RISØ

Risø-R-966(DA)

International kernekraftstatus 1996

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



Forskningscenter Risø, Roskilde
Marts 1997

Resume Denne rapport er den tredje i en serie af årlige rapporter om den internationale udvikling inden for kernekraften. Den dækker udviklingen i 1996 og beskæftiger sig med følgende emner:

- Generelle tendenser inden for kernekraftudviklingen
- Diskussion af de såkaldte acceleratordrevne reaktorer
- Statistiske oplysninger om el-produktion med kernekraft
- Årets større, sikkerhedsrelevante hændelser
- De svenske kernekraftværker og udviklingen i Sverige
- Reaktorsikkerhedsudviklingen i Østeuropa
- Kernekraftudviklingen i forskellige lande
- Udviklingstendenser inden for forskellige reaktortyper
- Udviklingstendenser inden for brændselskredsløbet

Forsidebilledet viser Chooz-B1 og -B2 i Frankrig, to PWR reaktorer på hver 1520 MWe. Chooz-B1 (til højre i billedet) blev sat i drift i 1996, og Chooz-B2 forventes at gå i drift i løbet af 1997. (Billedet er stillet til rådighed af Electricité de France)

ISBN 87-550-2278-2
ISSN 0106-2840
ISSN 1395-5101

Afdelingen for Informationsservice, Risø, 1997

Indhold

Forord 5

1 Tendenser i kernekraftudviklingen 7

2 Tema-artikel: Acceleratordrevne reaktorer 9

3 Kernekraftens el-produktion 13

4 Gennemgang af større, sikkerheds-relevante hændelser i 1996 17

5 Barsebäck-anlægget og andre svenske kernekraftværker 20

5.1 Barsebäck-værket 20
5.2 Oscarshamn-værket 22
5.3 Ringhals-værket 23
5.4 Forsmark-værket 23
5.5 Svensk kernekraft og fremtiden 24

6 Reaktorsikkerhedsudviklingen i Østeuropa 25

6.1 RBMK-reaktorer 25
6.2 VVER-reaktorer 27
6.3 Skibsreaktorer 28
6.4 Støtteprogrammer for Østeuropa 30

7 Udviklingen i andre lande 38

7.1 Nord- og Sydamerika 38
7.2 Asien, Afrika og Australien 40
7.3 Frankrig, Tyskland og Storbritannien 44
7.4 Øvrige vesteuropæiske lande 49
7.5 Centraleuropæiske lande 50
7.6 SNG-lande 54

8 Udviklingstendenser inden for forskellige reaktortyper 58

8.1 Trykvandsreaktorer (PWR) 58
8.2 Kogenvandsreaktorer (BWR) 59
8.3 Hurtigreaktorer 60
8.4 Tungtvandsreaktorer 62
8.5 Gaskølede reaktorer 62

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 64
9.4 Nedlægning af nukleare anlæg 66
9.5 Deponering af lav-, mellem- og højaktivt affald 66

APPENDIX A: INES, den internationale skala for uheld på nukleare anlæg. 69

APPENDIX B: Anvendte forkortelser 72

Figurer

Figur 2.1. Skematisk tværsnit gennem Los Alamos-reaktoren. Pilen i centrum angiver protonstrålen fra den lineære accelerator, der rammer det flydende bly. Den centrale blyzone er omgivet af 3 regioner. I den yderste omdannes thorium ved neutronindfangning til ^{233}U, der sendes videre til den mellemste region med smeltet-salt-kanaler. Her forbrændes også transuranerne. De dannede fissionsprodukter sendes videre til den inderste region, hvor de omdannes til kortlivede, radioaktive stoffer. Resterende radioaktive stoffer sendes til et lager. 10

Figur 2.2. Lodret tværsnit gennem Cern-reaktoren, baseret på en trykvands-reaktor. Protonstrålen fra acceleratoren kommer ind forneden til venstre. 12

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 el- forbrug, der er produceret i landenes kernekraftværker. 15

Figur 3.3. Den procentdel 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 5.2. Coast-down forløb for Ringhals 4 PWR-anlæg. 23

Figur 6.1 Dansk konstruerede målestationer i drift eller under opførelse 36

Figur 7.1. Kashiwazaki Kariwa kernekraftværk i Japan enhed 7 og 8. 41

Figur 7.2. Kontrolrummet på den ene af enhederne af Kashiwazaki Karina kernekraftværket. 41

Figur 7.3. Kernekraftværker i Frankrig. 45

Figur 7.4. Kernekraftværker i Tyskland. 47

Figur 7.5. Kernekraftværker i Storbritannien. 48

Figur 7.6. Rumæniens første kraftreaktor, Cernavoda-1, en CANDU-type på 635 MWe. 53

Forord

Den nukleare videnberedskabsgruppe blev oprettet i 1987 med det formål at bevare og udbygge den viden om reaktorer og deres sikkerhedsproblemer, som er blevet opbygget siden Risøs start, men som det kunne være vanskeligt at opretholde efter omlægningen af Risøs forskning til andre områder.

Gruppen består af ca. 15 personer fra Forskningscenter Risø, fra Danmarks Tekniske Universitet (DTU) og fra Beredskabsstyrelsen (BRS).

Gruppen følger udviklingen inden for kernekraften, specielt kernekraftsikkerhed. Den afholder hvert år to seminarer med foredrag inden for det nukleare område, og udarbejder en rapport om kernekraftens internationale status.

I årets rapport er der for første gang bragt en tema-artikel, som har til formål at give en nærmere diskussion af et aktuelt emne. Årets tema-artikel omhandler de såkaldte acceleratordrevne reaktorer, som har været fremme i debatten i de seneste år.

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

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

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

1 Tendenser i kernekraftudviklingen

De generelle tendenser for udbygningen af kernekraften har ikke ændret sig siden sidste år. Der foregår en langsom udbygning af den samlede kernekraftkapacitet til trods for, at gamle, små enheder lukkes ned. Udbygningen er geografisk set ikke jævnt fordelt, idet den specielt foregår i Østasien. Dette kan ikke undre, idet det er her, væksten i energiforbruget primært ventes at ske.

I USA og Vesteuropa forventes el-forbruget kun at stige lidt. Der har dog i Vesten, hvor også politisk modstand vanskeliggør bygning af nye kernekraftværker, været en tendens til, at kapaciteten af de eksisterende værker øges.

Kernekraften spiller en ikke uvæsentlig rolle for den industrielle verdens elforsyning. Vesteuropa får ca. en tredjedel af sit el-forbrug fra kernekraftværker. I Japan er procenten 30, i USA godt 20.

Året 1996 var rent sikkerhedsmæssigt et godt år for kernekraften. Der var ingen hændelser på kernekraftværker, der blev klassificeret som mere end klasse 2 hændelser på den internationale uheldsskala INES, men der var 7 klasse 2 hændelser. Klasse 2 hændelser omfatter tekniske fejl, der ikke direkte påvirker sikkerheden, men som viser, at udstyr eller rutiner skal ændres for at opretholde sikkerhedsniveauet. I Kina var der to klasse 3 hændelser, der medførte personskader p.g.a. skødesløs omgang med radioaktive kilder, der anvendtes til industrielle formål; men de havde intet med kernekraft at gøre.

De svenske kernekraftværker har kørt tilfredsstillende i 1996, idet dog en af de ovenfor omtalte klasse 2 hændelser indtraf på Oscarshamn-værkets enhed nr. 2. Her var strømforsyningen til reaktorkernens sprinkleranlæg, der er en del af nødkølesystemet, ikke slået til i 6 dage under opstarten af enheden efter den årlige nedlukning.

Nogen beslutning om kernekraftens fremtid i Sverige blev mod forventning ikke truffet i 1996, men tidligt i 1997 ser det ud til, at der er et flertal i den svenske rigsdag, der vil lukke Barsebäck-værket.

I Ukraine blev enhed nr. 1 ved Tjernobyl-værket lukket ned i 1996 og i følge den aftale, der er indgået mellem G7-landene og Ukraine skulle den sidste enhed, nr. 3 lukkes ned inden år 2000. Om dette sker, vil bl.a. afhænge af, om man fra vestlig side stiller de aftalte lån og tilskud til rådighed. Generelt gælder, at der er mange tiltag undervejs for at forbedre reaktorsikkerheden i Central og Østeuropa, til dels finansieret fra vestlig side. Dette skulle bedre reaktorsikkerheden. En faktor, der virker i modsat retning, er, at i SNG-landene betaler mange ikke for den leverede elektricitet, hvorfor værkerne mangler penge. Dette medfører, at vedligeholdelser ikke gennemføres, og at lønninger først udbetales med store forsinkelser, noget, der næppe er fremmende for personalets motivation og for sikkerhedskulturen.

I sidste års statusrapport omtaltes, at der ved Kozloduy-værket i Bulgarien var opstået uenighed mellem vestlige eksperter og de bulgarske myndigheder, om det var forsvarligt at starte enhed nr. 1, idet de vestlige eksperter var usikre på, om reaktortanken havde den nødvendige styrke. De bulgarske myndigheder besluttede mod vestlig protest at starte enheden. I 1996 blev enheden nærmere undersøgt, og det viste sig, at den vestlige skepsis ikke var begrundet.

Den russiske flåde har fortsat et stort problem med dens gamle, udtjente nukleare ubåde. Der er økonomiske og sikkerhedsmæssige problemer med at få det brugte brændsel transporteret fra flådebaserne til det kemiske oparbejdningsanlæg Mayak syd for Ural. Der er problemer med flådebasernes lagre for udbrændt brændsel, som er ved at være fyldt op. Det er derfor ikke muligt at tage det ud-

brændte brændsel ud af de udtjente ubåde. Og der er problemer med moralen hos mandskabet, som lever under meget beskedne levevilkår. Problemerne hænger naturligvis alle nøje sammen med Ruslands økonomiske problemer.

Det danske nukleare øststøtteprogram, der startede i 1994, har bidraget til forbedringer af brandsikkerheden ved Leningrad-værket ved Skt. Petersborg. Endvidere er der gennem programmet opstillet målestationer til detektering af radioaktiv forurening i Polen (5 stationer) og i Litauen (5 stationer, heraf 4 omkring Ignalina-værket). Yderligere 18 stationer er under opstilling i Polen, Litauen, Letland, Estland og Rusland (nær Leningrad-værket). Udveksling af måledata mellem landene er en del af projektet. Der er også leveret mobile målestationer til de tre baltiske lande, ligesom der er foretaget opmålinger fra luften af radioaktivitetsniveauet over det vestlige Letland.

Frankrig, der har 57 kernekraftenheder i drift, satte i 1996 sin første enhed af 1500 MWe-serien, Chooz-B1, i drift.

Japan, der har 53 kernekraftenheder i drift, forventer at sætte 20 nye enheder i drift inden år 2010. I 1996 blev den første avancerede kogendevandsreaktor sat i drift.

Under indkøring af en ny, hurtig formeringsreaktor, Monju, indtraf et uheld, der kan få alvorlige konsekvenser for det japanske formeringsreaktorprogram. Et termoelement, anbragt i et af de sekundære kredsløb, brækkede af og medførte en større lækage af flydende natrium. Selvom uheldets sikkerhedsmæssige betydning ikke var stor, kan det alligevel få væsentlige konsekvenser. Fra ledelsens side prøvede man nemlig på at skjule uheldets omfang, og det har i mange kredse skabt en betydelig mistillid til projektet.

Kina har et meget ambitiøst program for bygning af kernekraftværker. Der er tre værker i drift og inden år 2000 planlægges bygning af yderligere 8 værker igangsat. I 1996 blev der indgået kontrakt med Canada om bygning af 2 CAN-DU-reaktorer.

Sydkorea har 11 kernekraftenheder i drift, 7 under bygning og der planlægges yderlig opført 10 enheder inden år 2010. Sydkorea skal levere de to 1000 MWe PWR-enheder, som skal opføres i Nordkorea som led i den aftale, Nordkorea har indgået med USA om standsning af sit grafitreaktorprogram, som kan anvendes til våbenformål.

Taiwan, der har 6 kernekraftenheder i drift, indgik i 1996 kontrakt om køb af to avancerede kogendevandsreaktorer.

I Frankrig, Tyskland, Japan, USA og Sverige arbejdes der med at udvikle kernekraftværker med yderlig forbedring af sikkerheden.

Der har vist sig tendenser til, at uranprisen stiger. Dette skyldes ikke øget efterspørgsel, men bestræbelser fra vesteuropæisk og amerikansk side på at begrænse importen af billigt uran fra SNG-landene til vesten. Hvad berigning af uran angår, forventes berigningsprisen fremover at falde, dels p.g.a. øget konkurrence, dels p.g.a. forbedret teknik.

Nedlukning af og rengøring efter gamle nukleare anlæg, ikke mindst de tidlige, militære anlæg, hvor man ikke krævede samme standard som nu, er et stort problem for nogle lande. Denne oprydning vil kræve meget store ressourcer, hvilket et land som Rusland ikke har råd til.

2 Tema-artikel: Acceleratordrevne reaktorer

I de seneste år er der såvel fra amerikansk som fra europæisk side fremkommet forslag til en ny type reaktor, den såkaldte acceleratordrevne reaktor. Ideen er for så vidt ikke ny, som den allerede blev foreslået fra canadisk side i 1965. Men dengang var acceleratorteknologien endnu ikke tilstrækkelig udviklet til, at ideen rent teknisk kunne realiseres. I dag ligger en realisering inden for mulighedernes grænser.

Det amerikanske projekt er udarbejdet af en gruppe videnskabsmænd ved Los Alamos National Laboratory under ledelse af C.D. Bowman, mens det europæiske projekt er lavet af en gruppe ved CERN-laboratoriet i Genève under ledelse af C. Rubbia. Da de to projekter har et noget forskelligt sigte, vil de blive omtalt hver for sig.

En af ulemperne ved kernekraften er, at der ved kernespaltningerne i en kraftreaktor dannes to nye atomkerner, spaltnings- eller fissionsprodukter, som er stærkt radioaktive, og som udgør en væsentlig del af det højaktive affald. Under bestrålingen af reaktorbrændslet dannes der desuden nye, tunge atomkerner, transuranerne, som udgør den resterende del af dette affald. Selvom radioaktiviteten af det højaktive affald på grund af radioaktivt henfald gradvis reduceres, vil det tage mange hundrede år, før den er forsvundet. Det er dette problem, som Los Alamos-gruppen ser en mulighed for at løse.

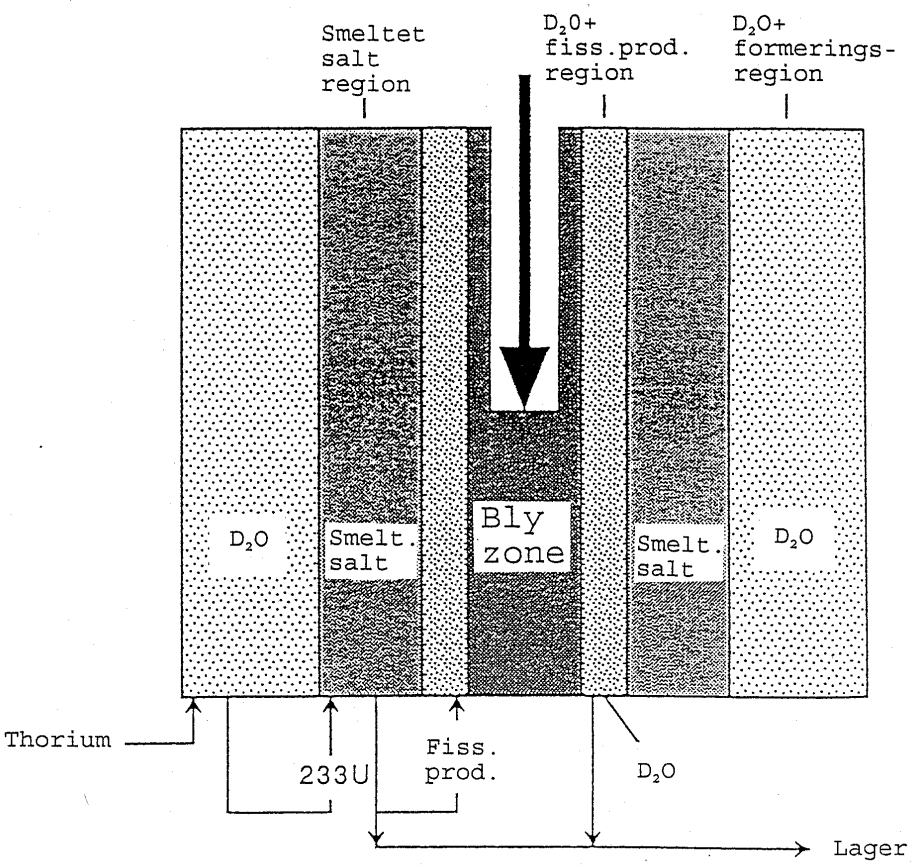
I fig. 2.1 er vist en meget skematisk udgave af Los Alamos reaktoren. Midt i reaktoren er der en zone af flydende bly. I en lineær accelerator, der befinder sig i nærheden, accelereres en stråle af protoner (brintkerner) til meget høj energi, f.eks. 1,6 GeV. Denne stråle sendes ovenfra ned mod blyzonen. Når protonstrålen rammer denne, vil der foregå kerneprocesser mellem de energirige protoner og blykernerne, såkaldte spallationsprocesser. Ved disse vil der udsendes neutroner, ca. 50 neutroner pr. proton. Da blyet varmes op ved spallationsprocesserne, må det hele tiden køles. Dette kan ske ved at cirkulere det flydende bly gennem en varmeveksler.

Neutronerne bevæger sig ud i den omgivende tank med tungt vand, hvor de nedbremses ved stød mod de tunge brintkerner og bliver til langsomme eller termiske neutroner. Temperaturen af det tunge vand er kun lidt over stuetemperatur. Tanken uden om blyzonen er opdelt i tre regioner.

Den inderste region indeholder tungt vand, og den har en meget høj neutrontæthed. I denne regions tunge vand er der opløst langlivede fissionsprodukter som gennem absorption af neutroner omdannes til nye kerner med væsentlig kortere levetid. Mange af de langlivede fissionsprodukter har meget ringe tilbøjelighed til at indfange neutroner. For alligevel at få omdannelsen til at foregå rimelig hurtigt er det nødvendigt med den meget store neutrontæthed; jo større neutrontæthed, desto flere neutronabsorptioner.

I den mellemste region er der gennem det tunge vand ført en række rør, der er termisk isolerede fra det tunge vand. Gennem rørene strømmer et smeltet salt (f.eks. en blanding af ^{7}LiF og BeF_2 med et smeltepunkt på 360^{o}C). I saltet er der opløst langlivede transuraner, som p.g.a. den høje neutrontæthed omdannes og spaltes. Det smeltede salt har ved indløbet til reaktoren en temperatur på 500^{o}C. Ved udløbet er temperaturen 700^{o}C. Når de tunge brændselskerner i denne region forekommer på opløst og ikke på fast form, f.eks. i form af stave, er årsagen den

høje neutrontæthed. I den høje neutrontæthed ville faste brændselsstave blive så varme, at de ville smelte.



Figur 2.1. Skematisk tværsnit gennem Los Alamos-reaktoren. Pilen i centrum angiver protonstrålen fra den lineære accelerator, der rammer det flydende bly. Den centrale blyzone er omgivet af 3 regioner. I den yderste omdannes thorium ved neutronindfangning til ^{233}U, der sendes videre til den mellemste region med smeltet-salt-kanaler. Her forbrændes også transuranerne. De dannede fissionsprodukter sendes videre til den inderste region, hvor de omdannes til kortlivede, radioaktive stoffer. Resterende radioaktive stoffer sendes til et lager.

Den yderste region kan indeholde tungt vand, hvori der er opløst uran eller thorium, eller rent tungt vand. I førstnævnte tilfælde vil der ved neutronabsorption i uran-238- og thoriumkerner produceres nyt, spalteligt materiale, plutonium-239 og uran-233. Disse stoffer kan overføres til saltet i den mellemste region og her bidrage til energiproduktion.

Denne acceleratordrevne reaktor har en række fordelagtige egenskaber. For det første kan den kun køre, så længe den får neutroner fra spallationsprocesserne, d.v.s. den kan ikke "løbe løbsk". For det andet kan den nedbryde næsten alle de atomkerner, der udgør det højaktive affald. For det tredje har den en i hvert fald potentiel mulighed for at producere mere spalteligt materiale, end den forbruger, og derigennem bidrage til fuld udnyttelse af verdens uran- og thoriumforekomster.

Til gengæld har den også en række svage sider. Det forekommer ikke umiddelbart indlysende, at det med dagens teknologi er muligt at opnå den ønskede, høje neutrontæthed. Og er dette ikke muligt, kan man ikke få det højaktive affald om-

dannet. De kemiske separationssystemer, som skal kobles til reaktoren for at indføre og udtage radioaktive affaldsstoffer, er ganske komplicerede og formentlig dyre i drift. De kan endda komme til at omfatte isotopseparation, hvad der bestemt ikke gør dem billigere. Et system, hvor man i rør cirkulerer stærkt radioaktive væsker (tungt vand eller smeltede salte) byder på en lang række sikkerhedsproblemer, f.eks. i tilfælde af lækager i systemet.

CERN-projektet drejer sig først og fremmest om at producere energi med en underkritisk reaktor, der så til gengæld forsynes med de nødvendige, ekstra neutroner fra den lineære accelerator. En udgave af reaktoren er vist i fig. 2.2. Den viste reaktor er en trykvandsreaktor, hvor brændslet består af stave indeholdende grundstoffet thorium og den spaltelige uranisotop uran-233. Protonstrålen kommer her ind nedefra. Det tunge stof, som protonstrålen reagerer med, og hvori den ved spallation producerer neutroner, kan være bly, men det kan også være reaktorens brændselsmateriale, d.v.s. thorium.

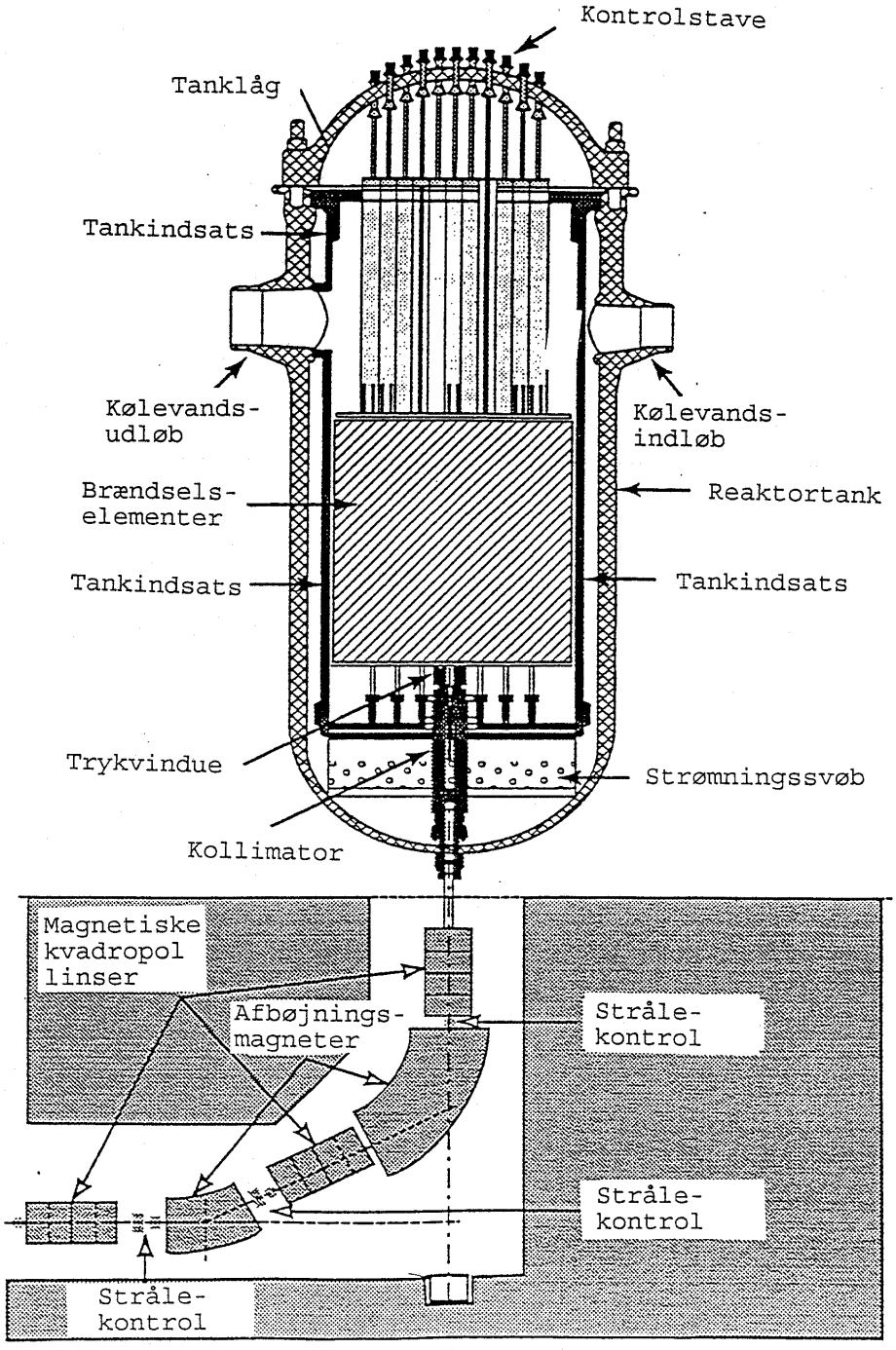
Neutrontætheden i CERN-reaktoren er af samme størrelse som i sædvanlige kraftreaktorer. Dette betyder, at neutronernes påvirkning af reaktormaterialerne ikke adskiller sig fra sædvanlige reaktorers. Dette forudsætter dog, at spallationsneutronerne har energier af samme størrelsesorden som fissionsneutronernes. Ved Los Alamos-reaktoren med den langt højere neutrontæthed kan der vise sig nye materialeproblemer.

