RISØ

Risø-R-1338(DA)

International kernekraftstatus 2001

Redigeret af B. Lauritzen, B. Majborn, E. Nonbøl og P.L. Ølgaard



Forskningscenter Risø, Roskilde
April 2002

Resumé Rapporten er den ottende i en serie af årlige rapporter om den internationale udvikling inden for kernekraften med særlig vægt på sikkerhedsmæssige forhold. Den omtaler udviklingen i 2001 og dækker følgende emner:

- Generelle tendenser inden for kernekraftudviklingen
- Tema-artikel: Nuklear terrorisme
- Statistiske oplysninger om kernekraften i 2000
- Større, sikkerhedsrelevante hændelser i 2001
- Udviklingen i Vesteuropa
- Udviklingen i Østeuropa
- Udviklingen i andre lande
- Udvikling af reaktortyper
- Det nukleare brændselskredsløb
- Internationale organisationer

Forsidebilledet viser en strålingsmonitor (den gule portal) til grænsekontrol af ulovlig transport af radioaktive kilder

ISBN 87-550-3048-3
ISBN 87-550-3049-1 (Internet)
ISSN 0106-2840
ISSN 1395-5101

Print: Pitney Bowes Management Services Denmark A/S, 2002

Indhold

Forord 4

1 Tendenser i kernekraftudviklingen 5

2 Årets tema-artikel: Nuklear terrorisme 7

3 Kernekraftens el-produktion 17

4 Større, sikkerhedsrelevante hændelser i 2001 22

5 Vesteuropæiske lande 25
5.1 Sverige 25
5.2 Frankrig, Storbritannien, Tyskland 28
5.3 Andre vesteuropæiske lande 32

6 Central- og østeuropæiske lande 35
6.1 SNG-lande 35
6.2 De centraleuropæiske lande 41
6.3 Skibsreaktorer 45
6.4 Det danske øststøtteprogram 47

7 Øvrige lande 54
7.1 Nord- og Sydamerika 54
7.2 Afrika, Asien og Australien 57

8 Reaktorudviklingen 60
8.1 Tendenser inden for reaktorudvikling 60
8.2 Trykvandsreaktorer 60
8.3 Kogendevandsreaktorer 62
8.4 Tungtvandsreaktorer 63
8.5 Gaskølede reaktorer 63
8.6 Hurtige reaktorer 64

9 Brændselskredsløbet 65
9.1 Uranproduktion og -berigning 65
9.2 Oparbejdning af brugt brændsel 68
9.3 Deponering af lav-, mellem- og højaktivt affald 69
9.4 Nedlæggelse af nukleare anlæg 73

10 Internationale organisationer 75
10.1 IAEA 75
10.2 OECD/NEA 76
10.3 WENRA 77
10.4 UNSCEAR 78

APPENDIKS A: Reaktortyper 79

APPENDIKS B: INES, den internationale skala for uheld på nukleare anlæg 89

APPENDIKS C: Anvendte forkortelser 91

Forord

Denne rapport er den ottende i en serie, der har til formål at informere myndigheder, medier og offentlighed om udviklingen inden for kernekraftområdet med særlig henblik på sikkerhedsmæssige forhold.

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

Årets tema-artikel behandler emnet nuklear terrorisme, som har fået øget opmærksomhed i lyset af terrorhandlingerne i USA den 11. september 2001.

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

K. Brodersen	Risø	(9.3)
S. Carugati	Risø	(9.2)
A. Damkjær	Risø	(10)
S.E. Jensen	Risø	(8.4, 8.5, 8.6, App A)
U. Korsbech	DTU	(4, App B)
B. Lauritzen	Risø	(5.2, 5.3)
B. Majborn	Risø	(7.2)
M.K. Mariager	Risø	(9.1)
B. Mørup	BRS	(6.4
E. Nonbøl	Risø	(3, 5.1, 8.1, 8.2, 8.3, App A)
P.E. Nystrup	BRS	(7.1)
G.M. Pedersen	BRS	(2)
A. Sørensen	Risø	(9.4)
P.L. Ølgaard	Risø	(1, 2, 6.1, 6.2, 6.3, App A)

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

1 Tendenser i kernekraftudviklingen

Terroraktionerne d. 11. september 2001 har givet anledning til mange overvejelser, bl.a. om muligheden for terrorisme ved brug af nukleare materialer eller mod nukleare anlæg. Derfor er emnet for årets tema-artikel nuklear terrorisme. Artiklen gennemgår forskellige muligheder for nuklear terrorisme samt det danske beredskab herimod.

I 2001 var der igen en beskeden stigning i den installerede effekt i verdens kernekraftværker på 0,7%, mens stigningen i den producerede el-energi steg med 2%. Dette viser, at verdens kernekraftværker udnyttes bedre. Især i den industrialiserede del af verden spiller kernekraften en vigtig rolle for el-produktionen. I Frankrig og Litauen er kernekraftens andel i el-produktionen ca. 75%, i Belgien ca. 60%, i Ukraine og Slovakiet ca. 50%, i Bulgarien ca. 45%, i Sverige, Schweiz, Ungarn og Sydkorea ca. 40%, i Finland, Tyskland, Japan og Spanien ca. 30%, i Storbritannien, USA og Tjekkiet ca. 20% samt i Rusland ca. 15%. Ca. en trediedel af Vesteuropas el-produktion kommer fra kernekraftværker.

Hvad kernekraftens fremtid angår, kommer der forskellige signaler fra forskellige dele af verden. Mens regeringerne i Sverige, Tyskland, Holland og Belgien sigter mod en gradvis afvikling af kernekraften, er der i USA og Rusland klare indikationer af, at nye kernekraftværker er på vej. I Finland påregnes det, at beslutning om bygning af et nyt kernekraftværk vil blive taget i 2002, og i Tjekkiet er man ved at starte to nye kernekraftenheder op. Indien, Iran, Japan, Kina, Sydkorea og Taiwan fortsætter med at bygge. En faktor til fordel for kernekraften er, at kernekraftværker ikke producerer affaldsprodukter, f.eks. CO_2, som kan påvirke det globale klima (drivhuseffekten). Afgørende for en fortsat udbygning af kernekraften er prisen på nye værker. Det ser ud til, at udvikling af simplificerede værker med øget sikkerhed skulle give konkurrencedygtige priser. Men bygningen af nye værker kræver også, at det politiske klima tillader, at de nye værker får lov til at køre gennem hele deres levetid.

En klar tendens i de fleste kernekraftlande er, at der søges om levetidsforlængelse for eksisterende værker, f.eks. fra 40 til 60 år. Ældre værker, der er afskrevne, er overordentlig konkurrencedygtige, også selv om værkerne af sikkerhedsmyndighederne kræves renoveret for at opnå den ønskede levetidsforlængelse. Endvidere øger man effekten på eksisterende enheder. En tredie tendens er, at kraftselskaber fusionerer for med den stigende liberalisering af el-markedet at opnå en mere økonomisk produktion. Det har for mange værkers vedkommende medført en forbedret udnyttelse af anlæggene. Den stigende konkurrence medfører på den anden side, at elselskaber er forsigtige med at investere i nye enheder, hvis produktion de ikke mere kan være sikre på at kunne afsætte. Det har f.eks. i Californien medført mangel på produktionskapacitet.

Der var i 2001 ingen alvorlige uheld eller ulykker på verdens kernekraftværker. Derimod forekom der seks hændelser på disse værker, der ikke indebar nogen egentlig risiko, men som viste, at udstyr eller arbejdsrutiner skal ændres, såfremt det krævede sikkerhedsniveau skal nås. Desuden har der været tre sådanne hændelser med radioaktive kilder i industrien.

Den svenske regering har måttet erkende, at vilkårene for lukning af Barsebäckværkets enhed 2 stadig ikke er opfyldt. Der vil blive foretaget en ny vurdering i 2003, som vil resultere i en ny lukningsdato.

Den britiske regering har iværksat en gennemgang af landets energipolitik med henblik på at sikre den landsigtede energiforsyning.

I Tyskland har parlamentet vedtaget lov om afvikling af kernekraft, men det sidste værk vil dog først blive lukket midt i 2020'erne. Oppositionen har udtalt, at den ikke føler sig bundet af aftalen mellem regeringen og el-værkerne.

Med forbedringen i den russiske økonomi planlægger det russiske kerneenergiselskab Rosenergoatom at færdiggøre fem nye enheder i de næste fem til syv år og ti nye enheder i de følgende ti år. Rusland er også i gang med at udbrede sin indflydelse på det nukleare område til nærliggende lande. Det gælder såvel Armenien, Ukraine, Kina, Iran, som Indien. Rusland har ligeledes, mod betaling, åbnet for import af udbrændt brændsel.

Der er indgået en aftale mellem EU og Slovakiet om lukning af Bohunice-1 og -2 i henholdsvis 2006 og 2008.

Tjekkiet er i gang med at starte to nye kernekraftenheder, Temelin-1 og -2. Efter lange forhandlinger og undersøgelser har den østrigske regering frafaldet sit krav om, at Tjekkiets optagelse i EU skal være betinget af lukning af Temelin-værket.

En af den amerikanske regering nedsat arbejdsgruppe, som blev ledet af vicepræsidenten, har anbefalet en udbygning af kernekraften med 50 GWe frem til 2020 samt en forenkling af myndighedsbehandlingen af nye kernekraftprojekter. Problemet omkring, hvor den midlertidige oplagring af kraftværkernes udbrændte brændsel skal ske, er stadig ikke afklaret, men stadig mere påtrængende

Indien, Iran, Japan, Kina, Sydkorea, og Taiwan fortsætter med opførelse af kernekraftværker.

Udviklingen inden for reaktorteknologien sigter først og fremmest mod at forbedre letvandsreaktorerne gennem simplificeringer og indførelse af sikkerhedssystemer, der virker uden menneskelig indgriben. Der har dog også vist sig øget interesse for den gaskølede højtemperaturreaktor.

Det amerikanske berigningsselskab USEC er i vanskeligheder. Deres gasdiffusionsanlæg er forældede og dyre i energiforbrug. Selskabet sælger dog også kraftreaktoruran, opnået ved ”nedblanding” af våbenuran.

Finland og Sverige er blandt de lande, der er førende m.h.t. opførelse af anlæg til slutdeponering af højaktivt affald, d.v.s. udbrændt reaktorbrændsel.

2 Årets tema-artikel: Nuklear terrorisme

Nuklear terrorisme er terrorisme, der udøves ved brug af nuklear teknologi eller ved angreb på nukleare anlæg. I begge tilfælde kan aktionerne medføre, at der udsendes stråling i form af gammastråling og/eller neutroner, ligesom der kan frigøres radioaktive stoffer, der kan kontaminere det område, hvori terroren udøves. Nuklear terrorisme kan antage forskellige former, hvoraf nogle er farligere end andre. Disse forskellige former samt mulighederne for deres anvendelse vil blive diskuteret i denne temaartikel. Der kan være tale om brug kernevåben, om radiologisk terrorisme, hvorved der spredes radioaktive stoffer, samt om angreb på kernekraftværker eller andre nukleare anlæg.

Der har indtil i dag kun været få tilfælde af nuklear terrorisme, og de har været uden frigivelse af radioaktive stoffer eller stråling. Ved et mindre fransk kernekraftværk, EL-4, blev der i 1975 sprængt en hjælpebygning, der ikke spillede nogen rolle for værkets sikkerhed, i luften. I Argentina besatte en gruppe partisaner en kort periode et kernekraftværk, men uden at ødelægge noget. I USA vædrede en mentalt forstyrret mand i 1993 porten til et kernekraftværk med en bil, men uden i øvrigt at anrette skader på værket.

Nuklear terrorisme er kun noget specielt, for så vidt som den udnytter nuklear teknik. Målt i antal dødsofre findes der i et moderne industrisamfund adskillige fremgangsmåder, der kan medføre lige så store eller større ødelæggelser. Mange kemiske industrier benytter store mængder stærkt giftige stoffer, og sprængning af beholdere med sådanne stoffer under meteorologiske forhold, der får gasserne til at drive mod en storby, kan medføre et meget stort antal dødsofre. En anden mulighed er at styre et fly med fuldt lastede brændstoftanke mod et sted, hvor der er en stor folkemængde forsamlet, f.eks. under en vigtig sportsbegivenhed eller en stor, politisk demonstration.

Det har været anført, at det ikke vil være i terroristers egen interesse at gennemføre aktioner, som medfører et meget stort antal dødsofre, fordi sådanne vil vække så megen modvilje mod terroristernes sag og fremkalde så drastiske modforanstaltninger fra samfundets side, at aktionerne reelt vil skade terroristernes sag, ikke gavne den. Men man kan efter terrorhandlingerne i USA d. 11. september, hvor antallet af omkomne ikke var et par hundrede, som var det maksimale ved tidligere terroraktioner, men flere tusinde, hævde, at terrorister ikke anlægger sådanne rationelle betragtninger.

Brug af kernevåben som terrorvåben

For at benytte kernevåben til terrorangreb må terroristerne først anskaffe sig sådanne våben, og her møder de en række vanskeligheder.

For det første skal de have rådighed over spalteligt materiale, d.v.s. enten uran-235 eller plutonium-239 i de nødvendige mængder. Sædvanligvis regner man med, at der til fremstilling af et kernevåben er behov for mindst 25 kg næsten rent uran-235 (90% beriget) eller 8 kg plutonium. Uran-235 fremstilles ud fra naturligt uran i såkaldte berigningsanlæg. Der findes forskellige typer af berigningsanlæg, men det gælder for dem alle, at de er så store og teknisk meget avancerede, at bygning af selv et mindre anlæg koster flere hundrede millioner dollar, og at de kræver store mængder naturligt uran og store mængder energi. Af samme årsag er de vanskelige at skjule. Den anden mulighed er at fremstille plutonium. Det sker i reaktorer, der som brændsel benytter naturligt uran og som moderator tungt vand eller grafit. De skal have en termisk effekt på mindst 30 til 50 MW. Under bestrålingen af uranet i reaktoren vil en lille del af uranets indhold af uran-238 ved neutronindfangning omdannes til plutonium-239. Efter endt bestråling skal dette stof udvindes. Det sker i særlige oparbejdningsanlæg,

hvor uranbrændslet opløses i syre, og plutoniumet udvindes ved kemiske processer. Selv om disse processer i princippet er relativt enkle, gør det forhold, at meget stærkt radioaktive stoffer skal håndteres, at anlægget bliver kompliceret og dyrt. Da det ikke kan undgås, at små mængder radioaktivt stof slipper ud, vil det være meget svært at skjule anlægget. Varmeudviklingen i reaktoren gør det også svært at skjule denne. Selvom fremstilling af plutonium-239 kan være noget billigere end uran-235, vil byggeomkostningerne stadig være af størrelsesordenen 100 mio. dollar og bygning af reaktor og oparbejdningsanlæg vil stille store krav til teknisk ekspertise samt kræve rådighed over store mængder naturligt uran. Til investeringerne i de omtalte anlæg kommer driftsudgifterne, som er 10-50 mio. dollar pr. år. Det forekommer derfor rimeligt at konkludere, at det ligger over en terrororganisations formåen at fremstille det nødvendige spaltelige materiale. Det må derfor fremskaffes på anden måde.

Der forekommer ikke sjældent meddelelser i medierne om, at en person har forsøgt at sælge våbenkvalitet uran-235 eller plutonium. IAEA har rent faktisk siden 1993 registreret 175 forsøg på salg af nukleare materialer. Men kun i 18 tilfælde var der tale om våbenanvendelige materialer, plutonium eller højt beriget uran, og af disse 18 tilfælde var der kun få, hvor der var tale om mængder, der har relevans for kernevåbenproduktion. Så vidt vides var der i intet tilfælde tale om en mængde, der var tilstrækkelig til produktion af et kernevåben. Materialet, der forhandles, stammer stort set fra Østeuropa, hvor de vanskelige økonomiske forhold frister folk til at begå ulovligheder og samtidig gør det vanskeligt at skaffe midler til den nødvendige kontrol. Det siger sig selv, at de af IAEA registrerede forsøg på illegalt salg af nukleart materiale kun omfatter de forsøg, som myndighederne i øst eller vest har afsløret. Der kan derfor være forekommet "succesfulde" transaktioner, men til dato har der ikke været noget tegn herpå.

Men selv om en terroristorganisation skulle kunne få fat i de nødvendige mængder af spalteligt materiale, er det ikke nogen enkel sag at fremstille et kernevåben. Ganske vist principperne for kernevåben er kendt, og meget om disse våbens konstruktioner er blevet offentliggjort, men der er stadig mange problemer, terroristernes bombekonstruktører må løse.

Der findes to forskellige typer af kernevåben: Kanonbomben og implosionsbomben. Princippet i disse kan på forenklet form beskrives således:

Ved kanonbomben skyder man et underkritisk uranprojektil ind i en anden, også underkritisk urankomponent, således at de to dele, når de samles, bliver til en stærkt overkritisk uranklump. Så snart dette er sket, skal en neutronkilde starte kædereaktionen og den nukleare eksplosion.

Implosionsbomben består af en underkritisk kugle af spalteligt materiale, der er omgivet af et antal sprængladninger. Disse er udformet således, at når de detoneres samtidig, vil de danne en kugleformet trykbølge, der bevæger sig ind mod kuglens centrum. Trykbølgen vil komprimere kuglen, hvorved den bliver overkritisk, og når kompressionen når sit maksimum, starter en neutronkilde kædereaktionen og eksplosionen. Plutoniumvåben kræver brug af implosionsprincippet, som også kan anvendes til uranvåben.

