5%). Det menes, at fejlen skyldes den anvendte sandkvalitet i betonen.

Man øger nu tætheden af indeslutningen ved at injicere et plastikmateriale i betonen.

Tyskland

Tyskland har 21 kraftreaktorer med en samlet effekt på 24.000 MWe. (Se Figur 7.**Error! Unknown switch argument.**).

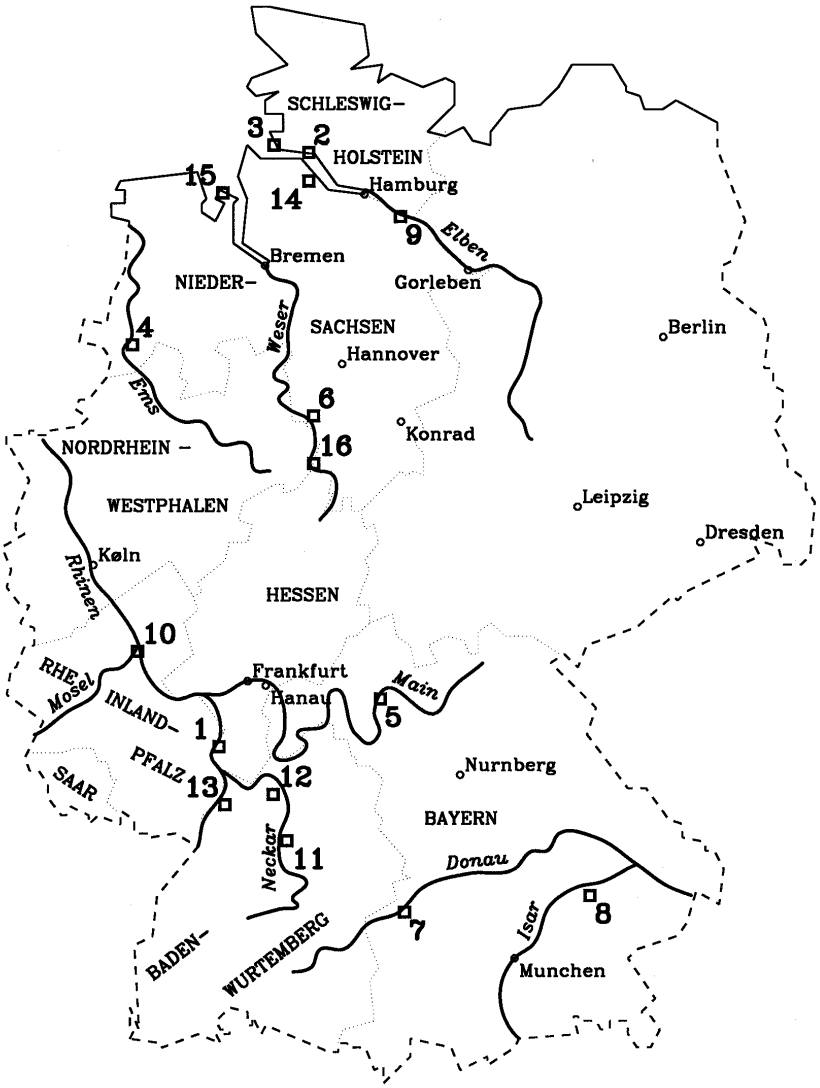
De tyske reaktorer er alle af Siemens/KWU fabrikat, på nær een (Mühlheim-Kärlich) af Babcock og Wilcox design, og man har en blanding af trykvandsreaktorer (PWR) og kogendevandsreaktorer (BWR).

Driften af reaktorerne varetages af private selskaber, ofte med kommunale partnere.

Den nyere tyske kernekraftudvikling har i altovervejende grad været præget af forskellene i indstilling hos de to dominerende politiske partier, CDU og SPD. CDU er kernekraftpositiv, mens SPD har en afvikling af kernekraften som sit erklærede mål. I de senere år har flere delstater været regeret af koalitioner af SPD og de Grønne, og dette har medført langvarige lukninger af flere kernekraftværker. I adskillige tilfælde har forbundsregeringen måttet gribe ind for at gøre en ende på delstatsministrenes krav om sikkerhedsmæssigt ubegrundede lukninger.

De tyske værker, som ikke har været genstand for trakasserier fra delstatsmyndighederne, har til gengæld kørt meget fint. Philippsburg-2 producerede i 1996 mere energi end nogen anden kraftreaktor, 11.500 millioner kWh, og 6 andre var blandt de 10 værker, der producerede mest. Det skyldes naturligvis til dels, at de tyske enheder hører til de største i verden.

Igen i år har der været store demonstrationer og et kolossalt politiopbud (30.000 mand) i anledning af en transport af højaktivt affald fra la Hague i Frankrig til deponiet i Gorsleben. Det tyske Bundesamt für Verfassungsschutz mener, at terroristgrupper har benyttet lejligheden til at infiltrere demonstrationen, samt udført sabotagelignende handlinger andetsteds i Tyskland, selvom de ikke har nogen særlig holdning til kernekraft. Greenpeace frikendes derimod for sabotagehandlinger.



No.	Navn	Ant. enh.	MWe.
1	Biblis	2	2504
2	Brokdorf	1	1365
3	Brunsbuttel	1	806
4	Emsland	1	1314
5	Grafenrheinfeld	1	1320
6	Grohnde	1	1394
7	Gundremmingen	2	2652
8	Isar	2	2117
9	Krummel	1	1316
10	Mulheim-Karlich	1	1302
11	Neckar	2	2205
12	Obrigheim	1	357
13	Philippsburg	2	2249
14	Stade	1	672
15	Unterweser	1	1300
16	Wurgassen	1	670

Kernekraftværker i

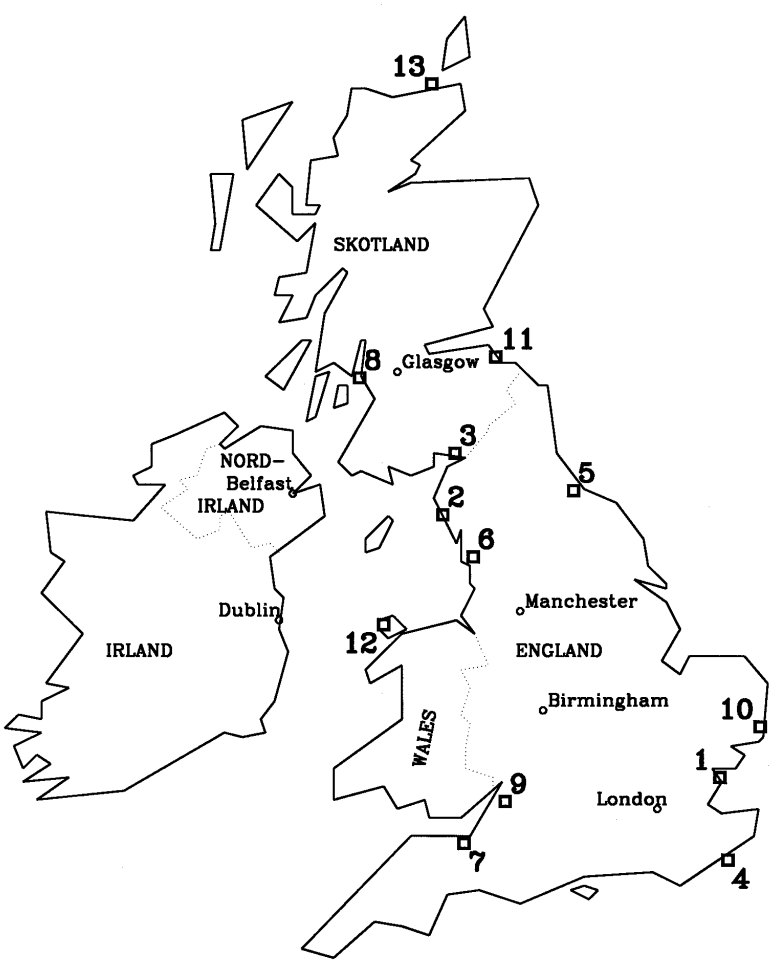
TYSKLAND

*Figur 7.**Error! Unknown switch argument.**. Kernekraftværker i Tyskland.*

Storbritannien

Storbritannien har 35 kernekraftreaktorer i drift med en samlet effekt på 14.000 MWe (Se Figur 7.**Error! Unknown switch argument.**).

Storbritannien var meget tidligt med i udviklingen af kernekraften. Det første kommercielle kernekraftværk, Calder Hall, var således britisk. Det blev taget i brug i 1956 og er stadig i drift.



No.	Navn	Ant. enh.	MWe.
1	Bradwell	2	258
2	Calder Hall	4	244
3	Chapelcross	4	240
4	Dungeness	4	1716
5	Hartlepool	2	1320
6	Heysham	4	2580
7	Hinkley Point	4	1818
8	Hunterston	2	1320
9	Oldbury	2	450
10	Sizewell	3	1758
11	Torness	2	1364
12	Wylfa	2	1100
13	Dounreay	1	0

Kernekraftværker i

STORBRITANNIEN

*Figur 7.**Error! Unknown switch argument.**. Kernekraftværker i Storbritannien.*

Storbritannien har udviklet sin egen reaktortype, den gaskølede, grafitmodererede reaktor. De første af arten, Magnox-reaktorerne, har dette navn p.g.a. den legering, som bruges til indkapsling af uranstavene. Der er stadigvæk 20 Magnox-reaktorer i drift. De blev afløst af AGR-typen (Advanced Gascooled Reactor), som i enhedsstørrelser af 660 MWe udgør den overvejende del af Storbritanniens nukleare kapacitet. Den fremtidige udbygning skal ske med trykvandsreaktorer (PWR) af eget design (en videreudvikling af Westinghouse-designet), og den første af arten, Sizewell B, blev sat i drift i begyndelsen af 1995. Den er en 1200 MWe PWR.

Driften af AGR-reaktorerne blev tidligere varetaget af to statslige selskaber, Nuclear Electric (NE) og Scottish Nuclear (SN), med hvert sit geografiske område. Disse selskaber blev dannet i 1989 i forbindelse med privatiseringen af Central Electricity Generating Board's konventionelle værker. I juli 1996 blev NE og SN sammensluttet i British Energy (BE), som samtidig blev omdannet til et privatejet aktieselskab.

De gamle Magnox-reaktorer ejes og drives fortsat af staten gennem selskabet Magnox Electric (ME). Det er meningen, at ME og det ligeledes statsejede British Nuclear Fuels Limited (BNFL) skal sammenlægges i et nyt selskab. Der er ligeledes tale om et samarbejde mellem BNFL og tyske Siemens, hvorved England kan blive indirekte partner i det fransk-tyske EPR-reaktorprojekt (se afsnit 8.1).

7.2 Øvrige vesteuropæiske lande

Finland

Finland har 4 kraftreaktorer i drift med en samlet kapacitet på 2350 MWe. I 1996 var den gennemsnitlige belastningsfaktor 91%, og kernekraften dækkede 27% af den finske elproduktion.

De to finske elselskaber IVO og TVO har arbejdet videre med modernisering og opgradering af de finske kernekraftværker. Det er planlagt at øge Loviisa-værkets effekt med 10% og Olkiluoto-værkets effekt med 15% i løbet af de nærmeste år.

Sidst i 1996 blev den sidste forsendelse af brugt reaktorbrændsel sendt fra Loviisa-værket til Rusland. Sådanne forsendelser har fundet sted siden 1981, men er ophørt fra og med 1997 efter vedtagelsen af en ny finsk lov, der forbyder eksport af brugt reaktorbrændsel eller radioaktivt affald. Som følge heraf har IVO arbejdet videre med planer om en udvidelse af lageret for brugt reaktorbrændsel ved Loviisa-værket. Det af TVO og IVO etablerede fælles selskab Posiva har fortsat sine undersøgelser forskellige steder i Finland med henblik på i år 2000 at kunne vælge et egnet sted til slutdeponering i grundfjeld af brugt reaktorbrændsel.

Holland

Holland har nu kun 1 kraftreaktor i drift, Borssele på 449 MWe. Landets anden kraftreaktor Dodewaard lukkede i marts 1997 efter 28 års drift. Dodewaard-værket blev oprindeligt bygget som et demonstrationsanlæg, og det anses ikke for at være økonomisk at anvende reaktoren længere på grund af dens beskedne størrelse (56 MWe). I 1996 var den gennemsnitlige belastningsfaktor for de to reaktorer 88%, og kernekraftens andel i elproduktionen var 7%.

Belgien

Belgien har 7 kraftreaktorer i drift med en samlet kapacitet på 5693 MWe. I 1996 var den gennemsnitlige belastningsfaktor 82%, og kernekraftens andel af elproduktionen var 55%.

Det belgiske firma Belgonucleaire er fortsat en af de førende producenter af MOX-reaktorbrændsel (Mixed OXide), som indeholder både uran og plutonium. Belgonucleaire leverer MOX-brændsel til belgiske, tyske og schweiziske reaktorer, og der er nu også truffet aftale om leverancer til Japan.

I et underjordisk forsøgsanlæg ved forskningscentret SCK/CEN i Mol, foretages der undersøgelser med henblik på slutdeponering af højradioaktivt affald i ler.

Schweiz

Schweiz har 5 kraftreaktorer i drift med en samlet kapacitet på 3077 MWe. I 1996 var den gennemsnitlige belastningsfaktor 89%, og kernekraften tegnede sig for 43% af elproduktionen, hvilket er ny rekord. Kernekraftens samlede produktion i 1996 på 23,72 TWh var også ny rekord (0,9% mere end den hidtidige produktionsrekord fra 1995). To af kernekraftværkerne producerer også fjernvarme (Beznau) og procesdamp til en nærliggende fabrik (Gösgen).

I 1990 indførtes et tiårigt moratorium for bygning af nye kernekraftværker i Schweiz, men de igangværende værker moderniseres og opgraderes i disse år med henblik på en samlet effektforøgelse på 10%.

Efter at være godkendt af den schweiziske føderale regering i 1996 er bygningen af et centralt anlæg for behandling og midlertidig lagring af alle typer radioaktivt affald påbegyndt ved Würenlingen.

Spanien

Spanien har 9 kraftrektorer i drift med en samlet kapacitet på 7498 MWe. I 1996 var den gennemsnitlige belastningsfaktor 86%, og kernekraften tegnede sig for 32% af elproduktionen.

I Spanien er et større opgraderingsprogram i gang, som omfatter 6 af de 9 kraftreaktoranlæg. Programmet omfatter bl.a. udskiftning af dampgeneratorer og af turbiner. Det er planen at øge den samlede kapacitet med 606 MWe i perioden 1995-2003.

Spanien har en egenproduktion af uran og af brændselselementer, og det spanske firma ENUSA leverer brændselselementer til såvel egne som udenlandske reaktorer.

Et overfladenært slutlager for lav- og mellemaktivt affald har nu været i drift i fire år ved El Cabril, og der er undersøgelser i gang med henblik på senere dyb geologisk deponering af højaktivt affald.

7.3 Centraleuropæiske lande

Litauen

Ignalina-værket

Ignalina-værket ligger i Litauen ca. 130 km nordøst for hovedstaden Vilnius. Værket består af 2 RBMK-reaktorer, hver på 1500 MWe. De blev sat i drift i 1984 og 1987 som de eneste RBMK-reaktorer på 1500 MWe. De to enheder hører til anden generation af RBMK-reaktorer. Effekten holdes på 80% svaren-

de til 1200 MWe for hver af de 2 enheder, et krav der blev stillet af myndighederne efter Tjernobyl-ulykken.