Der er flere grunde til, at man har valgt at benytte et brændselsmateriale bestående af thorium og uran-233. For det første er verdens forekomster af thorium væsentlig større end uranforekomsterne. For det andet er det med en reaktor med langsomme neutroner væsentlig nemmere at lave en formeringsreaktor med et thorium-uran-233-system end med et uran-plutonium-system. Og et af formålene med projektet er netop at lave en sådan reaktor, der har mulighed for at udnytte alle verdens thoriumforekomster.

Det har også til fordel for brændsel af thorium og uran-233 været anført, at uran-233 ikke er så anvendeligt til kernevåben, idet uran-233 altid vil indeholde små mængder af uran-232, som gør, at uranet efter kort tid efter fremstillingen udsender stærk γ-stråling. Dette argument forekommer ikke særlig overbevisende, idet man uden alt for store ulemper kan afskærme for denne γ-stråling.

Til forskel fra Los Alamos-reaktoren er CERN-reaktoren ikke ret langt fra kritikalitet. Fordelen herved er, at man opnår en betydelig forøgelse i den producerede energi og i antallet af reaktorneutroner pr. proton produceret i acceleratoren. Ca. 90 til 95% af alle neutroner dannes ved fission i uran-233 og kun 5 til 10% kommer fra spallation. Om man så under disse omstændigheder kan opnå formering i en trykvandsreaktor, også selv om den benytter tungt vand, er tvivlsomt. En anden ulempe ved at være tæt ved kritikalitet er, at man under visse omstændigheder kan komme ud for, at reaktoren bliver overkritisk. Derfor må den forsynes med kontrolstavssystemer. Det er reaktoren i fig. 2.2 da også blevet.

Dette demonstrerer den acceleratordrevne reaktors dilemma: Man vil gerne have en så stor neutron- og energiforstærkning som muligt fra fission, men så kommer reaktorens konstruktion til at ligge så tæt op ad en almindelig reaktors, at man må spørge, om det ikke var bedre helt at undvære acceleratoren, som ingenlunde er gratis. Og jo mindre brøkdelen af neutronerne, der kommer fra spallationsprocesserne, er, desto vanskeligere bliver det at lave formering i en reaktor med termiske neutroner. Dette er formentlig årsagen til, at CERN-gruppen på det seneste er gået ind for at benytte en svagt underkritisk, hurtig reaktor, hvor mulighederne for at opnå formering er væsentlig bedre. Men det betyder også, at man også må acceptere at benytte en væsentlig dyrere reaktortype.



Figur 2.2. Lodret tværsnit gennem Cern-reaktoren, baseret på en trykvands-reaktor. Protonstrålen fra acceleratoren kommer ind forneden til venstre.

Det mest interessante aspekt ved den acceleratordrevne reaktor er muligheden for at undgå produktionen af eller i hvert fald stærkt reducere mængden af højaktivt affald. Her er det specielt fissionsprodukterne, der er af interesse. Transuranerne kan nemlig relativt enkelt spaltes i reaktorer med hurtige neutroner, men transmutation af fissionsprodukterne sker bedst i reaktorer med langsomme neutroner.

Fordelene ved at lave acceleratordrevne formeringsreaktorer, hvad enten det drejer sig om reaktorer med hurtige eller langsomme neutroner, er begrænsede. Det er ingenlunde klart, at denne reaktortype kan konkurrere økonomisk med de

hurtige formeringsreaktorer, der kan benytte uran-plutonium- som for thorium-uran-brændsel.

Man kan spørge, om der er væsentlige reaktorsikkerhedsfordele ved de acceleratordrevne reaktorer. Det gælder for de almindelige reaktorer, at de to vigtigste sikkerhedsproblemer er tab af køling og utilsigtet kritikalitet. Af disse er det første og vigtigste, tab af køling, det samme for de to reaktortyper. Hvis man kører den acceleratordrevne reaktor med så lav energi- og neutronforstærkning, at reaktoren ikke under nogen omstændigheder kan gå kritisk, har man en fordel. Men erfaringerne har vist, at med de reaktortyper, der bygges i Vesten, er kritikalitetsuheld ikke det store problem.

3 Kernekraftens el-produktion

Udbygningen af kernekraft er præget af en langsom vækst, der primært foregår i Østasien, hvor også stigningen i energiforbruget er størst. I fig. 3.1 er vist udviklingen i den samlede installerede elektriske effekt inden for forskellige geografiske regioner. 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 angiver den installerede effekt i kernekraftværker i Nord- og Sydamerika. Det kan næppe overraske, at USA er det dominerende land, som råder over 85% af områdets kernekrafteffekt. Herefter kommer Canada med 13%, Mexico med 1%, Argentina med 0,8% og Brasilien med 0,5%.

Afstanden op til næste kurve angiver kernekrafteffekten i de større, vesteuropæiske lande, d.v.s. Tyskland, Frankrig, Storbritannien og Spanien. Her fører Frankrig med 58%, efterfulgt af Tyskland med 22%, Storbritannien med 13% og Spanien med 7%.

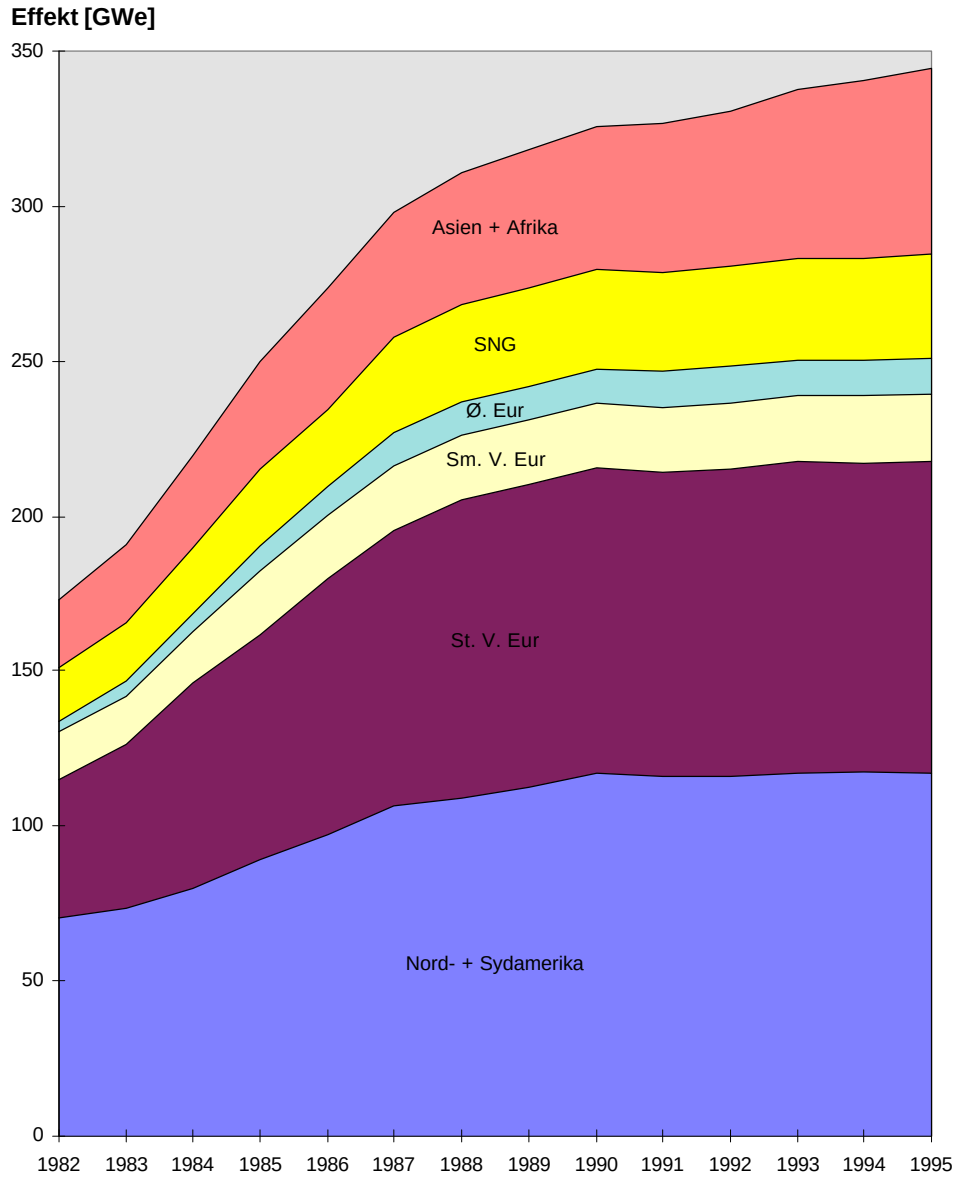
Afstanden mellem anden og tredje kurve giver kernekrafteffekten i de mindre, vesteuropæiske lande, d.v.s. Belgien, Holland, Schweiz, Sverige og Finland. Her er Sverige nr. 1 med 47%. Herefter kommer Belgien med 26%, Schweiz med 14%, Finland med 11% og sluttelig Holland med 2% af disse landes kernekrafteffekt. Man bemærker, at den samlede kernekrafteffekt i Vesteuropa er større end den tilsvarende effekt for Nord- og Sydamerika.

Herefter følger de østeuropæiske lande, d.v.s. Bulgarien, Tjekkiet, Ungarn, Slovakiet, Slovenien og Litauen. Her har Bulgarien 31%, Litauen 21%, Ungarn 15%, Tjekkiet 14%, Slovakiet 14% og Slovenien 5% af disse landes kernekrafteffekt.

Afstanden mellem de to kurver, der omgiver SNG, angiver kernekrafteffekten i Rusland, Ukraine, Kazakhstan og Armenien. Her dominerer Rusland (59%) og Ukraine (40%), mens Armeniens og Kazakhstans procenter er beskedne, henholdsvis 1% og 0,2%. Armenien havde i en periode et kernekraftværk med 2 reaktorer i drift. Af sikkerhedsgrunde blev det lukket efter et større jordskælv i landet. Den nyeste af de to reaktorer blev sat i drift igen i 1995 p.g.a. landets fortvivlede energisituation. Traditionelt fik Armenien naturgas fra Azerbaijan, men p.g.a. krigen mellem de to lande har Azerbaijan lukket for gasleverancer.

I 1995 blev der sat 4 kernekraftenheder (reaktor med tilhørende turbogenerator) med en samlet effekt på 3290 Megawatt i drift: Kakrapar-2 i Indien, Yonggwang-4 i Sydkorea, Sizewell-B i Storbritannien og Zaporozhe-6 i Ukraine. Samme år blev der lukket 2 kernekraftenheder med en samlet effekt på 1488 MWe: Bruce-2 i Canada og Würgassen i Tyskland.

Hvad de anvendte kraftreaktortyper angår, så er trykvandsreaktoren den dominerende. 64% af al kernekrafteffekt udgøres af trykvandsreaktorer (PWR=Pressurized Water Reactor). Herefter følger kogendevandsreaktoren med 22% (BWR=Boiling Water Reactor), tungtvandsreaktoren med 5% (HWR=Heavy Water Reactor), Tjernobylreaktortypen med 4% (RBMK), den gaskølede, grafitmodererede reaktor med 4% (GCR=Gas Cooled Reactor) og andre reaktortyper med 1%. Det ses, at vandreaktorerne (PWR og BWR) tilsammen står for 86% af kernekrafteffekten.



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

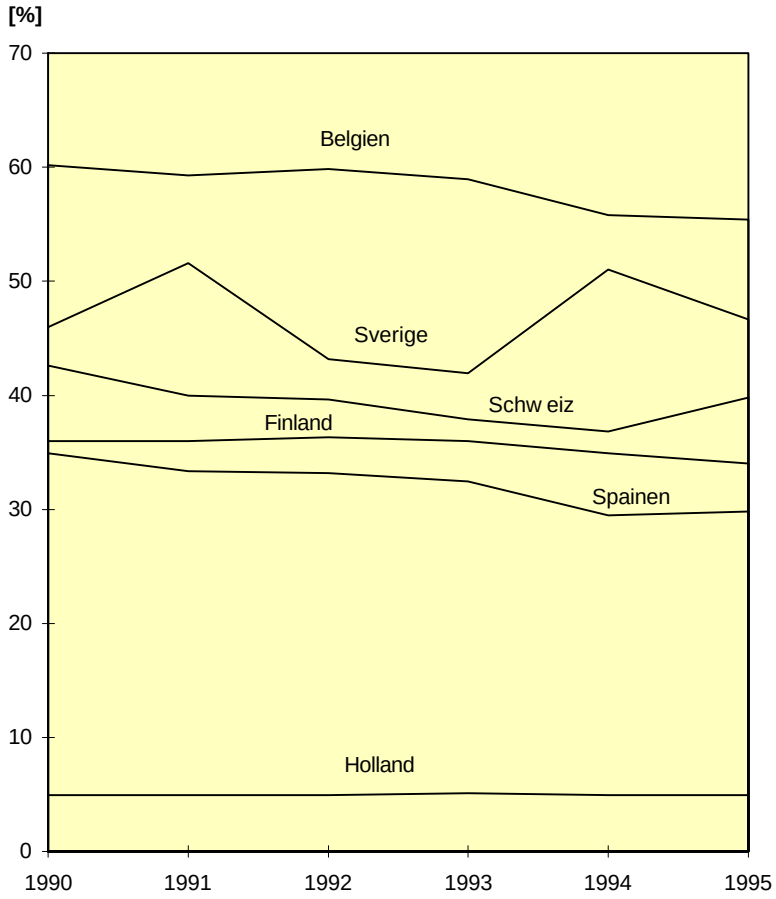
I fig. 3.2, 3.3, og 3.4 er vist, hvor stor en brøkdel af forskellige landes elproduktion, der produceres på kernekraftværker. Af fig. 3.2 fremgår, at Belgien får 55-60% af sin elektricitet fra kernekraftværker, mens procenten for Sverige er 45-50%, for Schweiz ca. 40%, for Spanien og Finland 35% og for Holland 5%.

I fig. 3.3 er kernekraftprocenten vist for en række store industrilande. For Frankrig er den ca. 75%, for Sydkorea 35-50%, for Japan og Tyskland ca. 30%, for Storbritannien 20-25%, for USA godt 20% og for Canada godt 15%.

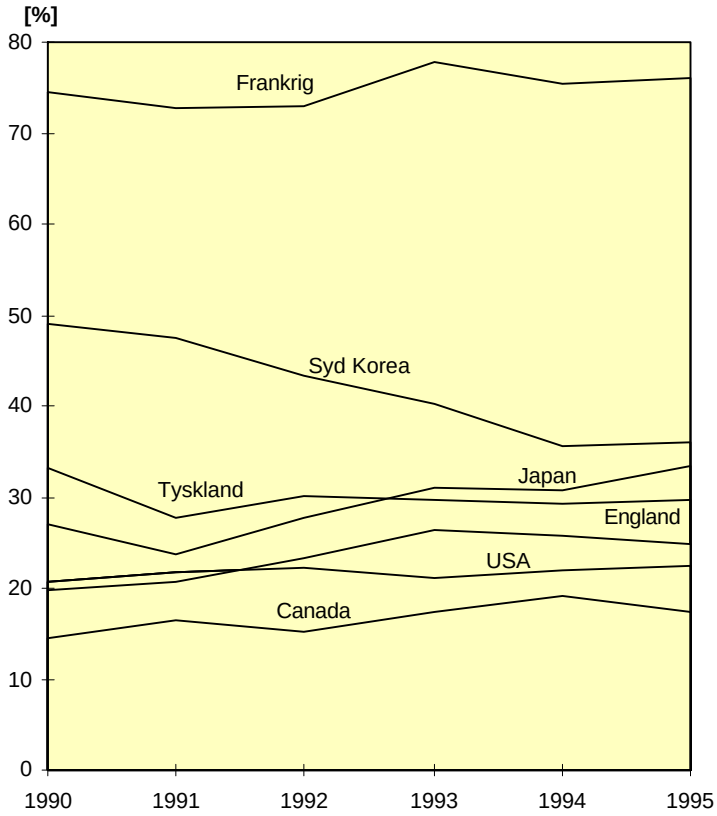
I fig. 3.4 er der vist kurver for kernekraftprocenten for østeuropæiske og SNG-lande. Litauen ligger på ca. 85%, hvilket skyldes, at Ignalina-værket, som blev bygget til at betjene såvel de baltiske lande som Hviderusland, kom til at ligge i Litauen. Slovakiet får ca. 50%, Ungarn får 45-50%, Bulgarien får 35-45%, Ukraine får 25-35%, Tjekkiet får ca. 25%, og Rusland får ca. 12% af sit el-forbrug dækket af kernekraft. Den lave procent for Rusland må ses i lyset af, at størstedelen af de russiske kernekraftværker ligger i den europæiske del af Rusland. Denne del af landet får derfor en væsentlig større del af sit el-forbrug dækket af kernekraft.

De betydelige kernekraftprocenter i de østeuropæiske lande betyder, at selv om der er sikkerhedsproblemer med de anvendte reaktortyper, vil det være meget vanskeligt for landene at undvære disse værker.

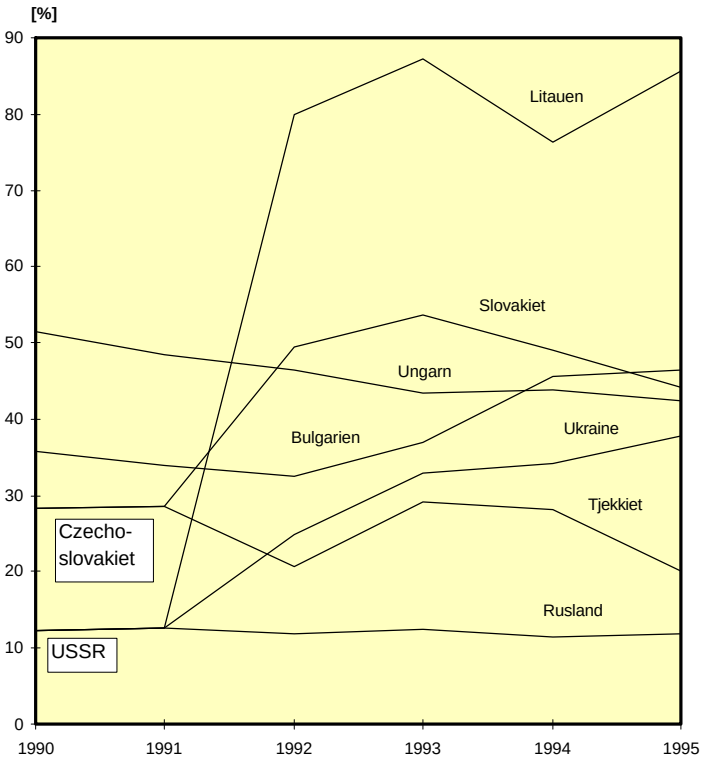
Ved starten af 1996 var der ialt 437 kernekraftenheder i drift og det samlede antal driftsår var kommet op på ca. 7800. På samme tidspunkt var der 39 kernekraftenheder med en samlet effekt på 33000 MWe under bygning.



Figur 3.2. Den procentdel af mindre, vesteuropæiske landes el-forbrug, der er produceret i landenes kernekraftværker.



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



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

4 Gennemgang af større, sikkerheds-relevante hændelser i 1996

For kernekraften har året 1996 været et godt år set ud fra et sikkerhedsmæssigt synspunkt. For verden som helhed har der ikke været hændelser over klasse 2 og der har på kernekraftværker kun været 7 hændelser, der er blevet rubriceret i klasse 2 på den internationale uheldsskala INES (International Nuclear Event Scale; se nærmere forklaring i appendix A.) Derimod indtraf der i Kina to uheld med strålingskilder, der begge medførte alvorlige personskader, og som blev klassificeret til klasse 3. Herudover blev det i 1996 konstateret, at en hændelse på Tjernobyl 1, der i 1995 var blevet vurderet til klasse 1, ved nøjere gennemgang måtte omvurderes til klasse 3, som omfatter alvorlige hændelser af sikkerheds-mæssig betydning, mens klasse 1 omfatter "anomalier" uden egentlig sikkerheds-mæssig risiko. Endelig kan nævnes et uheld i klasse 2 med en strålingskilde på et naturgasfyret kraftværk i Iran. Det kunne have forvoldt betydelig personskade, men gjorde det øjensynligt ikke. I det følgende gennemgås de enkelte hændelser.

I marts 1996 skete der en revurdering af en hændelse, der den 27. november 1995 var forekommet på Tjernobyl 1 reaktoren i Ukraine. I den oprindelige bedømmelse var hændelsen karakteriseret til klasse 1 på INES-skalaen. Der var sket et tab af radioaktivt vand til gulvet i reaktorbygningen; men der kom ikke radioaktivitet ud i omgivelserne. Hændelsen er senere blevet opgraderet til klasse 3, idet en arbejder havde modtaget så stor en strålingsdosis, at denne dosis sammen med årets tidligere doser overskred grænsen for årsdoser.

Den 5. januar 1996 skete der et alvorligt personuheld med en kraftig radioaktiv kilde på en plasticfabrik i Kina. Kilden blev brugt til kontrol af svejsninger. Men da arbejdet var færdigt, faldt kilden ud af sin afskærmningsbeholder. Ingen bemærkede det, bl.a. fordi man ikke kontrollerede området med en strålingsdetektor. Nogle timer senere fandt en yngre arbejder kilden, som han samlede op og gemte i lommen. Her opbevarede han den i flere timer, indtil man savnede kilden og fandt den hos ham. Han havde da fået en kropsdosis på 3 gray, hvilket for en svagelig person ville have medført døden. Det skete ikke her; men ben og hænder var blevet bestrålet så kraftigt, at lægerne måtte amputere højre ben og venstre hånd. Sikkerhedsmæssigt er hændelsen på grund af den alvorlige personskade blevet bedømt til klasse 3.

I forbindelse med rapporteringen om dette uheld oplyste de kinesiske myndigheder, at der d. 21. november 1995 var sket et uheld på en kabelfabrik, hvor man behandler elektriske kabler med kraftig elektronbestråling. En gruppe arbejdere var gået i gang med at reparere kølesystemet på anlægget, da bestrålingen fejlagtigt blev igangsat. To af arbejderne fik hudskader svarende til så alvorlige forbrændinger, at man måtte foretage hudtransplantationer. Denne hændelse blev også placeret i klasse 3 på grund af de alvorlige personskader.

Fra Argentina blev der i januar 1996 oplyst om et klasse 2 uheld på kernekraftværket Embalse d. 18. december 1995. Værket er forsynet med en canadisk tungtvandsreaktor. I ugerne forinden havde reaktoren været gennem et eftersyn for skader på trykrørene, og under dette arbejde havde der været vanskeligheder med at få kontroludstyret gennem to af rørene (ud af mange hundrede rør). En senere inspektion af et af disse rør viste en lokal tæring, hvorfor røret blev udskiftet. Den 13. december begyndte opstarten af reaktoren, og den 16. december var kraftværket i fuld drift. Efter yderligere et par dage måltes radioaktivitet i reaktorbygningen, og værket blev stoppet. Det viste sig, at der var et 7 mm langt

hul i det andet af de to rør, der havde været problemer med ved eftersynet. Det skadede rør blev udskiftet, og efter 10 dage var kraftværket i normal drift igen. Hændelsen blev rubriceret i klasse 2, dels på grund af udsivning af radioaktivitet til reaktorbygningen, dels på grund af, at personalet ikke med større omhu havde kontrolleret begge de rør, der havde voldt problemer.