Det er ofte i medierne blevet påstået, at det er så let at lave kernevåben, at selv en enlig gymnasiast kan gøre det. En sådan påstand har intet med virkeligheden at gøre. Fremstilling af kernevåben kræver betydelig teknisk ekspertise på en række fagområder. Neutronfysikere skal beregne, hvor store bombens komponenter skal være, så den ikke bliver kritisk i utide, men på den anden side detonerer, når den skal. Fysikerne skal også konstruere den neutronkilde, der på det rigtige tidspunkt starter eksplosionen. Kemikere og metallurger skal fremstille bombens komponenter, ikke mindst de komponenter, der består af spalteligt materiale. Og uran og plutonium er ikke lette at arbejde med. Hvis de opvarmes i luft, brænder de, og specielt plutonium har ubehagelige metallurgiske egenskaber. Til kanonbomben skal der anskaffes et passende kanon-

løb med den nødvendige krudtladning, der kan give uranprojektilet den nødvendige hastighed. Implosionsbomben kræver, at man råder over erfarne sprængstofteknikere, der er i stand til at konstruere de sprængladninger, der giver det spaltelige materiale den nødvendige kompression, og elektroteknikere, der sikrer, at alle sprængladninger tændes på præcis det samme tidspunkt. Der kræves således et hold af dygtige eksperter, der kan løse alle de praktiske problemer ved kernevåbenfremstilling. Det bør også nævnes, at de første kernevåben vejede 5 tons, så transport af sådanne er ikke nogen helt enkel sag. Der er senere, takket være et stort udviklingsarbejde, blevet fremstillet kernevåben med en vægt på ned til ca. 50 kg, men en sådan konstruktion kræver stor indsigt i kernevåbenteknologi.

Det er vigtigt for et kernevåbens sprængstyrke, at det spaltelige materiale samles i en så overkritisk geometri som muligt netop på det tidspunkt, hvor kædereaktionen startes. Dette er især et problem ved plutoniumvåben, som derfor skal laves efter implosionsprincippet. Hvis kædereaktionen startes for tidligt, f.eks. så snart det spaltelige materiale er kritisk og samlingen sker langsomt, vil den ved kædereaktionen udviklede energi rive bomben i stykker, så kædereaktionen hurtigt stopper, og sprængstyrken bliver lav. Hvor lav den bliver, afhænger af mange forhold, men den kan komme ned på sprængstyrken for en almindelig bombe, og den dannede mængde radioaktivt stof bliver i så fald tilsvarende ringe. Hvis bomben er dårligt konstrueret, kan sprængstyrken begrænse sig til det anvendte kemiske sprængstof.

Det har i medierne været nævnt, at det vil være let for en terroristorganisation at skaffe den nødvendige ekspertise, fordi der i Rusland findes mange teknikere, der har deltaget i det sovjetiske kernevåbenprogram, og som nu er blevet arbejdsløse, eller som kun får en så ringe løn, at de kan fristes af lokkende tilbud fra terrororganisationer. Men det er nu ikke så let på denne måde at skaffe den nødvendige ekspertise. For det første skal man have mange eksperter og tilhørende medhjælp, og det gør i sig selv, at risikoen for afsløring af projektet øges. For det andet vil eksperterne ved at stille sig til rådighed begå en alvorlig lovovertrædelse, som vil hindre dem i senere at vende hjem.

Der er således mange problemer, en terrororganisation må overkomme, hvis den vil lave kernevåben, også selv om den har mulighed for at købe det nødvendige spaltelige materiale, og det forekommer derfor mere end tvivlsomt, om selv den rigeste terrororganisation kan løse alle disse problemer.

Den sidste mulighed for terrorister er at købe eller stjæle et kernevåben. I den vestlige verden passer man overordentlig godt på sine kernevåben. Dertil kommer, at de er forsynede med en række sikringer, der dels hindrer, at de går af i utide, men også gør det vanskeligt for udenforstående at bringe dem til sprængning. Forholdene er måske ikke helt så gunstige i Rusland på grund af landets økonomiske vanskeligheder, men man har ikke mindst fra amerikansk side givet økonomisk bistand til Rusland for at sikre en acceptabel håndtering af de russiske kernevåben. Der har været medierapporter om savnede kernevåben, men de er aldrig blevet bekræftede. Tværtimod har man fra russisk side meddelt, at der ikke er bortkommet kernevåben.

Hvor godt man passer på sine kernevåben i Pakistan, Indien og Israel foreligger der ikke noget om. Men det må formodes, at man fra amerikansk side har gjort meget for at sikre, at de pakistanske kernevåben ikke finder vej til Osama bin Laden og al-Qaeda organisationen.

Der har i medierne været meddelelser om, at bin Laden har søgt at anskaffe sig kernevåben. For næsten tre år siden udtalte han til ABC News, at det var en religiøs pligt at anskaffe masseødelæggelsesvåben, d.v.s. biologiske, kemiske og nukleare kampmidler.

Efter indtagelsen af Kabul oplyste en journalist fra The Times, at han i en al-Qaeda bygning havde fundet beregninger og tegninger til en plutoniumbombe. Det viste sig

imidlertid ved en nærmere undersøgelse, at tegningerne stammede fra et humoristisk tidsskrift og fra en "parodi"-hjemmeside. The Times kunne også oplyse, at al-Qaeda havde fået fat i radioaktivt materiale til brug i terrorkrig mod Vesten. Det skulle anvendes i en bombe med radioaktivt affald, der var omgivet af sprængstof. Det viste sig senere, at avisens kilde alene havde sagt, at al-Qaeda muligvis kunne have en sådan bombe.

Endelig arresterede de pakistanske myndigheder bl.a. to pensionerede medarbejdere ved den pakistanske atomenergikommission p.g.a. deres forbindelse til og sympati med Taleban. De havde, efter at være gået på pension for to år siden, startet en privat organisation, der beskæftigede sig med hjælpearbejde og investeringer i Afghanistan. Den ene, Bashir Mahmood, ledede bygningen af den pakistanske plutoniumproducerende reaktor i Khushab. Han tog sin afsked i 1998, da Pakistan underskrev den fuldstændige prøvestopaftale. Den anden, Choudri Abdul Majid, arbejdede med oparbejdning af bestrålet brændsel og plutoniumudvinding, og havde opholdt sig i Mol i Belgien i de tidlige 1970ere. Det blev oprindelig hævdet, at de havde haft teoretiske diskussioner med bin Laden om atomare, kemiske og biologiske våben, men ifølge de pakistanske myndigheder havde ingen af de to været involveret i Pakistans kernevåbenprogram, og de er begge blevet løsladt. Selv hævder de, at deres møde med bin Laden i august 2001 alene drejede sig om støtte til et universitet i Kabul.

Radiologiske våben

Et beskedent alternativ til kernevåben er radiologiske våben. Disse indeholder foruden kemisk sprængstof radioaktive stoffer, som ved detonation af sprængstoffet spredes og forurener omgivelserne. Sådanne våben, der ikke hidtil har været anvendt, kaldes også "snavsede" våben. Det væsentligste problem ved denne type våben er, at såfremt de skal have en væsentlig radiologisk effekt, må de indeholde betydelige mængder radioaktivt stof. Det betyder igen, at det mandskab, der skal håndtere dem før detonationen, udsættes for store strålingsdoser. Det kan indvendes, at noget sådant ikke spiller en rolle for selvmordsterrorister, men det vil dog være nødvendigt, at de lever længe nok til at anbringe bomben det ønskede sted, og det kan have sine vanskeligheder, hvis indholdet af radioaktivt materiale er tilstrækkelig stort. En måde at løse dette problem på, er at omgive kilden med en tyk strålingsafskærmning, som beskytter personalet, men det øger våbnets vægt og forudsætter, at mængden af sprængstof er stor nok til at pulverisere såvel afskærmning som det radioaktive materiale.

Endvidere er der problemet med at anskaffe det radioaktive materiale. IAEA har ganske vist registreret over 200 tilfælde af forsøg på illegalt salg af radioaktive kilder, i alt væsentligt stammende fra Østeuropa, men i reglen er der tale om relativt svage kilder, der ikke egner sig til våbenbrug. Det gælder også, at en del lande har begrænset kontrol med radioaktive kilder. Man skal dog ikke se bort fra den effekt det vil have, hvis man i en storby detonerer en radiologisk bombe, samtidig med at man meddeler dette til befolkningen. Uanset, hvor begrænset bombens indhold af radioaktivt stof er, vil det kunne skabe betydelig panik, hvis ikke myndighederne hurtigt griber ind med målinger og information.

En anden form for radiologisk krigsførelse er angreb på transporter af radioaktivt materiale, især transporter af udbrændt brændsel, som indeholder store mængder radioaktivt materiale. Her må det dog erindres, at de beholdere, der anvendes til sådanne transporter er yderst robuste. De kan tåle fald fra stor højde, benzinbrand og oversvømmelse, uden at de radioaktive stoffer slipper ud. Disse krav til robusthed skyldes ikke frygt for terrorangreb, men sikring i tilfælde af trafikuheld, men de vil også gøre transporter mere modstandsdygtige over for terrorangreb. Hidtil har der ikke været noget tilfælde af udslip i forbindelse med transporter af udbrændt brændsel, selv om de har været involveret i trafikuheld. I de fleste lande annoncerer man ikke tidspunktet

og ruten for transporter af bestrålet brændsel, hvorfor sandsynligheden for terrorangreb eller sabotage af transporterne er beskeden. På den anden side må det formentlig erkendes, at et angreb på en transportbeholder med et pansergennembrydende våben kan åbne vej til brændslet samt medføre et begrænset udslip af radioaktivt materiale.

Angreb mod kernekraftværker

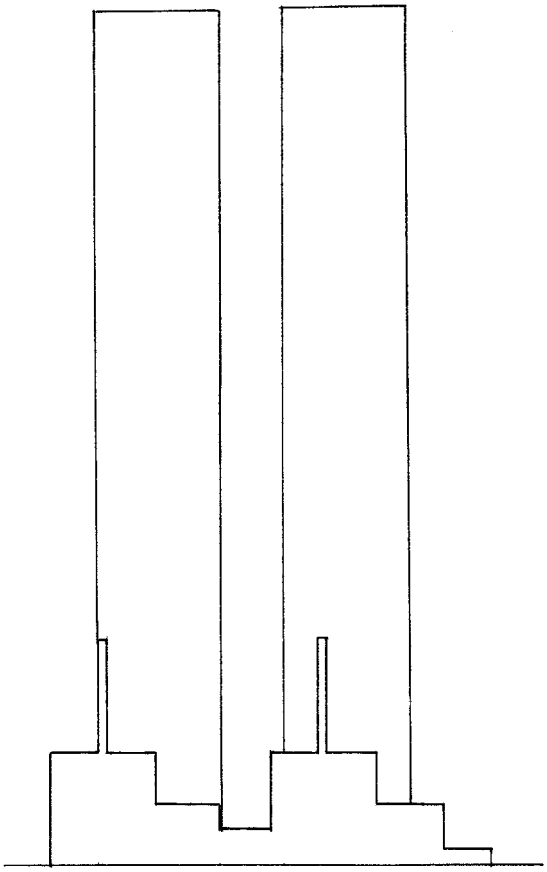
Angrebet på World Trade Center d. 11. september har rejst spørgsmålet om, hvorvidt et tilsvarende angreb kunne tænkes på et kernekraftværk, og hvad konsekvenserne af et sådant ville være. Der blev faktisk i det engelske Sunday Times i oktober 2001 fremsat en påstand om, at det fly, som styrtede ned i Pennsylvania, efter at passagererne gjorde oprør mod terroristerne, skulle have haft kernekraftværket Tremileøen som mål. Fra de amerikanske myndigheders side er denne påstand blevet afvist som helt ubegrundet.

De fleste kernekraftværker er konstrueret til at kunne modstå, at et mindre fly kolliderer med det. Derimod ikke en kollision med et stort passagerfly eller et jagerfly, fordi en sådan har været anset for usandsynlig. Kun nyere tyske og schweiziske kernekraftværker er konstrueret til at kunne modstå, at et militærfly eller en stor passagermaskine kolliderer med dem. Men begivenhederne d. 11. september har medført, at man vil undersøge konsekvenserne af et stort flys kollision med et kernekraftværk.

Generelt er kernekraftværker konstrueret til at modstå ganske voldsomme ydre påvirkninger, så som jordskælv og orkaner, og i modsætning til mange kemiske fabrikker ligger de ikke inde i storbyer. Alle kraftreaktorer er omgivet af tykke mure af jernbeton for at afskærme for den i reaktorerne producerede stråling. Disse mure vil også hindre, at kolliderende fly kan ramme ind i selve reaktoren. Endvidere indeholder kernekraftværker ikke store mængder brændbart materiale, de er forsynet med dublerede sikkerhedssystemer, og staben er trænet i at håndtere ulykker. Endelig er kernekraftværker væsentlig mindre bygværker end World Trade Center og Pentagon og derfor sværere at ramme (se Figur 2.1). Dertil kommer, at det ikke er nok at ramme reaktorbygningen; man skal ramme den rigtigt, hvis man skal fremkalde en større ulykke.

Der er givetvis forskel på forskellige reaktortypers evne til at modstå en flykollision. Byggetidspunktet og beliggenheden spiller også en rolle. Således er det tyske kernekraftværk Krümmel konstrueret til at kunne modstå eksplosion af et gastankskib, idet sådanne skibe sejler forbi værket. Nyere trykvandsreaktorer er forsynet med en meget solid reaktor-indeslutningsbygning. Kogendevandsreaktorer har et andet reaktorindeslutningssystem, som næppe er helt så robust, især i lodret retning. De mindst modstandsdygtige reaktorer er formentlig de grafitmodererede reaktorer, som dels har en mindre robust reaktorindeslutning, dels indeholder store mængder grafit, som brændende flybrændsel vil kunne antænde. Til gengæld findes der ikke mange grafitmodererede kraftreaktorer. Den mest almindelige type er trykvandsreaktoren med kogendevandsreaktoren som nummer to.

Det første spørgsmål, der rejser sig i forbindelse med et flys kollision med et kernekraftværk, er, om der slås hul på reaktorindeslutningsbygningen. Om dette sker, afhænger ikke så meget af flyets størrelse, men derimod af flyets hastighed og massen (vægten) pr. areal af den del af flyet der rammer bygningen. Den komponent, der har den største masse pr. areal, er sædvanligvis motorgondolen med jetmotoren og specielt jetmotorens aksel. Selv om store passagerflys motorgondoler er tungere end jagerflys, gælder det samme ikke nødvendigvis for massen pr. arealenhed. Der har i USA været udført et forsøg med at sende en jetjager med stor fart mod en betonmur, men relevansen af dette forsøg, der ikke medførte de store skader, er usikker.



Figur 2.1. Silhouetet af World Trade Center og af Barsebäck-værket. For sidstnævnte gælder, at reaktorbygningen er den høje bygning med skorsten. Kun den ene reaktor er i drift i dag.

Skulle motorgondolerne og en del af flyets brændsel trænge gennem reaktorindeslutningen – det er som nævnt mere sandsynligt for nogle reaktortyper end for andre – er ødelæggelsernes omfang afhængigt af, hvor på bygningen flyet rammer. Er det højt oppe, berøres reaktorblokken ikke direkte. Men det kan ikke udelukkes, at rystelser og brand forårsaget af flybrændslet kan sætte reaktorens kølesystemer ud af funktion og herigennem fremkalde en kernenedsmeltning. Denne forekommer dog først efter nogen tid, hvor branden formentlig er ophørt. Der kan ske et udslip af radioaktive stoffer, og da reaktorindeslutningen er gennemhullet, vil en del af disse slippe ud til omgivelserne.

Det kan derfor ikke udelukkes, at en vædring af en kraftreaktor med et stort passagerfly kan medføre frigivelse af radioaktivitet til omgivelserne, men det er langt fra sikkert og vil afhænge af det enkelte værks konstruktion. Hertil kommer, at vædring af kernekraftværker og andre bygninger kan hindres ved meget simple forholdsregler, f.eks. aflåsning af døren ind til cockpittet under flyvning, en forholdsregel, som mange flyselskaber nu har indført.

Såfremt en terroristorganisation skulle kunne få rådighed over militære fly med tilhørende våben, vil de have mulighed for at angribe nukleare reaktorer med disse. Der er to eksempler på sådanne angreb, som dog begge blev foretaget af stater, Israel og Irak, og i begge tilfælde blev angrebene gennemført, før reaktorerne var i drift, hvorfor de ikke medførte nogen radioaktiv forurening. I 1981 angreb israelske fly den irakiske Tammuz forsøgsreaktor. Motiveringen for angrebet var Israels frygt for, at Irak skulle

benytte reaktoren til plutoniumproduktion, noget Tammuz-reaktoren var meget uegnet til. Under krigen 1980-88 mellem Irak og Iran angreb irakiske fly det kernekraftværk, som det tyske firma Siemens havde under opførelse ved Bushehr i Iran. Formålet med dette angreb var formentlig forsøg på ødelæggelse af et industrielt anlæg. Angrebet blev foretaget med missiler, der trængte gennem reaktorindeslutningen, men i øvrigt ikke anrettede større skader end, at Iran efter afslutning af krigen med russisk hjælp fortsatte bygningen af værket.

En tredie mulighed for terroristangreb på kernekraftværker er angreb fra jorden. En mulighed er her at en større gruppe terrorister med våbenmagt trænger ind i et kernekraftværk, anbringer sprængladninger på en række strategiske steder i værket og derefter sprænger disse. Såfremt de herved er i stand til at ødelægge alle kølesystemer og slå hul i reaktorindeslutningen, vil en kernenedsmeltning med efterfølgende udslip af radioaktivitet kunne blive resultatet. Der er dog mange problemer ved en sådan aktion. For det første er det nødvendigt med et meget nøje kendskab til anlæggets opbygning og dets forskellige parallelle sikkerhedssystemer for at opnå en effektiv ødelæggelse. For det andet skal man kunne anbringe bomberne på de rigtige steder, og der skal benyttes meget sprængstof til de mange bomber. For det tredie vil eventuelle huller i reaktorindeslutningen, lavet med panserbrydende missiler hurtigt kunne lukkes igen, hvorved udslippet standses.

Man kunne også forestille sig, at terroristerne tog ansættelse blandt det udefra kommende personale, som anvendes til vedligeholdelsesarbejde. En sådan gruppe vil imidlertid stå over for de samme problemer, som en indtrængende gruppe, og den vil være nødt til at smugle store mængder sprængstof ind i anlægget, uden at dette opdages.

Det har været nævnt, at en gruppe terrorister simpelthen kunne laste en lastbil med sprængstof, vædre porten ind til værket og herfra køre ind i reaktorbygningen. Det er for det første tvivlsomt, om terroristerne ved denne fremgangsmåde ville opnå andet end at beskadige reaktorindeslutningsbygningen. For det andet kan man ved at opstille en tyk betonmur kort efter porten hindre lastbilen i at nå frem til reaktorbygningen.