EBRD-banken har ydet støtte til sikkerhedsrelevante forbedringer på værket, ligesom en lang række vestlige, bilaterale initiativer er blevet sat i gang. Sverige koordinerer indsatsen omkring støtten til Ignalina. For at få økonomisk støtte fra EBRD har de nukleare myndigheder i Litauen måttet acceptere, at begge RBMK-enheder lukkes ned senest i 2010, forudsat at alternativ elektrisk forsyning kan etableres. En anden betingelse for at modtage støtten er netop ved at være opfyldt. Det drejer sig om udfaldet af en sikkerhedsanalyse af enhed 1, som forventes at føre til, at driftstilladelsen for denne enhed bliver forlænget med 5 år til udløb i år 2003. Sikkerhedsanalysen, som blev foretaget af værkets egen stab, blev afsluttet i begyndelsen af 1997. Efterfølgende er analysen blevet evalueret af et panel af udenlandske eksperter, som bl.a. fremkom med følgende 6 forslag til forbedringer, man anbefalede hurtigst muligt at gennemføre:

- Værket skulle indføre en bedre ledelsesstruktur
- En forbedret fejlanalyse af kontrolsystemet skulle gennemføres, således at man sikrede sig, at en enkelt fejl ikke kunne sætte systemet ud af kraft
- Svagheder i både design og driftsprocedurer af sikkerhedssystemerne skulle identificeres
- En forbedret strukturel analyse af værkets kølekredsløb skulle gennemføres
- En forbedret analyse af værkets trykaflastningssystem skulle gennemføres
- Katastrofeberedskabet skulle forbedres

Den ovenfor omtalte forlængelse af driftstilladelsen for enhed 1 afventer imidlertid en licens udstedt efter litauiske retningslinier; den tidligere driftstilladelse var udstedt på baggrund af en licens efter russiske retningslinier. EBRD har krævet, at licensudstedelsen skal være gennemført senest 1/6-1999, for at den økonomiske støtte opretholdes.

Kravet om lukning senest år 2010 betyder, at der gives afkald på muligheden for en forlængelse af værkets levetid ved en fornyelse af brændselskanalerne, sådan som det er sket ved tre af Leningrad-værkets enheder. Den litauiske regering har for nylig taget initiativ til etablering af en fond, der skal finansiere nedlukningen af de 2 enheder, ligesom de nukleare myndigheder er blevet pålagt inden år 2000 at udarbejde en plan for afviklingen af Ignalina-værket.

Selvom både Estland, Letland, Litauen og Rusland har underskrevet Wienkonventionen (se Leningrad-værket), hersker der fortsat tvivl om erstatningsansvar i tilfælde af uheld, hvis årsag kan føres tilbage til udstyr, der er leveret fra vestlig side. Tvivlen skyldes, at Hviderusland stadig ikke har underskrevet konventionen, selvom regeringen har givet tilsagn om at gøre det.

Bulgarien

Bulgariens seks kraftreaktorer, fire VVER-440/230 og to VVER-1000 ved Kozloduy nær Donau, har en samlet installeret effekt på 3760 MWe. I 1997 dækkede værket 46% af Bulgariens elproduktion, lidt mindre end i 1996.

Kozloduy-værkets belastningsfaktor er temmelig lav, set i international sammenhæng. Desuden varierer den noget fra år til år. Det skyldes for det første driftsproblemer med de to største reaktorer og for det andet den tidkrævende udbedring af et stort antal sikkerhedsmæssige mangler, især ved de ældste reaktorer.

I 1997 blev et system, der overvåger strålingsniveauerne i Bulgarien, sat i drift. Systemet er landsdækkende, og det er betalt af EU's PHARE-program.

Ungarn

Ungarn har fire VVER-440/213-enheder i drift. Den samlede installerede effekt er 1840 MWe. Reaktorerne kører som grundlastværker og leverede ca. 40% af den elektricitet, der blev produceret i Ungarn i 1997.

Reaktorerne, der er samlet i kraftværket Paks ved Donau, blev taget i brug i årene 1983 - 1987, og er således ret nye. Ifølge driftsstatistikkerne er de ungarske reaktorer blandt verdens bedst drevne, da belastningfaktoren konstant ligger over 85%.

I 1997 blev første del af et nyt lager ved Paks til opbevaring af brugt brændsel godkendt af myndighederne og taget i brug. Når lageret er færdigt, vil det kunne opbevare brændsel fra 10 års drift af alle reaktorerne ved Paks. Hidtil har Ungarn, i stedet for at opbevare brugt brændsel, sendt det til Rusland som led i forsyningsaftalen mellem de to lande.

Reaktoren Paks-3 havde to gange i august problemer med en kontrolstav, der ikke ville gå helt ind. Årsagen var en spændeskive af ukendt oprindelse, der fandtes i gearet til kontrolstangsdrevet.

En kopi i fuld størrelse af en Paks-reaktor er taget i brug til træning af vedligeholdelsespersonale. Den er bygget af dele fra aldrig færdigbyggede værker i Polen og Østtyskland.

Tjekkiet

Tjekkiet har fire VVER-440/213-reaktorer ved Dukovany og to VVER-1000 under opførelse ved Temelin. Dukovany har en installeret effekt på 1782 MWe og står for omkring 25% af landets elproduktion.

Reaktorerne ved Temelin er blevet forsinkede. Det skyldes problemer i forbindelse med et meget ambitiøst projekt, som sigter mod at indpasse moderne vestlige krav til sikkerhed i et lidt ældre russisk design. De mange hundrede kilometer elektriske kabler til maskiner, instrumenter o.s.v. skal være mere modstandsdygtige mod brand og dermed tykkere. Kablerne skal også føres frem ad adskilte veje, så følgerne af en evt. beskadigelse kan begrænses. Begge forhold kræver betydelige ændringer i reaktorbygningens struktur. Endelig skal reaktoroperatørerne have mere sammenhængende oplysninger om kraftværkets tilstand. Oplysningerne skal ikke komme fra flere, ukoordinerede systemer. Alt dette har været for stor en mundfuld for den amerikanske leverandør af informationssystemet, og det har resulteret i en kraftig forsinkelse. Temelin-1 kan næppe tages i brug før sidst i 1999 eller først i 2000.

Slovakiet

Slovakiet har to VVER-440/230-enheder og to VVER-440/213-enheder i drift i Bohunice, og yderligere fire VVER-440/213-enheder er under bygning i Mochovce. Den installerede effekt i Bohunice er 1760 MWe og 45% af Slovakiets elektricitet produceres der. Andelen er faldet, fordi den slovakiske industri er på vej op igen efter nogle vanskelige år først i 1990'erne, og Slovakiet har siden 1994 måttet dække en stadigt stigende del af sit elbehov ved import.

Der er de senere år gjort meget for at forbedre sikkerheden i Bohunice, især på de to ældste reaktorer, hvor behovet var størst. Begge reaktortanke er udglødet, og nødkølesystemet samt nødstrømsforsyningen er forbedret. Det samme gælder brandsikringen og sikringen mod følger af jordskælv.

En kraftreaktor ved Bohunice, A-1, der blev lukket efter et alvorligt uheld i 1977, skal nu rives ned. Prisen ventes at ville svare til en milliard danske kroner. A-1 reaktoren var en prototype; den var gaskølet og tungtvandsmodereret.

Mochovce-1 ventes taget i brug midt i 1998, og Mochovce-2 skal følge efter i 1999.

Slovenien

Slovenien har et 664 MWe trykvandsreaktoranlæg af amerikansk fabrikat ved Krsko. Værket ejes ligeligt af Slovenien og Kroatien, som også deler den producerede elektricitet mellem sig. Den slovenske andel dækker ca. 25% af landets elbehov.

I januar 1997 skete der et brud i en dampisoleringsventil ved værkets ene damp-generator, hvilket bragte værket til standsning. Udskiftningen af de defekte dele varede en uge. Uheldet havde ingen sikkerhedsmæssig betydning.

Rumænien

Rumæniens første kraftreaktor, Cernavoda-1, blev sat i kommerciel drift i slutningen af 1996. Reaktoren er den første af i alt fem påbegyndte enheder af CANDU-typen, hver på 635 MWe. Cernavoda ligger ved Donau, 170 km øst for Bukarest.

Byggeriet af de fem reaktorer startede omkring 1984. Byggeriet lå stille i en længere årrække p.g.a. pengemangel. Cernavoda-1 blev senere færdiggjort af et konsortium af AECL (Canada) og Ansaldo (Italien).

De fire andre enheder er på forskellige stadier af færdiggørelse. Der er indgået en aftale mellem bygherren, det rumænske el-forsyningsselskab, RENEL, og AECL/Ansaldo om færdiggørelse af enhed 2 i år 2000 - 2001.

En evt. færdiggørelse af de resterende tre enheder vil ifølge RENEL kræve en kapitaltilførsel fra nabolande samt aftaler om el-leverancer.

Driften af reaktoren blev i starten varetaget af et hold af canadiske operatører, men med færdiguddannelsen af rumænske operatører i juli kunne driften overdrages til RENEL.

Reaktoren er blevet udbygget til at levere fjernvarme til en mindre, nærliggende bebyggelse på ca. 1000 lejligheder.

Rumænien er nu selv i stand til at fremstille reaktorbrændsel samt tungt vand.

7.4 SNG-lande

Rusland

Rusland har seks VVER-440-enheder, syv VVER-1000-enheder, 11 RBMK-enheder og en formeringsreaktor, BN-600, i drift. Af de seks VVER-440-enheder er de fire af første generation (model 230) og to af den nyere model 213.

Den samlede installerede effekt af Ruslands kernekraftværker er 21.000 MWe. Kernekraften leverer ca. 13% af Ruslands elforbrug. Fordelingen er ujævn. Den europæiske del af Rusland får næsten 25% af elforbruget fra kernekraft. I den nordvestlige del af landet, herunder Skt. Petersborg, er tallet 50%.

Russerne arbejder med flere projekter til nye reaktortyper. Længst fremme er VVER-640, som har meget til fælles med vestlige, avancerede trykvandsreaktorer, herunder anvendelse af "passive" kølesystemer. Der arbejdes også med en ny VVER-1000, en ny reaktor af RBMK-familien (MKER-800) og en ny for-

meringsreaktor, BN-800, som "blot" er en moderniseret og let forstørret udgave af BN-600.

I efteråret 1997 godkendte det russiske parlament, Dumaen, regeringens plan for udbygningen af kernekraften. Ifølge planen skal to VVER-1000 enheder, Rostov-1 og Kalinin-3 samt RBMK-1000 enheden, Kursk-5, bygges færdige inden år 2000. Senere skal Rostov-2 bygges færdig, en allerede påbegyndt VVER-640 prototype bygges nær Leningrad-kernekraftværket, og flere andre skal følge, herunder to BN-800 enheder i Uralområdet.

Et generelt problem for kernekraftværkerne i Rusland er, at de ikke får penge for den strøm, de leverer. Det går ud over lønningerne, som kan komme med flere måneders forsinkelse. Et regeringsindgreb efter en protestmarch har delvis løst denne side af spørgsmålet, men manglen på penge går også ud over vedligeholdelsen og dermed sikkerheden. Andre følger er, at færdiggørelsen af værker som Kalinin-3 bliver forsinket, og at Leningradværket måtte mindske elproduktionen omkring 1. oktober, fordi det skyldte så mange penge til brændselsleverandøren, at denne på sin side var ude af stand til at købe uran til brændselsproduktionen.

Kola-værket

Set fra et nordisk synspunkt har Kola-værket særlig interesse, fordi det ligger nær norsk og finsk område.

Kola-værket har fire VVER-440-reaktorer, to af model 230 og to af model 213. På grund af den geografiske nærhed til Norge og Finland har navnlig disse to lande været involveret i projekter vedrørende forbedringer af sikkerheden på værket.

Finland har i 1997 forsynet Kola-værket med endnu en simulator - nu kan også de to ældste reaktorers opførsel simuleres. Blandt de norske bidrag kan nævnes udstyr til ultrasonisk inspektion.

De to ældste reaktorer på Kola-værket ventes tidligst nedlagt omkring år 2005. Det bliver nødvendigt at forsyne dem med en del nyt udstyr til en pris af knap 600 mill. kroner, hvoraf EBRD giver en fjerdedel.

Leningrad-værket

Leningrad-værket ligger ca. 70 km vest for Skt. Petersborg og består af 4 RBMK-enheder på hver 1000 MWe. De to første enheder, der hører til 1. generation af RBMK-reaktorer, blev sat i drift i 1973 og 1975, mens enhederne 3 og 4, der hører til 2. generation, blev sat i drift i 1979 og 1981.

Efter Tjernobyl-katastrofen i 1986 blev RBMK-reaktorernes sikkerhedstilstand draget i tvivl, ligesom mange driftsprocedurer for reaktoroperatørerne blev taget op til revision. Enhed 1 på Leningrad-værket var den første RBMK-reaktor, der blev sat i drift, og den har således været prototype for senere RBMK-reaktorer. Enhed 1 var også den første station, hvor ændringer baseret på erfaringerne fra Tjernobyl-ulykken blev implementeret. Det drejede sig om følgende hovedpunkter:

1. Højere berigning af brændslet for at reducere den positive dampreativitetskoefficient og dermed gøre reaktoren mere stabil.
2. Ændret design af kontrolstavene samt øgning af deres antal.
3. Opstramning af driftsprocedurerne samt eliminering af muligheden for manuel frakobling af sikkerhedssystemer.
4. Reduktion af effekten med 20%.

5. Intensivering af operatøruddannelsen, herunder træning på fuldt udbyggede simulatorer.

Punkt 2, 3 og 4 blev straks implementeret i månederne efter Tjernobylkatastrofen, mens 1 og 5 foregik over de følgende 2-4 år, således at alle 4 Leningrad-reaktorer i dag har implementeret ovenstående fem, sikkerhedsmæssigt vigtige punkter. Dog er der fra omkring 1990 givet tilladelse til igen at øge effekten til den nominelle værdi, 1000 MWe.

Alle enheder bortset fra den nyeste enhed 4 har inden for de sidste fem år fået udskiftet brændselskanalerne - en meget dyr og omfattende operation. Årsagen til udskiftningen er, at grafitten i reaktorerne påvirkes af strålingen således, at luftgabet mellem grafitten og brændselskanalerne efter 15-20 års drift er reduceret så meget, at der må ske en udboring af grafitblokkene og en udskiftning af brændselskanalerne. Værket har selv bekostet denne udskiftning.

EBRD, European Bank for Reconstruction and Development, har stået for finansieringen af støtten til sikkerhedsmæssige forbedringer på kort sigt for Leningradværket. Desuden har der været bilaterale aftaler om assistance. Finland har i kraft af sine nære relationer til det tidligere Sovjetunionen stået for koordineringen af projekterne.

Imidlertid har der været en del problemer med implementering af de af EBRD støttede projekter. Således er støtten til et projekt til udskiftning af rørene i nødkølesystemet på Leningrad 1 og 2 blevet taget af bordet af EBRD, fordi værket ikke ønsker det udført før år 2001. Dette tolkes af EBRD som et forsøg på at forlænge levetiden af de to enheder, hvilket er i strid med de forudsætninger, hvorunder støtten er bevilget. Generelt er EBRD utilfreds med den hastighed, hvormed projekterne bliver implementeret. Af de 76 mill. ECU, som i 1995 blev bevilget til forbedringer på Leningrad-, Kola- og Novovoronezhværket, er der pr. 1/5-97 kun blevet anvendt 1,8 mill. Russerne forsvarer sig med den bureaukratiske behandling, som EBRD-projekterne skal igennem.

De bilaterale projekter synes at fungere bedre. Finland har således allerede leveret brandbeskyttelsesudstyr til Leningradværket, og Danmark vil levere brandsikkerhedsudstyr og udstyr til måling af stråling i omegnen af værket. Russerne har selv fremsat ønsker om udstyr inden for følgende områder:

- reparation og vedligehold
- ikke-destruktiv afprøvning
- brandbeskyttelse
- fysisk beskyttelse
- strålingsbeskyttelse

Et andet problem i forbindelse med levering af udstyr til Rusland er erstatningsforholdene i forbindelse med eventuelle uheld, som kan tilskrives vestligt udstyr.

Rusland underskrev i 1996 Wien-konventionen angående erstatningsansvar i tilfælde af et alvorligt uheld på et kernekraftværk. Konventionen mangler dog at blive ratificeret af det russiske parlament, Dumaen, hvilket forventes at ville ske i løbet af 1998. Derfor har mange vestlige firmaer været tilbageholdende med at gå ind i sikkerhedsforbedringer af russiske værker for ikke at pådrage sig økonomisk erstatningsansvar i tilfælde af en reaktorulykke.

Endelig har toldproblemer og russisk bureaukrati også været med til at forsinke en række forsendelser af vestlig udstyr.