Den 30 januar 1996 havde det amerikanske kernekraftværk Wolf Creek problemer med kølevand til nogle hjælpesystemer. Is i flodvandet havde tilstoppet en del af gitteret foran vandindsugningen. Da operatørerne konstaterede problemet med isen, stoppede de reaktoren. Der var derefter kun behov for kølevand til forskellige hjælpesystemer, hvilket kan skaffes på adskillige måder. Selv om flere af disse hele tiden var brugbare, gav problemerne, der til dels skyldtes betjeningsfejl, så væsentlige indskrænkninger i sikkerheden, at hændelsen rubriceredes i klasse 2.

På det franske kernekraftværk Belleville oplevede man d. 6. april, at én gruppe kontrolstænger (ud af 65 grupper) ikke kunne føres ind i reaktorkernen. Hver anden måned kontrolleres stavenes indføring under reaktorens drift. Under kontrollen af en gruppe kontrolstave blev en af stavene fejlagtigt ført for langt ind i reaktoren. Det bevirkede en unormal neutronfordeling i kernen, og reaktorens sikkerhedssystem gik automatisk i funktion og igangsatte en indføring af alle kontrolstave i reaktorkernen. 64 grupper af kontrolstave blev ført ind korrekt, men den sidste gruppe kunne ikke komme ind. De 64 indførte grupper var mere end rigeligt til at stoppe reaktoren. Man kunne ikke ved den efterfølgende analyse af hændelsen finde årsagen til den manglende indføring. Kontrolstavene på Belleville reaktoren samt på andre reaktorer af samme type blev derfor efterfølgende holdt under omhyggelig kontrol, og man gennemgik de franske arkiver over driftsforstyrrelser ved kontrolstave. Man konstaterede herved, at året forinden havde der været lignende problemer på kernekraftværket Paluel - også uden at man kunne fastslå årsagen. Hændelsen på Belleville er vurderet til klasse 2 på INES skalaen.

Under det årlige eftersyn på det franske kernekraftværk Chinon B1 opdagede man d. 13. maj 1996 skadede bolte i nogle beslag, der skal sikre reaktortanken i tilfælde af kraftige jordskælv. Beslagene skal bl.a. forhindre, at tanken forskydes i vandret retning. Flere af boltene og beslagene var så dårlige, at de ikke gav den ønskede sikkerhed. Andre franske kernekraftværker af samme type blev straks undersøgt for tilsvarende skader. Alle havde svagheder af lignede art, og reaktorerne blev stoppet. Efter nogle midlertidige forbedringer blev de igangsat igen, men myndighederne krævede, at planlægning for en vedvarende løsning straks skulle udarbejdes. Hændelsen blev først vurderet til INES-klasse 1, men sikkerhedsmyndighederne ændrede senere klassifikationen til 2, idet der ikke blot var tale om reduceret sikkerhed, men der manglede også systematiske planer for vedligeholdelse af udstyret til sikring mod skader fra jordskælv.

På et naturgasfyret kraftværk i Iran skete der den 24. juli et strålingsuheld, hvor en person blev udsat for en kraftig strålingsdosis. Da der var tale om et strålingsuheld, blev det af nogle internationale nyhedsmedier i begyndelsen omtalt som et uheld på et kernekraftværk. I Iran er der i imidlertid ingen kernekraftværker. På det naturgasfyrede kraftværk Gilan i det nordlige Iran havde man foretaget en radiografisk undersøgelse af nogle rør for at vurdere svejsningernes kvalitet. Til dette formål benyttedes en kraftig gamma-kilde. I strid med reglerne fjernede en af arbejderne kilden efter undersøgelsen og bar den bort fra området. Herunder blev han udsat for en kraftig strålingsdosis. En eftersøgning blev igangsat, men man fandt ham først adskillige timer senere, hvorefter han straks kom på hospitalet. Der var 15 andre arbejdere på stedet, da kilden blev fjernet. Undersøgelser af disse viste ingen strålingsskader. Andre personer, der uden for ar-

bejdsområdet kunne have været i kontakt med kilden, er også blevet undersøgt for strålingsskader. Der er ikke fra Iran fremkommet oplysninger om de sundhedsmæssige følger, men som bl. a. omtalt ovenfor har man andre steder i verden tidligere oplevet, at personer er blevet alvorligt skadet af kraftige gamma-kilder, der i strid med forskrifter er blevet fjernet fra deres afskærmninger; enkelte dødsfald er forekommet.

I 1996 oplyste sikkerhedsmyndighederne i Ungarn, at man havde haft en klasse 2 hændelse på kernekraftværket Paks d. 8. november 1995. Under en rutinemæssig afprøvning af kontrolstavene satte én af stavene sig fast inde i reaktoren. Operatørerne nedlukkede straks reaktoren. En efterfølgende, langvarig undersøgelse viste, at små metalspåner havde fået kontrolstaven til at sætte sig fast. Det menes, at metalspånerne stammer fra reparationsarbejder, der tidligere i 1995 var blevet gennemført på reaktorsystemet. At der kan komme metalspåner i reaktorvandet er tegn på en dårlig "sikkerhedskultur", og det var medvirkende til, at en ellers ikke særlig betydningsfuld hændelse blev rubriceret i klasse 2.

I sensommeren 1996 var det svenske kernekraftværk Oskarshamn 2 igennem en omfattende sikkerhedsmæssig renovering og modernisering. Kabler, gennemføringer og ventiler blev udskiftet, vigtige rørledninger blev kontrolleret for revnedannelse, og indeslutningen blev trykprøvet. D. 6. november blev værket sat i drift igen. Under den periodiske driftskontrol en uge senere konstateredes det, at de nødkølesystemer (brusere i reaktortanken), der skal køle reaktorkernen i tilfælde af et stort rørbrud med tab af kølevand, ikke var driftsklare. Elektriciteten (6 kV nettet) var slået fra, så nødkølepumperne ikke kunne starte. Fejlen blev rettet på 10 minutter, og kraftværket fortsatte driften. Efterfølgende er hændelsen blevet nøje analyseret og er bedømt til INES-klasse 2, idet den manglende elektricitet til nødkølepumperne havde givet en nedsat sikkerhedsmargin for værket i en uge.

Man har også fundet grunden til den frakoblede elektricitet. Da arbejdet med at modernisere værket var ved at være afsluttet, gik personalet i gang med procedurerne for opstart af reaktoren. Et bestemt sted i disse procedurer skal elektriciteten til nødkølepumperne tilkobles, hvis den ikke allerede er koblet til. Af hensyn til sikkerheden for nogle personer, der arbejdede i det rum, hvorfra nødkølepumperne suger vand, besluttede en operatør og en skifteholdsleder at undlade tilkoblingen, idet de mente, at et senere punkt i igangsætningsproceduren ville sikre, at elektriciteten blev koblet til nødkølepumperne. Men det var ikke tilfældet.

Ejerne af svenske kernekraftværker er sammen med de svenske myndigheder gået i gang med at undersøge, hvorledes fejl af denne eller lignende typer kan undgås fremover.

I forbindelse med hændelsen på Oskarshamn 2 har der været fremført forskellige sandsynlighedsberegninger over, hvor "tæt" man havde været ved et alvorligt uheld med nedsmeltning af reaktorkernen (eller dele heraf). Indledningsvis må man ved sådanne beregninger konstatere, at nødkølebruserne alene har til formål at overbruse reaktorkernen, hvis der sker så stort et rørbrud, at de øvrige pumpesystemer ikke kan holde vandstanden i tanken. Et sådant uheld forudsætter, at der skal ske et overskæringsbrud på en af de største rørledninger (i hovedcirkulationssystemet). Et rørbrud af denne type er aldrig sket på noget kernekraftværk i verden. Da der er opnået over 6000 driftsårs erfaringer med kernekraftværker, kan man forvente, at sandsynligheden for et stort rørbrud er mindre end én gang pr 6000 driftsår. Med ca. 50 uger pr år vil sandsynligheden for et rørbrud i en bestemt uge da være én på 300 000. For Oskarshamn 2 var sandsynligheden lavere; de rør, der i givet fald skulle udsættes for et totalt brud, var kort forinden blevet kontrolleret for begyndende revnedannelse, og man fandt ingen. Skulle der

trods den lave sandsynlighed alligevel være sket et stort rørbrud med efterfølgende nedsmeltning af kernen, ville værket være blevet ødelagt, men ingen radioaktivitet var sluppet ud i omgivelserne. Indeslutningen om reaktoren var lufttæt - hvilket netop var blevet kontrolleret - og de øvrige sikkerhedssystemer var funktionsduelige.

På det hollandske kernekraftværk Borssele opdagede man den 21. november 1996, at nogle ventiler stod åbne i et udluftningssystem, der kan benyttes til at udblæse luft fra reaktorindeslutningen. Under normal drift skal disse ventiler være lukket for at sikre, at der er en helt lufttæt bygning (indeslutningen) om reaktoren, så radioaktivitet fra en skadet reaktor ikke slipper ud i omgivelserne. Ventilerne blev lukket to timer efter, at fejlen blev opdaget. En hurtig gennemgang af driftsjournalerne viste, at fejlen øjensynlig var begået i forbindelse med vedligeholdelsesarbejde 9 måneder tidligere. Var der i denne periode sket et uheld med frigørelse af radioaktivitet til indeslutningen, ville radioaktivitet også være frigivet til omgivelserne, indtil ventilerne var blevet lukket.

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 enheder af typen BWR, Ringhals-værket i Västergötaland med 1 enhed af typen BWR og 3 enheder af trykvandsreaktortypen (PWR) og endelig Forsmark-værket nord for Stockholm med 3 enheder af typen BWR. Den samlede installerede elektriske effekt for de 12 enheder er 10.000 MW. Placeringen af værkerne fremgår af Figur 5.1.

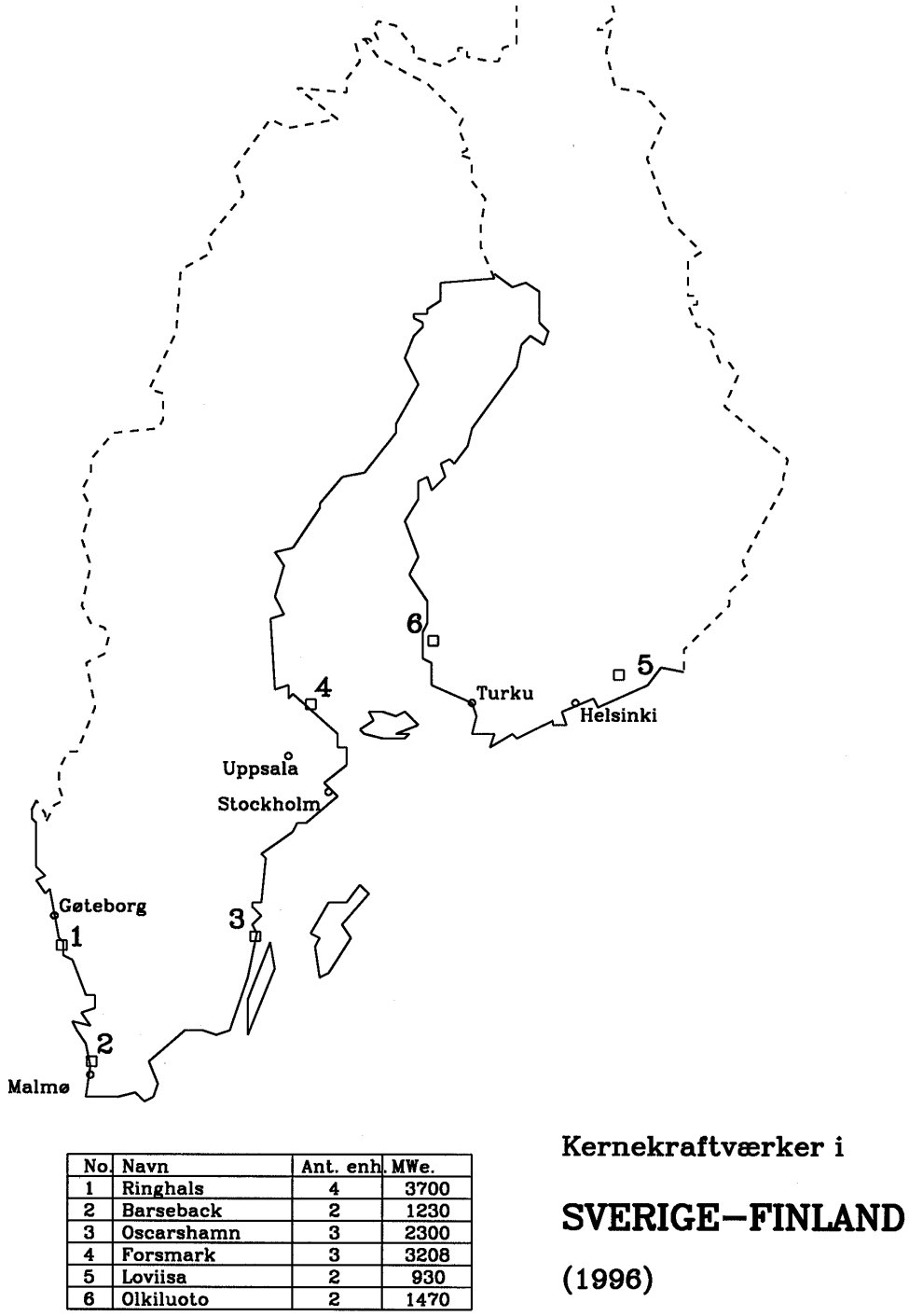
Kogendevandsreaktorerne er alle leveret af det svenske firma ABB ATOM (tidligere ASEA ATOM), mens trykvandsreaktorerne er leveret af det amerikanske firma Westinghouse.

5.1 Barsebäck-værket

Barsebäck-værket, 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 håndtering af affaldet i fremtiden 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.

Gennem omfattende test- og vedligeholdelsesprocedurer kontrollerer man hele tiden værkets sikkerhedsmæssige tilstand specielt med sigte på ældning af komponenter. Man anvender således ca. 400 mill. kr. hvert år til moderniseringer og vedligeholdelsesarbejder på anlægget.

Den årlige nedlukning af enhed 1 for at skifte brændsel og udføre vedligehold blev i 1996 forlænget med en måned til i alt 2 måneder. Årsagen var udbedring af revner i svejsninger i systemet for køling af reaktoren under nedlukning. Revnerne skyldes formentlig interkrystallinsk spændingskorrosion, som kan forekomme, når et rør har været udsat for kraftige svejsninger, trækspændinger og iltholdigt vand.



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

Figur 5.1. Kernekraftværker i Sverige - Finland.

Enhed 2 blev i juni udsat for en hændelse, som blev vurderet til klasse 1 på INES (se app. A). Det drejede sig om en ventil til udluftning af kvælstof i reaktorindeslutningen, der fejlagtig stod åben under opstart. Fejlen blev opdaget inden reaktoren var på fuld effekt, hvorefter ventilen blev lukket og opstartsproceduren gentaget.

Den årlige nedlukning af enhed 2 blev også forlænget til ialt 2 måneder. Dette skyldtes problemer med plombering af rør i bunden af tanken - rør som ikke længere skal anvendes. Plombering af disse rør anses for en væsentlig sikkerhedsmæssig forbedring, idet muligheden for tab-af-kølemiddeluheld herved reduceres.

I 1994 havde Barsebäck-værket en kedelig rekord i antallet af "Rapporteringsværdige omstændigheder" til myndighederne på 108. Årsagen til mange af disse rapporteringsværdige omstændigheder kan føres tilbage til MTO-relaterede hændelser. MTO betyder samspillet mellem Menneske, Teknik og Organisation. På den baggrund indledte SKI, Statens Kärnkraftinspektion, et særligt tilsyn med værket og krævede bl.a., at et nyt kvalitetsovervågningssystem skulle indføres.

SKI har ikke været tilfreds med det tempo, i hvilket de foreslåede forbedringer er blevet gennemført, og har ment, at årsagen til mange af de indtrufne hændelser var en utilstrækkelig sikkerhedskultur. Konsekvensen har bl.a. været, at SKI har øget antallet af årlige inspektioner. I 1996 har der således været 34 dage, hvor en eller flere SKI-inspektører har opholdt sig på værket, mod normalt 10.

I lyset af den renovering, som Oskarshamn 1 i perioden 1993-95 var igennem, har SKI bedt samtlige kernekraftværker i Sverige om at undersøge en række nøglepunkter i konstruktionen, som har betydning for sikkerheden og driften. Blandt de vigtigste er følgende:

- Beskyttelse i forbindelse med brand og oversvømmelse
- Separation af elektriske kabler i reaktorindeslutningen
- Isoleringsventiler
- Rørunderstøtningsfundamenter i reaktorindeslutningen
- Strømforsyninger

Barsebäck-værket planlægger en renovering af anlægget over de næste 5 år i lighed med den, som har fundet sted på Oskarshamn 1. Dette indebærer bl.a., at reaktortanken vil blive tømt og dekontamineret for at kunne blive inspiceret indefra, ligesom mange rør i det primære system vil blive udskiftet og erstattet med nye rør indeholdende færre svejsninger. Sidstnævnte skulle reducere det tilbagevendende problem med interkrystallinsk korrosion i forbindelse med svejsninger.

5.2 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 kernekraftværk, har netop (1993-95) været gennem en omfattende modernisering ved det såkaldte Fenix projekt ("Fortsat energiproduktion i et eksisterende anlæg"). Resultatet har vist, at selv et 20 år gammelt anlæg kan bringes til at opfylde halvfemsernes sikkerhedskrav. SKI har gennem 1996 haft enhed 1 under specielt tilsyn efter den omfattende renovering. Sidste års betingede driftstilladelse, med begrundelse i konstatering af revner i moderatortanklåget, er blevet forlænget efter en nøjere undersøgelse af revnernes dybde og længde.

Enhed 2 var i november ude for en hændelse, som blev vurderet til klasse 2 på INES (se app. A). Det drejede sig om strømforsyningen til reaktorkernens sprinklersystem, som var afbrudt i 6 dage efter opstart oven på den årlige nedlukning af reaktoren (en lampe i kontrolrummet indikerede, at systemet var afbrudt). Fejlen blev først opdaget af personalet i kontrolrummet ved det ugentlige check af systemet. Hændelsen blev af SKI karakteriseret som en kombination af menneskelig fejl, dårlig instrumentering samt en uhensigtsmæssigt formuleret procedure for kontrol af sprinklersystemet. Ironisk nok indtrådte fejlen kort tid efter, at SKI over for den svenske regering havde rost værket for at have levet op til kravet om bedre sikkerhedskultur.

Hændelsen førte til, at SKI bad alle svenske kernekraftværker om at gennemgå og forbedre deres procedurer til monitering af driftstilstanden af nødkølesystemer.

Oskarshamn 3 har kørt stabilt frem til revisionen i august. Vedligeholdelsesnedlukningen blev på i alt 8 uger p.g.a. omfattende undersøgelser af reaktortanken.

5.3 Ringhals-værket

Ringhals-værket ligger ca. 60 km syd for Göteborg og ca. 65 km øst for Læsø. Enhed nr. 1, en BWR reaktor på 825 MWe, blev taget i brug i 1976, enhed nr. 2, en PWR reaktor 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.

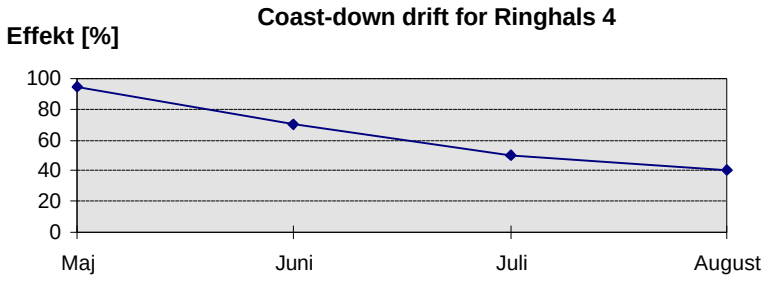
Ringhals 1 har kørt stabilt i hele 1996 med en vedligeholdelsesnedlukning på kun 4 uger.

Ringhals 2 har under den årlige revision fået udskiftet låget til reaktortanken. I 1991 blev der konstateret begyndende revnedannelser i låget. Disse revner blev repareret og er senere blevet nøje kontrolleret ved alle efterfølgende revisioner.

Ved revisionen i 1995, hvor dampgeneratorerne blev udskiftet og effekten øget med 9 % på enhed 2, blev den fornyede driftstilladelse begrænset til 1/7-97. Der foreligger endnu ingen oplysninger om enhedens videre skæbne efter denne dato.

Under en afprøvning i forbindelse med Ringhals 3's opstart efter revisionsnedlukningen indtraf en utilsigtet nedlukning p.g.a. brist i kommunikationen mellem kontrolrumspersonalet og de personer, som foretog afprøvningen. Efter endnu en nedlukning, forårsaget af en fejl i en dampledningsventil, har enheden kørt stabilt.

Ringhals 4 har kørt planmæssigt i 1996 med coast-down drift indledt allerede i begyndelsen af maj (coast-down drift betyder drift med aftagende effekt af reaktoren p.g.a. brændslets udbrænding). Coast-down perioden varede i 4 måneder frem til revisionsnedlukningen. Effekten var da reduceret til 40%, svarende til 384 MWe (Figur 5.2).



Figur 5.2. Coast-down forløb for Ringhals 4 PWR-anlæg.

Allerede midt i juli var reaktoreffekten så lav, at den ene af enhedens to turbiner kunne frakobles.

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.

Forsmark 1 har under den årlige revision fået udskiftet en af de to elgeneratorer. Ved opstarten efter revisionen indtraf en hændelse, som blev bedømt til klasse 1 på INES (se app. A) Fejlen bestod i, at en ventil i systemet for filtreret trykaflastning af reaktorindeslutningen ikke var blevet åbnet efter lækageafprøvning under revisionen. Konsekvensen var, at trykaflastningssystemet ikke var funktionsdygtigt.

Under revisionen på Forsmark 2 indtraf en række uheldige hændelser, som skyldtes dårlig tilrettelæggelse af arbejdet og manglende sikkerhedskultur. Man fik bl.a. en utilsigtet sænkning af vandniveauet i bassinet for håndtering af brændselselementer, ligesom man under afprøvning af en ventil fik udstrømning af vand fra kondensationsbassinet til den nedre del af reaktorindeslutningen. Hændelserne var dog ikke så alvorlige, at de blev klassificeret på INES.

Forsmark 3 har under revisionen fået udbygget borindsprøjtningssystemet til nedlukning af reaktoren i tilfælde af, at kontrolstavene ikke virker. Dette system blev udbygget på enhed 1 og 2 i 1995. Der er blevet lokaliseret brændselsskader på to brændselselementer, som under revisionen er blevet udskiftet. Efter opstarten har der været to driftsstop, som skyldtes fejl på ventiler i nedblæsningssystemet. Fra midten af august har enheden kørt stabilt.

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:

> "Ændring af energisystemet må udover de sikkerhedsmæssige krav ske under hensyntagen til behovet for elektrisk kraft, for opretholdelse af beskæftigelse og velfærd. Hvornår kernekraftafviklingen skal indledes, og i hvilken takt den skal ske, afgøres af resultaterne af elbesparelserne, tilførslen fra miljøacceptabel kraftproduktion og mulighederne for at bibeholde internationalt konkurrencedygtige elpriser. Partierne er enige om disse udgangspunkter".

Ovennævnte citat fra 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.

Energikommissionen slutter af med følgende udtalelser i rapporten:

"Kommissionen har i enlighet med sina direktiv granskat effekterna av avställningen av ett eller två kärnkraftsaggregat under 1990-talet. Analysen visar att ett aggregat kan ställas av utan att kraftbalansen försvagas påtagligt. Vid avveckling av ytterligare ett mindre aggregat skulle marginalerna minska betydligt.

Resultaten av energieffektiviseringarna, tillförsel av förnybar energi samt möjligheterna att bibehålla internationellt konkurrenskraftiga priser avgör takten i kärnkraftsavvecklingen. Med hänvisning till Energikommissionens prognoser och bedömningar bör något årtal då den sista reaktorn tas ur drift inte fastställas.