Angreb mod andre nukleare anlæg

I den nukleare industri indgår en række andre anlæg, som kunne tiltrække terroristers interesse, men kun få af disse vil i tilfælde af terrorangreb medføre væsentlige radioaktivt udslip og radioaktiv forurening af miljøet. Angreb på uranminer og uranudvindingsanlæg vil ikke give større udslip eller forurening p.g.a. urans ringe radioaktivitet. Angreb på berigningsanlæg vil medføre ubehagelig kemisk forurening, fordi der i disse anvendes fluorforbindelser, som ved kontakt med vanddamp bliver til meget ætsende stoffer, men nuklear forurening er det ikke. Anlæg til fremstilling af brændselsanlæg er heller ikke interessante, dog formentlig bortset fra de få anlæg, der fremstiller MOX-elementer, der indeholder plutonium, og som ved sprængning kan give plutoniumforurening.

Det, der kan give væsentlige udslip, er terrorhandlinger mod anlæg, der indeholder store mængder af højaktive materialer, d.v.s. lagre af udbrændt brændsel ved reaktorerne, transporter af udbrændt brændsel og højaktivt affald samt kemiske oparbejdningsanlæg. Ved kernekraftværker vil brændslet efter endt bestråling i reaktoren blive opbevaret i vandbassiner. Her vil aktiviteten og den medfølgende varmeudvikling gradvis aftage. Herefter overføres brændslet til transportbeholdere, hvori det udbrændte brændsel transporteres enten til kemisk oparbejdning eller til slutdeponering. I nogle tilfælde henstår transportbeholderne i længere tid ved reaktoranlæggene.

Et angreb på et kernekraftværk kan også inkludere sprængning af bassinet til opbevaring af udbrændt brændsel, f.eks. ved at sprænge hul i bassinvæggen, så vandet gradvis drænes ud. Med mindre brændslet fornylig er taget ud af reaktoren, vil dets varme-

produktion sædvanligvis være faldet så meget, at det ikke smelter, og radioaktivitetsfrigørelsen bliver derfor beskeden. Derimod vil strålingsniveauet omkring og især over bassinet blive overordentlig høj. Der vil være mulighed for at udbedre skaden, om end det høje strålingsniveau vil vanskeliggøre en sådan operation.

Den type nukleare anlæg, hvor der opbevares de største mængder radioaktivt stof, er kemiske oparbejdningsanlæg. I Europa findes der to store anlæg, Sellafield i England og La Hague i Frankrig. Her opbevares meget store mængder af radioaktive stoffer i form af udbrændt brændsel, opløsninger af flydende radioaktivt affald samt glascylindre, hvori der er indsmeltet radioaktivt affald.

Ved angreb med et kapret fly må kaprerne for det første vide nøjagtig, hvor de følsomme dele af anlægget er. Da der er tale om store anlæg med mange bygninger, vil det selv med fuld viden være overordentlig vanskeligt at ramme de følsomme bygninger. Desuden gælder, at opbevaringen i reglen sker under jordniveau, hvorfor flyet vel kan ødelægge lagerbygningen og starte en brand i den, men ikke kan bore sig ned i lageret. Passagerfly er ikke styrtbombere. Der er ingen luftventilation, hvorigennem brændende flybrændsel kan trænge ned til lagrene. Desuden er anlæggene af hensyn til strålingsafskærmning omgivet af tykke betonmure, som vil yde betydelig beskyttelse. Selv om de vandbassiner, hvor dele af de radioaktive stoffer opbevares, skulle lække, har man midler til at klare en sådan situation.

Efter 11. september har man ved La Hague anlægget truffet forskellige, ekstra sikkerhedsforanstaltninger. Der er indført forbud mod overflyvning over La Hague området, der er opstillet en missilradar til kontrol heraf, og der kan hurtigt opstilles de nødvendige missiler. Endelig holdes der Mirage F1 jagerfly klar i området til hurtig indgriben over for fly, der nærmer sig det område, hvor overflyvningsforbuddet gælder.

Modforanstaltninger

De modforanstaltninger, der træffes mod nuklear terrorisme, afhænger af typen af terrorisme.

Med hensyn til kernevåben gælder det, at ethvert land, der besidder disse våben, har den største egeninteresse i at holde fuld militær kontrol med våbnene og undgå, at de falder i uønskede hænder.

Også spalteligt materiale er underkastet kontrol. Alle ikke-kernevåbenstater, der er tilsluttet ikke-spredningstraktaten, er underkastet IAEA-kontrol. Der har dog f.eks. i Irak og Nordkorea været problemer med denne kontrol. Der findes endvidere en konvention om fysisk beskyttelse af nukleare materialer, ifølge hvilken mængder større end 2 kg plutonium eller 5 kg uran med en berigning på 20% eller mere skal opbevares i et beskyttet område, hvortil kun pålidelige folk har adgang. Endelig er det en vigtig politimæssig opgave at detektere illegal handel med nukleart materiale.

I de fleste lande kræver besiddelse af radioaktive kilder en tilladelse fra en offentlig myndighed, der fører tilsyn med, at kilderne behandles forsvarligt. Det må dog nok erkendes, at dette tilsyn ikke overalt er så effektivt som ønskeligt. Der findes også ved mange grænseovergange detektorer til automatisk detektering af gammastråling. Herudover har myndighederne i de fleste lande mobile målestationer, som hurtigt kan sendes til et sted, hvor der er mistanke om illegale kilder.

Hvad modforanstaltninger mod terrorangreb mod nukleare anlæg angår, må der sondres mellem typen af anlæg. Vædring af nukleare anlæg med fly kan enklest hindres ved at sikre, at terrorister ikke under flyvningen kan skaffe sig adgang til cockpittet. Men der er også andre muligheder: Overflyvningsforbud overvåget af radar og jagerfly (jfr. afsnit 6) og hindring af anflyvning mod nukleare anlæg ved brug af spærreballoner.

Terrorangreb kan også ske fra jordniveau. Disse kan imødegås ved en række forskellige modforanstaltninger. Eksempler på sådanne er dobbelthegn med fjernovervågning og elektronisk alarm, solide porte, opskydelige bilbarrierer, vanskeliggjorte indkørselsforhold, forbud mod indkørsel af lastbiler i nøgleområder, bevæbnede vagter, hurtig indsættelse af back-up-styrker, begrænsning af antal adgangsdøre, personbarrierer, adgangsidentifikationskrav, begrænsning af adgang til følsomme områder og begrænsning af information om anlæggene.

Ansattes deltagelse i terrorangreb kan modvirkes ved sikkerhedsundersøgelser ved ansættelsen, opfordring til indberetning af mistænkelig virksomhed og krav om, at ingen kan gå alene ind i følsomme områder.

De sikkerhedsforanstaltninger, der indføres ved de enkelte anlæg, afpasses efter risikoen for terrorangreb på anlæggene. Sikkerhedsforanstaltningerne ved La Hague-anlægget er således væsentlig mere omfattende end ved de fleste kernekraftværker. En række af de ovenfor nævnte sikkerhedsforanstaltninger er allerede indført, ikke så meget for at sikre mod terrorisme, men fordi man generelt ikke ønsker uvedkommende på nukleare anlæg. Det er også klart, at det ikke oplyses, hvilke foranstaltninger der er truffet ved det enkelte anlæg. Der er ingen grund til at lette arbejdet for eventuelle terrorister.

Det danske atomberedskab

Efter Tjernobyl-ulykken i 1989 blev der udarbejdet en plan for et landsdækkende atomberedskab under Beredskabsstyrelsen, idet ulykken viste, at alvorlige, nukleare ulykker kan medføre spredning af radioaktive stoffer over store afstande. Denne plan har også relevans over for følgerne af nuklear terrorisme. Den nyeste udgave af planen (fra 2001) omtaler mulige kilder til nukleare ulykker samt følgerne af disse og fastlægger atomberedskabsorganisationen. Formålet med planen er at reducere eller om muligt helt eliminere bestråling af befolkningen i tilfælde af begivenheder, der medfører frigivelse af radioaktive stoffer.

I tilfælde af sådanne begivenheder vil beredskabsorganisationen overvåge strålingssituationen i landet, informere befolkningen, iværksætte nødvendige beskyttelsesforanstaltninger og herigennem bidrage til, at skadevirkninger begrænses mest muligt. Nukleare ulykker kan give anledning til mindre rationelle reaktioner hos befolkningen, som kan medføre unødige skadevirkninger. Det er derfor vigtigt, at samfundet vejledes gennem korrekt information.

I planen opereres der med tre forskellige berdskabsniveauer for at tilpasse eventuelle foranstaltningerne til den indtrufne begivenhed. De tre niveauer er:

Informationsberedskab, som iværksættes, når der indtræffer en nuklear begivenhed, der indebærer, at der ikke inden for de kommende timer /døgn skal iværksættes beskyttelsesforanstaltninger på dansk område, men hvor der er behov for at fremskaffe yderligere information til myndigheder og befolkning.

Stabsberedskab, som iværksættes, når der indtræffer en nuklear begivenhed, der højst kan udsætte Danmark for svag radioaktiv forurening, der ikke inden for de kommende timer/døgn medfører behov for indførelse af beskyttelsesforanstaltninger, men hvor der er grund til at følge udviklingen nøje.

Havariberedskab, som iværksættes, når der indtræffer en nuklear begivenhed, der indebærer risiko for, at det kan blive aktuelt at iværksætte beskyttelsesforanstaltninger på dansk område.

Der findes ved de seks beredskabscentre rundt om i landet målehold, der kan lave en hurtig kortlægning af en eventuel forurening. Endvidere er det ved sirenevarsling mu-

ligt at varsle ned til bydelsstørrelse, og på denne måde få folk til at opholde sig indendørs.

Det landsdækkende danske atomberedskab er en fleksibel organisation, der ikke er rettet mod bestemte nukleare ulykker, men som er opbygget, så det hurtigt kan tilpasses en given situation, Beredskabet kan derfor benyttes til optimal beskyttelse af befolkningen i forhold til truslens karakter. Dette gælder også, selvom truslen skyldes en terrorhandling. Information til befolkningen for at afpasse dennes reaktioner til situationens alvor kan dog blive vanskeliggjort, såfremt befolkningsgrupper er opskræmt af en terrorhandling.

Konklusioner

Generelt kan det konkluderes, at nuklear terrorisme ikke er umulig, men at den er forbundet med en lang række vanskeligheder, som stiller store krav til terroristerne, og at mindst lige så store ødelæggelser kan opnås ved andre former for terrorisme. Det er ikke enkelt for terrorister at fremstille selv primitive kernevåben eller radiologiske våben, og nukleare anlæg er af andre grunde opført så solidt med tykke betonmure og jordskælvssikring, at det ikke er let at gennemføre et ødelæggende angreb. Med en given indsats fra terroristernes side vil der i et moderne samfund være andre anlæg, hvis ødelæggelse vil have større konsekvenser for samfundet end angreb på nukleare anlæg. Da Danmark ikke er nogen stormagt med stor indflydelse på verdens udvikling og heller ikke har nukleare anlæg, er nuklear terrorisme herhjemme ikke sandsynlig. Men skulle man herhjemme alligevel blive berørt af nuklear terrorisme, f.eks. foretaget i udlandet, vil det danske atomberedskab kunne anvendes til at afhjælpe mulige følger af en sådan aktion.

3 Kernekraftens el-produktion

Den samlede installerede kernekrafteffekt i verden steg fra 349 GWe ved udgangen af 1999 til 351 GWe ved udgangen af 2000. Stigningen dækker over en række effektændringer, såvel i opadgående som i nedadgående retning. Til sammenligning tjener, at den installerede effekt i de danske kraftværker er omkring 8 GWe. Ved begyndelsen af 2001 var der ialt 438 kraftreaktorer i drift, mens 33 kernekraftenheder med en samlet effekt på 29 GWe var under bygning.

I 2001 er seks nye kernekraftenheder sat i kommerciel drift. I Brasilien har man startet Angra-2, en PWR-enhed på 1230 MWe, som har været 24 år undervejs. Tjekkiet har startet Temelin-1 enheden, der har en effekt på 920 MWe. I Indien er tre nye enheder gået i drift, nemlig Kaiga-1 samt Rajasthan-3 og -4, alle tre enheder af CANDU-typen med en effekt på 200 MWe. Endelig har Pakistan sat Chasnupp-1 enheden i drift, en PWR-enhed leveret af Kina med en effekt på 300 MWe.

Figur 3.1 viser udviklingen af den samlede installerede, elektriske effekt i kernekraftværker inden for forskellige geografiske områder. Det lyseblå område nederst i figuren viser udviklingen af den installerede kernekraft-effekt i Nord- og Sydamerika. I begyndelsen af 2001 var denne 110 GWe. USA har den overvejende del af denne effekt, 97 GWe. Canada har 10 GWe, mens Mexico, Argentina og Brasilien hver har ca. 1,5 GWe.

Det røde område viser udviklingen af kernekrafteffekten i de store vesteuropæiske lande, d.v.s. Frankrig, Tyskland, Storbritannien og Spanien. Her er det Frankrig, der dominerer med 63 GWe, mens Tyskland har 21 GWe, Storbritannien har 13 GWe og Spanien 7,5 GWe.

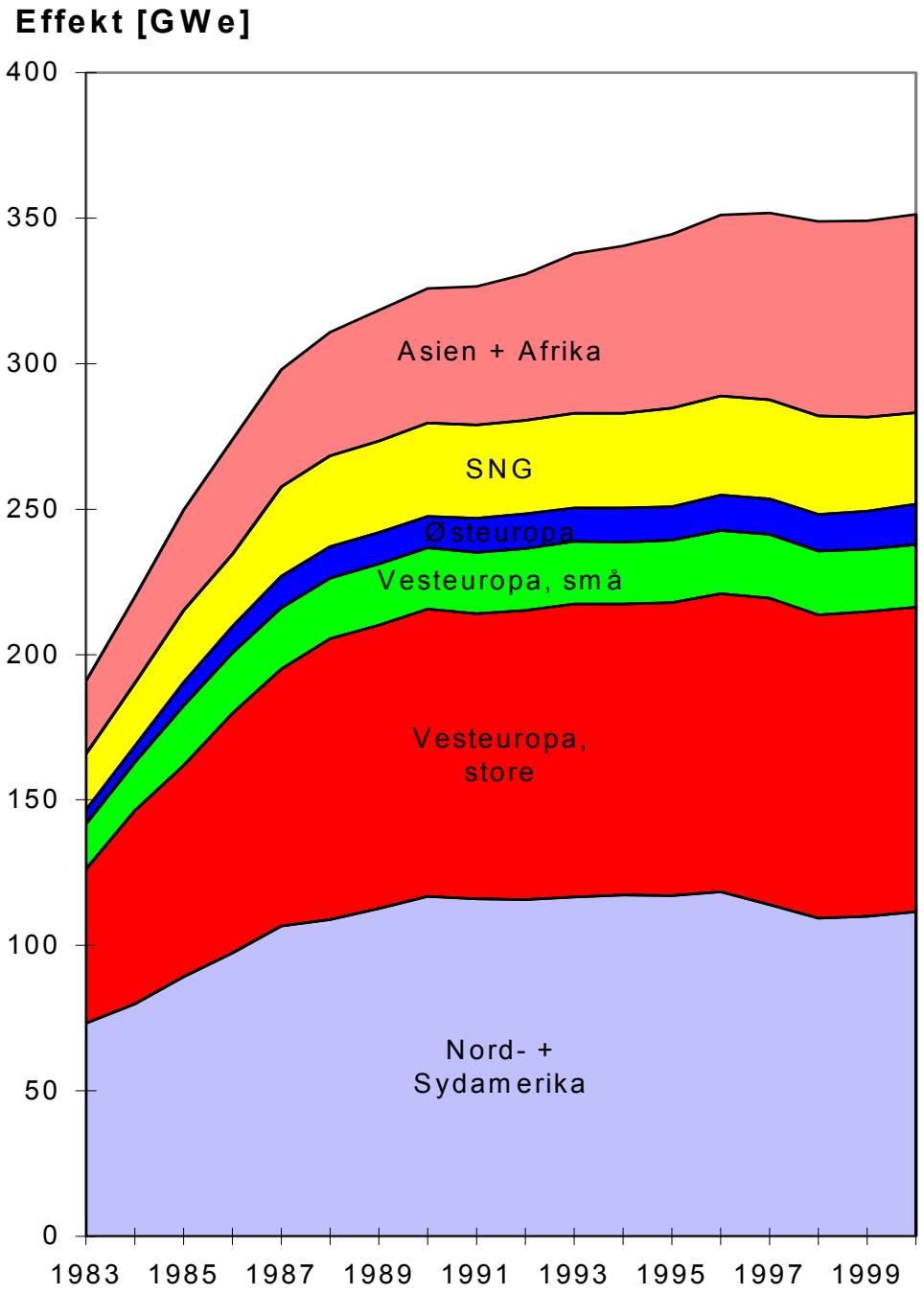
Det grønne område viser udviklingen i de små vesteuropæiske lande: Sverige, Belgien, Schweiz, Finland og Holland. Sverige har den største kernekrafteffekt, 9 GWe, mens Belgien har 6 GWe, Schweiz og Finland hver 3 GWe og Holland 0,5 GWe. Den samlede kernekrafteffekt i Vesteuropa er 126 GWe, d.v.s større end den samlede kernekrafteffekt i Nord- og Sydamerika.

Det mørkeblå område angiver udviklingen i Central- og Østeuropa. Her har Bulgarien knap 4 GWe, Litauen godt 2 GWe, Slovakiet godt 2 GWe, Ungarn knap 2 GWe, Tjekkiet godt 2 Gwe, mens Rumænien og Slovenien hver har godt en halv GWe. I alt har Central- og Østeuropa 14 GWe.

Det gule område (SNG) viser udviklingen af kernekraft i Rusland, Ukraine og Armenien. Her har Rusland 20 GWe, Ukraine 11 GWe og Armenien 0,4 GWe.