Kursk-værket
Kursk-værket består af 4 RBMK-enheder, hver på 1000 MWe, hvoraf de to første enheder blev sat i drift i 1976 og 1979, og de to sidste i 1983 og 1985. Enhed 1 og 2, som hører til første generation af RBMK-reaktorer, er af myndighederne fortsat begrænset til at køre ved 80% af den nominelle effekt, hvorimod enhed 3 og 4, som hører til anden generation, kører ved 1000 MWe. Endvidere er en femte enhed, Kursk 5, 90% færdigbygget, men modstand fra befolkningsgrupper, dårlig økonomi og reduceret strømforbrug i området har hidtil afholdt russerne fra at færdiggøre enheden. De nyeste planer for udbygning af kernekraften i Rusland opererer fortsat med, at Kursk 5 vil blive færdiggjort.

Enhed 1, der har været nedlukket siden midten af 1995, afventer resultatet af en gennemgribende sikkerhedsvurdering, som endnu ikke er tilendebragt. Enheden har fået udskiftet en stor del af brændselskanalerne i den forløbne periode, og russerne er ivrige efter at få enheden i gang igen, da Kursk 2 i 1998 skal nedlukkes og gennem den samme renovering. Imidlertid har NSA (Nuclear Safety Account) betinget sig, at ingen af de 76 mill. ECU, som i 1995 blev bevilget til sikkerhedsforbedringer på kort sigt på Leningrad-, Kola- og Novovoronezh-værkerne vil blive udbetalt, hvis Kursk 1 bliver sat i drift, før sikkerhedsanalysen er tilendebragt.

Smolensk-værket
Smolensk-værket ligger ca. 100 km sydøst for Smolensk og består af 3 RBMK-enheder, hver på 1000 MWe. Enhederne blev taget i drift i 1982, 1985 og 1990 og hører til blandt de mest moderne RBMK-enheder i Rusland. Således er Smolensk-3 den eneste RBMK-reaktor, hvor nødkølekapaciteten er blevet så meget forbedret, at den nærmer sig vestlig standard. Værket har i 1997 udarbejdet planer for udskiftning af brændselskanalerne og andre komponenter, således at værkets levetid kan forlænges ud over de planlagte 20 år. Disse planer har givet anledning til store diskussioner med NSA, hvis midler ikke må anvendes til at forlænge levetiden af eksisterende reaktorer i Østlandene.

Beloyarski-3-værket
Beloyarski-3-værket er en natriumkølet hurtigreaktor af typen BN 600 (600 MWe). BN 600 blev startet op første gang i 1980 og har siden fungeret med stor driftssikkerhed. I den eksklusive klub af hurtigreaktorer må BN 600 derfor betegnes som vellykket.

Ukraine

Ukraine har to VVER-440/213-enheder og elleve VVER-1000-enheder fordelt på fire kraftværker. Den installerede effekt er ca. 11800 MWe. Hertil kommer 1000 MWe fra den sidste RBMK-reaktor i Tjernobyl. Den nukleare andel af Ukraines elproduktion udgjorde i 1997 45%.

De ukrainske kernekraftværker blev i 1997 samlet i eet selskab, Energoatom. Indtil det skete, havde de i praksis en udstrakt selvstændighed. Energoatom sorterer under et nydannet energiministerium.Centralisering er et af de midler, der skal gøre elværkerne rentable. Det ventes, at Energoatom vil stå stærkere over for fordelingsselskaber og andre kunder, så de i fremtiden vil betale mere end de ca. 10% af elprisen, de i lange perioder har nøjedes med. Som følge af den vanskelige økonomi har kernekraftværkerne og de andre elværker haft store problemer med at skaffe penge til brændsel, lønninger og vedligeholdelse.

Et lyspunkt er, at Ukraines og Ruslands højspændingsnet nu igen er blevet forbundne. Ukraine får lov at importere op til 1100 MWe, og det betyder en mere stabil elforsyning.

To VVER-1000 reaktorer, Khmelnitski-2 og Rovno-4 blev bygget næsten færdig (80 - 85%) i sovjettiden, men arbejdet blev standset i 1991. Ukraine kan ikke selv finansiere færdiggørelsen. G-7 landene lovede at skaffe kredit gennem EBRD, men i de to år, der siden er gået, er der ikke sket noget konkret. Derfor søger Ukraine nu at skaffe pengene, helt eller delvis, ad andre veje: russisk kapital, delvis privatisering og en forhøjelse af elafgiften på 4 - 5%.

Tjernobyl-værket

Tjernobyl-værket, der ligger i Ukraine ca. 100 km nord for Kiev bestod oprindeligt af 4 RBMK-enheder, hver på 1000 MWe, der blev sat i drift i 1977, 1979, 1981 og 1983. De to ældste enheder hører til første generation af RBMK-reaktorer, mens de to nyeste hører til anden generation. Enhed 4 havarerede fuldstændigt ved katastrofen i april 1986, og enhed 2 har ligget stille siden oktober 1991 p.g.a. en brand i turbinebygningen. Branden ødelagde adskillige sikkerhedssystemer.

Enhed 1 blev standset den 30. november 1996 i overensstemmelse med et løfte givet af den ukrainske præsident Leonid Kuchma. Grundlaget for lukningen er et såkaldt "Memorandum of Understanding between the Governments of the G7 Countries and the Commission of the European Communities and the Government of Ukraine on the Closure of the Chernobyl Nuclear Power Plant".

Tidligere rygter om at Ukraine ville forsøge at starte enhed 1 igen, hvis vinteren 1997/98 blev meget hård, blev manet i jorden med en udtalelse i slutningen af 1997 fra den ukrainske regering, der gik ud på, at enhed 1 er at betragte som en reaktor under nedlukning.

Enhed 2 har været nedlukket siden 1991 p.g.a. en omfattende turbinebrand. Værket har indsendt en ansøgning til de nukleare myndigheder i Ukraine om tilladelse til at genstarte enhed 2. Hvorvidt tilladelsen bevilges er uklart, men i givet fald vil det kræve penge og flere måneders reparation af enheden, inden den kan starte.

Enhed 3 har været nedlukket siden juli 1996, hvor den skulle have sit årlige eftersyn. Imidlertid blev der fundet så mange revner i værkets ca. 1600 brændselskanaler, at opstarten gang på gang blev udskudt. Den seneste prognose siger, at værket tidligst vil kunne starte 1/4 - 1998.

Hos dele af den nukleare industri i Ukraine er man i tvivl om, hvorvidt Tjernobyl-3 overhovedet vil blive startet igen. Brændselskanalerne er ved at skulle udskiftes, som følge af grafittens strukturændringer p.g.a. strålepåvirkninger, ligesom driften af enheden har været i søgelyset.

WANO, World Association of Nuclear Operators, har således i 1997 foretaget en undersøgelse af driften af enheden. I konklusionen herfra hedder det bl.a.,

- "Dele af sikkerhedssystemerne er i meget dårlig stand"
- "Sikkerhedsmarginerne er uacceptable"
- "Sikkerhedskulturen blandt personalet er utilstrækkelig"

Et af de alvorligste problemer, som WANO påpeger, er manglen på reservedele, som igen skyldes værkets dårlige økonomi.

Sarkofagen, som hurtigt blev bygget omkring den havarerede enhed 4 i 1986, giver også problemer. Den er ikke tæt, og der er risiko for, at den kan bryde sammen med mulighed for at beskadige bygninger hørende til naboreaktoren enhed 3, som bl.a. har ventilationsskorsten fælles med den havarerede reaktor .(Se afsnit 6.1).

Armenien

Armenien har en kraftreaktor i drift, Metsamor-2, og en, der er lagt i mølpose, Metsamor-1. Begge er VVER-440/230-enheder, som blev lukket i 1989 efter et stort jordskælv i Armenien, fordi sikringen mod jordskælv var utilstrækkelig. Metsamor-2 blev startet igen med russisk hjælp i 1995.

Værket dækker noget over en tredjedel af Armeniens elforbrug, og der er planer om at bygge endnu en reaktor, der i givet fald skal være klar i 2010. Geologiske - herunder seismiske - undersøgelser er påbegyndt. Der er derimod ingen planer om at tage Metsamor-1 i brug igen.

I 1997 bevilgede EU-kommissionen 10 millioner ECU inden for TACIS-programmet, som i de næste to år skal bidrage til en generel forbedring af Metsamor-2, herunder til udskiftning af sikkerhedsventiler.

Kazakstan

Kazakhstans eneste kernekraftværk er den tidligere sovjetiske hurtigreaktor BN-350. Reaktoren er konstrueret til at yde 650 MW termisk effekt. Størstedelen udnyttes til afsaltning af vand fra det Kaspiske hav, mens resten udnyttes til elproduktion .

Anlægget startede op den 5. januar 1996 efter at have gennemgået et større renoveringsprogram med bistand fra Rusland.

Efter indførelsen af forbedrede dampgeneratorer er anlægget opgraderet til 759 MW termisk effekt. Derved har det været muligt at hæve den elektriske effekt fra 90 MWe til 150 MWe.

Der er russisk-kazakhiske planer om bygning af 3 - 4 reaktorer ved Balkhash-søen, ca. 400 km nord for hovedstaden Alma-Ata. Byggegrunden er udpeget, et russisk firma skal stå for byggeriet og projektets tekniske og finansielle sider undersøges. Reaktorerne bliver russiske, enten den nye VVER-640 eller den nyeste udgave af VVER-440.

7.5 Nord- og Sydamerika

USA

Ved begyndelsen af 1997 havde USA 110 kernekraftenheder med en samlet effekt på 101.000 MWe i drift.

Et frit marked for elektricitet er fortsat et aktuelt emne i USA. Det forventes, at elmarkedet, der hidtil har været beskyttet, vil blive åbnet med øget konkurrence til følge. Det vil medføre behov for effektivisering, ikke mindst for elselskaber med mange, investeringstunge kernekraftenheder, f.eks i form af øget udnyttelsesgrad, reduktion i størrelsen af staben, øget afskrivning, fusion af elselskaber og mindre hyppig brændselsudskiftning.

Westingshouse Electric Corp., et af verdens største firmaer inden for elektro- og reaktorbranchen, skiftede karakter i 1997. Tidligere var Westinghouse primært en af de største leverandører af udstyr til elværksindustrien, men firmaet har skiftet strategi og er nu blevet til en mediegigant efter opkøb af fjernsynsselskabet CBS og andre mediefirmaer. Firmaets industriselskaber er delt op i selvstændige datterselskaber, der gradvis forventes solgt fra. Westinghouse har indgået aftale med Siemens om at overtage firmaets kraftproduktionsafdeling (hovedsagelig turbineproduktion). Aftalen skal dog først godkendes af den amerikanske regering og EU. Det franske reaktorfirma, Framatome, har udtrykt interesse for Westinghouse's nukleare aktiviteter.

I 1997 har General Electric fået godkendt sin avancerede kogendevandsreaktor (ABWR) og ABB Combustion Engineering har fået godkendt sin avancerede trykvandsreaktor System 80+ af de amerikanske reaktorsikkerhedsmyndigheder. GE's ABWR er allerede blevet opført og sat i drift i Japan. Westinghouse's nye trykvandsreaktor AP600 ventes først godkendt i 1998.

I januar måned blev det besluttet at standse driften af kernekraftværket Haddam Neck, selv om dets drifttilladelse gælder til år 2007. Værket blev sat i drift i 1968. I maj måned blev det besluttet at standse driften af kernekraftværket Maine Yankee, der blev sat i drift i 1972. Motiveringen var i begge tilfælde, at fortsat drift ville nødvendiggøre gennemførelse af så mange ændringer på værket, at driften ville blive uøkonomisk. USA's ældste og mindste kernekraftværk, Big Rock Point, blev lukket ned d.30/8 efter 35 års drift.

I forbindelse med den kinesiske præsidents besøg i USA gav præsident Clinton amerikansk industri tilladelse til at eksportere kernekraftværker og komponenter hertil til Kina.

Der skete ikke større fremskridt m.h.t. oprettelsen af deponier for lavaktivt affald. Der er fortsat store politiske problemer på dette område. Hvad angår udbrændt brændsel vedtog Senatet i april måned Nuclear Waste Policy Act of 1997, som er en revideret udgave af Nuclear Waste Policy Act fra 1982, og loven blev i oktober vedtaget af Repræsentanternes Hus. Da der er visse forskelle mellem de to love, skal disse først afklares af en fælles komite, før endelig vedtagelse. Ifølge 1982-loven skal det amerikanske energiministerium ved udgangen af januar 1998 være klar til at overtage det udbrændte brændsel fra USA's kernekraftværker. Ministeriet har imidlertid meddelt, at man formentlig først vil være klar til at modtage det udbrændte brændsel omkring år 2010. Elværkerne har siden 1982 indbetalt 13 milliarder $ til Nuclear Waste Fund, som skal dække udgifterne ved den videre behandling af brændslet. 1997-lovforslaget indeholder bestemmelse om, at energiministeriet, DoE, skal lave et midlertidigt lager for udbrændt brændsel, hvortil de amerikanske elværker kan sende deres beholdninger. Præsident Clinton har udtalt, at han vil nedlægge veto mod forslaget, hvis det bliver vedtaget, men der kan muligvis skabes et så stort flertal for loven, at den gennemføres til trods for et veto. Mange amerikanske kernekraftværker har ikke opbevaringskapacitet til at opbevare deres udbrændte brændsel til år 2010 og må bygge nye lagre.

Canada

Ved begyndelsen af 1997 havde Canada 21 kernekraftenheder med en samlet effekt på 15.000 MWe i drift.

I begyndelsen af året nedsatte det canadiske el-selskab Ontario Hydro, som råder over den største kernekrafteffekt, en gruppe på 7 amerikanske kernekrafteksperter, der skulle undersøge, hvordan man forbedrer driften af selskabets 19 kernekraftenheder. Resultatet af denne undersøgelse blev, at selskabet i august besluttede at lægge 7 kernekraftenheder (4 Pickering A og 3 Bruce A enheder) "i mølpose" de næste 5år, og koncentrere sig om forbedring af effektiviteten af de øvrige enheder. Om nogle år vil der blive taget stilling til hvilke af de nedlukkede enheder, som derefter skal sættes i drift. Årsagen til den faldende effektivitet af selskabets kernekraftværker er utilfredsstillende ledelse og problemer med selskabets "kultur".

Det statslige selskab, Atomic Energy of Canada Ltd. (AECL), tog i begyndelsen af 1997 skridt til at privatisere selskabets forskningscenter i Whiteshell, Manitoba, der specielt har arbejdet med deponering af radioaktivt affald. AECL vil kun beholde godt 10% af den 700 mand store stab. Baggrunden for nedskæringen er reduktion i AECL's budget. Blandt de indkomne privatiseringstilbud

udvalgtes Canadian Nuclear Projects Ltd, et konsortium som bl.a. inkluderer British Nuclear Fuel's canadiske datterselskab, til nærmere forhandlinger.

Mexico

Ved begyndelsen af 1997 havde Mexico 2 kernekraftenheder med en samlet effekt på 1.300 MWe i drift.

Brasilien

Ved begyndelsen af 1997 havde Brasilien en kernekraftenhed med en effekt på 600 MWe i drift.

Arbejdet på Brasiliens andet kernekraftværk, Angra-2, fortsætter planmæssigt, og værket, der får en effekt på 1300 MWe, forventes i drift i juni 1999. Værket bygges af Siemens/KWU og ejes af elselskabet Furnas Centrais Electricas S.A. Det har været under bygning i 23 år og bliver på grund af den lange byggetid meget dyrt, 7,2 milliarder US$. Brasilien overvejer iøvrigt at privatisere Furnas.

Argentina

Ved begyndelsen af 1997 havde Argentina 2 kernekraftenheder med en samlet effekt på 900 MWe i drift.

I Argentina forbereder man fortsat en privatisering af landets to kernekraftværker. Om det vil lykkes at finde investorer er fortsat usikkert. I forbindelse med privatiseringsbestræbelserne har det været foreslået at forsyne Atucha-2, der p.gr.a. kapitalmangel har været under bygning i omtrent 20 år, med to gasturbiner. Herved kunne værkets effekt kunne øges fra 700 til 1550 MWe.

7.6 Asien, Afrika og Australien

I Asien, Afrika og Australien har Japan, Sydkorea, Taiwan, Kina, Indien, Pakistan og Sydafrika kernekraftværker.