Kommissionen finner det angeläget att avvecklingen påbörjas i ett tidigt skeda så att omställningsprocessen kan inledas. Härvidlag är kraftfulla ekonomiska styrmedel av central betydelse. Det är Energikommissionens uppfattning att ett kärnkraftsaggregat kan ställas av under mandatperioden (1994-98) utan att kraftbalansen påverkas påtagligt."

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 har Socialdemokratiet, Centerpartiet og Vänsterpartiet indgået aftale om at lukke den ene Barsebäck-reaktor inden 1. juli 1998 og den anden inden 1. juli 2001. Der skal forhandles med Sydkraft, som ejer Barsebäck-reaktorerne, om erstatning. Den nødvendige lovgivning omkring afviklingen vil blive fremlagt i Den svenske Rigsdag i marts måned med forventet vedtagelse i maj 1997.

6 Reaktorsikkerhedsudviklingen i Østeuropa

6.1 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 6.1. 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	2*)	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 dårlig økonomi og modstand fra befolkningsgrupper har afholdt russerne fra at færdiggøre enheden. De nyeste oplysninger tyder nu på, at Kursk 5 vil blive færdigbygget med opstart i begyndelsen af 1998.

Den internationale elektrotekniske kommission (IEC) har for nylig afsluttet en undersøgelse af, på hvilke områder man på kort sigt kan gøre mest for at forbedre sikkerheden på de eksisterende RBMK reaktorer. IEC er kommet til følgende konklusion:

- Implementering af system måling af brint i primærsystemet
- Forbedret detektering af lækager i primærsystemet
- Forbedret dataudstyr til opsamling og visning af driftsparametre

Alle tre punkter vedrører systemet for instrumentering og kontrol af anlægget.

Systemet til at måle indholdet af brint i primærsystemet gælder specielt brændsels- og kontrolstavskanalerne, hvor en mulig eksplosion vil kunne få alvorlige konsekvenser.

Med hensyn til detektering af lækager fremhæves anvendelse af fugtighedsmålere, akustiske sensorer samt sump-niveaumålere.

Endelig vil et nyt og hurtigere udstyr til procesdataopsamling og -visning blive hilst velkommen af reaktoroperatørerne. Det gamle system, SKALA, bruger ca. 25 min til at opsamle og vise procesdata, hvor moderne systemer kan gøre det på ca. 5 s.

Rusland opererer også med et forslag til en ny og mere avanceret RBMK-reaktor, MKER800 på 800 MWe. Denne reaktor skulle leve op til de internationale sikkerhedskrav med hensyn til reaktorindeslutning, nødkøleanlæg, separation af udstyr o.s.v. og skulle bl.a. have følgende gode egenskaber:

- Negativ dampreaktivitetskoefficient
- Naturlig cirkulation
- Passive sikkerhedssystemer
- Reaktorindeslutning
- Mulighed for kontinuert drift af reaktoren i 4 år

- Levetid på 60 år
- Byggetid på 5 år

Leningrad-værket viste i begyndelsen stor interesse for forslaget med henblik på at erstatte de 2 ældste reaktorer med 3 reaktorer af typen MKER800. Forslaget er imidlertid lagt på is - mest af politiske grunde - til fordel for et nyt VVER-640 design, som vil blive konstrueret efter vestlige sikkerhedsnormer (se afsnit 7.6 side 54).

6.2 VVER-reaktorer

VVER-reaktorerne er den sovjetiske udgave af trykvandsreaktoren. De 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 6.2. 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.

Af betydning for sikkerheden er - ud over det allerede nævnte - bl.a. 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 boblekondenseringstårn 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. I 1996 er den finske Loviisa-1 reaktor blevet udglødet af Skoda. I USA har der i 1996 været indledende forsøg med metoden.

VVER-1000

VVER-1000 minder mere om vestlige trykvandsreaktorer. Der er fire vandrette dampgeneratorer og en turbo-generator 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).

6.3 Skibsreaktorer

Brug af reaktorer til fremdrivning af skibe er begrænset til militære fartøjer, specielt u-både, samt til arktiske isbrydere. Med den kolde krigs ophør er behovet for nukleare ubåde blevet reduceret. Mange af de ældre atomubåde tages ud af drift, og der bygges kun få nye. Antallet af nukleart drevne fartøjer er derfor aftagende. Samtidig er spørgsmålet om, hvad man gør med de udtjente, nukleare ubåde, blevet højaktuelt.

I USA har man gennem de senere år indført en standardprocedure for ophugning af gamle, nukleare ubåde. Ubådenes sidste sejlads går til flådeværftet Puget Sound nær Seattle på USA's vestkyst. Efter en passende nedlukningsperiode, i hvilken radioaktiviteten i ubådens reaktor gradvis mindskes, fjernes brændselselementerne fra reaktoren, og de sendes til opbevaring andetsteds. Herefter er størstedelen af radioaktiviteten i ubåden fjernet, men reaktortanken og den omgivende strålingsafskærmning indeholder dog stadig betydelige mængder radioaktivitet.

Det næste skridt er at skære reaktorrummet ud af ubåden, hvis forreste og bageste del derefter på sædvanlig vis kan hugges op. Reaktorrummet har form af en cylinder med en diameter på ca. 10 m, et rumfang på ca. 1000 m^3 og en vægt ca. 1000 t. Denne cylinder, som indeholder alle ubådens radioaktive dele, sejles på en

pram op ad Columbia-floden til Hanford-anlægget, hvor USA's første anlæg til produktion af våbenplutonium ligger. Her har man i et næsten ørkenagtigt område indrettet en "radioaktivitetskirkegård", hvor ubådsrummene anbringes i en stor grav og senere overdækkes med nogle meter jord.

USA har benyttet denne metode til at deponere over 30 ubådsreaktorer.

Storbritannien og Frankrig har langt færre nukleare ubåde end USA, og råder heller ikke over en sådan "radioaktivitetskirkegård". Man vil derfor benytte en noget anden procedure. Brændslet fjernes fra de gamle ubåde, som derefter lægges op. I Storbritannien holder man ubådene flydende ved en base under stadigt opsyn, mens man i Frankrig skærer reaktorrummet ud og opbevarer det på land. Efter en længere årrække, i løbet af hvilken restradioaktiviteten i reaktorrummet aftager yderligere, skæres ubåden/reaktorrummet i mindre stykker. De radioaktive dele deponeres derefter i de underjordiske deponier for radioaktivt affald, som planlægges i UK og Frankrig.

USSR/Rusland er det land, der har bygget flest nukleart drevne fartøjer - flere end alle øvrige lande tilsammen - og man står derfor over for et stort ophugningsproblem, der bliver yderlig forstærket af Ruslands nuværende, økonomiske vanskeligheder.

I følge de seneste, russiske oplysninger er ialt 121 gamle atomubåde, 70 ved Nordflåden og 51 ved Stillehavsflåden, blevet lagt op. Af disse befinder 30 sig på forskellige stadier af ophugningsprocessen. Brændslet er fjernet fra alle 30. Herefter skærer man reaktorrummet og de to naborum ud af ubåden og tætner denne sektion. Alternativt tætner man selve trykskroget. Herefter er reaktordelen/ubåden klar til flydende opbevaring i længere tid. 17 ubåde har fået en sådan behandling, mens de resterende 13 er på vej.

I de resterende 91 ubåde har kun 12 fået brændslet fjernet, mens 79 (52 ved Nordflåden og 27 ved Stillehavsflåden) ligger oplagt med brændsel i reaktoren. Da mange af ubådene har været lagt op i adskillige år, er der rejst tvivl om, hvorvidt det vil være muligt at få brændslet ud, når man engang når hertil. Det kan være "rustet" fast. Når man ikke forlængst har fjernet brændslet, er årsagen, at opbevaringslagrene for brugt brændsel ved den russiske flådes baser stort set er fyldte. Og årsagen hertil er, at mens man tidligere sendte det udbrændte brændsel til kemisk oparbejdning i Mayak syd for Ural, så kan dette ikke mere lade sig gøre, fordi de russiske reaktorsikkerhedsmyndigheder ikke vil godkende de tidligere anvendte transportbeholdere. En anden faktor synes at være, at det russiske ministerium for atomenergi, Minatom, ønsker betaling, før Mayak-anlægget vil modtage brændslet.

Så længe ubådene indeholder brændsel, vil der være en risiko for nukleare uheld, enten tab-af-kølemiddel-uheld eller kritikalitetsuheld, hvorved der kan frigøres radioaktivt stof til atmosfæren. Selvom konsekvenserne af sådanne uheld vil være begrænset til et område omkring uheldsstedet med en radius på 10-20 km, vil de stadig være meget ubehagelige for den derboende befolkning og ikke mindst for det basepersonale, der er nær ulykken. Dette forhold forværres af, at en stor del af det involverede mandskab er værnepligtige, som ikke har fået en grundig uddannelse inden for det nukleare område, og som har meget beskedne levevilkår. Sådanne forhold fremmer ikke sikkerhedskulturen.

37 af de oplagte russiske ubåde (med eller uden brændsel) befinder sig på flådebaser i nærheden af Murmansk, 13 ligger ved Gremikha på Kola-halvøens nordkyst ca. 280 km sydøst for Murmansk, og 20 ligger ved Severodvinsk, flådeværftsbyen 40 km vest for Arkhangelsk.

De mange udbrændte brændselselementer fra ubådene, over 25000, opbevares i lagerfaciliteter i land ved Andreyev bugten ved Zapadnaya Litsa, ved Gremikha og om bord på 6 oplagringsskibe. Desværre lever disse lagre ikke op til de nød-

vendige sikkerhedskrav, heller ikke efter russisk opfattelse. Det betyder, at der også her er en risiko for nukleare uheld.

Man har fra russisk side endnu ikke endelig besluttet, hvad man vil gøre med reaktorrummene. Forskellige muligheder er under overvejelse: Opbevaring i flydende tilstand, nedsænkning på lav vanddybde, opbevaring på land i fri luft eller i en hal eller anbringelse i klippehuler. For tiden synes den sidste mulighed at være den foretrukne. Man overvejer at benytte nogle tunneler ved Ara-basen nordvest for Murmansk, men denne løsning er ikke billig. Efter en opbevaringsperiode på 50-100 år forestiller man sig, at størstedelen af materialerne kan genanvendes. I vesten mener man ikke, at dette er en økonomisk mulighed.

Endelig skal det nævnes, at den russiske flåde har 5 ubåde, i hvilke brændslet er blevet beskadiget som følge af reaktoruheld, hvorfor det ikke kan tages ud. For en af disse, en Alfa-ubåd ved Nordflåden, er reaktorrummet og de to tilhørende naborum, skåret ud og tætnet. En anden er en Echo-ubåd fra Nordflåden, som under sejlads kom ud for et tab-af-kølemiddeluheld, hvorved reaktorbrændslet blev beskadiget. De tre resterende ubåde med beskadiget brændsel tilhører Stillehavsflåden. Der er forskellige forslag til, hvad man skal gøre med disse ubåde. En mulighed er at skære reaktorrummet ud og derefter anbringe det i en tom skrogsektion fra en større ubåd, der er blevet ophugget, og så tætne denne.

6.4 Støtteprogrammer for Østeuropa

Baggrund

Omkring 1990 tog de politiske forandringer i det tidligere Sovjetunionen for alvor fat. Herved fik de vestlige lande mulighed for at medvirke til forbedring af sikkerheden ved kernekraftværkerne i østlandene.

Nuklear sikkerhed var på G7's dagsorden på München topmødet i 1992. På mødet vedtog G7-landene (USA, Japan, Canada, Storbritannien, Frankrig, Tyskland og Italien) en plan, der udpegede, hvilke reaktortyper der burde lukkes hurtigst muligt, og hvilke der med sikkerhedsmæssige opgraderinger kunne bringes op på et rimeligt sikkerhedsniveau.

Med hensyn til reaktorer af typen RBMK (Tjernobyltypen) og VVER440/230 (Greifswaldtypen) kunne der kun blive tale om "kortsigtede" opgraderinger af sikkerheden med henblik på snarlig lukning. De vestlige lande fokuserede således i første omgang på disse to reaktortyper.

VVER-1000 og i mindre udstrækning VVER-440/213 har betydeligt bedre sikkerhedssystemer end de ovenfor nævnte reaktortyper og en opgradering af sikkerheden med henblik på fortsat drift kunne være berettiget. Der er f.eks. nu ved at blive taget stilling til opgradering af sikkerheden på Rovno-4 og Khmelnitsky-2 (VVER-1000) i Ukraine.

EU's store programpakker PHARE (omfatter lande i Central- og Østeuropa) og TACIS, "Technical Assistance to Commonwealth of Independent States", dvs. det tidligere Sovjetunionen på nær de baltiske stater, blev påbegyndt i henholdsvis 1990 og 1991/92. Programmerne omfatter styrkelse af de nationale nukleare myndigheders kompetence, forbedring af reaktorsikkerheden, "on-site"-assistance, samt projektbistand i forbindelse med færdiggørelsen af reaktorer af nyere design (VVER-440/213 og VVER-1000). Senere er brændselskredsløb, radioaktivt affald og sikring mod spredning af kernevåbenmaterialer kommet på programmet. "On-site"-assistance dækker forbedring af driftsikkerheden, overførsel af viden fra vesten samt levering af udstyr til kortsigtede tekniske forbed-

ringer. I 1994 fremlagde PHARE/TACIS-gruppen den såkaldte "Master Plan", der i vid udstrækning bygger på G7's multilaterale plan fra 1992.

På G7-topmødet blev det foreslået at oprette en koordinationsmekanisme indenfor rammerne af G24-samarbejdet bestående af en styringsgruppe, et sekretariat under EU og en plenarforsamling. G24 har spillet en meget aktiv rolle ved koordinering af bilaterale og multilaterale projekter.

Spørgsmålet om erstatningspligt i forbindelse med ulykker, den såkaldte "Third Party Nuclear Liability", har medført væsentlige forsinkelser for mange projekter. En international erstatningskonvention fastslår, at ansvaret for alle skader ved en nuklear ulykke ligger helt og holdent hos den, der driver værket. Leverandører af udstyr til et værk skulle således ikke kunne drages til ansvar for dette forhold, men mange af landene har haft problemer med tilslutning til konventionen. Af SNG-landene er det kun Armenien, der har tilsluttet sig konventionen, medens Rusland og Ukraine i 1994 afgav erstatningserklæringer overfor EU i form af "Memorandum of Understandings" (MoU). Alle lande i Øst- og Centraleuropa, der modtager støtte, har underskrevet Wien-konventionen, men de færreste har fået deres nationale lovgivning på plads.

Konventionens hovedindhold kan samles i følgende 3 punkter:

- Kraftværksejeren bærer det fulde erstatningsansvar også over for tredjepart
- Der eksisterer et loft for størrelsen af erstatningsbeløbet
- Eksistens af en solidaritetserklæring blandt de underskrivende landes regeringer til i fællesskab at dække eventuelle krav fra tredjeparter

Multilaterale projekter i Central- og Østeuropa

G7-initiativer

G7-topmødet i 1992 pegede på 5 indsatsområder:

1. Driftsikkerhedsmæssige forbedringer på anlæggene
2. Tekniske forbedringer på kort sigt
3. Styrkelse af sikkerhedsmyndighederne
4. Undersøgelse af energialternativer med henblik på lukning af de mest usikre værker
5. Opgradering af bedre anlæg

G7's initiativer har i 1995 og 1996 i vid udstrækning været rettet mod Ukraine. Efter lange og svære forhandlinger blev der endelig den 21. december 1995 underskrevet et MoU mellem G7 og Ukraine. Dette MoU er en politisk aftale, der understøtter præsident Kuchma's beslutning om at lukke kernekraftværket Tjernobyl i år 2000.

Aftalen indeholder 4 hovedelementer:

1. Rekonstruktion af energisektoren med overgang til markedsøkonomi.
2. Energiinvesteringsprogram, der skal sikre tilstrækkelig installeret effekt samt energieffektivitet.
3. Nuklear sikkerhed. Det drejer sig om projekter for nedlæggelse af kernekraftværket Tjernobyl samt en ny sarkofag for reaktor 4.

4. Plan til imødegåelse af de sociale problemer ved nedlæggelse af ovennævnte værk.

Projekter til dekommissioneringsfaciliteter for affald og brændsel ved Tjernobyl vil koste NSA ("Nuclear Safety Account" administreret af EBRD) 118 MECU og TACIS 60 MECU.

Til imødegåelse af sociale problemer ved nedlæggelse af Tjernobyl kernekraftværket er der udarbejdet en foreløbig handlingsplan, der skal kommenteres af den ukrainske regering.

PHARE/TACIS-initiativer

PHARE/TACIS programmerne sigter mod et ressourceforbrug på ca. 100 MECU pr. år med 20-25 MECU til PHARE-landene og 75-80 MECU til TACIS-landene med følgende omtrentlige fordeling på lande:

- 50-55% til den Russiske Føderation
- 35-40 % til Ukraine
- 10-15% til Armenien og Kazakhstan

Projekterne udvælges på basis af sikkerhedsmæssige mangler identificeret af IAEA, G-24 m.v.

Ved en rådsbeslutning af 21. marts 1994 i EU blev der åbnet mulighed for EURATOM lån med det formål at forbedre sikkerheden på nukleare installationer i Central- og Østeuropa samt SNG-landene. Denne mulighed kan betragtes som en udvidelse til PHARE/TACIS-programmerne, hvor det drejer sig om meget store projekter som f.eks. færdiggørelse af nyere kernekraftværker i Østlandene.

I det MoU, der blev underskrevet af Ukraine og G7-landenes regeringer den 20. december 1995, stilles Ukraine bl.a. en færdiggørelse af Rovno-4 og Khmelnitsky-2 i udsigt. Ukraine har indsendt ansøgning om lån til disse projekter. I henhold til en EU-rådsbeslutning skal EURATOM modtage en positiv teknisk redegørelse fra Kommissionen, før disse projekter kan godkendes. Det er PHARE/TACIS's nukleare sikkerhedsgruppe, der er kommissionens eksperter, og en positiv teknisk redegørelse forelå i november 1996. På dette tidspunkt forelå også en rapport med et "least cost study", hvilket er en forudsætning for, at EURATOM-låneproceduren kan fortsætte. Et "least cost study" omfatter en sammenligning af udgifterne ved at fortsætte el-produktionen med de mindre sikre kernekraftværker og udgifterne ved at lade elproduktionen - om muligt - ske på konventionelle værker. EURATOM vil yde op til 400 MECU og EBRD op til 300 mio. US $, hvilket skulle dække op til 70% af den totale investering.

I november 1996 blev en rapport om Tjernobyl-sarkofagen færdig. Den omfatter en handlingsplan for både det korte og det lange sigt, udarbejdet af eksperter fra EU, Ukraine, Japan og USA. Der kan blive tale om en investering på op mod 1000 MECU over de næste 10 år. Diskussionen vil blive taget op på G7's møde i Denver i juni 1997.

EBRD/NSA-initiativer

Den nukleare sikkerhedsfond "Nuclear Safety Account" (NSA) blev i 1993 etableret som en multilateral fond administreret af EBRD. Formålet var at komplementere bilaterale bestræbelser på gennemførelse af "kortsigtede" sikkerhedsopgraderinger på de mest usikre østreaktorer, dvs. reaktorer af typen VVER-

440/230 og RBMK. Danmark bidrager til NSA med ca. 2 MECU årligt. I det følgende gennemgås eksisterende aftaler mellem EBRD/NSA og de enkelte lande.

NSA, hvis fond den 29 juli 1996 i alt nåede op på 268 MECU, hvoraf de 118 MECU var reserveret Tjernobyl, har følgende 15 donorlande: Belgien, Canada, Danmark, Finland, Frankrig, Tyskland, Italien, Japan, Holland, Norge, Sverige, Schweiz, England, USA og EU.

Rusland

Den 9. juni 1995 blev der underskrevet en aftale mellem EBRD/NSA og den russiske regering, Leningrad-værket (Sosnovy Bor), Rosenergoatom (som driver værkerne i Novovoronezh og Kola) samt tilsynsmyndigheden - Gosatomnadsor (GAN). Beløbene fra NSA, der først og fremmest var til kortsigtede sikkerhedsmæssige forbedringer på omtalte værker, fordelte sig således: Leningrad-værket (4 RBMK-enheder) 30 MECU, Kola og Novovoronezh (4 VVER-440/230-enheder) 45 MECU samt 0.9 MECU til GAN for at støtte myndighedernes godkendelsesprocedurer.

Aftalen med Rusland fastlægger ikke datoer for lukning af ældre reaktorer, men stiller til gengæld stramme krav op for deres fortsatte drift, baseret dels på grundige sikkerhedsanalyser, dels på "least cost" studier i energisektoren. Sikkerhedsanalyserne bygger på internationalt anerkendte principper.

Aftalen kræver, at Kursk-1 (RBMK) ikke startes op før sikkerhedsanalyse og "least cost" studier er færdige, og at opstarten er i overensstemmelse med resultaterne af disse. Endvidere kræver aftalen, at Novovoronezh-3 (VVER-440/230) stoppes 30. juni 1997, med mindre GAN godkender fortsat drift baseret på en sikkerhedsanalyse, der som et vigtigt punkt har reaktortankskørhed (en svaghed ved denne reaktortype), samt at "least cost" studier viser, at elektriciteten fra værket ikke kan undværes.

GAN skal implementere nye procedurer for sikkerhedsanalyser og efterfølgende driftsgodkendelser for udvalgte reaktorer af typen RBMK og VVER-440/230, og disse skal afgøre reaktorernes fortsatte drift efter 1997/98 under hensyntagen til "least cost" energistudierne.

Projekterne i Rusland har været præget af forsinkelser. Den største bekymring har dog været russernes meddelelse om, at de var ved at renovere Kursk-1 med henblik på opstart. Dette ville være et klart brud på aftalen (Grant Agreement). Der er enighed blandt donorlandene ved møder i NSA om at stå fast på dette punkt. I yderste konsekvens kunne der blive tale om at opsige aftalen fra NSA's side.

Projekterne på Kola og Novovoronezh har ligget stille, men er nu kommet i gang igen. Den 31. december 1998 er sat som fast dato for projekternes færdiggørelse (Leningrad, Kola og Novovoronezh). De projekter, der ikke vil kunne være afsluttede inden da, vil blive taget ud af programmet.

Ifølge aftalen skal der laves grundige sikkerhedsanalyser på en række reaktorer, men der er kun sket få fremskridt på dette punkt. På sidste møde i NSA (8-9. oktober 1996) blev man enige om at udføre én sikkerhedsanalyse på en RBMK-reaktor (Kursk-1) og én sikkerhedsanalyse på en VVER-440/230 -reaktor (Kola-1). De øvrige sikkerhedsanalyser kunne da begrænses til undersøgelser af forskelle mellem reaktorerne. Rapporten om retningslinier for udførelse af sikkerhedsanalyser er færdig og er blevet udleveret til GAN.

Der er også problemer med "least cost" studierne på energiområdet. En undersøgelse af nord-vest-regionen er blevet positivt modtaget af myndighederne, men elselskabet, der administrerer nettet, har nægtet at deltage. En undersøgelse af den centrale region har fået en tøvende modtagelse af myndighederne.

Specifikationen af projekterne på Leningrad-værket (Sosnovy Bor) blev tilendebragt i efteråret 1996, hvorefter udbudsfasen kunne tage sin begyndelse. Ruslandsprojekterne er således stadig på et meget tidligt stade.

Litauen

I februar 1994 blev der underskrevet en aftale mellem EBRD/NSA og Litauen om et projekt til 33 MECU. Hovedparten af pengene går til kortsigtede sikkerhedsmæssige forbedringer på de to RBMK-reaktorer i Ignalina.

Aftalen kræver, at reaktorernes liv ikke vil fortsætte ud over det punkt, hvor brændselskanalerne skal udskiftes (efter en samlet drift på 15-17 år). Levetiden af disse skal ifølge aftalen undersøges i et særskilt projekt. Ignalina's 2 reaktorenheder blev idriftsat i henholdsvis 1984 og 1987.

Aftalen kræver, at der laves en grundig sikkerhedsanalyse, og at Ignalina-1's drift ud over midten af 1998 gøres afhængig af myndighedernes godkendelse af sikkerhedsanalysen.

Aftalen kræver, at der laves et "least cost" studie i energisektoren. Ignalina-1's fortsatte drift gøres afhængig af, at det kan bevises, at den leverede strøm er nødvendig.

Planen for en grundig sikkerhedsanalyse for Ignalina ser ud til at holde: sikkerhedsrapport i oktober/november og en gennemgang af sikkerhedsrapporten i december. De endelige rekommandationer skal herefter gøres tilgængelige for de litauiske myndigheder, VATESI. I foråret 1997 vil VATESI kunne gå i gang med at behandle Ignalina-1's godkendelse for fortsat drift eller lukning.