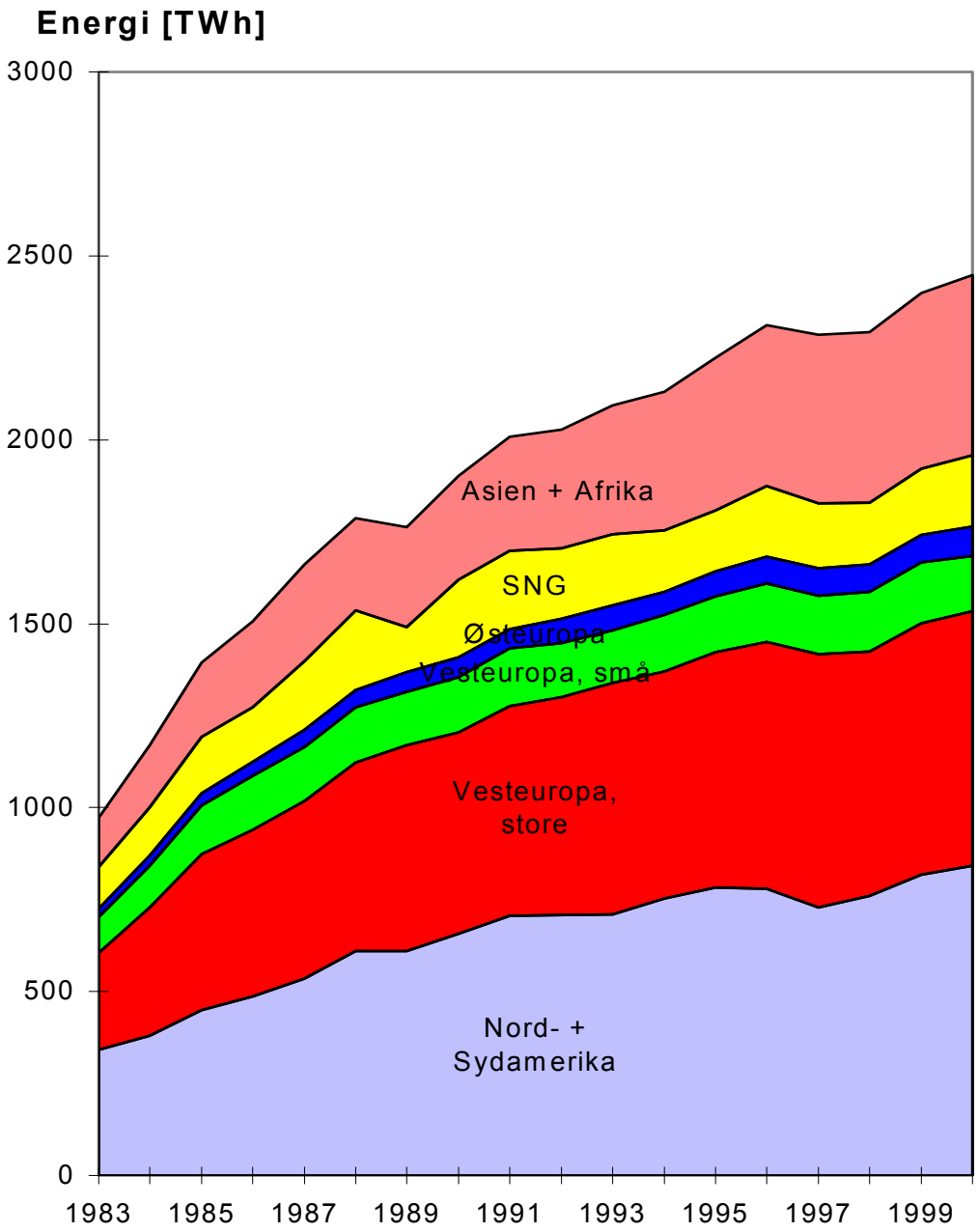
Endelig viser det lyserøde område udviklingen i Asien og Afrika. Her dominerer Japan med 44 GWe, mens Sydkorea har 13 GWe, Taiwan 5 GWe og Kina 2 GWe. Sydafrika har knap 2 GWe, Indien 2,5 GWe, mens Pakistan har 0,4 GWe.

Hvad angår de reaktortyper, der anvendes i verdens kernekraftværker, så dominerer letvandsreaktorerne, idet 65% af effekten produceres med trykvandsreaktorer, mens 23% kommer fra kogendevandsreaktorer. Tungtvandsreaktorer står for godt 4%, og det samme gør den russiske RBMK-type (Tjernobyl-typen). De gaskølede grafitreaktorer bidrager med godt 3%.



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

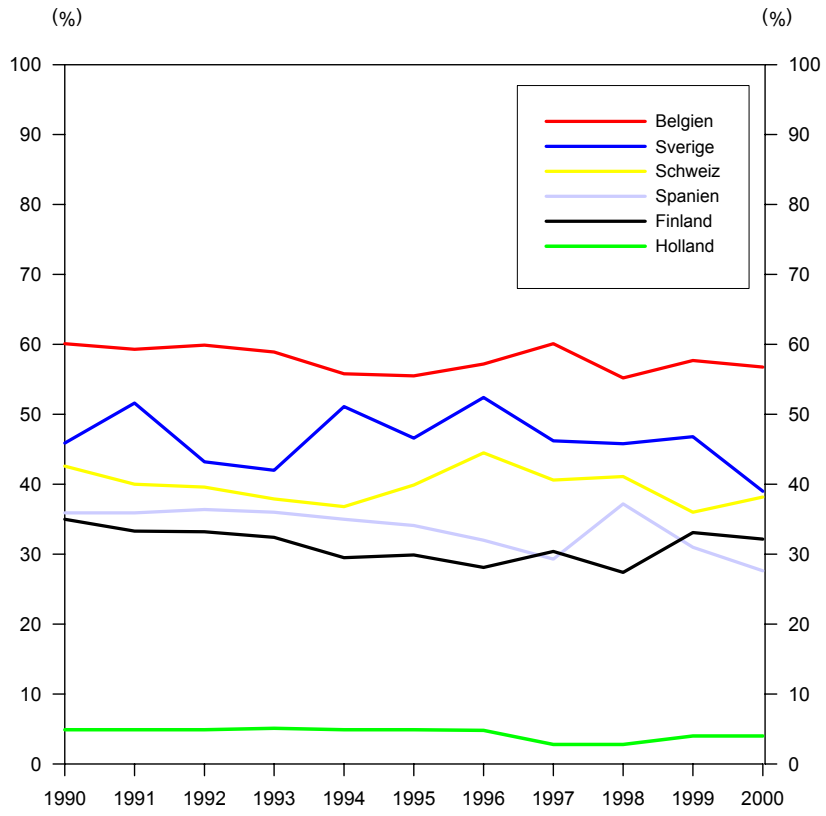
Figur 3.2 viser udviklingen i den samlede producerede energi fra kernekraftværker inden for de tilsvarende geografiske regioner som på Figur 3.1. Fra 1999 til 2000 var der en lille stigning i el-produktionen, fra 2400 TWh til 2450 TWh, svarende til en stigning på 2 %. Den tilsvarende stigning i installeret effekt er kun 0,7 %. Forskellen skyldes især, at amerikanerne er blevet bedre til at køre deres værker med færre driftstop.



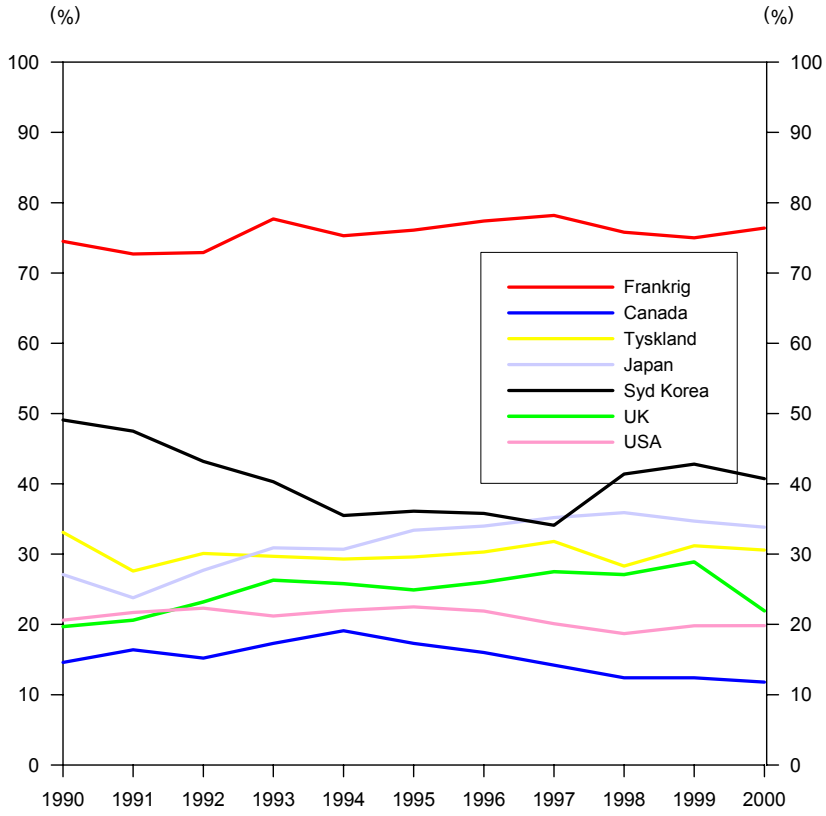
Figur 3.2. Udviklingen i den samlede producerede energi fra kernekraft inden for forskellige geografiske regioner.

Figur 3.3, 3.4 og 3.5 viser den procentdel af de forskellige landes el-produktion, der kommer fra kernekraftværker. Figur 3.3 viser kernekraftens andel i el-produktionen i en række hovedsagelig mindre, vesteuropæiske lande. Det ses, at andelen i 2000 var 57% i Belgien, 39% i Sverige, 38% i Schweiz, 28% i Spanien og 32% i Finland. Figur 3.4 viser kernekraftens andel i el-produktionen i en række større industrilande. I 2000 var denne andel 76% i Frankrig, 41% i Sydkorea, 34% i Japan, 31% i Tyskland, 22% i Storbritannien, 20% i USA og 12% i Canada.

I alt kommer cirka en trediedel af Vesteuropas el-produktion fra kernekraftværker.



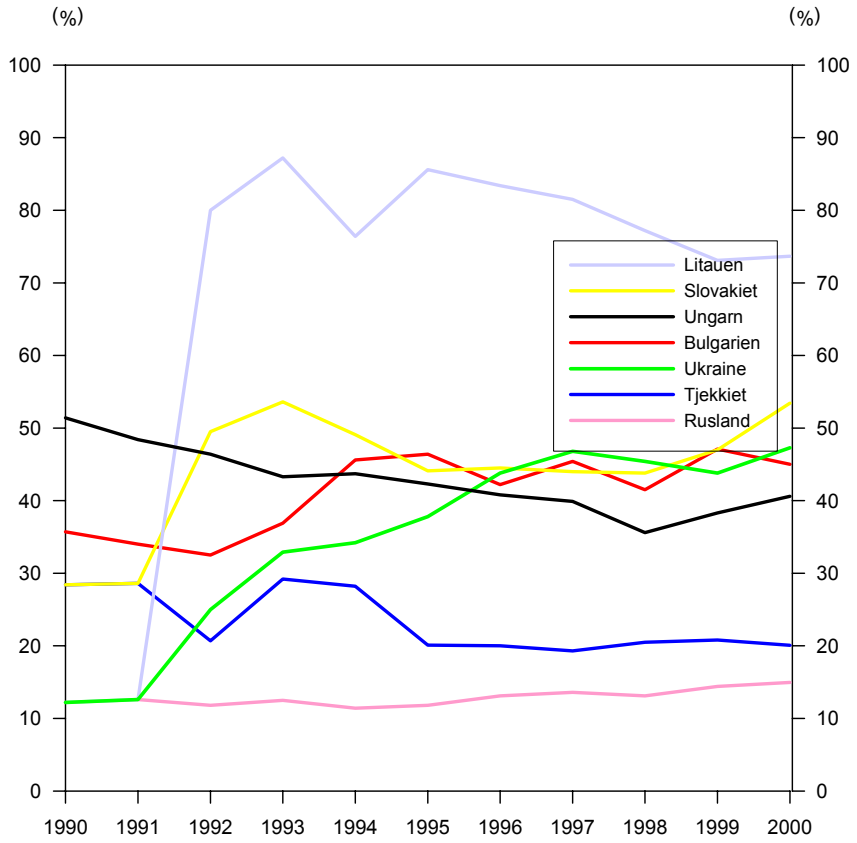
Figur 3.3. Kernekraftens andel af el-produktionen i en række fortrinsvis mindre vest-europæiske lande.



Figur 3.4. Kernekraftens andel af el-produktionen i en række større industrilande.

Figur 3.5 viser, hvor stor en rolle kernekraften spiller i de central- og østeuropæiske lande samt i SNG-landene. I 2000 var kernekraftens andel i el-produktionen 74% i Litauen, 47% i Ukraine, 53% i Slovakiet, 45% i Bulgarien, 41% i Ungarn, 20% i Tjekkiet og 15% i Rusland. Næsten alle de russiske kernekraftværker ligger i den europæiske del af landet, således at kernekraftens andel af el-forbruget her er højere, mens den er mindre i den asiatiske del af Rusland.

Det samlede antal driftsår for kernekraftværker var ved udgangen af 2001 nået op over 10.000 år.



Figur 3.5. Kernekraftens andel af el-produktionen i en række central- og østeuropæiske lande.

4 Større, sikkerhedsrelevante hændelser i 2001

I 2001 forekom der ingen alvorlige uheld eller ulykker på verdens kernekraftværker eller i forbindelse med radioaktive kilder og strålingsanlæg. Derimod forekom der i alt 9 hændelser, som blev vurderet til klasse 2 på INES-skalaen, heraf 6 på kernekraftværker. (INES-skalaen - International Nuclear Event Scale - omtales nærmere i Appendix B.) En klasse-2 hændelse er typisk en hændelse, der ikke har indebåret nogen egentlig risiko, men som har vist, at udstyr eller arbejdsrutiner skal ændres, hvis det krævede sikkerhedsniveau skal nås.

Herudover er der i årets løb registeret et betydeligt antal endnu mindre betydningsfulde hændelser med stråling og radioaktivitet, oftest i forbindelse med radioaktive kilder, der er "kommet på afveje", men hvor sædvanlige sikkerhedsrutiner har bevirket, at kilderne ikke har nået at forårsage skader.

Det kan også nævnes, at de to reaktorer på Kakrapar kernekraftværket i den indiske delstat Gujarat mærkede rystelserne fra et "nærliggende" kraftigt jordskælv (6,9 på Richter-skalaen) d. 26. januar. Reaktorerne er konstrueret til at kunne klare jordrystelser af en vis styrke. Rystelserne på værket var under det niveau, hvor de sædvanlige "jordskælvssensorer" skal stoppe reaktorerne, så begge reaktorer fortsatte uanfægtet driften under rystelserne.

Mens den nukleare sikkerhed således har været høj i 2001, er der sket ulykker på "nabo-anlæg". Det russiske ministerium for kerneenergi (Minatom) driver et anlæg ved Chepetsk, hvor der i adskilte afdelinger produceres forskellige metaller, bl.a. zirkonium til brændselsstave. I en af afdelingerne, hvor der produceredes calcium (ikke til kernekraftværker), skete der i år en eksplosion, der dræbte fire arbejdere. Der var ikke involveret radioaktivitet i ulykken. Sædvanligvis regner man med, at "sikkerhedskulturen" på nukleare installationer smitter af på tilknyttede anlæg. Øjensynlig er dette forhold endnu ikke slået igennem i Rusland.

I Frankrig blev der d. 12. marts konstateret en designfejl ved nødkølesystemet på EdF's tolv 1300 MWe reaktorer i Belleville, Cattenom, Golfech, Nogent og Penly. Indsprøjtning af varmt, recirkuleret kølevand ville medføre forøget tryk på indersiden af indsprøjtningsventilerne, hvorved disse kunne blokere. Hændelsen blev karakteriseret til INES klasse 2. Designfejlen bliver afhjulpet ved installation af trykaflastningsventiler.

D. 17. marts opstod der en fejl i det elektriske kraftnet ved de to reaktorer på Maanshan kernekraftværket i Taiwan. Rektorerne blev planmæssigt stoppet og forblev i nedlukket tilstand, mens årsagen til fejlen undersøgtes. Den efterfølgende nat skete der yderligere en fejl i elnettet, og strømmen til den ene af de nedlukkede reaktorer forsvandt. Så skulle værkets dieselgeneratorer automatisk gå i gang, men det skete ikke. Man nåede helt frem til at erklære en lokal nødsituation (site emergency), før det efter to timers forløb lykkedes at få en dieselgenerator i gang. Værket var nedlukket i længere tid, indtil årsagerne til fejlene var identificeret, og forholdsregler mod gentagelse var indført. En hændelse af denne type vurderes til INES klasse 2.

D. 2. april var man i gang med at skifte brændsel på det franske Dampierre kernekraftværk (blok 4). Man konstaterede da, at 113 brændselselementer var blevet anbragt på forkerte pladser. En efterfølgende analyse viste, at ombytningen af elementerne ingen sikkerhedsmæssig betydning havde, men ved andre tænkelige fejlagtige placeringer kunne der være igangsat en kædeproces. Man konstaterede også, at de un-

der brændselsskiftet benyttede måleinstrumenter ikke ville have advaret personalet om, at en kædeproces var ved at starte. Andre sikkerhedssystemer ville imidlertid have reageret og forhindret en kraftigt kædereaktion i at udvikle sig. Hændelsen er bedømt til klasse 2 på INES-skalaen, og der er indført forholdsregler, så en tilsvarende fejl ikke opstår igen på franske kernekraftværker. Dampierre har været underlagt øget overvågning af de franske nukleare sikkerhedsmyndigheder (ASN) siden en tidligere INES-2 hændelse i 2000.

På Dungeness Advanced Gas Cooled Reactor i England opdagede man d. 4. april en fejl ved sikkerhedssystemet for det udstyr, der benyttes til skift af reaktorens brændselsstave (Refueling Machine). Udstyret er også gaskølet, og for at sikre, at gastrykket opretholdes, er der forskellige kontroller, der kan igangsætte en afspærring af kølegassen ved forstyrrelser. Blandt andet er der et par følere for hurtige trykfald. De skal, hvis trykket falder hurtigt, sørge for, at nogle ventiler straks lukkes. Det konstateredes imidlertid, at begge følere var ude af funktion, så hurtige trykændringer ikke umiddelbart ville være blevet registreret. (Følere for lavt tryk og høj gashastighed ville dog have reageret på et eller andet tidspunkt.) Man var ikke i stand til at finde tidspunktet for og årsagen til den fejlagtige indstilling. Fejlen blev betegnet som en hændelse omfattende en betydelig fejl i sikkerhedsforholdene og vurderes derfor til INES-2.