Japan

Japans kernekraftværker, hvis rygrad udgøres af letvandsreaktorer (lidt flere BWR end PWR) omfatter i alt 54 reaktorer med en samlet elektrisk effekt på 45.000 MWe, dækkende ca. 35% af elforbruget. Yderligere ca. 20 reaktorer, heraf 10 avancerede kogendevandsreaktorer (ABWR), forventes taget i drift inden år 2010, hvor den installerede nukleare effekt er planlagt til at være 70.000 MWe. Herved forventer Japan at opfylde CO_2-målene fra FN's klimakonference i Kyoto (6% reduktion i år 2012 sammenlignet med 1990-niveauet). Med starten af Japans to første ABWR-enheder (2 x 1356 MWe, bygget af Toshiba/Hitachi/General Electric) er Kashiwazaki-Kariwa-værket nu verdens største kernekraftværk (7 reaktorer på i alt 8212 MWe). De første to avancerede trykvandsreaktorer (1420 MWe, Mitsubishi/Westinghouse) venter endnu på den sidste godkendelse af byggeansøgningen.

Det statslige "Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation" (PNC), som står for udviklingen af hele plutonium-teknologien, herunder den hurtige formeringsreaktor (FBR), skal efter to uheld omorganiseres på grund af dårlig ledelse. Det ene uheld omfattede en lækage i 1995 af flydende natrium fra et sekundært kølekredsløb i Monju, som er en 280 MWe prototype FBR.

Det andet var en brand og eksplosion i en enhed, der behandler lavaktivt affald fra Tokai-oparbejdningsanlægget. Årsagen til reorganiseringen er ikke så meget uheldenes sikkerhedsmæssige konsekvenser som det faktum, at ledelsen gav urigtige oplysninger om uheldene til offentligheden. I fremtiden skal der gives højeste prioritet til åbenhed og sikkerhed.

Ifølge langtidsplanerne for overgang til plutoniumbrændsel skal Monju successivt efterfølges af to større enheder, inden FBR-reaktorerne afløser letvandsreaktorerne omkring år 2030. Udviklingen af den avancerede termiske reaktor (ATR), der var tænkt som et mellemled ved overgangen fra letvandsreaktorteknologien, er tidligere stoppet af økonomiske grunde. Det er nu besluttet, at driften af ATR prototypen, Fugen, skal indstilles om 3 - 5 år. Endvidere skal en række af PNC's aktiviteter omkring uranefterforskning (i udlandet), berigning og oparbejdning overgå til industrien i løbet af de kommende år.

Brugen af MOX-brændsel (plutonium-uranoxid blanding) i letvandsreaktorerne fungerer teknisk set tilfredsstillende og ventes at skulle holde trit med plutoniumproduktionen. Man forventer overgang til 100% MOX-brændsel for 3 - 4 reaktorer inden år 2000 og 16 - 18 reaktorer i år 2010.

Opførelsen af et oparbejdningsanlæg for brugt brændsel (800 t/år) ved Rokkasho-mura (Nord-Honshu) er blevet ramt af en forsinkelse på ca. tre år samt af prisstigninger, der har øget anlægsprisen til over det dobbelte. Dette anlæg forventes efter år 2003 at overtage en stigende del af brændselsoparbejdningen, som hidtil er foregået i Frankrig og Storbritannien.

Sydkorea

Sydkorea er det land i det østasiatiske vækstområde, der har den højeste nukleare dækningsgrad (ca. 35% af elforbruget) og den hurtigste udbygningstakt. Der er 12 reaktorer i drift (10 PWR og 2 CANDU-reaktorer) på tilsammen 10.300 MWe. Andre 6 er under bygning, og med yderligere 10 planlagte reaktorer ventes den samlede kapacitet at blive 26.300 MWe i år 2010. Tempoet ventes dog nedsat på grund af Sydkoreas nuværende finansielle krise. De nyeste trykvandsreaktorer er baseret på ABB Combustion Engineerings PWR, og man har deltaget aktivt i udviklingen af det nye avancerede System 80+ design (1300 MWe), som indgår med fire enheder i planerne frem til år 2010. Den nye CANDU er nr. 2 af i alt fire enheder under bygning ved Wolsung. Man tilstræber et forhold mellem PWR og CANDU på 3:1, som er ideelt med hensyn til den koreansk udviklede metode til genbrug af brugt PWR-brændsel i CANDU.

Efterhånden er der opbygget en indenlandsk industri, der er ved at gøre landet næsten selvforsynende (bortset fra uranproduktion og berigningsanlæg) og man er desuden aktiv på eksportmarkedet. Det brugte brændsel opbevares midlertidigt, indtil der træffes beslutning om eventuel genoparbejdning. Forsknings- og udviklingsprogrammet omfatter både den hurtige formeringsreaktor og fusion.

Taiwan

Taiwans seks letvandsreaktorer på i alt 5150 MWe leverer ca. 30% af elforbruget. En kontrakt om bygning af det fjerde kernekraftværk ved Lungmen blev afsluttet i 1996. Byggeriet ventes igangsat i 1998. Det bliver to 1350 MWe ABWR-reaktorer fra General Electric og japanske partnere. Ligesom de eksisterende reaktorer bliver disse hovedsageligt baseret på amerikansk teknologi.

Kina

Kina har tre trykvandsreaktorer på i alt 2100 MWe i drift. De dækker ca. 1% af elforbruget, som i størrelse overgår Japans. Inden for femårsplanen 1996 - 2000 forventes igangsat byggeri af yderligere otte reaktorer. De ambitiøse langtidsplaner forudser en kernekraftkapacitet på 50.000 MWe i år 2020 og mindst 150.000 MWe i år 2050. Kulfyrede værker og vandkraft vil dog fortsat være de dominerende elproducenter i Kina.

Den eksisterende 300 MWe PWR og de to 600 MWe PWR under opførelse ved Qinshan nær Shanghai er af kinesisk konstruktion (med import af visse hovedkomponenter). Man er nu i gang med at klargøre byggepladsen for Qinshan fase 3, som efter aftale med Canada bliver to 700 MWe CANDU-reaktorer. Endvidere har man nu fået en aftale med Rusland om levering af to VVER-1000 reaktorer til opførelse i Jiangsu-provinsen nord for Shanghai (i stedet for Liaoning som tidligere planlagt). I Guangdong-provinsen nær Hong Kong er to franskbyggede 900 MWe PWR i drift, og man har kontraheret med Framatome om levering af yderligere 2 x 985 MWe. Planerne for Guandong-provinsen omfatter i alt 12 enheder (PWR og CANDU).

Det ser nu ud til, at USA ophæver eksportforbudet af kernekraftteknologi til Kina på en række betingelser. Dette kan sætte yderligere skub i udviklingen, idet Kina er interesseret i amerikansk teknologi og finansiering, mens den amerikanske industri og deres udenlandske samarbejdspartnere ønsker at gøre sig gældende på det store kinesiske marked, inden især Frankrig får alt for stærkt fodfæste.

Reaktorbrændslet produceres i Yibin, Sichuan, på grundlag af egne uranreserver (57.000 tU påvist). Man stiler mod at beherske alt vedrørende brændselskredsløbet. Man er bl.a. i gang med ved russisk hjælp at udskifte de eksisterende diffusionsberigningsanlæg med mere energiøkonomiske centrifugeanlæg i Sichuan og Sinkiang. Endvidere planlægger man anlæg til oparbejdning af brugt brændsel med henblik på genanvendelse af plutonium. Forskningsprogrammet omfatter både formerings- og højtemperaturreaktorer samt en fusion-fission reaktor.

Indien

Indien har i alt 10 kraftreaktorer (2 BWR og 8 CANDU). Kapaciteten er dog kun 1840 MWe, idet flere af de i sig selv små enheder kører på nedsat effekt. Yderligere ca. 4000 MWe er under bygning eller planlagt. Man forsøger at genoplive en handel om to russiske VVER-1000 reaktorer, men finansieringen og kravet om fuld IAEA-kontrol er alvorlige anstødssten.

Efter en omfattende renovering af de to ældste CANDU-reaktorer (Rajastan) er den første igen i drift. De nyere CANDU-reaktorer er mere driftssikre end de gamle, som er meget følsomme over for de hyppige netudfald i Indien. Efter vestlig standard er driftstatistikken (gennemsnitlig kapacitetsfaktor 62%) dog stadig ikke overvældende. Kernekraften dækker ca. 2% af elforbruget, hvis størrelse er en tredjedel af Kinas.

I mangel af tilstrækkelig udviklingshjælp på grund af Indiens kernevåbenpolitik har man måttet opbygge sin egen uafhængige kernekraftindustri, støttet af et alsidigt forsknings- og udviklingsprogram. En 40 MWt prototype FBR er i prøvedrift, og man arbejder på udvikling af en 500 MWe FBR, som ventes driftsklar inden år 2010.

Brændselskredsløbet, der bygger på egne ressourcer, omfatter alt undtagen uranberigning (til BWR). Man forsøger at gøre sig uafhængig, dels ved at gå

over til MOX-brændsel (med genvundet plutonium), dels ved udvikling af thorium-baseret brændsel. Indien har nogle af verdens største thoriumreserver.

Pakistan

Pakistan har en 25 år gammel, 125 MWe CANDU-reaktor i drift og en kinesisk leveret 300 MWe PWR under opførelse. Trods modstand fra de højt industrialiserede lande synes Kina fast besluttet på at gennemføre projektet uden fremmed hjælp, og man diskuterer salg af yderligere en reaktor. Derimod har Kina lovet USA at afstå fra at hjælpe med berignings- og oparbejdningsanlæg. Ligesom med Indien er problemet Pakistans afvisning af fuld IAEA-kontrol og af ikkespredningsaftalen.

Sydafrika

Koeberg kernekraftværket med to 920 MWe PWR-enheder dækker ca. 5% af Sydafrikas elforbrug. Produktionen af beriget uran ophørte i 1995, idet verdensmarkedet er blevet tilgængeligt efter de politiske forandringer i landet.

Andre lande

En række andre lande er potentielle kernekraftlande.

Iran har en aftale med Rusland om foreløbigt at færdiggøre en af de to ufuldendte PWR-enheder ved Bushehr, som Siemens forlod i 1979. Reaktoren, som bliver en VVER-1000-enhed, skal være driftsklar i år 2000, men er forsinket. Ud over færdiggørelse af den anden enhed er der planer om to mindre enheder leveret af Rusland eller Kina.

Tyrkiet har modtaget tilbud fra tre konsortier på opførelse af det planlagte Akkuyu-kernekraftværk ved Middelhavet. Det er tredje gang dette forsøges. Tyrkiet har i øvrigt store thoriumforekomster.

Nordkorea har accepteret IAEA-kontrol og stop for produktion af våbenplutonium mod til gengæld at modtage to sydkoreanske 1000 MWe reaktorer, finansieret af en international organisation (KEDO). Trods politiske og kontraktlige forviklinger er arbejdet med klargøring af byggepladsen nu i gang.

Flere fjernøstlige lande (Thailand, Vietnam, Indonesien) har seriøse overvejelser om indførelse af kernekraft, men de aktuelle finansielle vanskeligheder fremmer ikke planerne.

Australien har ingen kernekraft, men har ligesom en række afrikanske lande (Gabon, Niger, Namibia) eksport af uran.

8 Udviklingstendenser inden for forskellige reaktortyper

8.1 Trykvandsreaktorer (PWR)

EPR - Den europæiske trykvandsreaktor

Framatome (Frankrig) og Siemens (Tyskland) er gået sammen om at designe en europæisk trykvandsreaktor Det sker i selskabet Nuclear Power International (NPI). Basisdesignet blev afsluttet i juni 1997, og den foreløbige sikkerheds-

analyse blev sendt til godkendelse hos de franske og tyske myndigheder i oktober 1997. Herefter følger en optimeringsfase indtil udgangen af 1998, som bl. a. sigter mod en effektforøgelse ud over de oprindelige 1525 MWe for yderligere at reducere omkostningerne pr. MW. Levetiden for et sådant anlæg er sat til 60 år, hvorfor forebyggende vedligeholdelse er indarbejdet i designet.

Designfilosofien er følgende:

- Forbedring af sikkerhedsniveauet sammenlignet med de eksisterende anlæg - både ud fra deterministiske og probabilistiske betragtninger.
- Begrænsning af alvorlige uheld ved at reducere konsekvensernes omfang til kun at berøre kernekraftværkets område.
- Økonomisk konkurrencedygtig elproduktion i forhold til andre primære energikilder.

Ifølge foreliggende oplysninger skulle EPR's produktionspris blive 10 % lavere end for det mest moderne kulkraftværk. Det forventes dog at være muligt at reducere omkostningerne med yderligere 10 %.

Sikkerheden er øget igennem følgende tiltag:

- Simplificering af sikkerhedssystemerne.
- Reducering af fejlmuligheder gennem fysisk adskillelse af diverse backup-funktioner for sikkerhedssystemerne.
- Forøgelse af den til rådighed værende reaktionstid for operatørerne ved at udforme komponenterne, så transienterne udglattes.
- Reduktion af følsomheden over for menneskelige fejl ved brug af avanceret kontrol- og instrumenteringsudstyr

Som eksempler på foranstaltninger til at reducere konsekvenserne af uheld kan nævnes:

1. I tilfælde af totalt svigt af det sekundære kølekredsløb benyttes vandet i reaktorens brændselsudskiftningstank til at optage eftervarmen. Denne tank befinder sig inde i reaktorindeslutningen.
2. For at mindske det radioaktive udslip i tilfælde af en kernenedsmeltning spredes den smeltede kerne ud og køles; den dannede brint rekombineres og eftervarmen i reaktorindeslutningen fjernes.

De vigtigste sikkerhedssystemer og de tilhørende hjælpefunktioner er installeret i fire blokke, som er adskilt fysisk. Denne grad af redundans øger prisen, men samtidig opnås et meget højt sikkerhedsniveau og mulighed for både nemmere og hurtigere vedligeholdelse samt inspektion under drift.

CAP600 - Kinas version af AP600

Det amerikanske reaktorfirma Westinghouse og det kinesiske Kinas Nationale Kernekraftselskab har i fællesskab udviklet en ny trykvandsreaktorkonstruktion, CAP600. Den er baseret på Westinghouses AP600-design og det i Kina udviklede AC600-design.

En lav effekttæthed er opnået ved at gøre kernen større end i det konventionelle 600 MWe design. Antallet af brændselselementer øges fra 121 til 145. Dette muliggør en lavere berigning af brændslet, mindre afhængighed af brændbare absorbere og en stigning på mere end 15 % i marginalerne for et "tab af kølemiddel"-uheld. For at kunne tillade en højere udbrænding er gasrumfan-

get i toppen af brændselsstavene forøget. Kombinationen af alle disse foranstaltninger hævdes at resultere i en 20 % besparelse i brændselsudgifter sammenlignet med et standard PWR-design med samme effekt.

Sikkerheden er forøget ved:

- Passiv køling af kernen ved naturlig cirkulation efter nedlukning
- Passiv køling af indeslutningen
- Kontrolrummets udformning
- Isolering af indeslutningen

Risikoanalyser har resulteret i forbedringer af design og driftsprocedurer. Herved er der opnået betydelige reduktioner af sandsynligheden for beskadigelse af kernen i forhold til de eksisterende værker. Dette design har på basis af risikoanalyser vist sig at være over 100 gange mere sikkert end de idriftværende værker, når det drejer sig om sandsynligheden for beskadigelse af kernen.

På grund af det simplificerede design vil prisen for en CAP600-enhed i følge Westinghouse blive 25 % lavere end en konventionel 600 MWe enhed. Reduktionen af driftsomkostningerne anslås til at blive 30 %.

Fordele ved CAP600:

- Anvendelse af passiv teknologi og forenkling af komponenter og systemer.
- Standardisering af komponenter for den enkelte reaktor og for flere identiske enheder på samme værk.
- Kortere byggetid.

CP - 1300 Koreas 3. generation reaktor

I Korea er det hensigten at bygge trykvands- og CANDU-reaktorer frem til år 2025, hvorefter hurtige reaktorer ventes introduceret. De fremtidige trykvandsreaktorer vil være af koreansk design, i første omgang, d.v.s. indtil år 2007, af typen KSNPP (Korean Standard Nuclear Power Plant) med en effekt på 1000 MWe. Herefter regner man med at introducere 2. generation af koreanske trykvandsreaktorer, KNGR (Korean Next Generation Reactor) med en effekt på 1300 MWe. I år 2015 kommer 3. generation af koreanske trykvandsreaktorer, CP-1300, som også har en effekt på 1300 MWe.