"Least cost"-studiet er færdigt. Det konkluderes bl.a., at Litauen har nok konventionel kapacitet til at dække behovet op til år 2015 og at eksporten af el ikke har den store betydning for handelsbalancen. En lukning af Ignalina ville naturligvis føre til øgede udgifter til brændsel, men ville til gengæld reducere omkostninger til sikkerhedsopgraderinger. Alt i alt vil det dog blive dyrere. Forskellen mellem lukning af enhed 1 og 2 i årene 1998/2003 eller 5 år senere er ca. 100 mio. $.

I Ignalina-projektet er der komponentkontrakter for 28.3 MECU. Alle 15 kontrakter er underskrevne, og 8 er gennemførte.

Bulgarien

I juni 1993 blev der underskrevet en aftale mellem EBRD/NSA og Bulgarien til en værdi af 24 MECU. Pengene skal bruges til kortsigtede sikkerhedsmæssige forbedringer på Kozloduy 1-4 (VVER440/230).

I aftalen forpligter den bulgarske regering sig til på "mellemlangt sigt" (3-5 år) at nedlukke Kozloduy 1 og 2 og derefter Kozloduy 3 og 4, når en række investeringer i kraftsektoren er gennemført. Dette indbefatter opgradering af sikkerheden på Kozloduy 5 og 6 (VVER-1000) samt investeringer i konventionel energi. De nødvendige investeringer hertil er gjort afhængige af, at elpriserne i Bulgarien hæves til et fornuftigt niveau.

Projektet på Kozloduy er gang på gang blevet forsinket af Bulgarien. Udgangen af 1997 er nu sat som endelig deadline på projektet. Lånet til det konventionelle Maritsa-projekt vil blive brugt som et middel til at accelerere processen.

I Kozloduy-projektet er der komponentkontrakter for 20.7 MECU. Alle 15 kontrakter er underskrevne, 6 er gennemførte.

Ukraine

På Napoli topmødet i 1994 tilbød G7-landene Ukraine et omfattende program, der kunne understøtte lukningen af Tjernobyl i år 2000. Et "Memorandum of Understanding" (MoU) mellem G7-landenes regeringer, EU og regeringen i

Ukraine om lukning af Tjernobyl blev underskrevet den 20. december 1995. I denne sammenkædes nedlukning af Tjernobyl i år 2000 med en række projekter, der skal sikre energiforsyningen. Den 12. november 1996 blev der underskrevet en aftale mellem EBRD/NSA og Ukraine. Projektet, der er på 118 MECU, omfatter "kortsigtede" sikkerhedsopgraderinger af Tjernobyl-3 samt opbygning af faciliteter til brug ved nedlægning af værket. I aftalen henvises til MoU.

"Grant Agreement" mellem EBRD/NSA og Ukraine kom som nævnt i hus i november 1996. Første trin bliver udarbejdelse af specifikationer og udbud. Ud over projekter i NSA-regi skal der ifølge MoU startes en række andre projekter for at sikre lukning af Tjernobyl år 2000. Finansieringen via EBRD, EURATOM og Verdensbanken er i øjeblikket ved at blive bragt på plads. Disse tiltag inkluderer som tidligere nævnt færdiggørelsen af kernekraftværkerne Rovno-4 og Khmelnitsky-2 (VVER-1000).

Tjernobyl-1 blev lukket 30. november 1996 som led i aftaler med G7, Tjernobyl-2 blev lukket efter en brand i turbinehallen i oktober 1992. Tjernobyl-3 er herefter eneste enhed i drift ved udgangen af 1996. G7 reagerer kraftigt mod Ukraine's overvejelser om at idriftsætte Tjernobyl-2 for at øge forsyningssikkerheden.

Det danske nukleare øststøtteprogram

Det danske nukleare øststøtteprogram blev iværksat i Indenrigsministeriets regi i 1994 som led i en generel omlægning af den danske udviklingshjælp til Øst- og Centraleuropa, hvor der blev indført sektorprogrammer under de relevante fagministerier. Indenrigsministeriets program hører til de miljørelaterede sektorprogrammer. Det omfatter nuklear sikkerhed, strålingsbeskyttelse og atomberedskab og administreres af Beredskabsstyrelsens Tilsyn med Nukleare Anlæg. Programmet har fokus på de Øst- og Centraleuropæiske lande, der grænser op til Østersøen, dvs. Rusland, Estland, Letland, Litauen og Polen.

Hidtil er afsat 15 mio. kr. til programmet i 1994, 1995, 1996 og der er givet tilsagn om en tilsvarende bevilling i 1997. Tabel 6.3 viser fordelingen på modtagerlandene af midlerne, der kan anvendes i bevillingsåret og tre år frem.

Tabel 6.3 Bevillinger til Indenrigsministeriets nukleare øststøtteprogram

	Bevilling i 1994	**Bevilling i 1995**	**Bevilling i 1996**	**Bevilling i 1997**
Polen	2.5 mio. kr.	2.5 mio. kr.	2.5 mio. kr.	2.0 mio. kr.
Litauen	2.5 mio. kr.	3.0 mio. kr.	3.0 mio. kr.	2.5 mio. kr.
Letland	-	2.5 mio. kr.	3.0 mio. kr.	2.5 mio. kr.
Estland	-	3.0 mio. kr.	2.0 mio. kr.	2.0 mio. kr.
Rusland	10.0 mio. kr.	4.0 mio. kr.	4.5 mio. kr.	6.0 mio. kr.
I alt	15.0 mio. kr.	15.0 mio. kr.	15.0 mio. kr.	15.0 mio. Kr.

Det nukleare sektorprogram omfatter følgende hovedområder:

- etablering af netværk af automatiske målestationer til hurtig varsling af radioaktivitetsudslip, herunder udveksling af måledata mellem Østersølandene
- søgning efter radioaktivt materiale ved opmåling fra fly
- levering og træning i anvendelse af mobilt måleudstyr
- kortlægning og rensning af forurenede områder i Rusland
- forbedring af brandsikkerheden på Sosnovy Bor

Aktiviteter på disse områder fortsættes på 1997-bevillingen.

Projektet vedrørende forbedring af brandsikkerheden på Leningrad-værket (Sosnovy Bor) gennemføres i samarbejde med ELSAM Projekt og DjR Entreprise. Projektet er tæt på at kunne afsluttes, idet udstyret testes i Danmark i løbet af vinteren. Så snart frosten er gået af jorden i Skt. Petersborg-området, installeres udstyret, således at det vil være fuldt operativt på Leningrad 3 og 4 i sommeren 1997. Et lignende projekt for Leningrad 1 og 2 forventes påbegyndt i løbet af 1997.

Hidtil er der etableret 5 målestationer i Polen og 5 i Litauen, heraf 4 omkring Ignalina kernekraftværket. Målestationerne og det tilhørende programmel til behandling af måledata er udviklet i samarbejde mellem Beredskabsstyrelsen, Prolog Development Center, Greenwood Engineering, Danmarks Tekniske Universitet og Forskningscenter Risø. Ud over ovennævnte 10 målestationer, der er opstillet i Polen og Litauen, er der produceret yderligere 18 stationer, som p.t. er ved at blive opstillet i modtagerlandene, jf. Figur 6.1 og Tabel 6.4.



Figur 6.1 Dansk konstruerede målestationer i drift (▲) eller under opstilling (▲).

Hovedproblemet i forbindelse med etableringen af målesystemet har været kommunikationen af måledata, idet der i visse områder, især i Litauen, er meget dårlig telefondækning.

Til behandling og præsentation af data fra målestationerne anvendes programmet ARGOS NT, der er udviklet som led i det danske beredskabssystem. Programmet er bl.a. installeret hos myndighederne i Warszawa og Vilnius og det vil blive leveret til Letland, Estland og Rusland i forbindelse med etableringen af målestationerne.

I samarbejde med Rotary Danmark har Beredskabsstyrelsen leveret mobile målesystemer til de 3 baltiske lande. Rotary har leveret bilerne som gave i anledning af dansk Rotary's 75 års jubilæum og Beredskabsstyrelsen har udstyret bilerne med radioaktivitetsmåleudstyr. De mobile laboratorier skal anvendes til radioaktivitetsmålinger i felten og til søgning efter bortkommet radioaktivt materiale.

I sommeren 1996 gennemførte Beredskabsstyrelsen og Danmarks Tekniske Universitet 3 opmålinger fra luften over det vestlige Letland. Heldigvis blev der konstateret meget lave strålingsniveauer, og ud over et antal radioaktive mursten, der havde siddet i et stålværk, måltes intet unormalt. Årsagen til de radioaktive mursten kan være, at en kilde er indgået i en omsmeltning i stålværket.

Tabel 6.4. Lokalitet og leveringsdato for målestationerne. De to målestationer i Danmark er teststationer, der senere skal opstilles ved Skt. Petersborg

Land	***Stationsnavn***	***Leveringsdato***
Polen	Gdynia	Jan. 1996
	Lublin	Jan. 1996
	Bialystok	Jan. 1996
	Warszawa	Jan. 1996
	Krakow	Jan. 1996
	Szczecin	Dec. 1996
	Wroclaw	Dec. 1996
	Sanok	Dec. 1996
Litauen	Turmantas	Jan. 1996
	Vilnius	Jan. 1996
	Visaginas	Jan. 1996
	Rimse	Jan. 1996
	Gaide	Jan. 1996
	Alytus	Dec. 1996
	Siauliai	Dec. 1996
	Klaipeda	Dec. 1996
Letland	Balvi	Dec. 1996
	Daugavpils	Dec. 1996
	Liepaja	Dec. 1996
	Jurmala	Dec. 1996
Estland	Kunda	Dec. 1996
	Tiirikoja	Dec. 1996
	Kärdla	Dec. 1996
	Valga	Dec. 1996
Rusland	Sosnovy Bor	Feb. 1997
	Sosnovy Bor	Feb. 1997
Danmark	Risø	Okt. 1996
	Beredskabsstyrelsen	Dec. 1996

7 Udviklingen i andre lande

7.1 Nord- og Sydamerika

USA

Ved begyndelsen af 1996 havde USA 109 kernekraftenheder med en samlet effekt på 99 GWe i drift. I løbet af 1996 blev et nyt kernekraftværk, Watts Bar, på 1170 MWe sat i drift.

I USA regner man med i løbet af et antal år at åbne for fri konkurrence på elmarkedet. Hidtil har de enkelte amerikanske el-selskaber haft monopol inden for deres distributionsområde, men til gengæld har el-prisen skullet godkendes af offentlige kommissioner i de enkelte stater. Et frit marked vil kunne skabe økonomiske vanskeligheder for selskaber med dyre værker, herunder dyre kernekraftværker. Mange amerikanske kernekraftværker har haft byggetider, der er på det dobbelte af europæiske. Det har øget investeringerne væsentligt, men den medfølgende stigning i el-prisen har hidtil kunnet føres over til forbrugerne. Dette vil ikke være tilfældet i et frit marked, hvor el-prisen vil blive bestemt af de mest effektive producenter. De investeringer, som et el-selskab ikke kan få afskrevet under et marked med fri konkurrence, kaldes "stranded assets" eller "stranded costs". Amerikanske el-selskaber søger at reducere disse gennem øgede afskrivninger samt besparelser, f.eks. personalereduktioner, større produktion, længere driftsperioder og sammenlægninger af el-selskaber. Men nogle selskaber kan komme i vanskeligheder, når og hvis et frit el-marked bliver en realitet.

Den største, amerikanske reaktorleverandør, Westinghouse, planlægger at reducere sin stab inden for kernekraft med ca. 1000 medarbejdere p.g.a. faldende aktivitet. Efter denne reduktion vil staben være på 6000. Den amerikanske reaktorindustri presser på for at få myndighedernes tilladelse til at gå ind på det kinesiske marked, som forventes at blive et af de vigtigste fremover.

Den amerikanske kongres behandlede i 1996 et lovforslag, der skulle give retningslinierne for behandlingen af det amerikanske, højaktive affald. Forslaget indeholdt bl.a. bestemmelse om at oprette et midlertidigt lager for udbrændt brændsel i Nevada, indtil et endeligt deponi er klar. Forslaget blev vedtaget i Senatet, men blev trukket tilbage i Repræsentanternes Hus, dels fordi præsident Clinton truede med at nedlægge veto imod det, dels fordi republikanerne frygtede at miste mandater i Nevada, hvis det blev vedtaget. Ifølge gældende lov skal energiministeriet i 1998 overtage udbrændt brændsel fra de amerikanske kernekraftværker, men ministeriet vil ikke vedkende sig denne forpligtelse. Denne holdning førte til, at nogle amerikanske el-selskaber forhandlede med et indianerreservat om at lave et midlertidigt affaldslager på reservatets område. Disse forhandlinger blev indstillet i 1996 p.g.a. uenighed på afgørende punkter.

Der er fortsat problemer med oprettelsen af regionale deponier for lavaktivt affald. I Californien har man endnu ikke kunnet få det føderale indenrigsministerium til at frigive et område i Ward Valley til bygning af deponiet, idet indenrigsministeriet stadig forlanger yderligere undersøgelser. Det har fået californiske producenter til at søge deponering andre steder. Også arbejdet på at lave et lavaktivt deponi i Wake County i North Carolina er blevet forsinket af uenighed mellem statens guvernør og den kommission, South Compact Commission, der repræsenterer de potentielle brugerstater, om stedets egnethed og om finansieringen af projektet. Det selskab, som skal drive deponiet, Chem-Nuclear Systems, trak sig i en periode i 1996 ud af arbejdet på grund af mangel på bevillinger.

Som følge af demontering af overflødige kernevåben har USA fået et overskudslager af våbenplutonium. Der er forskellige opfattelser af, hvordan man kommer af med dette. Nogle el-selskaber går ind for at lave kraftreaktorbrændsel ud af våbenplutonium (såkaldt MOX-brændsel), og brænde det indeholdte plutonium i kraftreaktorer. I denne forbindelse har muligheden af at brænde plutonium i de canadiske CANDU-reaktorer også været nævnt. Det amerikanske energiministerium har længe været tilhænger af at smelte plutonium sammen med glas og fissionsprodukter og derefter deponere blandingen som radioaktivt affald i undergrunden. Ministeriet går nu ind både for MOX- og for plutonium-glas-muligheden. Endelig har firmaet ABB Combustion Engineering foreslået bygning af en ny, privatfinansieret kraftreaktor, som samtidig skal brænde plutonium, producere tritium til USA's brintvåben og lave elektricitet.

Canada

Ved begyndelsen af 1996 havde Canada 21 kernekraftenheder med en samlet effekt på 15 GWe i drift.

Det statslige selskab Atomic Energy of Canada Ltd, som står for salget af CANDU-kraftreaktorer med tungt vand som moderator og naturligt uran som brændsel, står foran budgetnedskæringer, og selskabet vil derfor koncentrere sig om reaktorsalg. Man påregner, at antallet af ansatte, der ligger på knap 4000 skal reduceres med mindst 400 over de to næste år. Dette forhold vil ikke blive påvirket af, at selskabet i november solgte 2 740 MWe CANDU-enheder til opførelse i Kina, 125 km sydvest for Shanghai.

Det canadiske el-selskab, som har den største kernekrafteffekt, Ontario Hydro, er foreslået privatiseret af Macdonald-kommissionen, der afgav betænkning i 1996. Det er dog langt fra sikkert, at forslaget gennemføres. Selskabet har i øvrigt i 1996 haft betydelige driftsproblemer med Pickering-værket, der består af 8 CANDU-enheder. Det har medført, at Pickering-enhederne i december måned kun fik en driftstilladelsesforlængelse på 6 måneder og ikke som sædvanligt en forlængelse på 2 år.

Mexico

Ved begyndelsen af 1996 havde Mexico 2 kernekraftenheder med en samlet effekt på 1300 MWe i drift.

Brasilien

Ved begyndelsen af 1996 havde Brasilien en kernekraftenhed med en effekt på 630 MWe i drift.

Bygningen af Brasiliens andet kernekraftværk, Angra-2, som skal leveres af Siemens, er efter mange års forsinkelse ved at komme i gang igen og enheden på 1300 MWe forventes at komme i drift i 1999. Årsagen til forsinkelsen er vanskelighed med at fremskaffe den nødvendige kapital.

Argentina

Ved begyndelsen af 1996 havde Argentina to kernekraftenheder med en samlet effekt på 940 MWe i drift.

Der forberedes lovgivning om privatisering af det statsejede selskab Nucleoelectrica Argentina S.A., der driver de argentinske kernekraftenheder. Staten vil

fortsat beholde 20% af aktierne. Det er dog tvivlsomt, om man kan finde de ønskede, udenlandske investorer.

7.2 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 53 reaktorer i drift med en samlet elektrisk effekt på 44 GWe, dækkende ca. 30% 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 GWe. Den første ABWR på 1356 MWe (Kashiwazaki enhed 7, Figur 7.1 og Figur 7.2), som er bygget for Tokyo Electric (Tepco) af Toshiba, Hitachi og General Electric, blev sat i kommerciel drift i december 1996. Prøvedrift er indledt for den næste ABWR. De første to avancerede trykvandsreaktorer (1420 MWe, Mitsubishi/Westinghouse) venter endnu på den sidste godkendelse af byggeansøgningen, som nu er udskudt for anden gang.

Nedlægningen af de ældste reaktorer er under planlægning. Nedrivningen af en 90 MWe demonstrationsreaktor fra 1963 er afsluttet efter 10 års arbejde. I 1998 påbegyndes demonteringen af den første kommercielle reaktor, en 166 MWe Magnox reaktor.

Den hurtige formeringsreaktor (FBR) Monju, som er en 280 MWe prototype, led under prøvedrift i december 1995 et alvorligt tilbageslag, idet et sekundært kølekredsløb lækkede ca. 0,7 ton flydende natrium ud på gulvet. Uheldet, der var uden sikkerhedsmæssig betydning, har forsinket projektet 2-3 år. Men måske er den værste skade det tillidsbrud, der skete, da man forsøgte at skjule skadernes omfang over for myndighederne og offentligheden.

Ifølge langtidsplanerne for overgang til plutonium-brændsel 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 nu stoppet af økonomiske grunde, da denne type ikke kan konkurrere med letvandsreaktorerne.

Brugen af MOX-brændsel (plutonium-uranoxid blanding) i letvandsreaktorerne fungerer teknisk set tilfredsstillende og ventes at skulle holde trit med plutoniumproduktionen. Tre provinsguvernører har dog modsat sig disse planer p.g.a. den utryghed, der opstod i forbindelse med Monju-uheldet.

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.



Figur 7.1. Kashiwazaki Kariwa kernekraftværk i Japan enhed 7 og 8.



Figur 7.2. Kontrolrummet på enhed 7 af Kashiwazaki Karina kernekraftværket

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 11 reaktorer i drift (10 PWR og 1 CANDU-reaktor) på tilsammen 9616 MWe. Andre 7 (heraf 3 CANDU-reaktorer) er under bygning, og med yderligere 10 planlagte reaktorer ventes den samlede kapacitet at blive 26.300 MWe i år 2010. De nyeste reaktorer 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 de nyligt reviderede planer frem til år 2010.

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 5146 MWe leverer ca. 30% af elforbruget. En kontrakt om bygning af det fjerde kernekraftværk ved Lungmen er endelig blevet afsluttet trods kraftig modstand i parlamentet. 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 ialt 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 GWe i år 2020 og mindst 150 GWe 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). 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 Guangdong-provinsen omfatter i alt 12 enheder (PWR og CANDU).

Efter langvarige forhandlinger er der endelig afsluttet kontrakt med Canada om opførelse af 2 x 700 MWe CANDU-reaktorer ved Shanghai. Også aftalen om to russiske VVER-1000 reaktorer synes nu at være på plads.

Udviklingen er til dels styret af mulighederne for at opnå eksportkreditter, selv om dette ikke fremmer en konsekvent linie i udviklingen af en selvstændig kernekraftindustri. Spredningen bliver ikke mindre, hvis det lykkes de amerikanske reaktorfirmaer at få ophævet forbudet mod eksport af reaktorer til Kina. Kina er interesseret i amerikansk teknologi og finansiering, men tolererer ikke indblanding i interne affærer. Hertil hører, at eksporten af amerikansk reaktorteknologi til Taiwan er i strid med et-Kina-politikken. En nedbrydning af disse barrierer vil i øvrigt også fremme samhandlen med Sydkorea og Japan, hvis kernekraftindustrier er bundet af licensaftaler med USA.

Reaktorbrændslet produceres i Yibin, Sichuan, på grundlag af egne uranreserver (57.000 tU påvist). Man stiler mod at beherske alt vedrørende brændsel-

skredsløbet og vil bl.a. udskifte de eksisterende diffusionsberigningsanlæg med mere energiøkonomiske centrifugeanlæg. 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. Kernekraften dækker ca. 2% af elforbruget, hvis størrelse er en tredjedel af Kinas. De to ældste CANDU-reaktorer (Rajastan) er ude af drift og venter på at få udskiftet trykrørene. I forbindelse med et omfattende sikkerhedscheck har der bl.a. været rejst kritik af bl.a. defekte nødkølesystemer og lagertanke for affald. Man forsøger at genoplive en handel om to russiske VVER-1000 reaktorer (fra Sovjettiden), men finansieringen og kravet om fuld IAEA-kontrol er alvorlige anstødsstene.

I mangel af tilstrækkelig teknisk udviklingshjælp p.g.a. Indiens kernevåbenpolitik har man måttet opbygge sin egen uafhængige kernekraftindustri, støttet af et alsidigt forsknings- og udviklingsprogram. En 40 MWt prototype FBR er i drift, 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 600 MWe PWR. Ligesom med Indien er problemet Pakistans afvisning af fuld IAEA-kontrol og af ikke-spredningsaftalen.

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.

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. Ud over færdiggørelse af den anden enhed er der planer om to mindre enheder leveret af Rusland eller Kina.

Tyrkiet har (som flere gange før) vedtaget at indkalde tilbud på et kernekraftværk, som nu ventes klar til drift i år 2004. Sydkorea (KAERI) er valgt som rådgiver. Tyrkiet har store thoriumforekomster.

Nordkorea har accepteret IAEA-kontrol og stop for plutoniumproduktionen mod til gengæld at modtage to sydkoreanske 1000 MWe reaktorer, finansieret af en international organisation (KEDO). Arbejdet på byggepladsen var så småt begyndt, men stoppede brat p.g.a. en spionubådsaffære. Trods de politiske og kontraktlige forviklinger ser det dog ud til, at arbejdet kommer i gang igen.

Indonesien forbereder indførelse af kernekraft, bl.a. ved organisatoriske ændringer og en nu afsluttet undersøgelse vedrørende et 1800 MWe kernekraftværk til start i år 2004.

Thailand, Vietnam og Israel har seriøse overvejelser om indførelse af kernekraft.