På det svenske kernekraftværk Ringhals-2 var man d. 20. juni i færd med at kontrollere og vedligeholde den elektriske transformator, der normalt leverer strøm til værket på forskellige spændingsniveauer. Imens benyttedes en reservetransformator til at levere elektriciteten. Efter en halv times forløb blev reservetransformatoren koblet fra af automatikken, der markerede, at transformatoren blev overbelastet. Reelt var transformatoren dog kun belastet til 60% af fuld last, og man konstaterede efterfølgende, at fejlen lå i noget software, som netop var blevet indført i forbindelse med den årlige vedligeholdelse af værket. I første omgang bedømtes denne fejl som en INES-1 hændelse; men efterfølgende observeredes, at den samme type fejl var blevet indført i 44 andre automatiske sikringer. Derfor bedømtes hændelsen til INES-2. (Hændelsen er i 2002 nedgraderet til INES-1.)

D. 3. juli blev der opdaget en radioaktiv kilde i åben beholder hos en skrotopkøber i Rotterdam (Holland). Kilden blev hurtigt dækket med en passende afskærmning. Dagen efter blev kilden taget op og sendt til undersøgelser på et radiologisk laboratorium. Det viste sig at være en uafskærmet strontium-90 kilde på 16 MBq. Strontium-90 udsender stort set kun beta-stråling, så store stråledoser opnås kun tæt ved kilden. I 50 cm afstand var dosishastigheden 350 mikrosievert pr. time. Umiddelbart op ad kilden var dosishastigheden meget større, og havde en person stoppet kilden i lommen, ville der lokalt være opstået alvorlige hudforbrændinger efter blot et par timer. Med den pågældende type og kildestyrke ville der dog ikke have kunnet opstå livstruende stråledoser, som man tidligere har set ved gamma-kilder, der er blevet taget i lommen. Kilden var forsynet med et identifikationsnummer, man det lykkedes ikke at finde ud af, hvorfra den stammede. Hændelsen takseredes til klasse 2 på INES-skalaen, idet den kunne have givet skader på personer, hvis kilden ikke var blevet opdaget og behandlet korrekt.

Omkring d. 1. juli var man på et tjekkisk forskningsinstitut, Rez, i gang med at demontere nogle handskebokse, der havde været anvendt i forbindelse med produktion af brandalarmer med americium-241. Delene fra handskeboksene var forurenet med americium-241, hvorfor de blev behandlet som radioaktivt affald og pakket i specielle beholdere. Ved arbejdet blev der imidlertid frigivet noget støv med americium-241, og de fire arbejdere, der stod for demonteringen, kom til at indånde americiumholdigt støv. Arbejdet blev stoppet, og arbejderne sendt til undersøgelse på en arbejdsmedicinsk klinik. Her viste målinger i en helkropstæller, at én af arbejderne havde indtaget en mængde americium-241 svarede til en samlet dosis på i alt 350 mSv over de følgende 50 år. De øvrige tre arbejdere havde indtaget meget mindre americium-241. Den

pågældende dosis på i alt 350 mSv fordelt over adskillige år har ingen umiddelbar helsemæssig betydning. Men på langt sigt må man af forsigtighedsmæssige grunde antage, at der er 1-2 % sandsynlighed for, at den pågældende arbejder får kræft som følge af den indtagne radioaktivitet. Hændelsen vurderes derfor til klasse 2 på INES-skalaen.

På Barsebäck er der i indeslutningen om reaktoren en stor stålplade, som skal gå i stykker, hvis trykket i indeslutningen bliver så stort, at selve indeslutningens tæthed trues. Pladen skal gå i stykker ved et tryk mellem 5,08 og 5,40 bar. Når pladen går i stykker, sendes luft og evt. damp ud i det rørsystem, der fører til stenfilteret Filtra. Under den årlige revision med bl.a. skift af brændsel skulle man d. 19. juli udskifte denne stålplade, hvorved det opdagedes, at der i 2000 var blevet isat en forkert plade, som ville gå i stykker allerede ved et tryk på 3,36 bar. Den forkerte stålplade var i stedet beregnet til anbringelse i selve Filtra. Hvis der derfor i perioden 2000-2001 var opstået et større overtryk i indeslutningen, ville der være blevet åbnet til Filtra unødig tidligt. Sikkerhedsmæssigt ville dette ikke have betydet noget, så teknisk set bedømtes fejltagelsen til at være en INES-1 hændelse. Men det forhold, at fejltagelsen kunne ske, viste en mangel ved kvalitetskontrollen, som blev vurderet til INES-2. (Hændelsen er i 2002 nedgraderet til INES-1.)

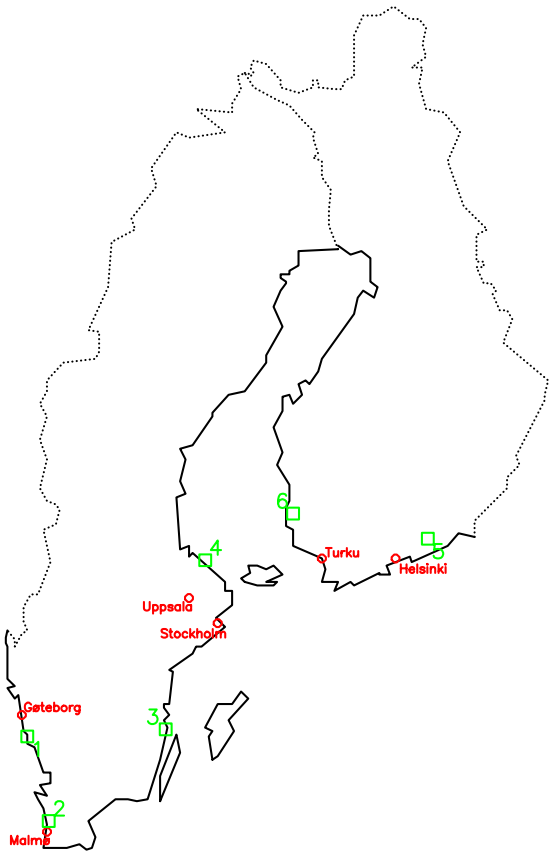
En anden INES-2 hændelse fandt sted d. 10. august på det tyske kernekraftværk Philippsburg-2. Her var man i gang med at gøre klar til start af reaktoren efter det årlige brændselsskift. I den forbindelse skal der, når trykket når op på 10 bar, være fyldt op med bor-holdigt vand i fire store tanke. Niveauet skal nå op over 12,6 meter; men der var kun mellem 9,3 og 12,5 meter i de fire beholdere, og der blev automatisk givet alarm til kontrolrummet. Men personalet overhørte alarmen, og først d. 12. august blev tankene fyldt helt op, da kædereaktionen i reaktoren skulle sættes i gang. Selv om fejlen således ikke havde haft nogen sikkerhedsmæssig betydning, blev personalets overhøring af alarmen takseret som en alvorlig hændelse.

I juni 2001 blev der leveret et større antal stålplader (steel slabs) fra et stålværk i Makedonien til italienske skibsværfter i Ancona, Livorno og Palermo. En del af pladerne var allerede blevet brugt til indbygning i nogle både, da det blev opdaget, at de indeholdt mindre mængder kobolt-60. Strålingsniveauet i 1 m afstand blev opgivet til 1 mikrosievert i timen. (Dette kan sammenlignes med, at den naturlige baggrundsstråling typisk er på 0,05-0,2 mikrosievert pr. time.) Det blev efterfølgende konkluderet, at ingen af de involverede arbejdere var blevet udsat for stråledoser over 1 mSv, som er af samme størrelsesorden som den naturlige baggrundsstråling. Hvis de radioaktive stålplader ikke var blevet opdaget i tide, kunne de have givet mange mennesker (fiskere og sømænd) årlige strålingsdoser i størrelsesordenen 1 mSv. Derfor blev hændelsen takseret til INES klasse 2. De involverede myndigheder har foreslået, at importerede stålplader fremover bør kontrolleres for indhold af radioaktivitet så samme måde, som metalskrot hidtil er blevet kontrolleret.

5 Vesteuropæiske lande

5.1 Sverige

I Sverige findes 11 kernekraftenheder fordelt på fire værker. Barsebäck-værket i Skåne har en kogendevandsreaktor-enhed (BWR), Oscarshamn-værket i Østsmåland har tre BWR-enheder, Ringhals-værket i Västergötaland en BWR-enhed og tre trykvandsreaktor-enheder (PWR) og endelig har Forsmark-værket nord for Stockholm tre BWR-enheder. Den samlede installerede effekt for de 11 enheder er 9.400 MWe. Placeringen af værkerne fremgår af Figur 5.1. De svenske kernekraftværker står for knap halvdelen af Sveriges elproduktion.



No.	Navn	Ant. enh.	MWe.brt.
1	Ringhals	4	3700
2	Barseback	1	615
3	Oskarshamn	3	2300
4	Forsmark	3	3208
5	Loviisa	2	930
6	Olkiluoto	2	1470

Figur 5.1. Kernekraftværker i Sverige og Finland.

Barsebäck-værket

Barsebäck-værket, der ligger ca. 25 km øst for København, bestod oprindelig af to BWR-enheder, hver på 615 MWe, som blev taget i brug i henholdsvis 1975 og 1977. I slutningen af 1999 blev driften af enhed 1 standset med baggrund i en regeringsbeslutning fra februar 1998. Trods værkets forsøg på at få omstødt afgørelsen stod beslutningen ved magt, og enhed 1 blev lukket den 30/11-1999. Siden har Ringhals AB

overtaget ejerskabet af Barsebäck-værket, således at Barsebäck Kraft nu er et datterselskab af Ringhals AB.

I december 2001 blev de sidste brændselselementer fjernet fra den nedlukkede enhed 1 og overført til mellemlageret CLAB ved Oskarshamn. Samtidig er man begyndt at udarbejde detaljerede planer for dekommissionering af enheden. Det egentlige nedrivningsarbejde forventes først at starte omkring 2020. Det sene tidspunkt skyldes, at driften af enhed 2 skal være afsluttet, da de to enheder har anlægsdele til fælles. Desuden skal slutdepotet for radioaktivt affald i Forsmark være færdigt. Dette forventes at være tilfældet i 2015.

Der er stor international interesse for at anvende den standsede enhed til forskningsformål. Bl. a. vil man gerne studere, hvorledes beton ældes som følge af radioaktiv bestråling. Barsebäcks ledelse er meget positiv over for en sådan anvendelse.

I henhold til den energipolitiske aftale, som Socialdemokratiet, Centerpartiet og Venstrepartiet indgik i 1997, skulle driften af enhed 2 indstilles senest den 1/7-2001. I den svenske rigsdags indstilling om standsning af Barsebäck-2 hedder det, at enhedens produktion skal erstattes med el-besparelser og øget miljørigtig el-produktion.

I oktober 2000 vurderede den svenske regering, at vilkårene for en lukning ikke var opfyldt. Regeringen mente, at dette tidligst ville være tilfældet med udgangen af 2003. Den svenske rigsdag udsatte derfor beslutningen til efteråret 2001. Behandlingen i den svenske rigsdag den 11/12-2001 bragte ikke nogen ændring i afgørelsen om lukning af enhed 2. Vilkårene for lukning er stadig ikke opfyldt, men der skal foretages en ny vurdering i 2003, og med baggrund i denne sættes en endelig dato for lukning.

Driften af Barsebäck-2 har været stabil. Der har kun været få afbrydelser forårsaget af vibrationer i turbinen og lækage i generatorkølesystemet. Den årlige nedlukning for vedligeholdelse og brændselsudskiftning (revision) blev indledt i slutningen af juni og varede 6 uger.

Statens kärnkraftinspektion (SKI) har besøgt værket flere gange i 2001. En stor del af besøgene har haft til formål at følge op på den undersøgelse, som blev iværksat i 2000, hvor man interviewede de ansatte med fokus på, hvorledes de oplevede situationen med en nedlukket reaktor, samtidig med at den tilbageværende reaktor var truet af lukning. SKI har ikke på den baggrund fundet anledning til at foreslå væsentlige ændringer i eksisterende arbejdsrutiner.

Forsmark-værket

Forsmark-værket ligger ca. 100 km nord for Stockholm og består af tre BWR-enheder. Forsmark-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 kørte i begyndelsen af året ved reduceret effekt p.g.a. problemer med hovedcirkulationspumperne. Den 10/6-2001 begyndte den årlige revision med en detaljeret undersøgelse af hovedcirkulationspumpernes tilstand. En tidligere opdaget brændselsskade blev lokaliseret og brændselselementet skiftet ud. Endelig blev en rotor på en af turbinerne udskiftet. Revisionen varede kun 12 dage.

Forsmark-2 har haft problemer med at manøvrere en af de 120 kontrolstave. Dette medførte, at man måtte lade staven forblive i en position helt indkørt i reaktorkernen. I april blev driften af enheden standset en enkelt dag for at udskifte et beskadiget brændselselement. Den årlige revision blev indledt d. 29/6-2001 og varede også kun 12 dage, da ingen store arbejder var planlagt.

Forsmark-3 fik i begyndelsen af året en indikation på en lille skade på brændselsindkapslingen. Skaden var dog så ringe, at man kunne køre videre indtil revisionen den 21/7-2001. Denne var planlagt som den længste nogen sinde, p.g.a. omfattende ved-

ligeholdelsesarbejder på den 16 år gamle enhed. Bl.a. skulle konstruktionsmaterialer i mange af rørsammenføjningerne på reaktortanken udskiftes for at mindske muligheden for revnedannelse de pågældende steder. Revisionen omfattede også udskiftning af drivmekanismer til mange af kontrolstavene, ligesom kontrolovervågningssystemet for turbinen blev fornyet. Endelig blev den opdagede skade på brændselsindkapslingen lokaliseret og brændselselementet udskiftet. Revisionen kom til at vare 8 uger.

Oskarshamn-værket
Oskarshamn-værket ligger ca. 50 km nord for Kalmar. Dets 3 BWR-enheder på 470 MWe, 630 MWe og 1210 MWe blev taget i brug i henholdsvis 1972, 1975 og 1985.

Oskarshamn-1, som er Sveriges ældste kernekraftværk, har været lukket ned to gange i løbet af 2001 for at udbedre fejl på ventiler i dampledningerne. En opdaget brændselsskade forårsagede et driftsstop. Driften har dermed været afbrudt i sammenlagt 17 dage. En egentlig revision blev udskudt til december, hvor man samtidig indledte den afsluttende fase af moderniseringsprogrammet for enheden. Dette omfatter ændring af kontrolsystemet fra et analogt til et digitalt system samt et helt nyt kontrolrumsdesign. Endelig skal turbinen udskiftes. Denne fase af moderniseringen er budgetteret til 500 mio. svenske kr.

Oskarshamn-2, søsterenhed til Barsebäck-2, indledte revisionen midt i juli. De sprækker, som ved sidste revision blev konstateret i nogle ophæng til kernens sprinklersystem (en del af nødkølesystemet), blev igen nøje kontrolleret. Der var ikke tegn på, at de havde udviklet sig til det værre, hvorfor en udskiftning af hele systemet blev udskudt til 2002.

Driften af Oskarshamn-3 har været stabil. Revisionen startede i begyndelsen af juni og varede to uger. Der var igen store vedligeholdelsesarbejder ud over det normale brændselsskift.

Ringhals-værket
Ringhals-værket ligger ca. 60 km syd for Göteborg og ca. 65 km øst for Læsø. Ringhals-1, en BWR på 830 MWe, blev taget i brug i 1976, Ringhals-2, en PWR på 920 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 var nedlukket i begyndelsen af 2001 p.g.a. reparation af ophængningssystemet til kernens sprinklersystem. Ved revisionen i 2000 blev der konstateret adskillige sprækker i svejsningerne til ophænget af systemet, og det er stadigvæk disse, der giver problemer. Værket planlægger at udskifte hele kernens sprinklersystem ved revisionen i 2002 og har fået tilladelse af SKI til at vente med udskiftningen under forudsætning af at sprækkernes udvikling løbende kontrolleres.

Ringhals-2 har kørt stabilt frem til revisionen midt i maj. Revisionen betød samtidig starten på et moderniseringsarbejde, hvor man frem til år 2004 skal udskifte det elektroniske overvågningsudstyr og udforme et helt nyt kontrolrum. Revisionen afslørede en fejlindstilling af de sikringsanlæg, som skal beskytte transformatorer og kabler mod overbelastning. Ud af 58 anlæg var de 44 fejlagtigt indstillet. Hændelsen blev klassificeret til klasse 1 på INES-skalaen.

Ringhals-3 indledte revisionen midt i juni med at undersøge udviklingen af sprækker i svejsninger hørende til overgangen mellem reaktortanken og de primære kølerør. Man konstaterede endnu en sprække ud over de to, man fandt sidste år, men ingen af dem er gennemgående. Værket vil foretage en udskiftning af de berørte rørsektioner og svejsninger ved revisionen i 2003. Enheden startede op igen den 17/7-2001.

Ringhals-4 har tilsvarende sprækker i overgangen mellem reaktortanken og de primære kølerør. Her er det så alvorligt, at SKI har givet en begrænset driftstilladelse på 8200 timer, inden sprækkerne skal udbedres. Det indebærer en omfattende reparation ved revisionen i 2002.