De væsentlige punkter, hvorpå CP-1300 adskiller sig fra de hidtidige enheder, er følgende:

- Et større antal brændselselementer for at reducere effekttætheden.
- Bortledning af henfaldsvarme ved hjælp af naturlig cirkulation via dampgeneratorens sekundærside.
- Passiv køling af indeslutningen med kondensator.

På nuværende tidspunkt er konceptet for CP-1300 fastlagt. Nogle foreløbige sikkerhedsanalyser er lavet, og eksperimenter er under udførelse i mindre skala for at bekræfte hovedtrækkene i designet.

De passive sikkerhedssystemer stammer hovedsageligt fra Westinghouses AP600 og General Electrics (GE) SBWR, dog med passende modifikationer: En dobbelt betonindeslutning er indført under hensyntagen til konstruktionserfaringer og omkostninger.

Designkarakteristika for CP-1300 og andre trykvandsreaktorer er vist i nedenstående tabel:

	AP600	***System 80+***	***KSNPP***	***KNGR***	***CP-1300***
Designer	Westinghouse	ABB-CE	KAERI/ABB-CE/KOPEC	KAERI/ABB-CE	CARR
Antal kølesystemer	2	2	2	2	2
Kernens termiske effekt (MWt)	1933	3800	2815		3800
Elektrisk effekt (MWe)	~ 600	~1300	~1000	~1300	~1300
Tryk i kølesystemer (MPa/psia)	15.51/2250	15.51/2250	15.51/2250	15.51/2250	15.51/2250
Damptryk (MPa/psia)	5.48/795	6.90/1000	7.38/1070	6.89/980	6.90/1000
Totalt damp flow (kg/s)	1058.4	2222.6	1602.2	2222.2	2222.6
Indeslutningstype	Stål-indesl., betonskjold	Stål-indesl., betonindesl.	Betonindesl. m. betonindsats	Dobbelt betonin-desl.	Dobbelt be-tonindesl.
Bortledning af restvarme	Pass. system: Tank med var-meveksler	Aktivt system		Aktivt system	Sekundær kondensator
Køling af indeslutningen	Passiv spray	Aktiv: spray el. ventilation			Passiv
Levetid (år)	~60	~60	~60	~60	~60
Brændselsskiftinterval (mdr)	18	18~24	18~24	18~24	18~24

Der arbejdes med udvikling af et mere detaljeret design og en omfattende sikkerhedsanalyse. En probabilistisk sikkerhedsvurdering samt en økonomisk vurdering udarbejdes sideløbende med gyldighedstest af de nye systemer.

Japans afløser for APWR

Da tidspunktet for introduktionen af hurtige reaktorer synes at have lange udsigter i Japan, er man begyndt at se på en ny generation af trykvandsreaktorer. Dette udviklingsarbejde startede i 1995. De overordnede designkrav er defineret, og mange af de mest lovende systemkoncepter er klarlagt. Tidsplanen for denne nye reaktortype er, at designet ventes færdigt i år 2000, og konstruktion skulle kunne begynde omkring 2010. De væsentligste designkrav er en kapacitet på 1500 MWe med en potentiel mulighed for opgradering til 1700 MWe, men en mindre udgave på 1000 MWe vil også blive udviklet. Der sigtes mod en kapacitetsfaktor på 90 %, hvilket vil kræve drift med lange perioder mellem brændselsskift.

Designet inkluderer brug af hybride sikkerhedssystemer (kombination af aktive og passive sikkerhedssystemer) og vandrette dampgeneratorer.

8.2 Kogendevandsreaktorer (BWR)

De amerikanske nukleare sikkerhedsmyndigheder, NRC, har udstedt det endelige designcertifikat til General Electrics (GE) design af den avancerede kogendevandsreaktor, ABWR. Certifikatet gælder i 15 år.

Til dato er der sat to ABWR-enheder på hver 1356 MWe i drift. De er begge opført i Japan:

1. Kashiwazaki Kariwa-6, som begyndte at producere el i november 1996.
2. Kashiwazaki Kariwa-7, som begyndte at producere el i juli 1997.

Der er ikke nogen under opførelse nu, men følgende er planlagt (alle i Japan):

3. Hamaoka-5, 1380 MWe, konstruktionsstart i november 1999, i drift i 2005.
4. Kaminoseki-1, planlagt i drift i 2007.

5. Kaminoseki-2, planlagt i drift i 2010.
6. Shika-2, 1358 MWe, konstruktionsstart i september 1999.

I Taiwan er der planer om to ABWR-enheder, Lungmen-1 og -2, som ventes i drift henholdsvis i 2004 og 2005.

ESBWR - GE's seneste passive kogendevandsreaktor

Basisdesignet er lavet ud fra en 670 MWe SBWR, men effekten er øget til 1190 MWe ved tre ændringer af designparametrene:

- Antallet af brændselselementer øges fra 732 til 1132.
- Effekttætheden hæves fra 41,5 til 48,0 kW/l.
- Der introduceres et nyt design af brændselselementer med et lavere tryktab.

Reaktorkonceptet er baseret på følgende forhold:

- Enkelthed - opnås ved at drage fordel af naturlig cirkulation og passive sikkerhedssystemer.
- Forbedret økonomi for anlægget - opnås ved at øge kapaciteten, at reducere størrelsen og antallet af bygninger, at anvende standardkomponenter som i ABWR og at nedbringe antallet af komponenter og systemer.
- Forbedret sikkerhed - ved brug af passive samt visse aktive sikkerhedssystemer.

Store komponenter flyttes uden for selve reaktorbygningen, som derved bliver lille, hvilket forbedrer økonomien.

En sammenligning med de idriftværende BWR-enheder viser, at ESBWR opfylder alle sikkerhedsfunktioner med de passive systemer. ESBWR har desuden forskellige aktive backup-systemer for alle de passive. Disse aktive systemer er nødvendige under normal drift og gør derfor ikke designet mere kompliceret.

Nedenstående tabel sammenligner ABWR og ESBWR:

	ABWR	ESBWR
Land	USA/Japan	Europa
Termisk effekt (MWt)	3926	3600
Elektrisk effekt (MWe)	1356	1190
Antal kontrolstave	205	269
Effekttæthed (kW/l)	51	48
Brændselshøjde (m)	3.71	2.74

IER - Japans afløser for ABWR

De nye avancerede letvandsreaktorer (ABWR og APWR) er først lige sat i drift inden for de seneste år i Japan. På trods af dette er japanerne allerede begyndt at overveje, hvordan afløserne til disse reaktorer skal se ud. De fremtidige krav til designet går i retning af anvendelse af evolutionær teknologi, d.v.s. velgennemprøvet udstyr og teknik, men også inkorporering af nye passive teknologier. Selv om passiv sikkerhedsprincippet er meget attraktiv, har industrien foretaget

grundige studier af disse systemer for at klarlægge de faktiske fordele i forhold til de nuværende aktive systemer.

Mens de passive systemer til køling af kernen er mindre følsomme over for vedligeholdelsesfejl og reducerer sandsynligheden for menneskelige fejl, er de drivende kræfter generelt lavere, medmindre der bruges oplagret energi eller damp. En lav drivkraft gør systemets ydelse følsom for forhold som f.eks. tryktab og modstrøm. Resultatet af undersøgelserne blev en kombination af fordelene ved begge systemer: Korttidskølingen sikres af konventionelle aktive systemer, mens langtidsbortledning af eftervarme fra indeslutningen opnås med isolationskondensatorer og passive kølesystemer.

Krav til fremtidige anlæg i Japan:

1. Reaktorerne skal være økonomisk konkurrencedygtige.
2. Reaktorerne skal være fleksible for at kunne imødegå et bredere spektrum af forhold, f.eks. stigende krav om større sikkerhed, forventet nedskæring i arbejdsstyrken på anlæggene, udviklingen i brændselskredsløb i takt med variationerne i uranprisen, plutoniumopbygning og teknologiske muligheder.

Arbejdet med den næste generation efter ABWR begyndte i 1990. Designet bliver evolutionært og kaldes Improved Evolutionary Reactor, IER. Konceptet for en 1500 MWe reaktor er færdigt. Næste fase, som begyndte i 1996, retter sig mod yderligere optimering.

Hovedtrækkene, der karakteriserer IER, er:

- Store brændselselementer (kræver et nyt kontrolstavssystem)
- En kerne, der går næsten helt ud til tankvæggen, hvilket giver større effekt med samme tankdiameter
- Funktionelt layout af kontrolstavene, der grupperes i to typer: Fin- og grovkontrolstave, henholdsvis uden og med scramfunktion. Dette koncept er simplere og billigere end ABWR-designet
- Recirkulationssystem som ABWR
- Passivt system til køling af indeslutningen (se figur 8.3.)
- System til dæmpning af transienter.

8.3 Tungtvandsreaktorer

Tungt vand (D_2O) er vand, hvor brintatomkernerne består af en proton og en neutron. D_2O er et effektivt moderatormateriale med ringe tilbøjelighed til at indfange neutroner. Dette gør, at reaktorer, der modereres med D_2O, dels kan drives med naturligt (uberiget) uran, dels kan udnytte uranet effektivt, d.v.s. producere mere energi pr. kg naturligt uran end letvandsreaktorer. Det er især Canada, der har udviklet og fastholdt tungtvandslinien.

Den canadiske reaktor, CANDU (CANadian Deuterium Uranium), er både kølet og modereret med D_2O i en ret enestående reaktorkonstruktion, hvor det varme kølemiddel (og uranbrændslet) er indeholdt i vandrette trykrør, der er adskilt fra den kolde moderator ved koncentriske kalandriarør. Brændselsudskiftning sker under drift, hvilket bidrager både til den gode udnyttelse af brændslet og til en stor driftstilgængelighed (kortere nedlukningsperioder).

Canada har ikke blot bygget reaktorer til landets eget brug, men også eksporteret dem til en række lande (Argentina, Sydkorea, Indien, Pakistan og Rumænien), og har for nylig indgået aftale med Kina om levering af 2 reaktorer. Til brug i kapløbet om markedet for fremtidige, mindre reaktorer tilbyder Canada

nu typen CANDU-3 på 450 MWe, der i forhold til den hidtidige eksportmodel, CANDU-6 på 665 MWe, er noget enklere i opbygning og i højere grad baseret på fabriksfremstillede dele.

Dette, sammen med en modularisering af bygningerne (præfabrikerede moduler á max. 500 tons) sikrer en kort byggeperiode og en høj garanti mod fejl, og dermed en pris, der gør den konkurrencedygtig med større CANDU-enheder.

Også en større CANDU-type, CANDU-9, på ca. 1000 MWe er under udvikling i Canada. Denne type er en videreudvikling af 900 MWe reaktorerne i Darlington, Canada. Man satser også her på at gøre byggearbejdet på stedet så effektivt og hurtigt som muligt, og har lanceret princippet om "topmontering", d.v.s. at alle store komponenter skal kunne monteres ved hjælp af en meget kraftig kran.

Tungtvandsreaktorer er bedre end letvandsreaktorer til at udnytte plutoniumbrændsel. Canada har derfor foreslået brug af CANDU-enheder som plutoniumbrændere, dels for plutonium produceret i letvandsreaktorer (et udbrændt letvandsreaktorelement kan “køre videre” i en CANDU-reaktor), dels for militært plutonium fra demonterede A-våben.

8.4 Gaskølede reaktorer

Den gaskølede reaktor benytter, som navnet siger, en gas (CO_2 eller He) som kølemiddel. Som moderator benyttes sædvanligvis grafit, men også tungt vand har været benyttet.

Storbritannien var det første land, som målrettet satsede på en udbygning med kernekraft med gaskølede, grafitmodererede reaktorer. Det første kraftværk, Calder Hall, blev sat i kommerciel drift i 1956.

Den første generation af disse reaktorer kørte på naturligt uran, mens en senere version, den avancerede gaskølede reaktor (AGR), kræver beriget uran (2-3% ^{235}U).

Storbritannien er for tiden det eneste land, som i større omfang udnytter de gas-kølede reaktorer i sin energiforsyning. I de øvrige lande, som har bygget gaskølede reaktorer, har der været tale om relativt få reaktorer, som nu er lukket, bortset fra en enkelt i Japan, som snart vil blive lukket.

Storbritannien har i dag 20 reaktorer af første generation, de såkaldte Magnox-reaktorer, og 14 enheder af anden generation (AGR) i drift.

AGR'ernes driftspålidelighed er blevet væsentligt forbedret i de senere år.

8.5 Hurtigreaktorer

Hurtigreaktorer er reaktorer, hvor kædeprocessen forløber med hurtige neutroner.

Dette medfører at neutronproduktionen øges, hvorved konversionen af ikke-spalteligt materiale til spalteligt materiale (uran-238 til plutonium eller thorium-232 til uran 233) ligeledes øges.

Denne konversion kan blive så stor, at reaktoren fremstiller mere spalteligt materiale, end den forbruger. I så fald taler man om en formeringsreaktor. Det anvendte kølemiddel samt reaktorkernens konstruktionsmaterialer må naturligvis være stoffer, der kun i ringe grad nedbremser neutroner.

En anden fordel ved hurtige reaktorer er, at de effektivt kan omdanne radioaktivt affald med meget lange halveringstider til affald med væsentligt kortere halveringstider.

Hurtigreaktorer i drift[1]:

Frankrig, Superphenix	1242 MWe
Frankrig, Phenix	250 MWe
Kazakhstan, BN350	150 MWe (+ afsaltningsanlæg)
Rusland, BN600	600 MWe
Japan, Monju	280 MWe

Hurtigreaktorer under bygning:

Rusland, South Urals 1 (BN800)	800 MWe
Rusland, South Urals 2 (BN800)	800 MWe

Den japanske hurtige formeringsreaktor, Monju (FBR), som er et prototypeanlæg på 280 MWe, har været lukket ned siden december 1995, hvor en knækket termoelementlomme medførte en læk på 0,7 t flydende natrium fra det ene af de tre sekundære kølekredsløb. Ledelsen for projektet (PNC) prøvede først at dække over sagen, hvilket vakte en del politisk røre. Det har nu fået konsekvenser, idet PNC har fået en bøde på 200.000 yen. To ansvarlige personer hos PNC kræves begge idømt en bøde på 100.000 yen for at afgive falsk forklaring. PNC straffede selv inden for "huset" med midlertidige lønnedsættelser m.v.

Den 3. marts startede et 10 måneders generelt inspektionsprogram, som bl.a. omfatter 39 termoelementer i det primære kredsløb. Det er i øjeblikket umuligt at sige, om anlægget kan genstartes som planlagt i marts 1998.

Den franske Superphenix, verdens største formeringsreaktor, har været lukket ned siden 24. december 1996 for 10-årligt eftersyn samt udskiftning af reaktorkernen til en ny, modificeret kerne.

Der er imidlertid opstået vanskeligheder med at få tilladelse til genstart af reaktoren, da den franske administrative højesteret den 28. februar inddrog den drifts-tilladelse, der blev givet i 1994. Inddragelsen er begrundet med, at driftstilladelsen udelukkende drejede sig om elproduktion, medens man nu også vil anvende reaktoren til forskning inden for destruktion af radioaktivt affald.

Den borgerlige regering besluttede at udstede licens for Superphenix som industriel prototype med tilladelse til at udføre forskning, men man undlod at underskrive tilladelsen, da parlamentsvalget var umiddelbart forestående.

Den nye, socialistiske regering har som erklæret mål at lukke Superphenix, men den har mødt betydelig modstand, jfr. afsnit 7.1.

Phenix-reaktoren (på 250 Mwe) har været lukket ned siden april 1995. Anlægget har været gennem et omfattende fornyelsesprogram og skulle være startet op. En ekspertgruppe fra de franske tilsynsmyndigheder har imidlertid bedt om yderligere undersøgelser vedrørende styrken i kernens understøtninger, samt anlæggets evne til at modstå seismiske rystelser efter de nye normer. Der er især rejst tvivl om, hvorvidt kernens understøtninger kan inspiceres regelmæssigt. Ejeren af Phenix-reaktoren (CEA) ønsker at køre reaktoren i yderligere 10 år.