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

7.3 Frankrig, Tyskland og Storbritannien

Frankrig

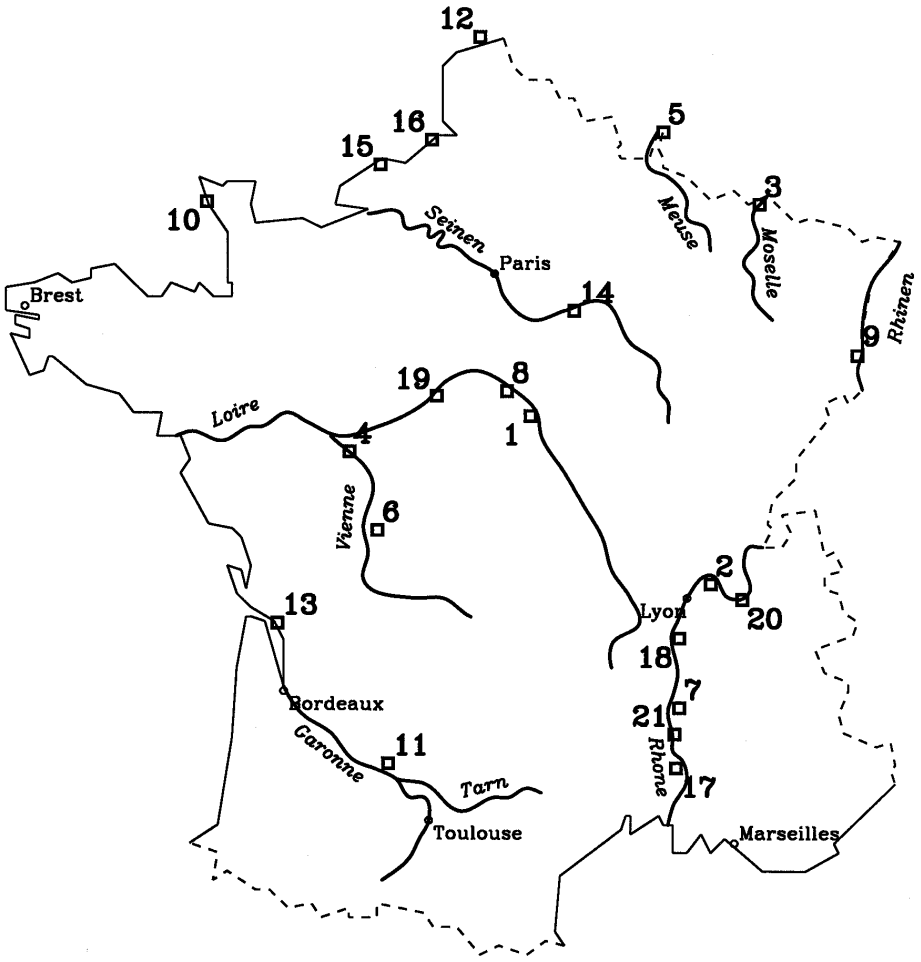
Frankrig har 57 reaktorer i drift med en samlet effekt på 62.500 MWe. Placeringen m.v. fremgår af Figur 7.3. De første reaktorer, der blev bygget i Frankrig, var gaskølede og grafitmodererede, men fra 1970 og fremefter har man udelukkende satset på trykvandsreaktorer. De er bygget af det statslige selskab Framatome, i begyndelsen på Westinghouse licens, men mere og mere som rent franske typer. Enhedsstørrelsen har været stadig stigende. Man taler om 900 MWe, 1300 MWe og 1500 MWe serierne. Den første af sidstnævnte, Chooz-B1 blev idriftsat i juli og begyndte at levere strøm til nettet i august 1996. Den er verdens største PWR-enhed.

Chooz-B1 (se forsidebilledet) er den første af fire 1520 MWe reaktorer (af typen N4), der skal gå i drift. De andre tre er Chooz-B2 samt Civeaux 1 og 2. Chooz-B2 er tæt på færdiggørelse. Brændslet blev indsat midt på året. Civeaux reaktorerne forventes færdige i løbet af tre år.

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. 18 milliarder FF i 1995 og er jævnt stigende.

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. Foreløbig er 900 MWe-reaktorerne godkendt til brug af MOX-brændsel.



No.	Navn	Ant. enh.	MWe.
1	Belleville	2	2726
2	Bugey	4	3864
3	Cattenom	4	5448
4	Chinon	4	3778
5	Chooz (B2 u. opf.)	2	3032
6	Civeaux (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

(1996)

Figur 7.3. 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 fik i 1995 sin driftstilladelse fornyet og er nu Frankrigs ældste kraftreaktor (1973).

Superphenix (1200 MWe) har været nedlukket i flere år p.g.a. problemer i natriumkredsløbene. Den har nu genoptaget driften, men er til stadighed plaget af tvungne nedlukninger af forskellige sikkerhedsmæssige grunde. Reaktoren skal fremover køres som "plutonium-brænder" snarere end som "plutonium-producent", for at understøtte den franske affaldspolitik.

Den landsomfattende strejke i december 1995 berørte kun i ringe grad elværkerne. Man har dog senere opdaget en sabotage-lignende handling på Paluelværket, hvor trykfølere var blevet afbrudt og ventiler fejlstillet. Dette forhold er nu genstand for kriminel efterforskning.

Da 75% af el-produktionen i Frankrig sker på nukleare værker, er Frankrig en af Europas mindste CO_2-udledere, målt pr. indbygger. Det har givet anledning til det absurde forhold, at Frankrig ikke kan leve op til de udslipskrav, som formentlig vil blive vedtaget i 1997 i form af et internationalt "Memorandum af Understanding", der er resultatet af Rio de Janeiro mødet i 1992. Disse krav fastsættes nemlig i procent af 1990-tallene, og allerede i 1990 lå Frankrig lavt.

Tyskland

Tyskland har 21 kraftreaktorer med en samlet effekt på 24.000 MWe. (Se Figur 7.4).

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). En del reaktoranlæg er tvillingstationer med 1 PWR og 1 BWR. På den måde opnår man en større sikkerhed for, at en fejl på een af typerne ikke kræver nedlukning af begge reaktorer for en længere periode.

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.

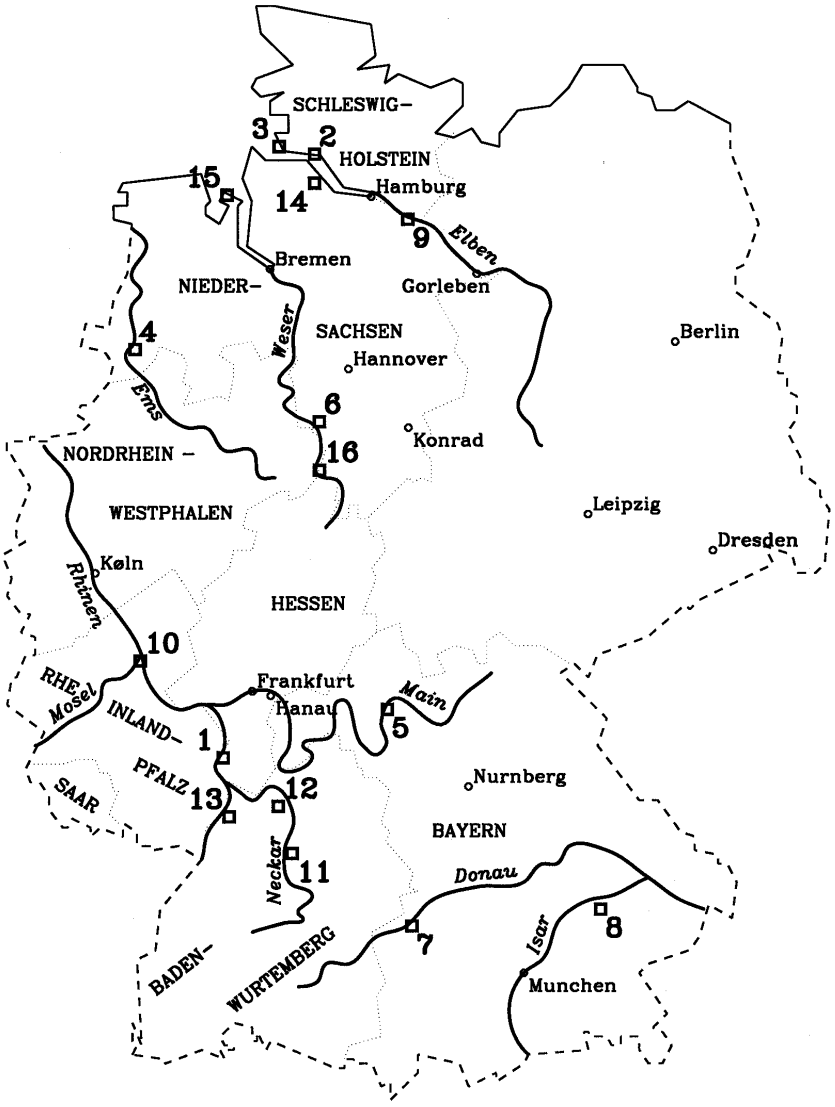
Ved delstatsvalget i Schleswig-Holstein i marts tabte SPD det absolutte flertal og må nu støtte sig til de Grønne. Det har betydet en markant fjendtligere holdning over for værkerne Brunsbüttel, Brokdorf og Krümmel.

De tyske værker, som ikke har været genstand for trakkasserier fra delstatsmyndighederne, har til gengæld kørt meget fint. Grohnde-reaktoren producerede i 1995 mere energi end nogen anden kraftreaktor, 11.400 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 absolut største i verden.

En del af de tyske værker har gennem de sidste år forbedret deres virkningsgrader ved at indsætte nye typer blade i turbinerne. Den største tyske reaktor, Isar-2, har således øget sin kapacitet fra 1421 MWe til 1440 MWe (men må alligevel overlade pladsen som verdens største til den franske Chooz-B1 på 1450 MWe).

Den største mediebegivenhed på det nukleare område var i 1996 togtransporten af radioaktivt affald fra la Hague i Frankrig til Gorleben-deponiet i Tyskland. Den fandt sted i begyndelsen af maj, og aktivister skred (i sikkerhedens navn) til afsporing af godstog og bortsprængning af skinner for at forhindre transporten.

Den hyppige udveksling af nedlukningsordrer fra delstatsmyndigheder og kontraordrer fra føderale myndigheder, som har resulteret i milliard-tab for kraftværksejerne (og samfundet), synes atter at have banet vej for nye energipolitiske drøftelser mellem partierne i forbundsdagen. De forrige fandt sted i midten af 1995 og varede kun en times tid, før de brød totalt sammen.



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

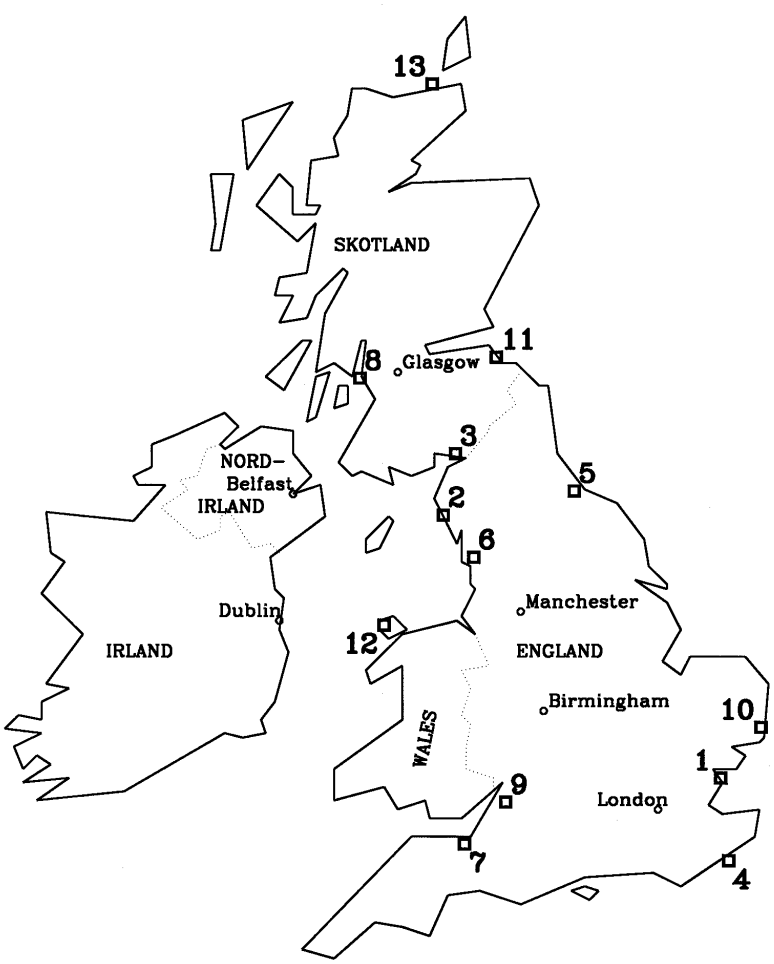
(1996)

Figur 7.4. Kernekraftværker i Tyskland.

Storbritannien

Storbritannien har 35 kraftreaktorer i drift med en samlet effekt på 14.000 MWe (Se Figur 7.5).

Storbritannien var meget tidligt med i udviklingen af kerneenergien. 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	1618
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

(1996)

Figur 7.5. 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. Med en meget debatteret regeringsbeslutning omkring 1987 vedtoges, at den fremtidige udbygning skal ske med trykvandsreaktorer (PWR) af eget design (en videreuvikling 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 reaktorerne varetages 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.

Dannelsen af de to selskaber havde en meget gunstig indflydelse på driften af værkerne, der indtil da havde kørt med lav udnyttelsesgrad.

De gamle Magnox-reaktorer ejes og drives fortsat af staten.

I juli 1996 blev NE og SN sammensluttet i British Energy (BE), som samtidig blev omdannet til et privatejet aktieselskab. Ved selve privatiseringen var aktiekurserne temmelig lave, og salget indbragte ikke den engelske stat så meget som forventet, men problemfri el-produktion i resten af året har øget kursen med ca. 13%.

7.4 Øvrige vesteuropæiske lande

Finland

Finland har 4 kraftreaktorer i drift med en samlet kapacitet på 2310 MWe. I 1995 var den gennemsnitlige belastningsfaktor 90%, og kernekraften dækkede 30% af den finske elproduktion.

De to elselskaber IVO og TVO har arbejdet videre med programmer for modernisering og opgradering af de finske kernekraftværker. Det indgår i programmerne at øge Loviisa-værkets effekt med 10% og Olkiluoto-værkets effekt med 17% i løbet af de kommende år.

IVO fortsatte bygningen af et slutdepot for lav- og mellemaktivt affald ved Loviisa-værket og planlægger en udvidelse af lageret for værkets brugte reaktorbrændsel. IVO har hidtil sendt det brugte brændsel til Rusland, men dette ophører på grund af et finsk politisk krav fra 1997. Det af TVO og IVO etablerede fælles selskab Posiva fortsætter undersøgelser forskellige steder i Finland med henblik på i år 2000 at kunne vælge et egnet sted til slutdeponering af brugt reaktorbrændsel i grundfjeld.

Holland

Holland har 2 kraftreaktorer i drift, Dodewaard på 56 MWe og Borssele på 449 MWe. I 1995 var den gennemsnitlige belastningsfaktor 85%, og kernekraftens andel i elproduktionen var 5%.

I oktober 1996 meddelte det hollandske elselskab, at man agter at lukke Dodewaard-værket i nær fremtid, sandsynligvis i 1997. Dodewaard-værket blev oprindeligt bygget som et demonstrationsanlæg og har nu været i drift i 27 år. Reaktoren er en kogendevandsreaktor med naturlig cirkulation, som minder om de systemer, der foreslås i fremtidige reaktoranlæg med øget vægt på passive sikkerhedssystemer. Den har derfor indgået i forskningsprojekter i de senere år. Med sin beskedne størrelse anses Dodewaard-reaktoren imidlertid for at være uøkonomisk.

Belgien

Belgien har 7 kraftreaktorer i drift med en samlet kapacitet på 5632 MWe. I 1995 var den gennemsnitlige belastningsfaktor 80%, og kernekraftens andel af den belgiske elproduktion var 56%.

Programmer for modernisering og opgradering er i gang på de belgiske kernekraftværker. I 1996 er dampgeneratorerne blevet udskiftet på Doel-4 anlægget. Udskiftningen blev gennemført på 27 døgn, hvilket ifølge firmaet Belgatom er ny rekord for en sådan udskiftning.

Undersøgelser med henblik på slutdeponering af højradioaktivt affald i et underjordisk anlæg i ler er fortsat i det såkaldte PRACLAY program (Preliminary demonstration test for clay disposal) i samarbejde mellem Ondraf/Niras og forskningscentret SCK/CEN i Mol.

Schweiz

Schweiz har 5 kraftreaktorer i drift med en samlet kapacitet på 3050 MWe. I 1995 var den gennemsnitlige belastningsfaktor 88%, og kernekraften tegnede sig for 39% af elproduktionen. Kernekraftværkernes samlede produktion i 1995 på 23,5 TWh var ny rekord (2,3% mere end den hidtidige produktionsrekord fra 1994). 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%.

Schweiz har en betydelig handel med elektricitet (både eksport og import) med nabolandene. I 1995 havde Schweiz en nettoeksport på 7,3 TWh. I 1996 har såvel Electricité de France som det tyske selskab RWE Energie købt andele i det schweiziske selskab, som er hovedejer af kernekraftværkerne Gösgen og Leibstadt. Det er første gang, udenlandske selskaber får en væsentlig minoritetsindflydelse i den schweiziske energisektor.

I 1996 har den schweiziske føderale regering godkendt bygningen af et centralt anlæg for behandling og midlertidig lagring af alle typer radioaktivt affald ved Würenlingen.

Spanien

Spanien har 9 kraftreaktorer i drift med en samlet kapacitet på 7122 MWe. I 1995 var den gennemsnitlige belastningsfaktor 86%, og kernekraften tegnede sig for 33% af elproduktionen.

Spanien har en egenproduktion af uran og af brændselselementer. Det spanske selskab ENUSA har i 1995 leveret såvel BWR- som PWR-brændselselementer til spanske, franske, svenske og tyske reaktorer.

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

7.5 Centraleuropæiske lande

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 1996 dækkede værket 47% af Bulgariens elproduktion, en svag stigning fra 1995.

Opførelsen af et kernekraftværk med to VVER-1000 ved Belene, også ved Donau, blev standset i 1991, dels p.g.a. landets økonomiske situation, dels p.g.a. en formodning om, at risikoen for jordskælv i området er større end oprindeligt antaget. Regeringen foreslog i 1996 at genoptage byggeriet af Belene-1, som så, i 2004, ville kunne afløse de to ældste reaktorer ved Kozloduy eller erstatte nogle af landets nedslidte kulfyrede værker. Bulgariens økonomiske situation taget i betragtning er det dog meget usikkert, om forslaget bliver til noget.

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 1996 har Kozloduy-1 fået skåret seks prøver ud af materialet i den svejsesøm, der går hele vejen rundt om reaktortanken på højde med kernen. På grund af materialesammensætningen i de ældste VVER-440 reaktorer er netop denne svejsesøm særlig udsat for at blive svækket af neutronbestråling. Prøverne viste, at svejsesømmen har det betydeligt bedre end forventet, og Kozloduy-1 behøver derfor ikke en udglødning (se afsnit 6.2) før den igen startes. Kozloduy-1 blev udglødet i 1989 og resultatet tyder på, at udglødning er mere effektiv end hidtil antaget.

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% svarende til 1200 MWe for hver af de 2 enheder, et krav der blev stillet af myndighederne efter Tjernoby-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. Det samlede resultatet af sikkerhedsanalysen skulle foreligge i begyndelsen af 1997.

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 Leningrad-1, -2 og -3. 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.

Sikkerhedsforbedringerne på værket har hidtil koncentreret sig om følgende punkter:

- ultralydsundersøgelser af svejsninger i brændselskanalerne
- etablering af et forbedret trykaflastningssystem, som kan klare samtidige brud på 9-10 af de 1661 brændselskanaler
- forbedret brandbeskyttelse

- etablering af et sekundært nedlukningssystem

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 det leverede udstyr. Tvivlen skyldes, at Hviderusland stadig ikke har underskrevet konventionen, selvom de har givet tilsagn om at gøre det.

Et svensk konstrueret udstyr til at forbedre trykaflastningssystemet for det primære reaktorkredsløb afventer fortsat Hvideruslands underskrivelse af Wienkonventionen, inden det svenske firma vil give tilladelse til at anvende udstyret. Enhed 2 skulle have et tilsvarende udstyr installeret i 1997, men af samme årsager er denne aftale stillet i bero.

Det gælder fortsat, at implementering af vestligt udstyr til sikkerhedsforbedringer på reaktorer i det tidligere Sovjetunionen ofte bremses af den manglende nukleare lovgivning i de pågældende stater, herunder accept af Wienkonventionen. Derfor har den vestlige hjælp ofte kun bestået af udredninger og analyser.

Ungarn

Ungarn har fire VVER-440/213-enheder i drift. Den samlede installerede effekt er 1840 MWe. Reaktorerne kører som grundlastværker og leverede 41% af den elektricitet, der blev produceret i Ungarn i 1996.

Reaktorerne, der er samlet i kraftværket Paks ved Donau, blev taget i brug i årene 1983-1987 og er således ret nye. Driftsstatistikkerne fra de senere år er tilgængelige, og det har vist sig, at de ungarske reaktorer er blandt verdens bedst drevne, da belastningsfaktoren konstant ligger over 85%.

De fire reaktorer i Paks skal have udskiftet deres reaktorbeskyttelsessystemer (de systemer, der lukker reaktoren ned, hvis effekt, tryk, temperatur eller andet kommer uden for fastlagte grænser). De ny systemer baseres på digital elektronik i modsætning til de nuværende, der er analoge. De skal installeres i årene 1999 - 2002.

Tjekkiet

Tjekkiet har fire VVER-440/213-reaktorer ved Dokovany og to VVER-1000 under opførelse ved Temelin. Dukovany har en installeret effekt på 1782 MWe og står for omkring 25% af landets el-produktion. Det ventes, at den første reaktor i Temelin kan
tages i brug i 1998.

I 1996 blev et mellemlager til brugte brændselselementer taget i brug.

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 under bygning i Mochovce. Den installerede effekt i Bohunice er 1760 MWe og 44% af Slovakiets elektricitet produceres der. Andelen er faldet, fordi den slovakiske industri er på vej op igen efter nogle vanskellige år først i 1990'erne.

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

De to første reaktorer i Mochovce ventes taget i brug i 1998 og 1999. Færdiggørelsen sker i samarbejde med tjekkiske, russiske, franske og tyske firmaer.

Slovenien

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

Rumænien

Rumæniens første kraftreaktor, Cernavoda-1 (Figur 7.6), blev kritisk første gang i april 1996, og efter tilfredsstillende afprøvninger sat i kommerciel drift den 2. december. 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. De rumænske sikkerhedsmyndigheder har været betænkelige ved reservedelssituationen, specielt hvad angår reaktorens hovedcomputer, en UNIVAC fra 1960, som ikke længere markedsføres.



Figur 7.6. Rumæniens første kraftreaktor, Cernavoda-1, en CANDU-type på 635 MWe.

At et sådant problem kan opstå, skyldes den ekstremt lange byggetid, ca. 12 år. Byggeriet lå stille p.g.a. pengemangel i en længere årrække, inden det blev genoptaget og færdiggjort af et konsortium af AECL (Canada) og Ansaldo (Italien).

De fire andre enheder er på forskellige stader af færdiggørelse. Der er indgået en aftale mellem bygherren, det rumænske el-forsyningsselskab RENEL, og A-ECL/Ansaldo om færdiggørelse af enhed 2, der angives at være ca. 40% færdigbygget.

En evt. færdiggørelse af de resterende 3 enheder vil, ifølge RENEL, kræve en kapitaltilførsel fra nabolande samt aftaler om el-leverancer.

7.6 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 yngre model 213. Det ventes, at en nybygning, Kalinin-3 (VVER-1000) kan tages i brug i 1997 og en anden, Rostov-1 i 1998 eller 1999.

Russerne arbejder med flere projekter til nye reaktortyper. Længst fremme er VVER-640, som har meget til fælles med moderne avancerede trykvandsreaktorer, herunder anvendelse af "passive" kølesystemer. Der er i 1996 givet grønt lys for bygning af en VVER-640 nær Leningrad kernekraftværk.

Der arbejdes også med en ny VVER-1000, en ny reaktor af RBMK-familien (MKER-800) og en ny formeringsreaktor, BN-800, som "blot" er en moderniseret og let forstørret udgave af BN-600.

Den samlede installerede effekt af Ruslands kernekraftværker er 21.000 MWe. Kernekraften leverer ca. 12% 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%.

Et generelt problem for de fleste kernekraftværker i Rusland er, at de ikke får penge for den strøm, de leverer. Det går ud over lønningerne i så høj grad, at der har været optræk til strejker i både 1995 og 1996. Ved flere værker har der været demonstrationer. Pengemanglen går også ud over vedligeholdelsen og dermed over sikkerheden. I foråret 1995 så det ud til, at problemerne var løst, men løsningen holdt kun i kort tid.

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 forsynet Kola-værket med en moderne simulator, og Norge har bidraget med dieselmotorer til nødstrømsforsyning.

I modsætning til 1993 og 1994 har der ikke været uheld på Kola-værket, hverken i 1995 eller 1996.

De to ældste reaktorer på Kola-værket ventes nedlagt omkring år 2004. Erstatningen kan bestå i tre VVER-640-enheder, men det vil bl.a. afhænge af, om der kan skaffes finsk kapital til projektet (Finland har en betydelig elimport fra Rusland).

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 Tjernobyl-katastrofen, 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, forudsat at en række andre ændringer foretages.

Enhed 1 genoptog juni 1996 driften efter at have været nedlukket i 18 måneder, hvor bl.a. samtlige 1661 brændselskanaler er blevet udskiftet. 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. I samme periode er systemet for hurtig nedlukning af reaktoren blevet udskiftet og forbedret gennem implementering af redundans, ligesom nødkølesystemet er blevet udbygget. Planer om at bygge et såkaldt Accident Localization System - et system til trykaflastning i tilfælde af uheld - samt planer om et nødkontrolrum, vil først være afsluttet i slutningen af 1997, mest p.g.a. mangel på penge, idet udgifterne til ovennævnte forbedringer afholdes af værket. Når alle de planlagte sikkerhedsmæssige forbedringer er gennemført i slutningen af 1997, vil enhed 1 i følge værkets ledelse stå som en model for alle andre RBMK-enheder i landet med hensyn til gennemførelse af forbedringer.