5.2 Frankrig, Storbritannien, Tyskland

Frankrig

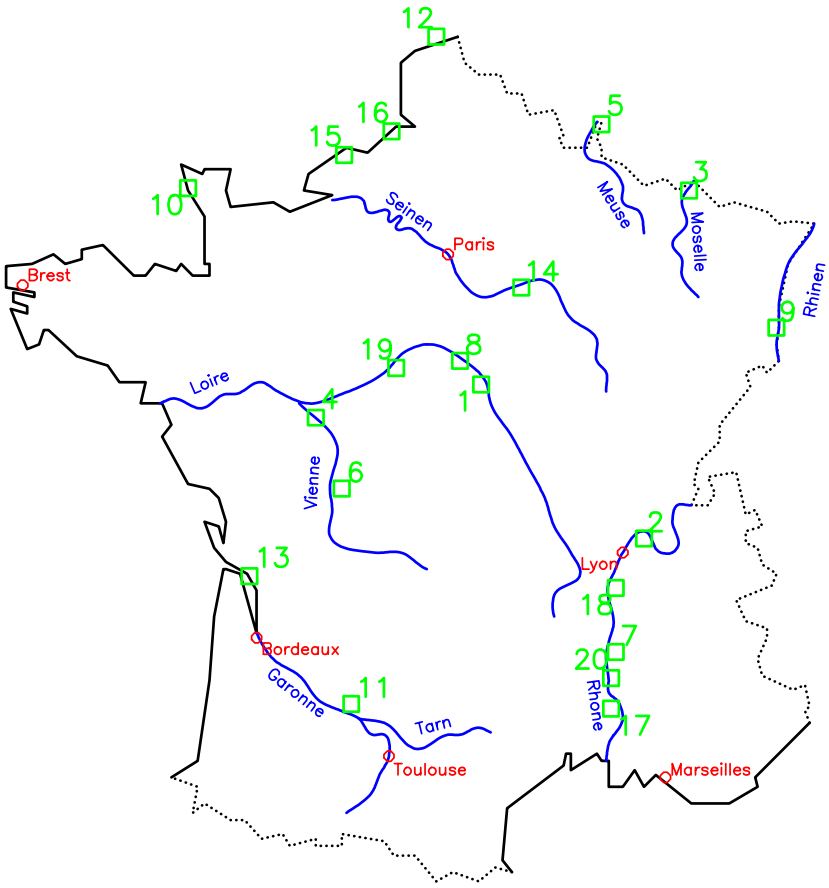
Frankrig har 20 kernekraftværker med i alt 59 reaktorer i drift. Den samlede installerede kapacitet er på 63.000 MWe og Frankrig har dermed den største kernekraftproduktion i Vesteuropa. Produktionen blev øget i 2000, og kernekraft udgjorde 76 % af den samlede el-produktion. Placeringen af de franske kernekraftværker er vist i Figur 5.2.

Den franske kernekraftproduktion var oprindelig baseret på grafitmodererede, gaskølede reaktorer, men disse er nu alle lukket ned. Frankrigs ældste kraftreaktor i drift er hurtigreaktoren Phenix fra 1973. Efterfølgende udbygning af kernekraft har været med trykvandsreaktorer (PWR), bortset fra hurtigreaktoren i Creys-Malville (Superphenix), der blev lukket i 1996. De nyere reaktorer er overvejende af fransk konstruktion, senest med N-4 reaktorserien på 1450 MWe i Chooz og Civaux. Fremtidig udbygning af kernekraft i Frankrig planlægges at ske ved brug af trykvandsreaktoren EPR (European PWR), som er resultatet af et fransk-tysk samarbejde. Eventuel beslutning om opførelse af den første EPR prototype vil først finde sted efter præsidentvalget i 2002.

Den franske nukleare sektor blev omorganiseret i 2001 ved dannelsen af holdingselskabet Areva (tidl. Topco), med den franske stat og den franske atomenergikommission (CEA) som majoritetsaktionærer. Areva's nukleare gren består af Cogema og 66 % af Framatome ANP og får en årlig omsætning på 10 mia. euro. Framatome ANP blev dannet 1/1-2001 ved sammenlægning af Framatome og Siemens nukleare aktiviteter. Det statsejede Electricité de France (EdF) er fortsat operatør af de franske kernekraftværker.

Med Cogema's anlæg i La Hague har Frankrig en betydelig oparbejdning af brugt brændsel, både fra egne og fra udenlandske reaktorer. I brændselsfabrikkerne i Cadarache og Marcule fremstilles MOX-brændsel (Mixed Oxid Fuel) ud fra genindvundet uran og plutonium, fortrinsvis til brug for franske og tyske kernekraftværker. Et fransk forbud mod import af tysk brændsel til oparbejdning i La Hague blev ophævet først på året i forbindelse med, at Tyskland begyndte at modtage højaktivt affald fra tidligere oparbejdning af tysk brugt brændsel.

Til behandling af højaktivt radioaktivt affald arbejder Frankrig med tre forskellige modeller: Separation/transmutation af brugt brændsel, langtidslagring i depot samt geologisk slutdeponering af højaktivt affald. CEA har fået til opdrag senest i 2006 at redegøre for de tekniske og økonomiske forhold ved alle tre modeller. Ved separation/transmutation separeres actiniderne fra fissionsprodukterne, hvorefter fissionsprodukterne ved bestråling med neutroner omdannes til kortlivede isotoper (transmutation). Ved kommerciel oparbejdning af brugt brændsel separeres ca. 96 % af de langlivede isotoper (95% uran og 1% plutonium) fra, og separation af de resterende 4% langlivede isotoper vil være teknisk mulig.

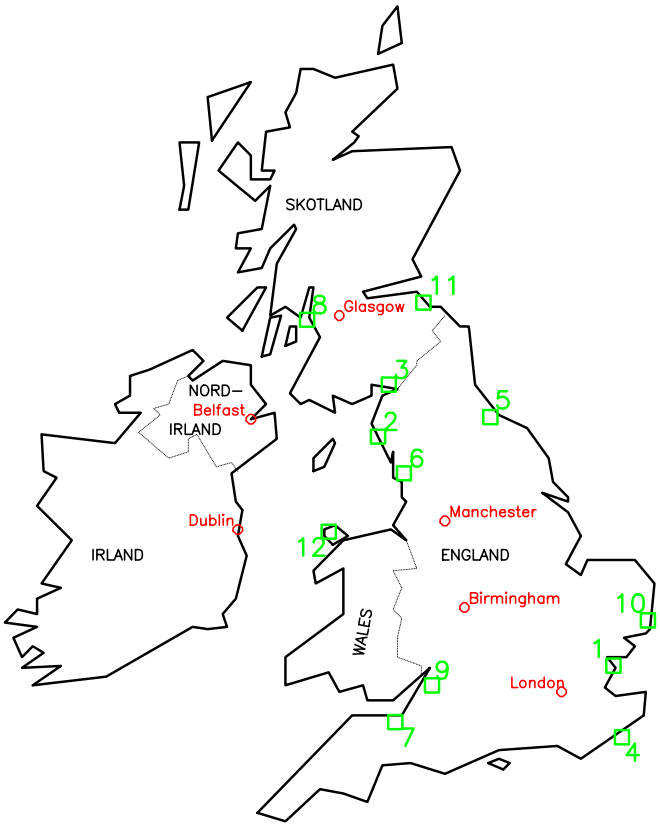


No.	Navn	Ant. enh.	MWe.brt.
1	Belleville	2	2726
2	Bugey	4	3864
3	Cattenom	4	5448
4	Chinon	4	3778
5	Chooz	2	3032
6	Civeaux	2	3032
7	Cruas	4	3754
8	Dampierre	4	3748
9	Fessenheim	2	1840
10	Flamanville	2	2764
11	Golfech	2	2726
12	Gravelines	6	5718
13	le Blayais	4	3804
14	Nogent	2	2726
15	Paluel	4	5528
16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

Figur 5.2. Kernekraftværker i Frankrig.

Storbritannien

Storbritannien har 12 kernekraftværker med i alt 33 reaktorer i drift. Den samlede installerede kapacitet er på 12.500 MWe, og i 2000 udgjorde kernekraft 22 % af elektricitetsproduktionen i Storbritannien. Placeringen af kernekraftværkerne er vist i Figur 5.3.



No.	Navn	Ant. enh.	MWe.brt.
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	2	1318
8	Hunterston	2	1320
9	Oldbury	2	450
10	Sizewell	3	1758
11	Torness	2	1364
12	Wylfa	2	1100

Figur 5.3. Kernekraftværker i Storbritannien.

Udviklingen af britisk kernekraft skete med reaktorer af typen Magnox GCR (Gas Cooled Reactor); fra sidst i 1960'erne afløst af AGR reaktorerne (Advanced Gas-cooled Reactor), som kun findes i Storbritannien. Magnox og AGR er gaskølede, grafitmodererede reaktorer. De ældste, Magnox reaktorerne, anvender naturligt eller let beriget (< 1 %) uran som brændsel og er forholdsvis små i størrelsen 50 – 500 MWe. AGR reaktorerne anvender 3% beriget uran og opererer ved højere temperatur og tryk, hvilket giver en større el-produktion og en bedre termisk virkningsgrad. Eneste letvandsreaktor er Sizewell-B, en britisk udviklet trykvandsreaktor (PWR) på 1190 MWe, der blev sat i drift i 1995.

De to store aktører på det britiske kernekraftmarked er det statsejede British Nuclear Fuels Limited (BNFL) og det privatiserede selskab el-British Energy (BE). Magnox reaktorerne drives af BNFL og tegner sig i dag for ca. 7 % af den britiske el-produktion, mens BE, der er Storbritanniens største producent af elektricitet, driver de nyere AGR reaktorer samt Sizewell-B.

En løbende udfasning af Magnox reaktorerne finder sted, senest med lukningen af Hinkley Point A i 2000, og efter 2010 vil kun de fire Magnox reaktorer i Oldbury og Wylfa være i drift. I forbindelse hermed ventes Magnox oparbejdningsanlægget ved Sellafield at blive nedlagt omkring år 2012, hvilket vil medføre en kraftig reduktion i udledningen af radioaktive materialer til Det Irske Hav.

Oparbejdningen af brugt brændsel fra AGR reaktorerne og fra udenlandske kunder fortsætter i andre anlæg ved Sellafield. Genindvundet uran og plutonium fra oparbejdningen bruges i produktionen af MOX-brændsel. Det nyopførte "Sellafield MOX Plant" (SMP) fik i oktober tilladelse til at starte kommerciel produktion. Efter at have været afbrudt i nogle år har flere lande i løbet af 2001 genoptaget transporten af brugt brændsel til oparbejdning ved Sellafield.

I 2001 iværksatte Labour regeringen en gennemgang af den britiske energipolitik med henblik på at sikre den langsigtede energiforsyning. I deres oplæg til regeringen peger BE og BNFL begge på en fremtidig udbygning af kernekraft, med ca. 10 reaktorer i perioden 2010-2025, som led i en flerstrenget energiforsyning og som erstatning for de udfasede Magnox og AGR reaktorer. Som reaktortyper peges på Westinghouse AP600 og AP1000, samt på CANDU NG reaktoren. Det britiske elmarked er p.t. præget af lave priser, og det betragtes som usikkert, hvorvidt kernekraft vil være konkurrencedygtig.

Tyskland

Tyskland har 19 kernekraftreaktorer i drift, fordelt på 14 kraftværker (Figur 5.4). De 19 enheder består af 13 trykvandsreaktorer (PWR) og 6 kogendevandsreaktorer (BWR) og er alle leveret af Siemens/KWU. Den samlede installerede kapacitet på de 19 enheder er på 21.000 MWe, og kernekraft bidrog i 2000 med 31 % af Tysklands elproduktion.

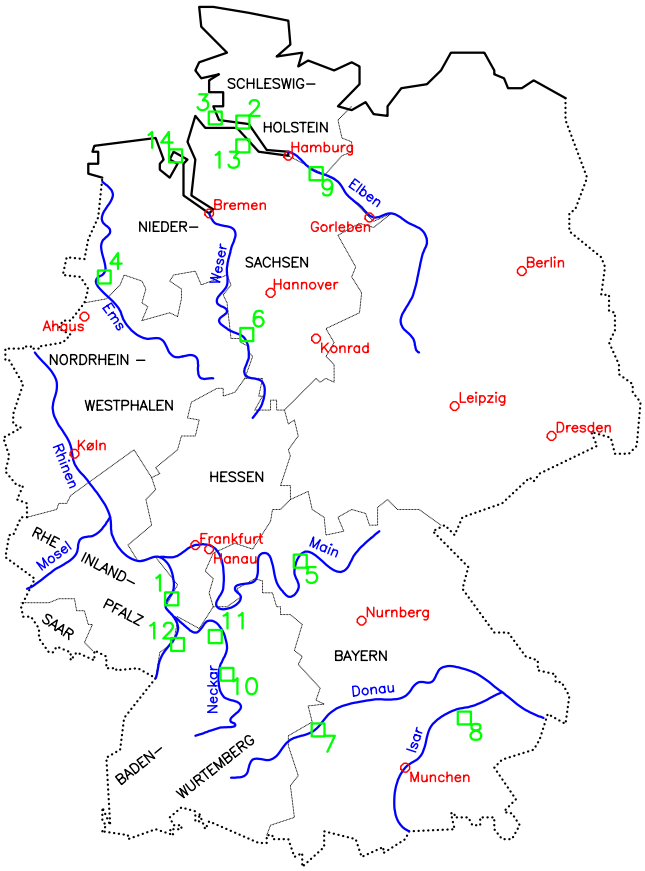
Elektricitetsselskabet E.ON, der er Tysklands største operatør af kernekraftværker, har ansøgt om tilladelse til at lukke Stade PWR i 2003. Beslutningen om at lukke værket begrundes i overkapacitet og lave el-priser.

I 2000 indgik forbundsregeringen og den tyske kernekraftindustri, repræsenteret ved el-selskaberne E.ON, RWE, EnBW og HEW, en aftale om gradvis afvikling af tysk kernekraft. Aftalen sætter loft på den samlede produktion fra kernekraftværkerne, men giver mulighed for at overføre produktionsrettigheder mellem de enkelte enheder. Med en gradvis nedlukning af reaktorerne vil de sidste reaktorer være i drift indtil midt i 2020'erne. Oppositionen (CDU og CSU) har tilkendegivet, at den ikke føler sig bundet af denne aftale.

Transport af brugt brændsel til oparbejdning ved anlæggene i La Hague (Frankrig) og Sellafield (UK) blev afbrudt i 1998, efter at nogle transportcontainere blev fundet overfladekontaminerede, men blev igen tilladt som følge af den indgåede aftale mellem regeringen og kernekraftindustrien. Aftalen indebærer således, at eksisterende kontrakter kan opfyldes, såfremt oparbejdningen afsluttes inden 1/8-2005. Transporter til Sellafield blev genoptaget i 2001, og ligeledes blev transport til La Hague genoptaget, efter at et fransk forbud mod import af tysk brugt brændsel var blevet ophævet. Ophævelsen af det franske forbud var betinget af, at Tyskland begyndte at modtage højaktivt affald, der stammer fra tidligere oparbejdning af tysk brugt brændsel.

I marts 2001 blev 6 Castor-containere, indeholdende højaktivt affaldsglas fra oparbejdning af tysk reaktorbrændsel på det franske oparbejdningsanlæg La Hague transporteret med tog fra Frankrig til Gorleben, som er et midlertidigt lager i Tyskland. 6000 demonstranter forsøgte at stoppe/forsinke transporten, mens 15.000 politifolk sikrede, at transporten blev gennemført. Endnu en transport blev gennemført i novem-

ber måned 2001 under stor politiovervågenhed. Franskmændene har herefter åbnet op for modtagelse af mere tysk brændsel til oparbejdning. Det er planlagt, at der alt i alt skal sendes 166 Castor-containere indeholdende højaktivt affaldsglas fra La Hague til Gorleben inden år 2010.



No.	Navn	Ant. enh.	MWe.brt.
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	Neckar	2	2205
11	Obrigheim	1	357
12	Philippsburg	2	2249
13	Stade	1	672
14	Unterweser	1	1300

Figur 5.4. Kernekraftværker i Tyskland.

5.3 Andre vesteuropæiske lande

Belgien

Belgien har 2 kernekraftværker med i alt 7 trykvandsreaktorer (PWR) i drift. Den samlede kapacitet er på 5.700 MWe. I 2000 udgjorde kernekraft 57 % af el-produktionen i Belgien. Kraftværkerne ejes og drives af det nationale el-selskab, Electrabel.

Det belgiske selskab Belgonucleaire er en af de største producenter af MOX-brændsel (mixed oxide fuel), og eneste producent af MOX-brændsel til kogendevandsreaktorer (BWR). MOX-brændslet anvender genindvundet plutonium fra oparbejdning af brugt brændsel. Belgonucleaire bidrager desuden til design af MOX-anlæg i USA og Rusland, hvor plutonium fra dekommissionerede kernevåben skal anvendes i produktionen af MOX-brændsel.

Den belgiske koalitionsregering bekræftede efter regeringsdannelsen i 1999 et moratorium på bygning af nye kraftværker og oparbejdningsanlæg og besluttede, at eksisterende kraftværker skal afvikles efter 40 års levetid. Dette betyder, at de belgiske kernekraftværker lukkes i perioden 2014-25.

Finland

Finland har to kernekraftværker i drift, Olkiluoto og Loviisa, hver med to reaktorer. Beliggenheden af de to finske værker fremgår af Figur 5.1. Den samlede installerede kapacitet er på 2.700 MWe. De to enheder ved Olkiluoto er forsynet med kogendevandsreaktorer, mens de to enheder på Loviisa værket benytter VVER-reaktorer, som er en russisk udgave af trykvandsreaktoren. Kernekraft udgjorde i 2000 32 % af den finske el-produktion.

Rigsdagen ratificerede i maj 2001 en principbeslutning om konstruktion af et slutdepot for brugt brændsel. Rigsdagen tillod det finske selskab for behandling af radioaktivt affald, Posiva Oy, at påbegynde undersøgelser af grundfjeldet ved kernekraftværket Olkiluoto med henblik på at bygge slutdepotet her. Undersøgelserne ventes afsluttet i år 2011, hvorefter der vil gå yderligere ca. 10 år, inden et eventuelt anlæg kan tages i brug. Med beslutningen kan Finland blive et af de første lande i verden til at bygge et slutdeponi for brugt reaktorbrændsel.

El-selskabet TVO ansøgte i december 1999 regeringen om tilladelse til at bygge landets femte kernekraftenhed. Reaktortypen er ikke fastlagt, men kan blive en BWR eller PWR. Enhedsstørrelsen forventes at blive 1000-1600 MWe. Regeringen gav i begyndelsen af 2002 en principiel tilladelse til byggeriet, som herefter skal godkendes i det finske parlament, Eduskunta'en. Parlamentet ventes at tage endelig stilling til ansøgningen i løbet af 2002. Socialdemokratiet, der leder den finske samlingsregering, er delt på spørgsmålet om kernekraft, og resultatet af afstemningen i Eduskunta'en er derfor usikkert. Sidst den finske regering tog stilling til en ansøgning om byggeri af en reaktor var i 1993, hvor forslaget efterfølgende blev afvist af Eduskunta'en.