Phenix-reaktoren er et vigtigt led i et projekt, der skal demonstrere, at afbrændingen af overskydende plutonium og transformation af langlivede actinider til mere harmløse stoffer bedst sker i en hurtigreaktor.

Rusland og Kazakhstan er for tiden de eneste lande, der kører med store hurtigreaktorer for elproduktion, idet de to russiskbyggede natriumkølede hurtigreaktorer BN350 og BN600 stadig operer med høj driftspålidelighed.

[1] Kun BN350 og BN600 kører rutinemæssigt. De andre er lukket ned på ubestemt tid.

Den 26 år gamle BN350 i Kazakhstan gennemgik en større renovering i 1995, og der sigtes nu mod en levetidsforlægelse på 10 år.

Efter indførelsen af nye, forbedrede dampgeneratorer er anlægget opgraderet til 759 MW termisk effekt. Derved har den elektriske effekt kunnet hæves fra 90 MWe til 150 MWe.

BN600 (Beloyarski 3) på 600 MWe blev taget i brug i 1980, og den er den største hurtigreaktor, der har været i drift i en længere årrække. Den høje driftspålidelighed er fortsat gennem 1997. Dette gør Rusland til en førende nation inden for hurtigreaktorområdet.

Bygningen af to nye hurtigreaktorer, South Ural 1 og 2, hver på 800 MWe (type BN800), blev afbrudt ved Sovjetunionens sammenbrud p.g.a. manglende finansielle ressourcer. Reaktorerne ligger nær Ozersk (tidligere Chelyabinsk). Deres færdiggørelse synes temmelig usikker.

Derimod synes planerne om at bygge en BN800-enhed ved siden af BN600 i Beloyarsk mere realistiske, idet finansieringen af denne enhed hævdes at være på plads.

Rusland forventer at kunne afbrænde og nyttiggøre tiloversbleven våbenplutonium med disse nye anlæg.

BN800 er stort set en opskalering af BN600, og driftspålideligheden forventes at blive mindst lige så god.

Indien videreudvikler sit formeringsreaktorprogram og vil over de næste 5 år bruge 130 millioner US $ på udviklingen af en prototype natriumkølet hurtigreaktor på 500 MWe.

I Kalpakkan har Indien i øjeblikket en 13 MWe Fast Breeder Test Reactor (FBTR) kørende. Reaktoren, der startede op for 12 år siden, vil nu for første gang blive forsynet med fertilt materiale (Th-232) i periferien af kernen.

Den nye Kamini reaktor, der også er placeret i Kalpakkan, nåede fuld effekt på 30 kW i september. Det er en forsøgsreaktor, der udelukkende kører på uran-233, som er fremstillet af thorium-232.

9 Udviklingstendenser inden for brændselskredsløbet

9.1 Uranproduktion og -pris

Fordelingsmønstret for verdens uranproduktion er stort set uændret, men udsigterne for producenterne er ikke så gunstige som tidligere. Canada og Australien er fortsat de største producenter med omkring 45% tilsammen.

Udsigterne for uranproducenterne er blevet mere ugunstige, fordi aftagernes fornemmelse af en mangelsituation er bortvejret bl.a. på grund af en aftale mellem USA og Rusland om, at USA skal købe 150 t højt beriget uran (HEU) af Rusland, og klarhed m.h.t., hvordan denne mængde skal indsluses i markedet. Ændringen afspejles i et fald i U_3O_8-prisen fra $ 16.60 pr. lb (1996) til $ 10.50 pr. lb (1997). Desuden har tidligere hamstring givet en vis mætning.

Indslusningen af ovennævnte HEU mængde er nu aftalt i større detalje. Bl.a. skal Ruslands kapacitet for nedblanding af HEU til lavt beriget uran (LEU) gradvis øges fra 12 t pr. år i 1996 til 30 t pr. år i 1999. Forholdene kompliceres dog af, at eventuel “feed” kompensation, d.v.s. levering af U_3O_8 fra USA til Rusland i en mængde, der svarer til, hvad der er brugt af U_3O_8 til at fremstille

det berigede uran, endnu ikke er aftalt og af, at det nedblandede materiale har større indhold af U-234-isotopen end naturligt uran. Dette kan give helsefysiske problemer ved fremstillingen af brændselselementerne. Den første leverance til Tennessee Valley Authority af en mængde LEU svarende til brændslet i to reaktorkerner er dog på plads som en prøveleverance for materiale, der ligger udenfor standardspecifikationerne.

Af betydning for markedet er også en aftale om, at USA's energiministerium skal overføre en større mængde U_3O_8 til berigningsselskabet USEC, hvis privatisering forventes at blive en realitet i 1998.

De tidligere annoncerede, nye projekter i Canada og Australien er stadig ikke kommet i gang, men udvidelse af produktionen på eksisterende miner i Australien fortsætter. Canada fortsætter med at være verdens største producent af U_3O_8 og påregnes at fortsætte hermed i det næste årti.

Lagrene er fortsat rigelige. For den vestlige verden svarer de til 3,6 gange 1997 forbruget, mens 2,75 gange årsforbruget antages at være en sikker nedre grænse. Hvis Kina og Rusland samt reserverne hos USA's energiministerium medtages i regnestykket, bliver marginen endnu større.

Alligevel regner man med, at der indenfor en 8 års periode må ske en væsentlig forøgelse af produktionskapaciteten.

9.2 Uranberigning

Berigningsmarkedet afventer en afklaring af fremtidige priser. Privatisering af USEC vil bidrage hertil.

Stigende leverancer fra Rusland af nedblandet HEU vil dominere markedet over den næste dekade, idet omfanget forventes at svare til 20-25% af markedet.

Dette vil påvirke udbygningsplanerne for eksisterende leverandører og gøre det vanskeligere at indføre ny, avanceret teknologi. En yderligere usikkerhed for markedet findes i USA, hvor en del af kernekraftværkerne risikerer at blive lukket ned på grund af deregulering af el-markedet.

Ovennævnte vil især påvirke USEC, da det drejer sig om dets hjemmemarked.

Det eneste marked med stærk projekteret vækst er det asiatiske, og der forventes stærk konkurrence om dette.

I forhold til et afventende marked i 1996, er aktiviteten stigende i 1997, og stigningen forventes at fortsætte, efterhånden som el-værkerne begynder at tegne kontrakter for perioden efter år 2000.

Delingen af markedet mellem de primære leverandører er stort set som tidligere: USEC 40% (USA), Eurodif 22% (F), Tenex 22% (Rusland), Urenco 9% (UK, D, NL). De resterende 7% deles mellem diverse leverandører. Tendensen synes især på det amerikanske marked at gå mod korttidskontrakter med større fleksibilitet med hensyn til mængder.

Hvad angår nedblanding af HEU, arbejder USA på to fronter: dels fødes HEU på gasform ind i eksisterende diffusionsanlæg, hvor det blandes med uran med væsentlig lavere uran-235-indhold, dels foretages mekanisk nedblanding.

Russisk HEU er stadig en kraftig konkurrent, men nogen stabilitet indtrådte, da der blev truffet en aftale mellem USEC og MINATOM med hensyn til leveringer frem til år 2001, og med hensyn til priser. Leveringer fra Minatom har dog været noget usikre på grund af udestående problemer.

USEC forventer at holde begge diffusionsanlæg i drift til år 2005, men dette afhænger naturligvis af de el-priser, eventuelle nye ejere kan få aftalt på det deregulerede amerikanske marked. Desuden kan der blive problemer med lønsomheden af driften af de efterhånden gamle anlæg.

Eurodif er i en lidt bedre position med hensyn til anlæggets tilstand, så driften påregnes sikret, i hvert fald til år 2010 (anlæggene er mindre end tyve år gamle og forsynes fra næsten afskrevne kraftværker).

Urenco øger stadig kapaciteten ved at tilføje nye centrifuger, og er i en god konkurrenceposition. Kapaciteten øges for at svare til nye ordrer og er p.t. 3,2 mio. SWU pr. år.

Tenex fortsætter med en stor overkapacitet på sine centrifugeanlæg (10 mio. SWU), og vil blive en alvorlig trussel for de øvrige leverandører.

Louisiana Energy Service arbejder stadig på at gennemføre godkendelsesprocessen for et nyt berigningsanlæg, men møder store problemer.

Fremtidens berigningsmetoder ser fortsat ud til at være laser- og centrifugeteknik. En milepæl er nået med hensyn til laserteknik, idet USA har gennemført et fuldskala forsøg over mere end 400 timer.

9.3 Oparbejdning eller direkte deponering af brugt brændsel

De beslutninger, som forskellige kernekraftproducerende lande har taget om at gå ind enten for oparbejdning eller for direkte deponering af det brugte brændsel, afhænger af tekniske, økonomiske, sikkerhedsmæssige, historiske og rent politiske forhold.

Hensigten med oparbejdning er at kunne udnytte restenergien, der er tilstede i form af ikke fissioneret uran og plutonium i brugt brændsel, men oparbejdning og genforarbejdning til nyt brændsel er kostbar og kræver langtidsinvesteringer i store, teknisk komplicerede anlæg. Den økonomiske fordel ved oparbejdning, også kaldet reprocessing, er derfor tvivlsom, i hvert fald på kort sigt. I et større perspektiv og set fra et ressourcebevaringssynspunkt er det uheldigt, hvis man ikke udnytter restenergien, men kasserer brugt brændsel efter kun een tur gennem reaktoren.

Historisk set er oparbejdning af kraftreaktorbrændsel udviklet ud fra metoderne til udvinding af plutonium til militære formål. Også ved industriel oparbejdning isoleres uran og plutonium i ren form, hvad der i princippet øger muligheden for misbrug, selv om kraftreaktorplutonium ikke er særlig anvendeligt til bombeformål. IAEA fører en indgående kontrol med anlæggene for at sikre, at plutonium ikke "forsvinder". Alligevel er ikke-spredningsproblematikken den officielle begrundelse for USA's politik om selv at undlade oparbejdning og (navnlig) at forsøge at påvirke andre lande til at gøre det samme.

Udbygning af de to store europæiske oparbejdningsanlæg, La Hague i Frankrig og Sellafield i England er imidlertid fortsat uden hensyn hertil. Japan er ved at bygge et stort anlæg og også i Rusland fortsætter oparbejdning af kraftreaktorbrændsel. I Tyskland kan de amerikanske synspunkter have medvirket til at man undlod at bygge eget oparbejdningsanlæg, men her er der nok lige så meget tale om politisk pres.

I Sellafield har THORP-anlægget (THermal Oxide Reprocessing Plant) til kommerciel oparbejdning af bl.a. japansk kraftreaktorbrændsel i 1997 fået sin endelige driftstilladelse efter at have været i drift siden 1994. Anlægget kører nu på fuld kapacitet. Ældre systemer til oparbejdning af brændsel fra de engelske kraftværker er også i drift og vil blive renoveret i de kommende år. Det magnesium indkapslede brændsel fra Magnox-reaktorerne tåler ikke langtidsoplagring, og det er en teknisk begrundelse for, at englænderne har holdt fast i oparbejdningsmuligheden. I de forløbne år er der investeret store beløb i at nedbringe udslippene til det Irske hav. Kysten ved Sellafield er uden tvivl no-

get forurenet, men påstande om væsentlige skadevirkninger har ikke kunnet stå for nærmere prøvelse. Greenpeace er nylig i Holland idømt en større bod samt blevet pålagt at korrigere uberettigede påstande.

Også de to produktionslinier i La Hague kører på fuld kapacitet samtidig med, at der arbejdes på at forbedre miljø og sikkerhed. Udslippene til den Engelske Kanal er således reduceret fra 940 TBq for 160 t brændsel oparbejdet i 1980 til 53 TBq for 1560 t oparbejdet i 1995. I 1996 oversteg den oparbejdede mængde den nominelle kapacitet på 1600 t/år. En længere juridisk strid med Greenpeace om udslippene til havet er faldet ud til anlæggets fordel: Udslippene er fundet at ligge inden for godkendte grænser.

Tilsammen kan der i England, Frankrig og Rusland samt på forskellige mindre anlæg, bl.a. i Japan, oparbejdes 3000 til 4000 t brugt brændsel om året Det svarer til udvinding af henved 30 t kraftreaktorplutonium om året. Affald og udvundet plutonium returneres til oprindelseslandet I modsætning til tidligere år har der ikke været væsentlige demonstrationer i forbindelse med sådanne transporter fra England til Japan.

På det lille ca. 20 år gamle japanske oparbejdningsanlæg Tokaï-Mura var der i begyndelsen af 1997 et uheld i form af en brand og efterfølgende eksplosion i et bitumenanlæg, der bruges til at bringe mellemaktivt affald på fast form. Udslippene var små og der var ingen personskader, men uheldet blev sat til klasse 3 på INES skalaen. Franskmændene har tidligere brugt bitumen til tilsvarende formål, men er nu ved at gå bort fra metoden. De har medvirket ved konstruktion af det japanske anlæg, men har fralagt sig ansvaret for bitumenanlægget.

Man kan også diskutere fordele og ulemper ved oparbejdning ud fra andre synsvinkler. Der er således ingen tvivl om, at langtidstoxiciteten af deponeret brændsel er højere end for det højaktive affald fra oparbejdning af en tilsvarende mængde brændsel, dog forudsat at det er muligt at bortskaffe det udvundne plutonium.

Til dette formål har interessen i de senere år koncentreret sig om såkaldt MOX-brændsel fremstillet ud fra en blanding af uran- og plutoniumoxid med henblik på brug i almindelige kraftreaktorer. Store industrielle anlæg til fremstilling af MOX-brændsel er i drift i Frankrig (MELOX, MELange d'OXides) eller næsten klar til brug i England (SMP, Sellafield MOX Plant). Inklusive mindre anlæg (og eksklusive det store produktionsanlæg, Tyskland havde påbegyndt, men nu har opgivet) giver det en samlet kapacitet på ca. 320 t MOX-brændsel/år ved årtusindskiftet. Det skønnes tilstrækkelig til at dække markedets nuværende behov, men en udbygning er nødvendig, hvis man skal formindske plutoniumoplagringen. En udbygning er allerede planlagt i Frankrig. Også Japan går ind for kommerciel brug af MOX-brændsel.

I USA synes man at være på vej til at opgive modviljen mod brug af MOX-brændsel. Her er motivationen imidlertid, at man ellers ville mangle en rationel metode til bortskaffelse af overskudsplutonium fra demonterede kernevåben. Rusland har også lagt vægt på, at energien i det frigjorte våbenplutonium bliver udnyttet. Man råder ikke over faciliteter til MOX-fremstilling, men kombinationer af franske, tyske, belgiske eller japanske firmaer er interesserede i at bidrage til bygning af anlæg i Rusland (se også afsnit 2).

Avancerede oparbejdningsmetoder er en forudsætning for en mere vidtdrevet oprensning med henblik på at reducere langtidstoxiciteten af højaktivt affald Det kan gøres ved at fjerne de langlivede isotoper samt restindhold af plutonium og uran, men prisen er en betydelig komplikation, idet det vil medføre en fordyrelse af oparbejdningen. Oprensningen har kun mening, hvis der eksisterer muligheder for at destruere de udvundne, langlivede isotoper. I princippet er dette muligt ved såkaldt transmutering, men bestråling i almindelige kraftreaktorer er ikke tilstrækkelig. Der må anvendes hurtige reaktorer eller

særlige anlæg evt. baseret på acceleratorer. Forskning inden for området finder sted navnlig i Frankrig og Japan. EU har i 1997 udgivet en sammenfattende rapport over forskning på området. Jfr. i øvrigt "International kernekraftstatus" 1996.

Sverige er prototypen på et land, hvor man tidligt satsede på direkte deponering af brugt brændsel. Begrundelsen var dels, at man derved blev uafhængig af at købe oparbejdning i udlandet, dels at man tilbage i 70'erne skønnede, at det på den måde var lettere opfylde det politiske krav om dokumentation af en teknisk gennemførlig metode for deponering af højaktivt affald fra de svenske kraftværker. På det seneste ser svenskerne imidlertid ud til at acceptere oparbejdning af en mindre mængde brændsel som følge af kontrakter indgået med BNFL i slutningen af 60'erne.