Enhed 2 har kørt stabilt gennem året; brændselskanalerne er tidligere blevet skiftet på denne enhed. Enhed 3 har været nedlukket siden midten af 1995 for at udskifte brændselskanaler, men her har det kun været nødvendigt at skifte ca. 600 af de centrale brændselskanaler; kanalerne langs periferien, hvor neutronbestrålingen er lavere, er mindre påvirket.

Endelig har Leningrad-værket i løbet af året fået sin egen "fuld skala simulator". Tidligere skulle operatørerne til Smolensk for at træne med simulator. Simulatoren er finansieret af USA, og den har allerede været anvendt til at demonstrere, at Tjernobyl-ulykken ikke med de indførte forbedringer ville kunne gentages på Leningrad-værket.

På Leningrad-værket er der blevet startet flere vestligt støttede projekter til forbedring af sikkerheden. EBRD, European Bank for Reconstruction and Development, har stået for finansieringen af støtten, kombineret med bilaterale aftaler. Finland har i kraft af sine nære relationer til det tidligere Sovjetunionen stået for koordineringen af projekterne.

Rusland underskrev den 8. maj 1996 i IAEA's hovedkvarter i Wien konventionen angående erstatningsansvar i tilfælde af et alvorligt uheld på et kernekraftværk, Wien-konventionen (se side 54).

Konventionen mangler dog at blive ratificeret af det russiske parlament, Dumaen, ligesom en detaljeret lovgivning i Rusland vedrørende erstatningsansvar i for-

bindelse med nukleare uheld ikke er gennemført. Derfor tøver mange vestlige firmaer fortsat med at gå ind i sikkerhedsforbedringer af russiske værker for ikke at pådrage sig økonomisk erstatningsansvar i tilfælde af en reaktorulykke

EBRD har indgået en speciel aftale med Den Russiske Føderation, hvori denne påtager sig det fulde ansvar i tilfælde af et uheld, der involverer vestligt udstyr. Eventuelle erstatningskrav fra lande uden for Føderationen er imidlertid ikke dækket af aftalen. EU har indgået en tilsvarende aftale med Føderationen angående projekter inden for TACIS-programmet. Trods denne aftale er flere af EBRD's projekter 2-3 år bagud i forhold til den oprindelige tidsplan.

Sidste års planer om at gennemføre et probabilistisk sikkerhedsstudie af Leningrad-værket for at identificere svage punkter ser nu ud til at blive til virkelighed. Et tilsvarende studie er blevet foretaget på Ignalina-værket i Litauen.

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 oplysninger tyder dog på, at enheden vil blive færdiggjort med opstart i begyndelsen af 1998.

Enhed 1 har været nedlukket siden midten af 1995, idet man afventer en gennemgribende sikkerhedsvurdering, som skal foretages i samarbejde med vestlige eksperter. Man taler nu om at starte enheden i begyndelsen af 1997 i stedet for 1998, hvis man kan nøjes med at udskifte en del af brændselskanalerne, jf. omtalen under Leningrad-værket.

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 indtil i år været det eneste sted i Rusland med en "fuld skala" RBMK-simulator.

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 2000 MWe fra de to resterende RBMK-reaktorer i Tjernobyl. Den nukleare andel af Ukraines elproduktion udgør 35-40%

Som det er tilfældet i Rusland, kniber det for kernekraftværkerne i Ukraine med at få penge for den strøm, de leverer. Det giver problemer for vedligeholdelse og lønninger, og desuden har især Tjernobyl-værket haft problemer med at få råd til at købe nyt brændsel.

Fra Oktober 1996 har elværkerne haft forbud mod at levere strøm til ikke-betalende kunder. Samtidig er Ukraines elsektor blevet forenklet og i nogen grad centraliseret. Om det er nok til at løse elværkernes økonomiske problemer, er usikkert.

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 3 er fortsat i drift, mens driften af 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".

Ifølge aftalen skal afviklingen ske hurtigst muligt og senest år 2000. Den indebærer samtidig, at de vestlige lande yder et økonomisk bidrag på 2,3 milliarder $, hvoraf 500 millioner $ gives i tilskud, mens 1,8 milliarder $ gives som lån, der bl.a. skal anvendes til færdiggørelse af VVER-1000-enhederne Khmelnitsky 2 og Rovno 4.

Den 14/11-96 blev der underskrevet en aftale mellem EBRD og den ukrainske regering om anvendelse af 150 millioner $ af de ovenfor nævnte 500 millioner $ til følgende specifikke formål:

- Bygning af et midlertidig lager for brugt brændsel fra reaktorerne
- Bygning af et anlæg til behandling af flydende, radioaktivt affald fra reaktorerne
- Sikkerhedsmæssige forbedringer på enhed 3, som har betydning for de sidste 3 års drift inden nedlukningen.

Imidlertid har der efter den 30/11-96 været udtalelser fra den ukrainske nukleare energikomité, Goskomatom, gående ud på, at enhed 1 blot er lukket indtil videre, men vil kunne sættes i drift igen, hvis vinteren bliver meget kold. Værket har også indsendt en ansøgning til de nukleare myndigheder i Ukraine om tilladelse til at genstarte enhed 2 efter turbinebranden og køre den frem til år 2000. Det vurderes, at enhed 2 ville kunne starte i begyndelsen af 1998.

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.

Et fransk ledet konsortium har på begæring fra EU-kommissionen udarbejdet 2 forslag til design af en ny sarkofag omkring enhed 4. Det ene forslag opererer med en ny fællesbygning for enhed 3 og 4, mens det andet kun omhandler en ny bygning for den havarerede enhed. Omkostningerne vurderes til ca. 1,6 milliarder $. Tidsplanen i begge forslag taler om en umiddelbar stabilisering af den eksisterende sarkofag, efterfulgt af konstruktion af en ny omkring år 2000. Der er endnu ikke taget stilling til forslagene, som kræver accept både af den ukrainske regering og de vestlige parter.

Senest er et russisk forslag også kommet ind i billedet. Her tales om at fylde det indre af sarkofagen med beton og omdanne den til en gigantisk monolit uden at fjerne det tilbageværende brændsel. Løsningen ville være billig og ville ikke kræve transport af radioaktivt materiale, som blot ville blive støbt sammen med betonen. Imidlertid synes de ukrainske nukleare myndigheder mere at være indstillet på at fjerne resterne af det nukleare brændsel fra sarkofagen, fremfor at støbe det ind i beton på stedet.

Armenien

Armenien har en kraftreaktor i drift, Medzamor-2, og en, der er lagt i mølpose, Medzamor-1. Begge er VVER-440/230-enheder, som blev lukket i 1989 efter et stort jordskælv i Armenien, fordi sikringen mod jordskælv var utilstrækkelig. Medzamor-2 blev startet med russisk hjælp igen i 1995 og kører nu på 80% af den maksimale effekt.

I 1996 blev der indgået aftale med et fransk firma om levering af et lager til opbevaring af brugt brændsel.

Kazakhstan

Kazakhstans eneste kernekraftværk er den tidligere russiske hurtigreaktor BN 350. Reaktoren er konstrueret til at yde 650 MW termisk effekt. Størstedelen af denne effekt udnyttes til afsaltning af vand fra det Kaspiske hav (100.000 t/døgn), medens resten udnyttes til el-produktion (90 MWe).

Anlægget startede op den 5. januar 1996 efter at have gennemgået et større renoveringsprogram med bistand fra russiske ingeniører og teknikere. Efter indførelsen af forbedrede dampgeneratorer er anlægget opgraderet til 759 MW termisk effekt. Reaktorens levetid var oprindelig sat til 20 år, men det er meningen at bringe anlægget i overensstemmelse med de nuværende sikkerhedskrav og fortsætte driften til år 2003.

Kazakhstan har meget store uranreserver og indgik i 1996 en aftale med det franske COGEMA om udnyttelse.

8 Udviklingstendenser inden for forskellige reaktortyper

8.1 Trykvandsreaktorer (PWR)

På baggrund af erfaringerne fra de idriftværende reaktorer udvikles nye generationer af trykvandsreaktorer (evolutionære) ud fra de oprindelige, gennemprøvede design. De nye reaktorer konstrueres ud fra et simplificeret koncept: De skal være lettere og billigere at bygge, drive og vedligeholde. Der lægges i stigende grad vægt på passive sikkerhedssystemer, baseret på simple principper som tyngdekraft, naturlig cirkulation, konvektion og kondensation. Nogle eksempler på evolutionære trykvandsreaktorer er følgende:

- APWR fra Westinghouse, USA, og Mitsubishi, Japan.
- EPR, fra NPI, som er et samarbejde mellem Framatome, Frankrig, og Siemens, Tyskland.

- fra ABB Combustion Engineering, USA.
- AP-600 fra Westinghouse, USA.
- AC-600 fra China National Nuclear Corporation, Kina
- MS-600 fra Mitsubishi, Japan.

Det franske firma Framatome og det tyske Siemens gik i 1989 sammen om at projektere og kommercialisere en europæisk trykvandsreaktor (EPR). Målet med dette samarbejde var at samle erfaringer fra to konstruktører og dele den store indsats, det kræver at udvikle en ny reaktor. De dannede Nuclear Power International (NPI) til at udføre arbejdet. Begge landes regeringer har godkendt og støtter dette projekt. I alt har Siemens og Framatome bygget 100 reaktorer, som tilsammen repræsenterer mere end 1000 reaktordriftår. Projektet sigter mod en yderligere reduktion af uheldssandsynligheden og en begrænsning af uheldkonsekvenserne i en sådan grad, at der ikke vil være nogen radioaktiv forurening uden for kraftværkets område. Dette gælder uanset uheldets art. Sandsynligheden for en ulykke, der resulterer i en kernenedsmeltning er ifølge beregninger blevet reduceret med en størrelsesorden sammenlignet med de senest idriftsatte reaktorer. kWh-prisen bliver også lavere end i dag takket være besparelser på driften og på brændselskredsløbet. Disse besparelser opvejer de ekstra investeringer i sikkerhed.

8.2 Kogenvandsreaktorer (BWR)

Lige som for trykvandsreaktorerne udvikles der også en ny generation af kogendevandsreaktorer. De bliver projekteret på grundlag af erfaring fra de eksisterende BWR og forventes at blive endnu mere sikre, økonomiske og stabile end deres forgængere. I øjeblikket er følgende på markedet:

- ABWR fra General Electric (GE), USA, hvor den første reaktor netop er sat i kommerciel drift i Japan.
- BWR-90 fra ABB Atom, Sverige. For denne types vedkommende er projektet klar til kommerciel brug, men der foreligger endnu ingen ordrer.
- ESBWR-1000 fra GE, USA, og europæiske partnere er under udvikling.
- SWR-1000 fra Siemens, Tyskland, som også er under udvikling.

I USA har Nuclear Regulatory Commission (NRC) godkendt GE's ABWR-design. Denne godkendelse baner vejen for ABWR's mulige fremtid i USA og repræsenterer ifølge GE et stort skridt mod de første ordrer i USA. GE pointerer, at ABWR er det eneste kernekraftværksdesign, som er avanceret, under konstruktion og godkendt i to lande - Japan og USA. En opinionsundersøgelse har vist, at 3/4 af USA's befolkning vil acceptere avancerede reaktorer nærheden af deres bolig, når det bliver nødvendigt med ny el-kapacitet.

En europæisk udgave at den simplificerede kogendevandsreaktor (ESBWR), hvor hver enhed er på 1000 MWe er under udvikling. Målet er at bevise, at den mellemstore BWR kan producere elektricitet til konkurrencedygtige priser ved i størst muligt omfang at basere sig på passive sikkerhedssystemer. Projektet er en parallel til den europæiske trykvandsreaktor (EPR), men er ikke helt så langt fremme. Projekteringen af ESBWR begyndte i 1995 og forventes at vare fire år. Parallelt hertil udføres eksperimentelt arbejde og forskning relateret til de passive sikkerhedssystemer. En komplet vurdering af ESBWR's tekniske og økonomiske gennemførlighed forventes klar ved årtusindskiftet. Dette vil betyde, at bygning

af de første enheder tidligst kan begynde omkring år 2005. Indførelse af passive sikkerhedssystemer kan give økonomiske besparelser, der kan gøre typen konkurrencedygtig, hvis europæiske el-værker beslutter at forny deres nukleare anlæg tidligt i næste århundrede. Antallet af de aktive sikkerhedssystemer, der anvendes på de eksisterende værker, vil kunne nedbringes. Eftersom de passive sikkerhedssystemer ikke behøver dyr instrumentering og ekstern elforsyning, vil indførelsen af disse give betydelige besparelser. Drifts- og vedligeholdelsesudgifterne vil også blive reduceret. Sikkerhedsmæssigt er det mest betydningsfulde kendetegn ved ESBWR-1000 det passive kølesystem, som virker automatisk i tilfælde af fejl på dampturbinen eller kølevandssystemet. Henfaldsvarmen, som fortsat dannes, når reaktoren er lukket ned, fjernes af kondensatorer, der træder i funktion, når vandet i tryktanken falder under et vist niveau.

8.3 Hurtigreaktorer

En hurtigreaktor er en reaktor, hvor kædeprocessen forløber med hurtige neutroner.

Den væsentligste fordel ved dette er, at fissionsprocessen derved får et neutronoverskud, der kan anvendes til at konvertere ikke spalteligt materiale til spalteligt materiale (uran-238 til plutonium-239 eller thorium-232 til uran-233). Neutronoverskuddet kan blive så stort, at reaktoren kan fremstille mere spalteligt materiale, end den selv forbruger. I så fald taler man om en formeringsreaktor. Det anvendte kølemiddel samt reaktorkernens konstruktionsmaterialer må naturligvis være materialer, der kun i ringe grad nedbremser neutroner.

Hurtigreaktorer i drift:

- Frankrig, Superphenix 1242 MWe
- Frankrig, Phenix 250 MWe
- Kazakhstan, BN 350 90 MWe (+ afsaltningsanlæg)
- Rusland, BN 600 600 MWe
- Japan, Monju 280 MWe (under indkøring)

Hurtigreaktorer under bygning:

- Rusland, South Urals 1 800 MWe
- Rusland, South Urals 2 800 MWe

Den japanske hurtige formeringsreaktor, Monju (FBR), som er et prototype anlæg på 280 MWe, måtte standse opkørslen til fuld effekt, da der den 8. december 1995 opstod en læk i det ene af de 3 sekundære natriumkredsløb. 1½ time efter lækagens opståen blev anlægget lukket ned, og man skønnede, at ca. 2 t natrium var strømmet ud. De efterfølgende undersøgelser viste dog, at det drejede sig om ca. 0,7 t. Årsagen viste sig at være en knækket termoelementlomme, og en større eftersøgning af det ca. 15 cm lange afbrækkede rørstykke startede. Først i april blev den afknækkede del fundet i kredsløbets dampgenerator, og de efterfølgende undersøgelser viste, at der var tale om et træthedsbrud p.g.a. vibrationer. Sagen har vakt en del politisk røre i Japan, selv om der reelt er tale om et mindre teknisk uheld, der kun kan klassificeres som en "klasse 0" hændelse på INES (se app. A). Årsagen til røret var, at PNC's ledelse først prøvede at dække over sagen, men senere måtte vedgå dette. Tre topchefer hos PNC blev afskediget, og en fjerde

nøgleperson begik selvmord. En genstart af anlægget kan først forventes i marts 1998.

Den franske Superphenix, verdens største formeringsreaktor, havde ved året begyndelse kun tilladelse til at køre op til 60% af fuld effekt. (Fuld effekt er 1242 MWe). Anlægget var lukket ned fra 3. maj til 18 juli, hovedsagelig for at udskifte nogle kontrolstave. Da anlæggets ejer (NERSA) i oktober opnåede autorisation til kørsel op til 90% af fuld effekt, blev effekten hævet til dette niveau for første gang siden 1990. De tre vigtigste opgaver er nu:

1) Produktion af elektricitet.
2) Studie af kapaciteten m.h.t. destruktion af plutonium.
3) Studie af anlæggets evne til at destruere langlivede radioaktive isotoper, specielt americium og neptunium.

Superphenix er det eneste anlæg, der i fuld industriel skala kan demonstrere løsningen af opgaverne i 2) og 3).

Phenix-reaktoren (på 250 MWe) skulle være startet på sin 50. driftsperiode i 1996, men kom ikke i gang. Forsinkelsen skyldes, at installationen af et nyt nedlukningssystem tog længere tid end forventet.

Afviklingen af Prototype Fast Reactor (PFR) i Dounray i Skotland er i fuld gang. PFR blev lukket ned i 1994, og afviklingen er på flere områder en teknisk udfordring. Anlægget skal tømmes for 1500 t flydende natrium, før temperaturen i kredsløbene kan sænkes til under 200^{o}C. Da der ikke er et andet hurtigreaktoranlæg, som kan overtage natriumbeholdningen, har man valgt at omdanne denne til almindeligt salt (NaCl) ved først at lade natrium reagere med vand under dannelsen af natriumhydroxyd og brint. Derefter neutraliseres opløsningen af natriumhydroxyd med saltsyre, hvorved slutproduktet bliver almindeligt salt. For at kunne tømme de forskellige dele af anlægget helt for natrium har man på Risley udviklet et boreudstyr til boring af ekstra drænhuller i de laveste dele af kredsløbene.

De to russiske natriumkølede hurtigreaktorer BN 350 og BN 600, der blev taget i brug i henholdsvis 1972 og 1980, udviser stadig stor driftspålidelighed.

BN 350 i Kazakhstan blev startet op 5. januar 1996 efter en større renovering, der startede i april 1995. To mindre driftshændelser i januar måned medførte midlertidige effektreduktioner.

BN 600 (Beloyarski 3) på 600 MWe er den største hurtigreaktor, der har været i drift i en længere årrække, og den har kørt stabilt i 1996. Rusland har to nye hurtigreaktorer på hver 800 MWe under bygning. Typebetegnelsen for disse anlæg er BN 800. De er stort set en opskalering af BN 600, hvorfor man forventer en lige så stor driftspålidelighed af disse anlæg.

Institute of Atomic Energy (IAE) i Beijing har oplyst, at Kina vil bygge en 65 MW FBR forsøgsreaktor omkring år 2000. Man har indset, at et storstilet PWR program vil tære for meget på landets uranforekomster. Kineserne føler derfor, at de er under tidspres m.h.t. at få udviklet større hurtigreaktorer. Derfor vil man indlede et internationalt samarbejde herom.

Indien udvikler også formeringsreaktorer. For Indiens vedkommende er der tale om termiske formeringsreaktorer, der omdanner thorium-232 til det spaltelige uran-233, idet Indien har meget store thorium-forekomster. Et lille skridt på denne vej er opstarten af Kamini reaktoren, der blev kritisk 29. oktober. Der er tale om en forsøgsreaktor på 30 kW, som udelukkende kører på uran-233, som er fremstillet af thorium-232.

8.4 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 megen energi pr. kg naturligt uran. 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 antal komponenter, samt i højere grad baseret på fabriksfremstillede dele.

Dette, sammen med en modularisering af selve 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.

8.5 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 gaskølede reaktorer i sin energiforsyning. I de øvrige lande, som har bygget gaskølede reaktorer, har der været tale om 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. Den nukleare andel af el-produktionen er præget af, at reaktorerne er temmelig små (60-660 MWe). De britiske reaktorer har i 1990'erne udvist en god driftspålidelighed.

Verdens ældste kommercielle kraftværk - Calder Hall - blev 40 år i 1996 og har på visse betingelser fået tilladelse til yderligere 10 års drift.

AGR'ernes driftspålidelighed er blevet væsentligt forbedret i de senere år. Et erkendt problem med oxidering (og dermed vægttab) af grafitmoderatoren undersøges. Problemet har medført en begrænsning i effekten og kan betyde en reduktion af levetiden. Et projekt er igangsat, som skal indsamle driftserfaringer og data med henblik på at fjerne unødvendig konservatisme fra hidtidige analyser.

General Atomics (USA) og Minatom (Rusland) har indgået en samarbejdsaftale om udvikling af en højtemperatur, heliumkølet reaktor (HTGR) for afbrænding af våben-plutonium. Planen er, at der skal bygges en prototype i Rusland. Måske kan dette samarbejde betyde, at HTGR-typen genopstår.

9 Udviklingstendenser inden for brændselskredsløbet

9.1 Uranproduktion og -pris

Fordelingsmønsteret for produktionen er stort set uændret, men udsigterne for producenterne er forbedret væsentligt siden begyndelsen af 1995. Canada er stadig den største enkelt-producent med en andel på ca. 30%, mens alle andre producent-landes andele ligger under 10%. Den samlede produktion af naturligt uran var i 1995 ca. 40.000 t.

Den forbedrede situation for producenterne ses bl.a. af en prisstigning på spotmarkedet på op mod 70%. Forbedringen skyldes ikke øget behov p.g.a. større installeret nuklear effekt, men faktorer i forsyningsleddet. Markedet var præget af en fornemmelse af en mangelsituation, hvorfor en vis hamstring har været resultatet. Ovennævnte fornemmelse skyldes, at SNG leverancer er begrænset af handelsrestriktioner fra USA's og EU's side, samt at mængden af lavt beriget uran (LEU) fra konverteret, højt beriget uran (HEU) fra våbenlagre forventes at blive mindre end oprindelig antaget. Effekten forstærkes af, at købere med fleksible kontrakter har benyttet disse til fremrykning af leverancer.

Positivt for køberne er, at der er annonceret projekter for ny produktion i Australien, Canada og USA. Især ventes produktionen i Australien at kunne øges efter valget i marts 1995, men konsekvenserne af igangværende høringer er endnu ikke kendt. Canada forventes dog stadig at være den største producent i det kommende årti.

Markedsforholdene påregnes fortsat styret af USA's og EU's handelsrestriktioner (kvoter og pris) overfor SNG landene. USA har nu vedtaget en lov, der forudser privatisering af United States Enrichment Corporation (USEC). Selskabet råder over tidligere statsejede berigningsanlæg. Loven giver også retningslinier for indslusning i den civile sektor af højt beriget uran fra USA's of Ruslands militære lagre. Loven tillader desuden salg af naturligt uran og lavt beriget uran, der ejes af Department of Energy.

Efter visse startproblemer er levering af "nedblandet" uran fra Rusland og Ukraine kommet i gang, men det går langsommere end forventet.

Overførslen af militært, højt beriget uran til det civile marked forventes i år 2000 at svare til omkring 6.000 t af en forventet total produktion på ca. 57.000 t naturligt uran.

9.2 Uranberigning

Markedet har siden NUEXCO's fallit været præget af, at spotmarkedet stort set er overtaget af de primære leverandører. Størsteparten af det, der i 1995 registreredes som spot-transaktioner, var i virkeligheden såkaldte "berignings-bypass"-transaktioner, d.v.s. køb af naturligt uran i Rusland og efterfølgende berigning i vesten, hvorved man søgte at omgå vestlige handelsrestriktioner mod import af naturligt uran fra SNG-landene, bl.a. Kazakhstan og Uzbekistan. Disse transaktioner foregik i første halvdel af 1995, hvorefter de blev standset af USA's handelsministerium. I 1996 er spotmarkedet praktisk talt forsvundet og afløst af langtidskontrakter med en pris, der er lavere end svarende til spotmarkedet.

De primære leverandører deler markedet på følgende måde: USEC 40% (USA), Eurodif 22% (F), Tenex 22% (Rusland), Urenco 9% (UK, D, NL) og Japan 2%. De resterende 5% deles mellem diverse kilder, inklusive mæglere. Udviklingen er i EU gået i retning af større leverance fra SNG. Dette sker på trods af, at EU forsøger at begrænse denne andel til 20%.

Udviklingen på berigningsmarkedet forventes at give et fortsat fald i prisen på berigningsarbejde. Berigningsarbejde måles i "Separative Work Units" (SWU). Prisen forventes over de næste to årtier at være under 100 US$/SWU i konstante 1996 dollars. Prisen trykkes af konkurrence mellem leverandørerne, indførelsen af militært, højt beriget uran og af ny teknik (centrifuge- og laserberigning). Væksten i efterspørgslen hidrørende fra nybyggeri i Asien vil formentlig blive opvejet af et fald hidrørende fra, at ældre anlæg, især i USA, vil blive lukket ned.