Holland

Holland har med Borsseleværket en enkelt kernekraftenhed i drift, med en kapacitet på 450 MWe. Reaktoren er en trykvandsreaktor af Siemens design. Kernekraftens andel af elproduktionen i Holland udgjorde ca. 4% i 2000.

Transport af brugt brændsel fra Borssele til oparbejdning ved anlæggene i La Hague i Frankrig og Sellafield i England har været afbrudt siden 1996, men blev genoptaget i 2001.

En parlamentsbeslutning fra 1994 om at lukke Borssele PWR ved udgangen af 2003 blev i december 2000 kendt ugyldig ved en højesteretsdom. I en ny afgørelse fra september 2001 blev regeringens ønske om at lukke Borsseleværket, med henvisning til en aftale indgået med værkets ejer, blokeret. Værket ventes i stedet at kunne fortsætte driften, også efter 2003.

Schweiz

Schweiz har 4 kernekraftværker med i alt 5 reaktorer. To af enhederne benytter kogendevandsreaktorer, de tre andre trykvandsreaktorer. Den samlede kapacitet er på 3.200 MWe. I 2000 bidrog kernekraft med 38 % af Schweiz' el-produktion.

Den schweiziske regering har fremlagt et forslag til en ny atomlov, som ventes vedtaget i 2002. Hovedelementer i lovforslaget er et stop for oparbejdning af brugt brændsel (og eksport af brændsel til oparbejdning), samt en anbefaling af dyb geologisk deponering af højaktivt affald, men hvor muligheden for at hente affaldet op igen bevares. Lovpakken indeholder ikke noget forslag om levetidsbegrænsning af eksisterende reaktorer, og bygning af nye reaktorer vil være mulig efter en forudgående folkeafstemning.

Spanien

Spanien har 9 kraftreaktorer i drift fordelt på 7 kraftværker. Syv benytter trykvandsreaktorer og to kogendevandsreaktorer. Enhederne er løbende blevet opgraderet, og den samlede kapacitet nåede i 2001 op på 7.500 MWe. I 2000 dækkede kernekraft 28 % af den spanske el-produktion.

De spanske kernekraftværker har tidligere opereret på 2-års driftstilladelser, men senest med anbefalingen fra de spanske tilsynsmyndigheder, CSN, om at give Asco-1 og Asco-2 driftstilladelser på 10 år vil i alt seks af de ni reaktorer have opnået 10-års driftstilladelser.

6 Central- og østeuropæiske lande

6.1 SNG-lande

Armenien

Armenien har et kernekraftværk, Metsamor, i drift. Det består ef en VVER-440/230-enhed med en effekt på 380 MWe. Værket ligger i nærheden af hovedstaden Jerevan. Oprindelig bestod værket af to VVER-440/230-enheder, men efter det store jordskælv i 1989 blev de begge lukket ned p.g.a. manglende sikring over for jordskælv. P.g.a. Armeniens yderst vanskelige energisituation, der skyldtes Nagorno-Karabach-konflikten med Azerbaijan, blev den nyeste enhed, Metsamor-2, genåbnet i 1995. Kernekraft dækker ca. 35% af landets el-forbrug.

Metsamor-2 kom i drift igen i november efter en nedlukning på godt 4 måneder. Nedlukningen skulle kun have varet 45 dage, men blev forlænget p.g.a. vanskeligheder med brændselsindkøb, som formentlig skyldtes pengemangel.

Armenien har truffet aftale med Rusland om overtagelse af driften af Metsamor-værket. Aftalen skyldes formentlig Armeniens begrænsede ekspertise inden for kernekraft.

Selvom sikkerheden ligger væsentlig under den ønskede, har EU accepteret, at det ikke er realistisk at få Metsamor-2 lukket i 2004, fordi det ikke vil være muligt på anden måde at skaffe den nødvendige el-forsyning. 2006-2007 er formentlig et mere realistisk tidspunkt.

Kazakhstan

Kazakhstan har ikke længere noget kernekraftværk i drift, men landet har en ikke ubetydelig nuklear industri, bl.a. uranminer.

Kazakhstans statslige nukleare firma, Kazakhatomprom, har oplyst, at firmaet mangler midler til at løse landets problemer med radioaktivt affald fra minedrift og anden industriel aktivitet. Derfor foreslår selskabet, at import af udenlandsk, lavaktivt affald tillades mod betaling. Affaldet vil blive deponeret i gamle minegange.

Rusland

Rusland har ni kernekraftværker med i alt 29 reaktorenheder i drift:

1. Balakova-værket med fire VVER-1000-enheder
2. Beloyarsk-værket med en hurtigreaktorenhed BN-600
3. Bilibino-værket med fire (små) RBMK-12-enheder
4. Kalinin-værket med to 1000 VVER-enheder
5. Kola-værket med to VVER-440/230 og to VVER-440/213-enheder
6. Kursk-værket med fire RBMK-1000-enheder
7. Leningrad-værket med fire RBMK-1000-enheder
8. Novovoronezh-værket med to VVER-440/230- og en VVER-440/213-enhed
9. Smolensk-værket med tre RBMK-1000-enheder,

d.v.s. i alt seks VVER-440-enheder, syv VVER-1000-enheder, elleve RBMK-1000-enheder, fire RBMK-12-enheder og en hurtigreaktorenhed. Den samlede effekt af disse værker er 19.800 MWe. Kernekraften dækker ca. 15% af landets el-forbrug, idet dækningsprocenten er større i den europæiske del af Rusland og mindre i den asiatiske.

Der er sket en reorganisering af den russiske kernekraftproduktion, idet Rosenergoatom (REA), en koncern under det russiske ministerium for atomenergi, Minatom, fremover skal være Ruslands eneste kernekraftselskab. REA skal overtage alle kernekraftværker fuldt ud. Det gælder, hvad enten de er i drift eller under bygning. Endvidere overtager REA selskabet Atomtechenergo, der træner og rådgiver om styring af kernekraftværker, forskningsinstituttet VNIIAES samt tre firmaer, der vedligeholder og reparerer kernekraftværker.

Der sker også en integration af de russiske brændselskredsløbsaktiviteter under selskabet TVEL. Tidligere har der været en tendens til, at de russiske kernebrændselsfirmaer søgte at frigøre sig fra regeringens styring, men den seneste udvikling er gået i modsat retning. TVEL vil danne et joint venture sammen med Kazakhatomprom i Kazakhstan og et ukrainsk firma til fremstilling af nukleart brændsel. Ukraine og Kazakhstan vil levere uran, Kazakhstan vil fremstille brændselspiller, som vil blive indkapslet i ukrainske zirkoniumrør. Rusland beriger uranet og laver elementerne. Andre SNG-lande med uranforekomster kan senere komme med.

Gosatomnadzor (GAN), det russiske reaktortilsyn, er den myndighed, som giver driftstilladelser og stiller krav om sikkerhedsforbedringer. Der har været tilløb til, at Minatom forsøgte at lægge GAN ind under sig, for herved at få retten til at udstede driftstilladelser, men med den nye chef for Minatom, Alexander Rumyantsev, synes dette forsøg opgivet.

Rosenergoatom planlægger at opføre fem nye 1000 MWe enheder i løbet af de næste fem til syv år og 10 nye kernekraftenheder over de følgende 10 år. Udover Volgodonsk-1, der allerede er kommet i drift, skulle Kursk-5, Kalinin-3 og Volgodonsk-2 blive de næste tre. Der planlægges yderligere to enheder ved Volgodonsk, og andre enheder i Saratov, Arkhangelsk og i Bashkhir republikken. Ved Arkhangelsk planlægges et kraftvarmeværk. I 1991 blev et VVER-1000-projekt ved Bashkir i Bashkortostan, en autonom republik i Den Russiske Føderation, standset p.g.a. folkelig modstand. Dette projekt vil nu blive genoptaget, idet der i første omgang udføres ekspertstudier. Værket, der planlægges til fire enheder, ventes færdigt i 2010. En ny kraftreaktor på 1300 MW til Primorie-regionen i Østsibirien er også under overvejelse.

Minatom vil arbejde på en ny version af trykvandsreaktoren, VVER-1500. Potentielle pladser for bygning af den nye udgave af VVER-enheden er Smolensk og Leningrad.

Realiseringen af de mange planer afhænger naturligvis af, om de nødvendige økonomiske ressourcer er til rådighed. Minatoms og Rosenergoatoms økonomiske situation er fortsat usikker, og investeringerne kun 20% af de planlagte. Årsagen er, at det russiske netselskab RAO ikke betaler Rosenergoatom for den leverede el-effekt, fordi forbrugerne ikke betaler RAO.

Balakova-værket
Guvernøren i Saratov-provinsen vil have færdigbygget Balakovo-5, en VVER-1000-enhed.

Beloyarsk-værket
Byggearbejdet på Beloyarsk-4, den første 800 MWe hurtigreaktorenhed BN-800, er igen startet, og er planlagt færdig i 2009. Enheden skal brænde bombeplutonium. En gruppe fra WANO har besøgt Beloyarsk-3, en 560 MWe hurtigreaktorenhed BN-600, og har konstateret, at enheden drives på et tilfredsstillende højt niveau.

Kalinin-værket
Rosenergoatom har genoptaget bygningen af Kalinin-3, en VVER-1000-enhed. Den er et prioritetsprojekt og skulle være færdig i 2003.

Kursk-værket
Rosenergoatom er i gang med modernisering af Kursk-1, en RBMK-1000-enhed. Der er lavet en SikkerhedsAnalyseRapport (SAR) for Kursk-1, som er blevet fremsendt til GAN. Bygning af Kursk-5, en RBMK-1000-enhed er genoptaget. Enheden er et prioritetprojekt blandt de nye russiske kernekraftenheder og forventes sat i drift i 2002.

Leningrad-værket
Leningrad-værket har fremsendt en SAR til godkendelse hos GAN for Leningrad-2. Rapporten vurderes med henblik på levetidsforlængelse af enheden. Rapporten skulle også føre til en forbedring af den daglige drift. Leningrad-4 er tilbage i drift efter en længere moderniseringsperiode.

Novovoronezh-værket
Rosenergoatom vil ansøge om fortsættelse af driften af Novovoronezh-3, den første VVER-440-enhed, ud over designlevetiden på 30 år. Enheden er blevet lukket ned med henblik på modernisering, der skulle tillade en levetidsforlængelse på op til 15 år. Sikkerheden på enheden bliver forøget ved installering af et jetpumpesystem, der skal kunne håndtere større LOCA (tab-af kølemiddeluheld). Også Novovoronezh-4, ligeledes en VVER-440-enhed, vil blive moderniseret med henblik på levetidsforlængelse.

Et schweizisk-russisk projekt om en probabilistisk sikkerhedsvurdering (PSA) af Novovoronezh-5, den første VVER-1000-enhed, har vist svagheder i anlægget, som hurtigt bør rettes. Nogle hjælpesystemer er ikke tilstrækkelig pålidelige eller dublerede, og fjernelse af varme fra det sekundære kredsløb under normale forhold og under uheld sker ved brug af de samme pumper, ligesom de to systemer ikke er adskilt. En række ændringer er allerede gennemført som følge af PSA-vurderingen.

Volgodonsk-værket
Volgodonsk-1, tidligere Rostov-1, er en ny VVER-1000-enhed. Ved årets begyndelse blev der ladet brændsel i reaktoren og den blev kritisk i februar. Den blev koblet til det elektriske net omkring 1. april og nåede i september fuld effekt, 950 MWe. I december kom den i kommerciel drift. Volgodonsk-1 er den første nye enhed, der er sat i drift i Rusland siden Tjernobyl-ulykken. Der bygges på Volgodonsk-2, også en VVER-1000-enhed, som skulle komme i drift efter Kursk-5 og Kalinin-3. Det forventes, at Volgodonsk-værket i løbet af de næste 10 år vil komme til at bestå af fire VVER-1000-enheder.

I Mayak, det første russiske kemiske oparbejdningsanlæg, har man startet kommerciel drift af den tredie vitrifikationsovn, som skal omdanne flydende radioaktivt affald til affaldscylindre af glas. Ovnen kan klare 500 l opløsning i timen og vil blive brugt til at konvertere opløsning med en aktivitet på 300 mio. curie til glasaffald. 280 mio. curie er allerede blevet vitrificeret med Mayaks to første ovne, som nu er taget ud af drift.

Minatom har godkendt bygning af et moderne lager til brugt brændsel i Krasnoyarsk-regionen. Det overvejes at bygge et lager for brugt brændsel i den europæiske del af Rusland, fordi det er for dyrt at transportere brændslet til Sibirien.

Minatom har fået tilladelse til at udnytte en lovende uranforekomst ved Khiagdinsky i Buryatia-republikken.

Udadrettet virksomhed

Mens Minatoms væsentligste aktivitet foregår i Rusland, har den nye minister for Minatom i lighed med sin forgænger ikke lagt skjul på, at Rusland ønsker at gøre sig gældende på det internationale marked, dels for at tjene penge, men nok også for at øge Ruslands indflydelse, ikke mindst i det "nære udland". Det sker ved levering af kernekraftværker, beriget uran, elektricitet og som det seneste skud på stammen ved at modtage brugt eller udbrændt brændsel fra udlandet.

I længere tid har Rusland ikke villet modtage brugt brændsel fra udlandet. Men med en ny lov, som er vedtaget i Duma'en og det federale råd og underskrevet af præsident Putin, er der åbnet mulighed for, at Rusland – mod betaling – kan tage imod udbrændt brændsel fra udlandet. Såfremt mange lande benytter sig af denne mulighed for at slippe for at lave egne deponier for højaktivt affald, kan Rusland engang i fremtiden opnå noget nær et monopol på uran og plutonium.

Det russiske firma Atomstroiexport, som er en sammenslutning af Atomenergoexport og Zarubeshatomenergostroi, er i gang med at bygge to VVER-1000- enheder i Jiangsu provinsen i Kina. Byggeriet forløber efter planen. Det forventes, at der inden 2020 skal opføres yderligere to VVER-enheder på stedet.

Rusland og Indien har underskrevet et endeligt memorandum om bygning af to kernekraftenheder ved Kudankulam. Bygning af yderligere to er blevet diskuteret. Diskussion af projektet blev startet allerede i 1988.

Rusland har indgået aftale om bygning af en VVER-1000-enhed ved Bushehr i Iran. Her begyndte Siemens oprindelig at bygge to kernekraftenheder, men byggeriet blev stoppet, da krigen mellem Irak og Iran startede. Efter krigsafslutningen ønskede Iran byggeriet genoptaget, men efter amerikansk pres afstod Siemens fra at fortsætte. Herefter kom Rusland ind i billedet, og der blev truffet aftale om levering af en VVER-1000-enhed, samt formentlig yderligere en enhed senere. Reaktortanken til den første VVER-enhed er færdigfremstillet og sendes til Bushehr fra St. Petersborg.

Rusland og Vietnam planlægger samarbejde om kernekraft, der kan føre til bygning af Vietnams første kernekraftværk.

Rusland leverer beriget uran til vestlige kernekraftværker og har for nylig tilbudt at levere beriget uran til det indiske Tarapur-værk trods amerikansk protest.

Rosenergoatom leverer elektrisk energi til Finland fra Kolakraftværket, til Ukraine, til Georgien og til Tyrkiet via Georgien. Rosenergoatom overvejer at bygge egne transmisionsledninger med henblik på eksport af elektricitet.

Udenlandsk støtte

Fra vestlig side ydes der støtte til nuklear oprensning i Nordvestrusland, dels i forbindelse med dekommissionering af gamle nukleare ubåde, dels i forbindelse med Kolakraftværket. Støtten er specielt givet af USA, Norge, Finland og Sverige.

Fra de nordiske landes side har man arbejdet på at få indgået en international aftale om dette støtteprogram, Multilateral Nuclear Environmental Program in Russia (MNEPR), der også skal omfatte EU. Aftalen skal i første omgang omfatte arbejde i Nordvestrusland, men kan senere udvides til hele Rusland. Der har imidlertid vist sig

en række problemer med indgåelsen af en sådan aftale. Et problem er spørgsmålet om ansvar i tilfælde af ulykker, et andet beskatning af vestlige eksperter, der skal arbejde i Rusland i forbindelse med støtteprojekter, et tredie vestlige eksperters adgang til involverede militære områder og et fjerde spørgsmålet, om aftalen skal ratificeres af parlamenterne; noget sådant vil forsinke aftalens ikrafttræden. USA har særlige problemer med ansvarsspørgsmålet. Selvom parterne har nærmet sig hinanden under forhandlingerne, er der ikke kommet en aftale i stand. Uenigheden om ansvarsproblemet kan betyde, at man fra vestlig side vil koncentrere sig om de mindst risikable projekter. For at en større oprydning, der skønnes at koste 1 mia. dollar, kan startes, må MNEPR-aftalen først underskrives.

Der har gennem årene fra vestlig side været ydet betydelig støtte til Nordvestrusland på det nukleare område:

Norge, Finland og Sverige har finansieret indførelse af et nødfødevandssystem i Kola-3, der ved hjælp af tre dieseldrevne pumper leverer kølevand til reaktortanken i tilfælde af et LOCA. Et lignende system er under montering i Kola-4. Tilsvarende systemer planlægges ikke for Kola-1 og -2, idet man fra skandinavisk side ikke vil bidrage til levetidsforlængelse af disse to VVER-440/230-enheder, som snart har været i drift i deres designlevetid. Finland og Norge har også hjulpet med installering af et nyt sikkerhedsdisplay for Kola-3 og -4. Norge og Sverige har forbedret kontrolsystemet for nødstrømsgeneratoranlægget.

Takket være amerikansk støtte kan Rusland udvide det eksisterende lager for brugt ubådsbrændsel ved oparbejdningsanlægget i Mayak. Fra europæisk side ville man have foretrukket et midlertidigt lager på Kola-halvøen som den hurtigste og billigste metode, hvorved man også ville undgå transport af brændsel, men russerne hævder, at det ikke er muligt at placere et lager på Kola-halvøen p.g.a. folkelig modstand. Russerne vil oparbejde alt brændsel, også det beskadigede, som Mayak på den anden side siger, anlægget ikke kan modtage. Russerne ønsker øjensynlig at få fremstillet 120 betontransportbeholdere til nukleart brændsel til en pris af $120 mio.