For at kortlivet aktivitet kan falde hen, mellemlagres brugt brændsel rutinemæssigt på kraftværkerne, men selv om lagerkapaciteten har kunnet udbygges, er lagrene generelt ved at være fulde. I lande, der ikke går ind for oparbejdning, foretrækker man centrale depoter som f.eks. CLAB (Centralt Lager för Anvendt Brändsle) ved Oscarshamn i Sverige. Et sådant lager kan evt. oprettes i tilknytning til et fremtidigt slutdepot, som ved Gorleben i Tyskland. I USA er situationen præget af en juridisk konflikt mellem Department of Energy (DoE) og kraftværkerne, hvor staten, repræsenteret ved DoE, lovmæssigt er forpligtiget til at overtaget det brugte brændsel fra begyndelsen af 1998. Da DoE ikke råder over midlertidige lagre eller en godkendt deponeringsfacilitet, kommer DoE formodentlig til at betale erstatning til kraftværkerne. Der arbejdes med planer for et centralt mellemlager i Nevada nær det planlagte slutdepot i Yucca mountain.

En teknisk måde til at omgå lagerkapacitetsproblemerne er de såkaldte Multi Purpose Canister systemer. Forskellige udformninger er udviklet i USA og andetsteds med henblik på, at samme container kan bruges til mellemlagring, transport og senere slutdeponering af det brugte brændsel. Mellemlagring sker tørt, uden kunstig køling og evt. udendørs, men afskærmet af en tykvægget betoncylinder. Systemet minder om, hvad der i mange år har været brugt til oplagring af brændsel fra nogle af de canadiske CANDU reaktorer.

I Rusland har man tilsvarende problemer. Der arbejdes med planer om en ny mellemlagringsfacilitet for RBMK-brændsel på Novaya Zemlya . For VVER brændsel er der oplagringsplads i Zheleznogorsk nær Krasnoyarsk for den del af brændslet, der ikke bliver oparbejdet i Mayak-anlægget i Chelyabinsk. En del brugt ubådsbrændsel , der burde være på vej til oparbejdning, er oplagret i udtjente skibe under sikkerhedsmæssigt utilfredsstillende former.

9.4 Nedlægning af nukleare anlæg

Når nukleare anlæg er udtjente, skal de bortskaffes på betryggende vis. Det har man efterhånden en del erfaring med, og nedlægning (dekommissioning) gennemføres nu som mere eller mindre kommerciel servicevirksomhed.

Det er naturligvis væsentligt, at der i tide under det nukleare anlægs drift er samlet midler til at betale for nedlæggelsen . Det gøres i de fleste lande ved at henlægge en del af indtjeningen i specielle fonds, der skal dække langtidsudgifterne til nedlæggelse samt slutdeponering af affald. For et nukleart kraftværk skønnes nedlæggelse typisk at komme til at koste ca. 1/3 af anlægsudgiften. Omregnet til afgift pr. produceret kW-time bliver langtidsudgifterne kun nogle få øre inklusive evt. oparbejdning og deponering af alt affald.

Europæiske erfaringer fra en række større og mindre nedlægningsprojekter er blevet sammenfattet i en håndbog for decommissioning. EU's koordinerede

virksomhed inden for området er stort set ophørt, vel mest fordi der ikke længere er behov for forskning, men mere for industriel udvikling. Inden for OECD's Nuclear Energy Agency (NEA) sker der også udveksling af erfaringer med praktisk nedlægning. En nylig udgivet oversigt omfatter 35 projekter rundt omkring i verden, såvel med reaktorer som med produktionsfaciliteter inden for det nukleare brændselskredsløb.

Mange flere faciliteter - herunder en del forskningsreaktorer - er taget ud af drift og befinder sig på forskellige stadier af nedlæggelse. Et mindre antal er blevet helt fjernet, så området eller bygningerne har kunnet frigives til andet brug. Et eksempel er Fort St. Vrain i USA, en 330 MWe højtemperaturreaktor, der var i drift fra 1976-89, og hvor bygningerne nu bruges til et gasfyret kraftværk. Nedbrydning af to større, europæiske reaktorer er også langt fremme: Gundremmingen Unit A, en 250 MWe BWR i Tyskland og en 33 MWe AGR i Windscale i England. I begge tilfælde er man i gang med fjernelsen af de indre mest radioaktive dele til dels under brug af robotudstyr. Intet i de hidtidige erfaringer tyder på at nedlægning giver uløselige problemer. BNFL (British Nuclear Fuel Limited) har nyligt meddelt, at man også vil gå i gang med nedbrydning og fjernelse af defekt brændsel fra kernen i den gamle plutoniumproducerende Windscale Pile One, der blev beskadiget ved en brand i grafitten i 1957. En række andre nedlægningsaktiviteter er i gang på Sellafield-området for at rydde op i forældede oparbejdnings- og oplagringsfaciliteter. Nedlægning af BNFL's uranberigningsdiffusionsanlæg i Capenhurst er afsluttet. Ud af 160 000 t metal og beton kunne 99,3 % frigives til almindelig genbrug.

Nedlægning af nyere kraftreaktorer i 1000 MWe-klassen er endnu ikke udført, fordi de stadig er i drift. Fra omkring årtusindskiftet og frem til 2030 vil der imidlertid hvert år være henved 10 store anlæg, der når 40-års alderen. På dette tidspunkt skal de enten nedlægges eller renoveres med henblik på fortsat drift. Ved nedlægning skal de henstå i nogle årtier, for at kortlivet aktivitet kan falde hen. Der er ikke tvivl om, at der vil blive et stort marked for nedlægning af reaktorer i det kommende århundrede.

Ligesom bygning af et nyt nukleart anlæg er nedlægning og nedbrydning af anlægget et stort projekt, der strækker sig over en årrække og kræver grundig planlægning. Ud over praktiske metoder til at skille anlægget ad samt kendskab til, hvordan det er sat sammen, vil der være behov for omfattende måleprogrammer, foranstaltninger til modvirkning af stråledoser samt procedurer for affaldsbehandling og -bortskaffelse. I den forbindelse er det vigtigt med regler for, hvornår materialer fra de nedlagte installationer kan betragtes som inaktive, så de kan genbruges eller behandles som inaktivt affald. EU har i 96 vedtaget et nyt strålingsbeskyttelsesdirektiv, der bl.a. indeholder grænseværdier til brug i denne sammenhæng. Praktisk implementering af reglerne er imidlertid fortsat op til de nationale strålingsbeskyttelsesmyndigheder.

Tilsvarende regler er der i høj grad brug for i forbindelse med udbedring af skader som følge af fortidens forsømmelser. Ofte drejer det sig om gamle anlæg til militær håndtering af plutonium og andre radioaktive stoffer. Eksemplerne er mange i Rusland, USA og andre lande. Der kan også være tale om eftervirkninger fra store ulykker, med Tjernobyl som det mest kendte eksempel , om uheldige former for affaldsdeponering, eller om skader fra uranudvinding eller anden form for minedrift. De berørte områder kan være betydelige, men til gengæld er de i reglen kun svagt radioaktivt forurenede.

9.5 Deponering af lav-, mellem- og højaktivt affald

På grund af henfaldet aftager muligheden for skadevirkning fra radioaktivt affald, efterhånden som tiden går. Det er derfor næsten kun de langlivede isotoper, der er af betydning for sikkerheden ved deponering af radioaktivt affald. Det betyder imidlertid ikke, at tilstedeværelsen af langlivede isotoper gør affaldet specielt farligt: I kemisk affald, der er meget giftig, forsvinder de giftige stoffer aldrig, og her er der ingen tradition for at betragte det som et specielt problem.

Radioaktivt affald kan løseligt opdeles i lav-, mellem- og højaktivt affald. En opdeling i kortlivet og langlivet affald er også almindeligt brugt. Langlivet affald er i mange tilfælde det samme som alfa-radioaktivt affald, d.v.s. hovedsagelig affald, der indeholder plutonium og andre tunge kerner.

Højaktivt affald kan være brugt brændsel , hvis dette ikke skal oparbejdes, eller glas og andet mineralsk materiale, der er brugt til at bringe fissionsprodukter m.m. på fast form, efter at uran og plutonium er ekstraheret under oparbejdningen af brændslet. Omdannelse til glas foretages i Frankrig og England samt i et vist omfang i Japan, USA og Rusland. I lighed med brugt brændsel sættes højaktivt glas på lager, idet intet land råder over godkendte deponeringsfaciliteter for affaldet. Ved højaktivt affald må der tages hensyn til varmeudvikling fra de radioaktive stoffers henfald.

Mellemaktivt affald indeholder meget mindre aktivitet, og varmeudviklingen er som oftest uden betydning. Derimod kræves der afskærmning eller fjernbetjening for at begrænse strålingsdoserne til operatørerne. Komponenter, der har befundet sig længere tid nær kernen i en reaktor, må ofte klassificeres som mellemaktivt affald p.g.a. neutronaktivering. Det gælder således affald fra de indre dele af nedlagte reaktorer. Oparbejdning giver også mellemaktivt affald i form af bitumen- eller cementindstøbt materiale. Tendensen er imidlertid - i hvert fald i Frankrig - at søge at minimere fremkomsten heraf. Det gøres ved oprensning, så mest muligt af aktiviteten kan indgå som et lille bidrag til det højaktive affald, mens hovedparten af materialet bliver til lavaktivt affald.

Lavaktivt affald indeholder så lidt aktivitet, at det kan håndteres uden særlige beskyttelsesforanstaltninger. Særlig lavaktivt affald kan indeholde så lidt aktivitet, at det i princippet kunne behandles som almindeligt ikke-aktivt affald. Det kræver imidlertid myndighedernes accept og omfattende dokumentation af, at aktivitetsindholdet virkelig ligger under accepterede grænseværdier.

Affald fra uranminedrift og fra anden industriel virksomhed, der fører til spredning af naturligt forekommende radionuklider, opfattes som en særlig kategori, idet det er meget lavaktivt, men også meget langlivet og voluminøst.

Der er almindelig enighed om at højaktivt affald og mellemaktivt affald med væsentligt indhold af langlivede isotoper skal bortskaffes ved dyb geologisk deponering, d.v.s. anbringelse i mindst nogle hundrede meters dybde i en stabil geologisk formation med ringe vekselvirkning med overfladen, herunder ringe vandgennemstrømning. Omfattende undersøgelser af krystallinsk klippe (Sverige, Finland , England , Frankrig, Canada), tuf (USA), salt (Tyskland, USA) og ler (Belgien) er foretaget for at dokumentere anvendelighed. Problemet er imidlertid ikke så meget at dokumentere sikkerheden på kort og langt sigt som at opnå lokal accept af brugen af netop dette område til formålet.

I Finland er de nukleare kraftværker gået sammen i et særligt firma, der skal lokalisere fire steder til nærmere undersøgelse. I Sverige føler SKB (Svensk Kärnbränslehantering AB) sig forsigtigt frem efter forskellige lokaliseringsforsøg med negativt resultat. I England blev det foreslåede lager for langlivet, mellemaktivt affald i undergrunden nær Sellafield efter omfattende høringer kasseret ved en juridisk procedure i begyndelsen af 1997. Den ansøgte for-

søgsfacilitet til undersøgelse af undergrunden blev anset for en forløber for et egentligt depot i en formation, hvis egnethed måske var dårligere end andetsteds. Det blev påstået, at pladsvalget primært var bestemt af en forventelig velvillig lokalbefolkning omkring Sellafield. Både før og efter afgørelsen har der været omfattende kritik af den ansvarlige organisation NIREX (Nuclear Industry Radioactive Waste Executive), der sandsynligvis nu vil blive omdannet.

I Frankrig arbejdes der på at få lokaliseret et eller flere underjordiske laboratorier. Den offentlige diskussion i forbindelse hermed har påvirket opinionen, der er mere negativ end tidligere til affaldsproblemet : to ud af tre betragter det som 'meget farligt' at bo mindre end 10 km fra et slutdepot. Kun 70 % mod tidligere 75 % anser det for nødvendigt, at Frankrig finder en løsning på deponeringsproblemet, og kun 51 % går ind for dyb geologisk deponering. Mest tankevækkende er det måske, at hele 67 % finder eksperternes forklaringer 'helt uforståelige'.

I Canada har man gennem flere år evalueret forslag til deponering i granit, bl.a. på grundlag af erfaringer fra Whiteshell-laboratoriet. I USA er tunnelen, der er ført gennem de tørre tuf-formationer i Yucca mountain i Nevada boret færdig. Også her er der officielt tale om foreløbig karakterisering , men der sigtes ret målrettet mod at deponere USAs brugte brændsel her . I USA forventes WIPP (Waste Isolation Pilot Plant), der er anlagt i en saltformation i New Mexico, at kunne tages i brug til transuran-forurenet, militært affald i begyndelsen af 1998. Undersøgelserne af Gorleben-salthorsten i Tyskland er stadig plaget af politisk obstruktion, mens belgierne fortsætter deres internationale samarbejdsprojekter i den eksperimentelle facilitet i lerformationen under Mol. Her har man aldrig lagt skjul på, at hensigten er at udvikle faciliteten til et egentligt depot.

De ovennævnte faciliteter er beregnet til højaktivt eller langlivet mellemaktivt affald.

Ved lavaktivt eller kortlivet mellemaktivt affald er der ikke behov for så store sikkerhedsforanstatninger. Depoterne var tidligere meget primitive, men i de senere 10-20 år er man gået over til systemer med beton- eller lerbarrierer, der tager sigte på at forhindre eller begrænse udslip fra lagrene. IAEA har for nylig publiceret en oversigt omfattende alle depoter for lav- og mellemaktivt affald, der er eller har været i drift. Det drejer sig om mere end 100 fordelt på 39 lande over hele jorden. Hertil kommer ca. 42 planlagte installationer fordelt på yderligere 17 lande.

Lokaliseringen af lavaktive lagre er også besværlig, som erfaringen fra USA viser. Her har man gennem adskillige år ført retssager om beliggenhed og godkendelse af nye lagre. USA har også ældre lagre, hvoraf mange imidlertid i praksis er eller er ved at blive lukket.

I Rusland og det øvrige Østeuropa er der mange lagre, hvoraf de fleste er i brug, men hvor der kan være behov for opdaterede sikkerhedsvurderinger. I øvrigt er der også behov for nye faciliteter til at tage vare på oprydningsaffald. En speciel situation eksisterer omkring Tjernobyl, hvor ikke mindre end 77 primitive lagre er blevet brugt til affald fra oprensning af omgivelserne omkring den ulykkesramte reaktor.

I Kina planlægges fire lagre, hvoraf et er under bygning. Tilsvarende er der lagre på vej i Korea, Indonesien og Pakistan. Hertil kommer de 5, der allerede findes i Indien, og Rokkasho-anlægget i Japan. Taiwan er interesseret i et tilbud fra Nordkorea om at bruge deres lager med hvad dette indebærer af politiske komplikationer .

Situationen i Europa fremgår af EU-kommissionens 4. rapport 'vedrørende den nuværende situation og udsigterne for håndtering af radioaktivt affald i den

Europæiske Union'. Den beskriver typer af radioaktivt affald, behandling, oplagring og deponering, sikkerhed, omkostninger, ansvarlige organisationer, affaldspolitik i EU og medlemslandene, samt opkomsten af radioaktivt affald fra ikke-nuklear virksomhed.

Spørgsmålet om regionale depoter bliver kun indirekte berørt, selv om et samarbejde mellem flere lande omkring et fælles depot ville ligge naturligt for EU og kunne indebære betydelige fordele ikke mindst for små lande. Modviljen mod regionale depoter skyldes hovedsagelig vanskelighederne ved at opnå accept af lokaliseringen af de planlagte nationale lagre, et problem der skønnes at blive endnu større, hvis lageret også skal indeholde 'fremmed' affald. En sådan 'servicevirksomhed' kunne imidlertid indebære betydelige økonomiske fordele for alle parter.

Den europæiske kernekraftproduktion har indtil nu givet anledning til deponering af ca. 18 mio. m^3 lav og mellemaktivt affald, væsentligst i Frankrig og England. Endvidere er der oplagret 250 000 m^3 affald bestemt for dyb deponering. Heraf er kun ca. 5 % højaktivt affald og brugt brændsel. Det skal bemærkes, at man gennem de senere år er blevet meget bedre til at reducere affaldsrumfanget. Danmarks bidrag til det oplagrede affald består i ca. 1000 m^3, der stammer fra forskning og anden brug af radioaktive isotoper.