Tenex's fremtidige rolle er usikker på grund af politiske og praktiske faktorer, men den kan blive stor. For et af de andre, store berigningsforetagener vil et joint venture med Tenex kunne være mere fordelagtigt end investering i ny kapacitet.

USEC's privatisering ser ud til at gå langsommere end beregnet og den fremtidige politik er ukendt. Men med laser-berigning og militært HEU kan USEC blive en vigtig konkurrent.

Urenco vil med sine stadig bedre og billigere centrifuger være i en konkurrencedygtig position i de næste to årtier. Et interessant projekt om bygning af et nyt, privat berigningsanlæg i USA, Louisiana Energy Service, er på vej, men om projektet realiseres er endnu usikkert.

Eurodif (COGEMA) vil i det næste årti stå overfor vigtige beslutninger med hensyn til erstatning af eksisterende produktionsanlæg. Man er imidlertid forholdsvis godt rustet med anlæg, der er nyere end USEC's og som drives med billig, nuklear energi. COGEMA har også udviklingsarbejde i gang indenfor laserberigning.

Fremtidens berigningsmetoder ser fortsat ud til at være laser- og centrifugeteknik.

9.3 Oparbejdning eller direkte deponering af brugt brændsel

Brugt kraftreaktorbrændsel indeholder resturan og plutonium, der ud fra et energiressource synspunkt burde udvindes og benyttes til energiproduktion. Mens nogle lande går ind for oparbejdning, foretrækker andre at betragte det brugte brændsel som affald, der skal bortskaffes som det er.

Begrundelserne for valget er forskellige, men et væsentligt element er naturligvis, at den kortsigtede økonomiske gevinst ved oparbejdning er tvivlsom, så længe nyudvundet uran og berigning heraf er relativ billig.

Et ønske om at begrænse risikoen for spredning af plutonium fik i 70'erne Carter administrationen til at forbyde oparbejdning af amerikansk kraftreaktorbrændsel. Desuden var der problemer med miljøgodkendelse af kommerciel oparbejdning, selv om et stort anlæg hertil allerede var bygget. Argumenter for at omgøre beslutningen har ikke haft gennemslagskraft. Oparbejdningsmuligheder diskuteres dog stadig i USA, bl.a. med henblik på at oparbejde aluminiumbeklædt brændsel, f.eks. højt beriget forsøgsreaktorbrændsel, som USA har accepteret at tage tilbage fra udlandet.

Resultatet er, at USA's brugte kraftreaktorbrændsel i øjeblikket er oplagret ved de forskellige reaktorer, og at der er blevet ført retssager om, hvornår forbundsregeringen skal modtage brændselet med henblik på slutdeponering. I 1996 gik den endelige afgørelse DoE (Department og Energy) imod, og den amerikanske stat er dermed fra januar 1998 forpligtiget til at modtage brugt brændsel fra kraftproducenterne. I praksis kan dette ikke lade sig gøre, før der er bygget centrale oplagringsfaciliteter.

Frankrig og England har valgt at videreudvikle deres erfaringer med militær udvinding af plutonium til en kommerciel virksomhed, i de senere år med megen vægt på begrænsning af udslip af radioaktive isotoper fra de to store oparbejdningsanlæg la Hague i Normandiet og Sellafield ved det Irske hav i det nordvestlige England.

De russiske oparbejdningsanlæg har en tilsvarende baggrund, men er i højere grad belastet af gamle forureningsproblemer og råder næppe heller over veludviklede rensningsmetoder til at modvirke nye udslip.

I Indien har man i 1996 taget et nyt mindre oparbejdningsanlæg i brug. Japan bygger videre på deres anlæg i Rokkasho-mura. Det er i fuld kommerciel skala, men ser ud til at blive dyrere end forventet.

Oparbejdningsanlæg er komplicerede og kostbare. De stiller store krav til sikkerheden, og oparbejdning har kun mening, når der er behov for det ekstraherede plutonium. I øjeblikket anvender 17 europæiske reaktorer såkaldt MOX brændsel og forbrænder derved det udvundne plutonium.

Europæiske lande uden baggrund i militær oparbejdning søgte i en årrække at samle erfaringer ved brug af det fælles europæiske oparbejdningsanlæg Eurochemic i Belgien. Anlægget blev taget ud af brug i 1974 og har siden været anvendt til affalds- og dekontamineringsstudier med henblik på nedlæggelse. Erfaringerne fra Eurochemic førte imidlertid ikke til bygning af nye nationale oparbejdningsanlæg.

Tyskland var længst fremme, men opgav i 1989 planerne om et anlæg i Sydtyskland. I stedet har man købt oparbejdning i la Hague og - navnlig - oplagret brugt brændsel ved reaktorerne samt siden 1995 i et centrallager ved Gorleben. Transporter af brugt brændsel hertil gav også i 1996 anledning til demonstrationer og stort politiopbud.

Sverige valgte i 1983 at gå ind for direkte deponering af brugt brændsel. Påvisning af en mulighed for sikker bortskaffelse af højaktivt affald var en politisk betingelse for ibrugtagningstilladelsen for nye reaktorer, og direkte deponering blev anset for at være en simplere, teknisk gennemførlig metode, der ikke gjorde landet afhængig af udenlandsk oparbejdning. Siden har Sverige holdt fast ved metoden og underbygget den med en omfattende forskningsvirksomhed, sidst revideret i 1995 med det 4. forskningsprogram.

Spanien har fulgt Sveriges eksempel. Det samme gælder Finland, hvor den tidligere praksis med returnering af brugt brændsel til oparbejdning i Rusland blev forbudt ved lov i 1995. I Tyskland er det fra 1995 lovgivningsmæssigt muligt for kraftværkerne at gå ind for direkte deponering. En sammenfattende rapport over mange års forsknings og udviklingsarbejde desangående forelå i 1996.

9.4 Nedlægning af nukleare anlæg

Udslidte eller forældede nukleare anlæg, der ikke længere er i brug og bliver vedligeholdt, vil efterhånden forfalde. Oprydning efter tidligere aktiviteter er et godt princip inden for nuklear såvel som anden industri. Planlægning for og sikring af finansieringen af fjernelsen af udtjente nukleare anlæg er derfor et naturligt krav til kernekraftindustrien. De fleste lande med nuklear energiproduktion har opsparingsordninger, hvor en ringe del af prisen for el-energi båndlægges med henblik på fremtidig nedrivning af udtjente reaktorer og bortskaffelse af affaldet herfra.

Tekniske metoder til at gennemføre nedrivning af de indre, stærkt aktive dele af reaktorer og andre nukleare anlæg udvikles og afprøves i disse år på anlæg af forskellig type og størrelse. For at mindske strålingsproblemerne kan man vælge at lade reaktorerne henstå en årrække, så de kortlivede radioaktive isotoper forsvinder, men om nødvendigt er nedrivning også mulig, selv kort tid efter at det sidste uranbrændsel er fjernet fra reaktoren.

Genbrug af eksisterende anlæg og arealer, hvor der har ligget nukleare anlæg er også en mulighed. Gennemgribende vedligeholdelse med genbrug af bygninger, eksterne faciliteter m.m. efter udskiftning af selv meget centrale dele af reaktorer kan give forlænget brugstid: 'Den evige reaktor' som franskmændene har kaldt det - og dermed mindske behovet for egentlig nedlægning.

Et er imidlertid, hvad en sund, velordnet industri formår, noget andet er fortidens synder. Oprydning efter små og store virksomheder, der har drevet forskning, uranminer, uranberigning, oparbejdning, brændselsfabrikation m.m. under brug af nu forældede metoder og ofte i forbindelse med atomvåbenproduktion, er en stor opgave, der lægger beslag på betydelige ressourcer.

I Tyskland investerer man for eksempel store beløb i forbedring af forholdene omkring de gamle uranminer i Wismut nær Tjekkiet.

I USA er opgaven blevet systematiseret. Amerikanerne synes at have en vis succes med at udbyde restaureringsprojekter i privat licitation, og med at gennemføre dem i samarbejde med lokalbefolkningen. Det har ført til en skelnen mellem positiv konstruktiv kritik og så den almindelige modstand, som er velkendt i USA og Europa i forbindelse med nukleart arbejde.

I Rusland er oprydningen først ved at begynde, og den må forventes at strække sig mange år frem i tiden.

Ved nedlægningsprojekter er der et grundlæggende behov for accepterede grænseværdier, der angiver, hvornår arealer og konstruktionsmaterialer indeholder så lidt aktivitet, at de kan frigives til anden brug. I 1996 udgav EU regler på området i forlængelse af tilsvarende anbefalinger fra andre internationale organisationer. Anvendelsen og fortolkning af friklasningsreglerne påhviler de forskellige landes strålingsmyndigheder, og forhåbentlig udvikles der efterhånden en ensartet praksis på området.

Materialer, der ikke kan frigives til genbrug eller bortskaffelse som inaktivt affald, må behandles som radioaktivt affald. Unødvendig restriktiv fortolkning af grænseværdierne er ensbetydende med øgede mængder lavaktivt affald og øget behov for deponeringsfaciliteter hertil.

9.5 Deponering af lav-, mellem- og højaktivt affald

Affald er uanvendelige materialer hidrørende fra menneskelig virksomhed, og som normalt søges bortskaffet, så de generer mindst muligt. I den henseende adskiller radioaktivt affald sig ikke fra alle mulige andre typer affald. Radioaktivt

affald har imidlertid nogle særlige egenskaber, der på samme tid gør det både lettere og vanskeligere at have med at gøre:

> Radioaktive stoffer forsvinder efterhånden p.g.a. henfald og radioaktivt affald bliver derfor mindre og mindre farligt efterhånden, som tiden går. Forløbet kan angives med stor nøjagtighed, og det er en sikkerhedsmæssigt positiv egenskab ved affaldet. Muligheden for at forudsige udviklingen på dette specielle område har imidlertid medført, at kravene til dokumentation for sikker deponering af radioaktivt affald er blevet udstrakt til en meget fjern fremtid, et ambitionsniveau, der stort set ikke kendes for andre typer affald. De omfattende sikkerhedsanalyser kan have bidraget til opfattelsen af radioaktivt affald som noget ganske særligt farligt.

Affald med et højt indhold af radioaktive stoffer og affald, der kun er ganske svagt forurenet, vil begge blive betegnet som radioaktivt affald, men repræsenterer vidt forskellige grader af risici.

Forkert håndteret kan **højaktivt affald** være ekstremt farligt, hvad enten det drejer sig om brugt brændsel eller om glasformige produkter indeholdende fissionsprodukter m.m. fra oparbejdning. Til gengæld er rumfanget af egentligt højaktivt affald så lille, at det ikke er noget teknisk eller økonomisk problem at sørge for sikker transport og lang tids mellemlagring samt for en vidtdreven analyse af sikkerheden ved slutdeponering i geologiske formationer. Ved deponeringen skal der tages hensyn til varmeudviklingen i affaldet, og det må sikres, at den naturlige udvikling i og omkring lageret ikke på lang sigt kan give problemer.

Der er hidtil ikke foretaget slutdeponering af højaktivt affald noget steds i verden, men i en lang række lande er der gennem mange år udført systematiske studier af de tekniske muligheder for og sikkerheden ved deponering af højaktivt affald. Deponering i dybe geologiske lag er den primære mulighed.

Adskillige lande, f.eks. Sverige, Finland og Frankrig befinder sig i den vanskelige pladsvalgssituation, hvor det gælder om at overbevise en lokalbefolkning om, at et slutlager i (eller rettere under) netop deres område ikke indebærer nogen risiko på kort eller langt sigt.

Ud over mere oversigtsmæssige undersøgelser af geologiske formationers egnethed ligger hovedvægten på at bygge underjordiske laboratorier til mere detaljeret karakterisering af formationen, til eksperimentel demonstration af, hvordan affaldet kan anbringes på stedet, og til hvordan det kan forventes at opføre sig på længere sigt.

De to mest målrettede studier af denne art foregår i øjeblikket i salthorsten Gorleben i Tyskland og i tufformationer i Yucca Mountain, Nevada, USA. Begge er specielle ved, at formationen i princippet er tør, uden gennemsivende vand.

Tidshorisonten for påbegyndelse af deponering ligger omkring 2010-20, og i begge tilfælde vil det formodentlig mest komme til at dreje sig om deponering af udbrændt brændsel.

I 1995 blev muligheden for en eventuel nuklear kædeproces efter geokemisk omlejring af plutonium i deponeret brændsel i Yucca Mountain trukket frem. Detaljerede vurderinger i løbet af 1996 har vist, at dette ikke er muligt, og at konsekvenserne af en sådan hændelse i øvrigt ville være begrænsede.

Kritikalitet er også blevet nævnt som en risiko, hvis man skulle gribe til direkte deponering af militært plutonium evt. efter omdannelse til et glasprodukt. Udnyttelse af energiindholdet i bombeplutonium i en kraftreaktor ville være mere rimelig, men amerikanerne råder ikke over reaktorer, der anvender MOX brændsel og går kun modstræbende ind for tanken.

Mellemaktivt affald indeholder radioaktive stoffer i meget lavere koncentrationer end i højaktivt affald. Tendensen på oparbejdningsanlæggene går i retning af at minimere produktionen af mellemaktivt affald bl.a. ved oprensning for langlivede isotoper, som derefter kan indgå i det højaktive affald. Betydelige mængder af langlivet, mellemaktivt affald fra tidligere mindre effektiv oparbejdning ligger imidlertid på lager, bl.a. hidrørende fra produktionen af plutonium til militære formål. Amerikanerne er langt fremme med WIPP (Waste Isolation Pilot Plant), der er en deponeringsfacilitet i en saltforekomst i Texas. Den ventes taget i brug til deponering af militært, transuranforurenet affald i løbet af 1997.

I England arbejdes der med forundersøgelser til en facilitet til dyb geologisk deponering af langlivet mellemaktivt affald nær Sellafield. Der er holdt en større offentlig høring omkring anlægget.

Det underjordiske laboratorium i lerforekomsterne under Mol i det nordlige Belgien vil formodentlig efterhånden blive udbygget til et depot for affald af lignende art, bl. a. hidrørende fra Eurochemic oparbejdningsanlægget og fra fremstilling af MOX brændsel.

Lavaktivt affald deponeres rutinemæssigt i en lang række forskellige lande. I Europa råder 12 lande (heraf 6 tidligere østlande) over en eller flere faciliteter af stærkt varierende størrelse til deponering af lavaktivt affald. Erfaringerne med anlæggene er gennemgående tilfredsstillende.

Et enkelt af de store anlæg, La Manche i Frankrig, blev fyldt i 1994 og er under lukning. Den driftsansvarlige organisation Andra har fået lov at dække området til, men med et væsentligt tykkere lag jord end tidligere planlagt, og der er blevet stillet større krav til langtidskontrol med området.

I øvrigt fortsætter brugen af faciliteterne som tidligere. Dog forventes oplagringskapaciteten at kunne strækkes over betydelig længere tid end oprindelig antaget, bl.a. fordi kraftværksanlæggene bliver stadig bedre til at reducere rumfanget af lavaktivt affald.

Godkendelse af nye deponier for lavaktivt affald er ikke nogen simpel sag og kan føre til næsten uendelige juridisk/politiske tovtrækkerier. Et eksempel er Konrad-deponiet i Tyskland, et andet Ward Valley i USA. Amerikanerne har ikke åbnet et nyt deponi siden 1971, men lukket adskillige. Vanskelighederne og udgifterne ved at komme af med helt trivielt affald fører til mindre brug af radioaktive isotoper i forskning og på hospitaler.

At det ikke behøver at være så vanskeligt fremgår af de norske erfaringer med det planlagte deponi i Himdalen sydøst for Oslo. Her forventes byggetilladelser at foreligge i begyndelsen af 1997.

APPENDIX 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 skala for uheld på nukleare anlæg som f. eks. kernekraftværker, forskningsreaktorer, nukleare brændselsfabrikker og andre anlæg, hvor der kan opstå uheld med betydelige mængder radioaktivitet eller kraftige strålingsdoser. 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 mængder radioaktivitet hører derimod til klasse 7. Havariet på Tjernobylkraftværket i 1986 var således i klasse 7. Der har hverken før eller siden været andre klasse 7 uheld.

Efterhånden har alle betydende lande 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 sker der det, at man på det anlæg, hvor hændelsen er sket, til IAEA i Wien indsender en beskrivelse af det skete samt en angivelse af en foreløbig klasse. Sikkerhedsmyndighederne i det pågældende land kan efterfølgende ændre på klassificeringen, hvis man finder, at en anden klasse er mere korrekt. Der sker jævnligt sådanne justeringer, både i opad- og i nedadgående retning. Fra IAEA sendes der snarest oplysning om uheldene til nukleare sikkerhedsmyndigheder over hele verden. Disse kan så vurdere, om der kan ske tilsvarende hændelser i deres lande, og om der bør tages modforholdsregler.

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.
  Alvorlige nukleare uheld i klasse 6 er ikke 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 de 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.
  En klasse 3 hændelse forekom på det spanske kernekraftværk Vandellos i 1989. En brand havde til følge, at sikkerhedsudstyr i en periode var ubrugeligt.
  En anden klasse 3 hændelse forekom i 1996 i Kina, hvor en radioaktiv kilde, der anvendtes til kontrol af svejsninger, blev fjernet fra sin afskærmning med det resultat, at en person blev bestrålet så kraftigt, at et ben og en hånd måtte amputeres.

- 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 nødkølebrusere på det svenske kernekraftværk 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 til I-AEA. 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. Som et eksempel kan nævnes et dødsfald på kernekraftværket Khmelnitsky i Ukraine i 1996. Mens reaktoren var stoppet, opstod en utæthed i en dampledning, og en arbejder blev så skoldet, at han senere døde heraf på hospitalet. For anlæggets sikkerhed havde hændelsen ingen betydning, men af hensyn til den almindelige arbejdssikkerhed bør det skete naturligvis give anledning til overvejelser.

I tiden siden 1990 har INES klassificeringen vist sin store nytte. Ikke blot har fagfolk verden over hurtigt kunnet få et overblik over den sikkerhedsmæssige betydning af forskellige "hændelser" på nukleare anlæg i andre lande, men ved at

kunne angive et "uhelds-tal" baseret på internationale standarder er det i de fleste tilfælde lykkedes forskere, ingeniører og myndigheder at få "omverdenen" til at forstå og acceptere den sikkerhedsmæssige betydning - stor eller lille - af forskellige hændelser. Tidligere havde man ofte oplevet, at hændelser, der ud fra en teknisk, faglig vurdering havde ringe sikkerhedsmæssig betydning, af omverdenen blev opfattet som lige så alvorlige og betydningsfulde som uheld, der havde haft reel sikkerhedsmæssig betydning - f.eks. ved, at ét af et kernekraftværks sikkerhedssystemer i en periode ikke havde været funktionsdueligt.

Omend der er udførlige regler for, hvorledes de enkelte hændelser skal klassificeres, vil der fortsat i nogle tilfælde være behov for skøn. Ved udveksling af "uheldsrapporter" med detaljerede beskrivelser og vurderinger samt ved gennemførelsen af internationale møder søger man at nå en helt ensartet vurdering for alle lande, så det samme uheld vurderes på samme måde overalt.

APPENDIX B: Anvendte forkortelser

ABB	ASEA Brown Boveri
ABWR	Advanced Boiling Water Reactor, avanceret kogendevands reaktor
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
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
BeF_2	Berylliumfluorid
BN	Russisk hurtigreaktor
BRS	Beredskabsstyrelsen
BWR	Boiling Water Reactor, kogendevandsreaktor
CANDU	CANadian Deuterium Uranium, canadisk tungtvandsreaktor af trykrørstypen
CDU	Christliche Demokratische Union
CEN	Centre d'etude de l'Energie Nuclaire, belgisk forskningscenter for kerneenergi
CERN	Conseil Europeenne pour la Recherche Nuclaire
COGEMA	Compagnie Generale des Matieres Nucleaires, den franske stats firma for nukleare materialer
CO_2	Kuldioxid
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
EdF	Electricité de France
ELSAM	Den jyske el-værkssammenslutning
ENUSA	Empresa National del Uranio, spansk reaktorbrændselsfirma
EPR	European Pressurized water Reactor, trykvandsreaktor under udvikling i et samarbejde mellem Siemens og Framatom (NPI)
ESBWR	European SBWR, europæisk udgave af SBWR
EU	European Union
EURATOM	EU's kerneenergiorganisation
FBR	Fast Breeder Reactor, hurtig formeringsreaktor
GAN	Gosatomnadsor, den russiske nukleare sikkerhedsorganisation
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
IEC	Den internationale elektrotekniske kommission
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
KEDO	Korean peninsula Energy Development Organisation
KKN	KernKraft Niederreichbach
kV	kilovolt
kWe	kilowatt elektrisk
kWh	kilowatttime
KWU	Kraftwerk Union, afdeling af det tyske firma Siemens
LEU	Low Enriched Uranium
LiF	Litiumfluorid
MECU	Millioner Ecu
MKER	Ny, russisk udgave af RBMK-typen
MoU	Memorandum of Understanding
MOX	Mixed OXide, brændsel fremstillet af blanding af plutonium- og uranoxid
MTO	Samspillet mellem Menneske, Teknik og Organisation
MWe	Megawatt elektrisk (1 MW = 1000 kW)
MWt	Megawatt termisk (varme)
NaCl	Natriumklorid, kogesalt
NE	Nuclear Electric, engelsk elselskab med kernekraftværker
NERSA	Centrale Nuclaire Europeenne a Neutron Rapide Societe Anonyme, det selskab, der ejer og driver Superphenix
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 for nuklear sikkerhed
NUEXCO	Nuclear Exchange Corporation
PFR	Prototype Fast Reactor (Dounreay, Scotland)
PHARE	Poland Hungary Aid for Reconstruction of the Economy
PRACLAY	Preliminary demonstration test for clay disposal, belgisk program for deponering af højaktivt affald i ler
PNC	Power reactor and Nuclear fuel development Corporation
Pu	Plutonium (grundstof)
PWR	Pressurized Water Reactor, trykvandsreaktor
RBMK	Reaktor stor effekt kanaltype, russisk reaktor med grafit moderator og kogendevandskøling (Tjernobyl-typen)
RENEL	Det rumænske, statslige elselskab
RWE	Rheinisch-Westfalisches Electrizitetswerk, tysk elselskab
SBWR	Simplified Boiling Water Reactor, forenklet kogendevands reaktor

SCK	StudieCentrum voor Kernenergie, belgisk forskningscenter for kerneenergi
SKALA	Ældre system til dataindsamling og -visning på RBMK- enheder
SKI	Statens KärnkraftInspektion, den svenske sikkerhedsorganisation for kernekraft
SNG	Statssamfundet af uafhængige stater, rammeorganisationen for de fleste af de stater, der tidligere udgjorde Sovjetunionen
SN	Scottish Nuclear
SPD	Socialistische Partei Deutchland
Sv	Sievert, enhed for strålingsdosis
SWR	Tysk udgave af SBWR
SWU	Separative Work Unit, enhed for berigning
TACIS	Technical Assistance to Commonwelth of Independent States, EU's tekniske hjælpeprogram til SNG
TVO	Finsk elselskab
TWh	Terawatttimer, (1 TWh = 1 milliard kWh)
U	Uran
UNIVAC	Amerikansk computerfirma
UO_2	Urandioxid
USEC	United States Enrichment Corporation, amerikansk berigningsselskab
VATESI	Den litauiske organisation for nuklear sikkerhed
VVER	Vand Vand Energi Reaktor, russisk udgave af trykvandsreaktoren
WIPP	Waste Isolation Pilot Plant, amerikansk anlæg til deponering af radioaktivt affald

Bibliographic Data Sheet **Risø-R-966(DA)**

Title and authors

International Nuclear Power Status 1996 (in Danish)

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

ISBN	ISSN
87-550-2278-2	0106-2840 1395-5101

Department or group	Date
Nuclear Safety Research and Nuclear Facilities	March 1997

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

Pages	Tables	Illustrations	References
75	4	15	

Abstract (max. 2000 characters)

This report is the third in a planned series of annual reports on the international development in the field of nuclear power.

For 1996, the report contains:

- General trends in the development of nuclear power
- Discussion of accelerator-driven reactors
- Statistical information on nuclear power production
- An overview of safety-relevant incidents in 1996
- 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; FORECASTING; HEAVY WATER MODERATED REACTORS; INTERNATIONAL COOPERATION; NORTH AMERICA; NUCLEAR POWER PLANTS; PLANNING; PWR TYPE REACTORS; RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT; 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 46 77, ext. 4004/4005, Telex 43 116, Telefax +45 46 75 56 27