Internationalt kan det endvidere nævnes, at IAEA i 1997 har færdigforhandlet sit forslag til 'Konvention for affaldshåndtering', der nu er fremlagt til ratificering.

APPENDIKS A: INES, den internationale skala for uheld på nukleare anlæg

På foranledning af blandt andet det Internationale Atomenergi Agentur (IAEA) i Wien blev der i 1990 vedtaget en international "Uheldsskala" for uheld på nukleare anlæg som f. eks. kernekraftværker, forskningsreaktorer, nukleare brændselsfabrikker og andre anlæg, der indeholder betydelige mængder radioaktivitet. Alle "uheld" på sådanne anlæg opdeles i klasser, der dækker fra klasse 0 til 7. Hændelser, der ikke har haft nogen egentlig sikkerhedsmæssig betydning, rubriceres i klasse 0; meget alvorlige uheld med udslip af store mænger radioaktivitet hører derimod til klasse 7. Havariet på Tjernobyl 4 i 1986 er det hidtil eneste i klasse 7.

Alle betydende lande har tilsluttet sig den pågældende opdeling i klasser, som kaldes "The International Nuclear Event Scale" eller blot INES. Der findes en omfattende beskrivelse af, hvorledes hændelser eller uheld på nukleare anlæg skal indplaceres på skalaen. Sædvanligvis er produren, at man på det anlæg, hvor hændelsen er sket, indsender en beskrivelse af det skete til IAEA i Wien med en foreløbig angivelse af uheldsklassen. Sikkerhedsmyndighederne i det pågældende land kan efterfølgende ændre på klassificeringen, hvis man finder en anden klasse mere korrekt. Der sker jævnligt sådanne justeringer, både i opad- og i nedadgående retning. Fra IAEA sendes der oplysning om indregistreringerne til alle nukleare sikkerhedsmyndigheder over hele verden. Disse kan så vurdere, om der kan ske tilsvarende hændelser i deres lande, og om sikkerhedsbestemmelserne skal skærpes.

I sammenfattet form dækker de enkelte klasser følgende:

- Klasse 7 [Katastrofe]: Her skal der være sket et udslip omfattende en stor del af en reaktorkernes indhold af radioaktivitet resulterende i en udbredt forurening, der kan give senere helseskader i form af kræft. Desuden dækker klassen udslip med risiko for så store strålingsdoser til mennesker, at strålingssyge kan forekomme.

Tjernobyl-havariet i 1986 hører til i klasse 7.

- Klasse 6 [Alvorligt uheld eller ulykke] : Her skal der være sket et mellemstort udslip af radioaktivitet fra en skadet reaktorkerne. Hvis beredskabsforanstaltninger har været indført i tide, har man formentlig kunnet undgå, at et klasse 6 uheld resulterer i strålingssyge i omegnen. Nukleare uheld i klasse 6 er ikke hidtil indtruffet.

- Klasse 5 [Uheld eller ulykke med risiko for omgivelserne]: Klassen dækker bl.a. uheld med udslip af mere begrænsede mængder radioaktivitet, der dog nødvendiggør gennemførelse af dele af en beredskabsplan - f.eks. "Gå inden døre" - og efterfølgende begrænsninger for landbrugsproduktionen. Windscale-branden i 1957 er et eksempel på et klasse 5 uheld. Havariet af reaktor 2 på Tremileøen i Pennsylvanien i 1979 er også et eksempel på klasse 5. Her blev der frigivet betydelige mængder radioaktivitet inde i den lufttætte bygning om reaktoren. Der var således en vis risiko for, at betydningsfulde mængder radioaktivitet kunne være sluppet ud.

- Klasse 4 [Uheld med skader, der overvejende berører selve anlægget]: Typisk kan et klasse 4 uheld vedrøre en væsentlig beskadigelse af reaktorkernen. På værket kan en lille del af personalet udsættes for livstruende strålingsdoser. Evt. kan et klasse 4 uheld resultere i lokale begrænsninger for landbrugsproduktionen.

I 1980 skete der ved Saint Laurent i Frankrig et klasse 4 uheld med mindre skader

på en reaktorkerne

- Klasse 3 [Alvorlig hændelse]: Mange forskellige slags hændelser kan rubriceres i klasse 3. Et eksempel kan være udslip til omgivelserne af små mængder radioaktivitet, der kan give strålingsdoser som dem, der fås ved en flyrejse mellem USA og Europa. Der kan også være tale om svigt af et sikkerhedssystem, som kunne have ført til en alvorlig situation, hvis der også samtidigt var forekommet andre fejl. Klasse 3 omfatter også ulykker med strålingskilder, hvor personer har fået kraftige strålingsdoser. I de senere år er det især ulykker med strålingskilder, der har domineret statistikken. I 1997 skete der således tre steder i verden uheld med kraftige bestrålinger fra strålingskilder.

- Klasse 2 [Hændelse]: Under klasse 2 rubriceres tekniske fejl og forstyrrelser, der ikke direkte har påvirket et anlægs sikkerhed, men som peger på, at udstyr eller rutiner skal ændres, hvis det krævede sikkerhedsniveau skal opretholdes.Som et eksempel på en klasse 2 hændelse fra 1996 kan nævnes den manglende tilkobling af elektricitet til nødkølebruserne på den svenske kernekraftenhed Oskarshamn 2.

- Klasse 1 [Anomali]: Herunder rubriceres hændelser, som ikke udgør nogen sikkerhedsmæssig risiko, men som peger på mangler eller menneskelige fejl, som skal rettes.

- Klasse 0: Det drejer sig om hændelser, der ikke har haft nogen sikkerhedsmæssig betydning - og ikke ville kunne have fået det, fordi alt sikkerhedsudstyr fungerede korrekt. Alligevel rapporteres mange sådanne hændelser. Det kan f. eks. være hændelser, der har været vidt omtalt i nyhedsmedierne, og som der derfor er behov for at give en nærmere teknisk gennemgang af.

APPENDIKS B: Anvendte forkortelser

ABB	ASEA Brown Boveri, svensk-svejtsisk reaktorproducent
ABB-CE	ABB-Combustion Engineering, amerikansk datterselskab af ABB.
ABWR	Advanced Boiling Water Reactor, avanceret kogendevandsreaktor
AECL	Atomic Energy of Canada Limited, den canadiske stats firma for kerneenergiudvikling
AGR	Advanced Gascooled Reactor, avanceret gaskølet og grafitmodereret reaktor
APWR	Advanced Pressurized Water Reactor, avanceret trykvandsreaktor
AC-600	Kinesisk trykvandsreaktor
AP600	Westinghouse's avancerede trykvandsreaktor
ARGOS	Beredskabsstyrelsens computerprogram til behandling og præsentation af radioaktivitetsmålinger
ATR	Advanced Thermal Reactor, japansk tungtvandsmodereret, H_2O-kølet reaktor
BE	British Energy, sammenslutning af NE og SN
BN	Russisk hurtigreaktor
BNFL	British Nuclear Fuels plc, britisk kernebrændselfirma
BRS	Beredskabsstyrelsen
BWR	Boiling Water Reactor, kogendevandsreaktor
CANDU	CANadian Deuterium Uranium, canadisk tungtvandsreaktor af trykrørstypen
CAP600	Kinesisk-amerikansk trykvandsreaktordesign
CARR	Center for Advanced Reactor Research, koreansk forskningsinstitut baseret på universitetssamarbejde
CDU	Christliche Demokratische Union, tysk politisk parti
CEN	Centre d'etude de l'Energie Nuclaire, belgisk forskningscenter for kerneenergi
Ci	Curie, enhed for styrken af radioaktive kilder
CLAB	Centralt Lager för Anvendt Brändsle, svensk lagerfacilitet for udbrændt brændsel
COGEMA	Compagnie Generale des Matieres Nucleaires, fransk firma for nukleare materialer
CO_2	Kuldioxid
CP-1300	Sydkoreansk trykvandsreaktordesign
DoE	Department of Energy, det amerikanske energiministerium
DTU	Danmarks tekniske Universitet
D_2O	Deuteriumoxid eller tungt vand
EBRD	European Bank for Reconstruction & Development, den europæiske udviklingsbank for Østeuropa
ECU	European Currency Unit, europæisk pengeenhed
EDB	Elektronisk databehandling
EdF	Electricité de France, det statslige franske el-selskab
ENUSA	Empresa National del Uranio, spansk reaktorbrændselsfirma

EPR	European Pressurized water Reactor, trykvandsreaktor under udvikling i et samarbejde mellem Siemens og Framatome (NPI)
ESBWR	European SBWR, europæisk udgave af SBWR
EU	European Union, den europæiske union
EURATOM	EU's kerneenergiorganisation
FBR	Fast Breeder Reactor, hurtig formeringsreaktor
FBTR	Fast Breeder Test Reactor, Kalpakkan, Indien
FF	Franske franc
GBq	Gigaberquerel, enhed for styrken af radioaktive kilder
GCR	Gas Cooled Reactor, gaskølet grafitmodereret reaktor
GE	General Electric, amerikansk reaktorleverandør
GWe	Gigawatt elektrisk (1 GWe = 1 mill. kWe)
G7	USA, Japan, Tyskland, Frankrig, UK, Italien og Canada,
G24	Alle vesteuropæiske lande samt USA, Canada, Japan, Australien, New Zealand og Tyrkiet
He	Helium, grundstof
HEU	Highly Enriched Uranium
HTGR	High Temperature Gas cooled Reactor, højtemperatur, grafitmodereret og gaskølet reaktor
HWR	Heavy Water Reactor, tungtvandsreaktor
IAEA	International Atomic Energy Agency, FN's kerneenergiorganisation
IER	Improved Evolutionary Reactor, avanceret japansk trykvandsreaktor
INES	International Nuclear Event Scale, skala til angivelse af, hvor alvorlige uheld på nukleare anlæg har været
IVO	Imatra Voima, finsk elselskab
KAERI	Korea Atomic Energy Research Institute, sydkoreansk kerneenergi-forskningsinstitut
KEDO	Korean peninsula Energy Development Organisation, den organisation, der skal opføre to trykvandsreaktorer i Nordkorea
KNGR	Korean Next Generation Reactor, trykvandsreaktor under udvikling i Sydkorea
KSNPP	Korean Standard Nuclear Power Plant, sydkoreansk trykvandsreaktor
kV	kilovolt
kWe	kilowatt elektrisk
kWh	kilowatttime
KWU	Kraftwerk Union, afdeling af det tyske firma Siemens
LEU	Low Enriched Uranium, lavt beriget uran
ME	Magnox Electric
MECU	Millioner Ecu
MELOX	MELange d'OXide, fransk anlæg til fremstilling af MOX-brændsel
MINATOM	Det russiske ministerium for kerneenergi
MKER	Ny, russisk udgave af RBMK-typen
MoU	Memorandum of Understanding
MOX	Mixed OXide, brændsel fremstillet af blanding af plutonium- og urandioxid
MTO	Samspillet mellem Menneske, Teknik og Organisation
MWe	Megawatt elektrisk (1 MW = 1000 kW)
MWt	Megawatt termisk (varme)
NE	Nuclear Electric, engelsk elselskab med kernekraftværker
NEA	Nuclear Energy Agency, OECD's kerneenergiorganisation

NERSA	Centrale Nuclaire Europeenne a Neutron Rapide Societe Anonyme, det selskab, der ejer og driver Superphenix
NIREX	Nuclear Industry Radioactive Waste Executive, britisk firma til håndtering af radioaktivt affald
NPI	Nuclear Power International, reaktorfirma ejet af Framatom og Siemens
NRC	Nuclear Regulatory Commission, den amerikanske organisation for nuklear sikkerhed
NSA	Nuclear Safety Account, fond under EU, som støtter nuklear sikkerhed
NUCINFO	Beredskabsstyrelsens nukleare informationssystem
N4	Nyeste franske trykvandsreaktortype, 1500 MWe
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PHARE	Poland Hungary Aid for Reconstruction of the Economy, EU's støtteprogram for Østeuropa
PNC	Power reactor and Nuclear fuel development Corporation
Pu	Plutonium, grundstof
PuO_2	Plutoniumdioxid
PWR	Pressurized Water Reactor, trykvandsreaktor
RAND	Amerikansk tænketank
RBMK	Reaktor stor effekt kanaltype, russisk reaktor med grafit moderator og kogendevandskøling (Tjernobyl-typen)
RENEL	Det rumænske, statslige elselskab
RO	Rapporteringsværdige omstændigheder
RWE	Rheinisch-Westfalisches Electrizitetswerk, tysk elselskab
SBWR	Simplified Boiling Water Reactor, forenklet kogendevandsreaktor
SCK	StudieCentrum voor Kernenergie, belgisk forskningscenter for kerneenergi
SIP	Shelter Implementation Plan, program for sikring af sarkofagen omkring den havarerede Tjernobyl-reaktor
SKB	Svensk Kärnbrändslehantering AB, svensk kernebrændselsfirma
SKI	Statens Kärnkraftinspektion, den svenske myndighedsorganisation for kernekraftsikkerhed
SMP	Sellafield Mox Plant, britisk anlæg til fremstilling af MOX-brændsel
SNG	Statssamfundet af uafhængige stater, rammeorganisationen for de fleste af de stater, der tidligere udgjorde Sovjetunionen
SN	Scottish Nuclear, skotsk kernekraftselskab
SPD	Socialistische Partei Deutchland, tysk politisk parti
Sv	Sievert, enhed for strålingsdosis
SWU	Separative Work Unit, enhed for berigning
TACIS	Technical Assistance to Commonwealth of Independent States, EU's tekniske hjælpeprogram til SNG
THORP	Thermal Oxide Reprocessing Plant, britisk oparbejdningsanlæg
TVO	Finsk elselskab
TWh	Terawatttimer, (1 TWh = 1 milliard kWh)
U	Uran, grundstof
UO_2	Urandioxid
U_3O_8	Uranoxid
USEC	United States Enrichment Corporation, amerikansk berigningsselskab
VVER	Vand Vand Energi Reaktor, russisk udgave af trykvands-

	reaktoren
WANO	World Association of Nuclear Operators, internationalt selskab for ejere af kernekraftværker
WIPP	Waste Isolation Pilot Plant, amerikansk anlæg til deponering af radioaktivt affald

Bibliographic Data Sheet **Risø-R-1021(DK)**

Title and authors

International Nuclear Power Status 1997 (in Danish)

Edited by C.F. Højerup, Benny Majborn, and P.L. Ølgaard

ISBN	ISSN
87-550-2371-1	0106-2840 1395-5101

Department or group	Date
Nuclear Safety Research and Facilities	March 1998

Groups own reg. number(s)	Project/contract No(s)

Pages	Tables	Illustrations	References
76		12	

Abstract (Max. 2000 characters)

This report is the fourth in a series of annual reports on the international development of nuclear power with special emphasis on reactor safety.

For 1997, the report contains:

- General trends in the development of nuclear power
- A review of what can be done with the plutonium stocks of the world
- Statistical information on nuclear power production
- An overview of safety-relevant incidents in 1997
- The development in Sweden
- The development in Eastern Europe
- The development in the rest of the world
- The trends in the development of reactor types
- The trends in the development of the nuclear fuel cycle

Descriptors INIS/EDB

AFRICA; ASIA; AUSTRALIA; BWR TYPE REACTORS; EASTERN EUROPE; FAST REACTORS; HEAVY WATER MODERATED REACTORS; INTERNATIONAL COOPERATION; NORTH AMERICA; NUCLEAR POWER PLANTS; PLANNING; PWR TYPE REACTORS; REACTOR SAFETY; REPROCESSING; REVIEWS; RUSSIAN FEDERATION; SOUTH AFRICA; SWEDEN; WWER TYPE REACTORS; RBMK TYPE REACTORS

Available on request from Information Service Department, Risø National Laboratory,
(Afdelingen for Informationsservice, Forskningscenter Risø), P.O.Box 49, DK-4000 Roskilde, Denmark.
Telephone +45 46 77 40 04, Telefax +45 46 77 40 13