Zvezdochka-værftet i Severodvinsk skal bygge det første mobile anlæg til håndtering af fast affald fra Nordflådens ubåde. Projektet finansieres af Norge, og det skal være i drift i sommeren 2002. USA har finansieret et anlæg i Severodvinsk til udtagning af brændsel på ubåde samme sted. Norge har finansieret et anlæg til behandling af flydende affald. USA har for tre russiske værfter finansieret udstyr til at opskære dele fra gamle ubåde og et anlæg til opskære elektriske kabler fra ubåde.

Et anlæg i Murmansk til behandling af lavaktivt flydende affald er ved at blive færdiggjort med international bistand. Slutproduktet bliver aktiv beton.

Det russiske flådeskibsværft Zvezda i Primorye-regionen har overtaget et sejlende anlæg til behandling af flydende, radioaktivt affald fra ubåde. Anlægget er betalt af Japan.

Under et møde i Contact Expert Group under IAEA har seks lande (USA, Norge, Sverige, Finland, Frankrig og Holland) angivet, at de er indstillet på at yde hjælp til Rusland med oprensning af den kontaminerede ubådsbase ved Andreeva-bugten. Den første opgave vil være at genopbygge infrastrukturen i området. På basen findes udbrændt brændsel fra ca. 100 ubådsreaktorer, tanke med flydende radioaktivt affald, der lækker, og fast radioaktivt affald. Russerne har været betænkelige ved at have udlændinge på Andreev basen, selv om den ikke mere er i brug, men en norsk delegation har dog haft adgang.

Ukraine

Ukraine har fire kernekraftværker med i alt 12 reaktorenheder i drift:

1. Khmelnitski-værket med en VVER-1000 enhed
2. Rovno-værket med to VVER-440/213- og en VVER-1000-enhed
3. Sydukraine-værket med tre VVER-1000-enheder
4. Zaporozhe-værket med seks VVER-1000-enheder,

d.v.s. i alt 11 VVER-1000-enheder og to VVER-440-enheder. Den samlede effekt af disse værker er 11.200 MWe. Kernekraften dækker ca. 45% af landets el-forbrug.

Tjernobyl-værket er blevet omdannet til et særligt selskab, Tjernobyl-kernekraftværk, som skal styre dekommissioneringen af enhed 1, 2 og 3, samt sørge for, at den havarerede enhed 4 bringes i en stabil tilstand. Selskabet vil også stå for behandlingen af det radioaktive affald og det udbrændte brændsel. Selskabet rangerer direkte under præsidenten. Tjernobyl-værket skal afskedige 1300 ansatte inden årets udgang, men en del af disse vil kunne få beskæftigelse i et nyt statsfirma, AtomRemontServis, som skal servicere ukrainske kernekraftværker. Der har været russisk kritik af de nuværende planer for at forbedre indeslutningen (sarkofagen) omkring Tjernobyl-4, idet den valgte løsning vurderes kun at være midlertidig. I stedet foreslås det, at man isolerer de mest forurenede områder med brug af særlige kemiske stoffer. Det tyske firma Nukem har fået kontrakt på at bygge en facilitet til håndtering af fast affald ved Tjernobyl-værket.

Ukraine har efter 11. september opstillet et antifly-forsvar ved Tjernobyl-værket og har forbudt overflyvninger.

I 1995 indgik Ukraine en aftale med G7-landene, der indebar, at Tjernobyl-værket skulle lukkes endeligt i 2000, mod at man fra vestlig side skulle yde støtte til den videre håndtering af den ødelagte Tjernobyl-4-enhed og lån til færdiggørelse af de to VVER-1000-enheder, Khmelnitski-2 og Rovno-4 (K2/R4). Tjernobyl-værket blev som forudsat lukket i december 2000, og der blev oprettet en Tjernobyl-4-fond under EBRD på godt 700 mio. dollar. Lånet til K2/R4 bestod af forskellige komponenter, hvoraf en på 215 mio. dollar skulle ydes af EBRD, som imidlertid stillede forskellige betingelser for lånet. Ukraine skulle oprette et uafhængigt nukleart tilsyn, en betingelse Ukraine opfyldte gennem et af præsidenten underskrevet direktiv. Ukraine skulle endvidere foretage en klækkelig forøgelse af el-prisen for at gøre forrentning og tilbagebetaling af lånene realistisk. Umiddelbart før EBRD skulle godkende lånet og efter, at Energoatom, Ukraines nukleare el-selskab, havde indgået kontrakt med et konsortium ledet af Framatome ANP om færdiggørelse af K2/R4, meddelte Ukraine, at man ikke kunne acceptere de krævede el-prisstigninger. En faktor var formentlig, at Rada'en, det ukrainske parlament, skulle godkende prisstigningen, og at der skulle være valg i 2002. Kort herefter meddeltes, at Rusland og Ukraine havde indgået en aftale om i fællesskab ville bygge K2/R4 færdig. Man fandt, at EBRD's projekt var for dyrt, 1.5 mia. dollar, og at arbejdet kunne udføres for ca. en trediedel. Man ville dog ikke udelukke, at EBRD stadig kunne komme til at spille en rolle. For at reducere de nødvendige investeringer er det muligt, at man i hvert fald i første omgang nøjes med at færdigbygge Khmelnitski-2.

Denne udvikling minder meget om EBRD's lån til færdiggørelse af Mochovce-1 og –2 i Slovakiet. Her stillede EBRD betingelser om lukning af Bohunice-1 og –2, så snart de nye enheder kom i drift. Dette kunne Slovakiet ikke acceptere, hvorfor lånet blev afslået og færdiggørelsen finansieret på anden måde, dog hovedsagelig af vestlige banker.

Ukraine har afsluttet en ny kontrakt med TVEL i Rusland om levering af kernebrændsel. Der er også kontraheret med Mayak og Krasnoyarsk om tilbagelevering af brugt brændsel.

Energoatom planlægger at levetidsforlænge sine VVER-1000-enheder med 10-15 år.

6.2 De centraleuropæiske lande

EU har ladet udarbejde en ekspertsrapport om sikkerheden af kernekraftværkerne i de central- og østeuropæiske EU-ansøgerlande. Rapporten er positiv over for værkerne, bortset fra Ignalina-2 og Kozloduy-1, -2, -3 og -4. En tidligere rapport fra de vesteuropæiske reaktorsikkerhedsmyndigheder WENRA kom til et tilsvarende resultat.

Bulgarien

Bulgarien har et kernekraftværk i drift. Det består af fire VVER-440/230-enheder og to VVER-1000-enheder. Værket ligger ved Kolozduy nær Donau, og det har en samlet effekt på 3500 MWe. Kernekraften dækker ca. 45% af landets el-forbrug.

Fra EU-side er der lagt pres på Bulgarien for at få lukket Kozloduy-1 til -4 snarest muligt, idet enhederne som nævnt ovenfor ikke har det ønskede sikkerhedsniveau. EBRD har oprettet en international fond til støtte for dekommissioneringen af disse enheder, og EU og seks lande har lovet 100 mio. euro til fonden. Bulgarien har lovet at lukke Kozloduy-1 og -2 i 2003. Enhed 3 og 4 vil EU have lukket i 2006, mens Bulgarien vil udskyde lukningen til henholdsvis 2008 og 2010.

På Kozloduy-3 og -4 er man ved at installere et nyt sikkerhedssystem til håndtering af store LOCA. Det minder om, men er ikke identisk med, det slovakiske system på Bohunice-1 og -2. Bulgarien har givet moderniseringskontrakter for Kozloduy-5 og-6 til Framatome ANP og Atomenergoexport. Sikkerhedsforbedringer på Kozloduy-3 til -6 vil fortsætte til 2005.

Hvad angår den videre skæbne af det udbrændte brændsel fra Kozloduy-værket, følger Bulgarien to forskellige veje. Dels har Bulgarien en aftale med Rusland om eksport af brugt brændsel, dels forventes EBRD at ville finansiere en lagerfacilitet for tør opbevaring af brugt brændsel. Det er i første omgang dyrere at eksportere det udbrændte brændsel end at opbevare det ved værket, men Bulgarien regner med at kompensere for denne større udgift ved el-eksport. Det brændsel, der er og vil blive sendt til Rusland, kommer fra VVER-1000-enhederne, mens brændslet fra VVER-440-enhederne vil gå til lageret, der dog også vil kunne tage udbrændt brændsel fra Kozloduy-5 og -6.

Litauen

Litauen har et kernekraftværk, Ignalina-værket, i drift. Det består af to 1190 MWe RBMK-enheder. Værket ligger i Litauens nordøstlige hjørne nær grænsen til Letland og Hviderusland. Kernekraft dækker ca. 75% af landets el-forbrug.

Litauen lovede i 1999 EU at lukke Ignalina-1 i 2005, og EBRD har oprettet en fond, finansieret af vestlige lande, som skal yde støtte til dekommissioneringen af enheden. Indtil nu har vestlige donorer lovet 208 mio. euro. Det er tidligere anslået, at udgifterne for begge enheder vil beløbe sig til 4,7 mia. dollar, inklusive deponering af affald og bygning af et nyt værk. En kontrakt for projektledelsen af dekommissioneringen af Ignalina-1 er givet til et britisk-svensk-belgisk konsortium.

Der er uenighed mellem EU og Litauen om lukningen af Ignalina-2, idet EU mener, at enheden skal lukkes i 2009, mens Litauen fastholder, at beslutningen om lukningstidspunktet først vil blive taget i 2004, hvor Litauens energistrategi skal revideres. Litauens premierminister har hævdet, at det hverken er teknisk eller økonomisk muligt at lukke Ignalina i 2009. Det har fra svensk side været anført, at lukning af Ignalina-2 i 2009 kan få staben til at forlade anlægget før tiden, hvorved sikkerheden forringes, og værket tvinges til at lukke endnu tidligere. Finansiering af dekommissioneringen af Ignalina-2 vil også være et stort problem.

Et nyt reaktornedlukningssystem vil blive installeret på Ignalina-2 medio 2003. Litauens reaktortilsyn har tilkendegivet, at det ikke vil tillade drift af enheden efter 2003, hvis det nye system ikke er installeret inden da. Et sådant system har længe været ønsket af vestlige sikkerhedseksperter.

Rumænien

Rumænien har et kernekraftværk, Cernavoda-værket, i drift. Det består af en CANDU-enhed og har en effekt på 650 MWe. Værket ligger ved Donau, 170 km øst for Bukarest. Værket har endnu en CANDU-enhed under bygning. Kernekraft dækker ca. 10% af landets el-forbrug.

Oprindeligt var det planen at bygge fire CANDU-enheder ved Cernavoda-værket, men efter de politiske omvæltninger i Rumænien i 1990 nøjedes man med at færdiggøre Cernavoda-1. I 2001 har Nuclearelectrica, det rumænske el-selskab, der ejer Cernavoda-værket, underskrevet en aftale med Canada's Atomic Energy Corporation Ltd. (AECL) og Ansaldo om færdiggørelse af Cernavoda-2. Ca. 45% af enheden er opført, og den er planlagt færdig omkring udgangen af 2006.

Slovakiet

Slovakiet har to kernekraftværker, Bohunice- og Mochovce-værket, i drift. Bohunice-værket består af to VVER-440/230- og to VVER/213-enheder, mens Mochovce-værket består af to VVER-440/213-enheder. Ved Mochovce er der yderligere to VVER-440/213-enheder under bygning, men der er problemer med finansieringen. Værkernes samlede effekt er 2400 MWe. Værkerne ligger begge i den sydvestlige del af landet. Kernekraften dækker ca. 50% af Slovakiets el-forbrug.

Der har i længere tid været uenighed mellem EU og Slovakiet om nedlukningstidspunktet for Bohunice-1 og -2, som hører til de ældre VVER-440/230-enheder. En hovedbetænkelighed har fra vestlig side været enhedernes evne til at klare et stort LOCA-uheld. Men i de seneste år er der gennemført et stort forbedringsprogram, hvorunder der blev investeret $300 mio. I forbindelse hermed er der installeret et nyt system baseret på jet-kondensatorer og brudmembraner, der skulle begrænse trykket i indeslutningen og dermed hindre frigivelse af aktivitet til omgivelserne i tilfælde af et stort LOCA. Vestlige vurderinger har konkluderet, at såfremt sikkerhedsmarginen for indeslutningen kan bekræftes, kan Bohunice-1 og -2 køre videre i en "begrænset restlevetid". Efter forbedringerne forlængede de slovakiske reaktorsikkerhedsmyndigheder driftstilladelsen for enhederne i 10 år. Men der er nu indgået en aftale mellem EBRD og Slovakiet om lukning af Bohunice-1 og -2 i 2006 og 2008. Dekommissioneringen af de to enheder skønnes at koste godt $300 mio. Heraf vil EBRD betale $137 mio.

Slovenien

Slovenien har et kernekraftværk, Krsko, i drift. Det er forsynet med en PWR-enhed på 680 MWe, som er leveret af Westinghouse. Værket ligger ved Krsko øst for hovedstaden Ljubljana. Kernekraften dækker ca. 35% af landets el-forbrug.

Slovenien har tilsluttet sig Paris-konventionen under OECD om ansvar over for tredie part. Slovenien har tidligere været med i Wien-konventionen under IAEA. Paris-konventionen giver større erstatninger til ofre for reaktor-ulykker, og tilslutningen til denne har hidtil været begrænset til mere velstående vestlige OECD-medlemslande. USA, Canada og Japan har dog ikke tilsluttet sig nogen af konventionerne. Overgangen fra Wien- til Paris-konventionen skyldes formentlig primært et slovensk ønske om

at slutte sig nærmere til de vestlige lande. Den vil øge Krsko's ansvar fra $42 mio. til $185 mio. pr. uheld.

Oprindelig blev Krsko-værket opført i fælles ejerskab mellem Slovenien og Kroatien, som da var delstater under Jugoslavien. Men efter uafhængigheden og de med den følgende økonomiske problemer, betalte Kroatien efter slovensk opfattelse ikke for den leverede effekt, hvorefter Slovenien i 1998 afbrød el-leverancer fra Krsko til Kroatien. Efter lange forhandlinger blev der ved slutningen af 2001 indgået en aftale mellen Slovenien og Kroatien om Krsko-værket. Der oprettes et nyt selskab, ElesGen, som overtager ejerskabet af Krsko-værket, som skal ejes ligeligt af Slovenien og Kroatien, og som har en fælles ledelse og stab. Kun m.h.t. sikkerhedsspørgsmål har Slovenien afgørelsen. Alle tidligere økonomiske mellemværender er afgjort. Fra 1. juli 2002 vil produktion og omkostninger blive delt ligeligt.

Dekommissioneringsomkostningerne vil blive dækket gennem oprettelse af to nationale fonde. Affaldet vil indtil videre blive opbevaret ved anlægget. Beslutning om et affaldsdeponi er blevet udskudt, indtil reaktoren nedlukkes. Aftalen tillader privatisering af værket.

Tjekkiet

Tjekkiet har to kernekraftværker, Dukovany- og Temelin-værket, i drift. Dukovany-værket består af fire VVER-440/213-enheder, mens Temelin-værket består af en VVER-1000-enhed. Der er yderligere en VVER-1000-enhed under bygning ved Temelin. Værkernes samlede effekt er 2600 MWe. Dukovany-værket ligger vest for Brno, mens Temelin-værket ligger i Sydbøhmen. Kernekraften dækker ca. 20% af landets el-forbrug.

Dukovany-værket har kørt stabilt og havde i 2001 den hidtil største årsproduktion.

Temelin-værkets første enhed, Temelin-1, der begyndte el-produktion i december 2000, har i 2001 været udsat for tekniske, men først og fremmest udenrigspolitiske problemer, d.v.s. problemer med Østrig og Tyskland, hvis regeringer er imod kernekraft.

Hvad de tekniske problemer på Temelin-1 angår, drejede de sig alle om værkets ikke-nukleare del og påvirkede derfor ikke den nukleare sikkerhed. I maj måtte enheden tages ud af drift p.g.a. vibrationer i rotoren i lavtryksturbinen, der er blevet leveret af Skoda, og i en dampledning mellem en kontrolventil og højtryksturbinen. Efter reparation af rotor og udskiftning af ventil blev enheden startet op igen i august, men der viste sig nye afbalanceringsproblemer, som hindrede nettilkobling. Disse problemer blev dog hurtigt løst, hvorefter værket kunne køres op på 55% af fuld effekt i august. I oktober nåede værket op på 75% af fuld effekt. Ved hver effektforøgelse skal der foretages en række afprøvninger. I størstedelen af november var enheden lukket ned p.g.a. reparationer af hovedcirkulationspumper og forbedringer af højtryksturbinen. Der blev opnået en aftale med Skoda om erstatning for den fordyrelse, turbineproblemerne gav anledning til. Da den tjekkiske regering i 1999 godkendte færdiggørelsen af værket, var det en forudsætning, at såvel budget som tidsplan holdt. Mens budgettet synes at holde, er enheden noget efter tidsplanen.

Den østrigske regering er principielt imod kernekraft, og har derfor hele tiden været imod starten af Temelin-værket. Den har bl.a. truet med at blokere for Tjekkiets optagelse i EU, såfremt Temelin-værket blev sat i drift. Den østrigske kritik er gået på, at de udarbejdede ulykkesscenarier ikke er konsistente, at oplysninger om aktivitetsfrigivelse ikke er givet, at nogle scenarier med stor sandsynlighed for ulykker eller store konsekvenser ikke er analyseret, og at Temelin er en uafprøvet blanding af russisk reaktordesign og vestlige kontrolsystemer.

Dette fik EU til at mægle mellem de to lande, og resultatet blev den såkaldte Melk-aftale. I følge denne skulle der laves en rapport med en vurdering af Temelins virkning på miljøet (en VVM-rapport), og rapporten skulle derefter diskuteres af de to lande. VVM-rapporten blev udarbejdet af en international kommission, hvor der foruden tjekker var eksperter fra Tyskland, Østrig og EU. Rapporten, der blev afleveret til regeringerne midt på året, konkludrede, at Temelin-værket med de indførte forbedringer er et sikkert anlæg, et synspunkt de tyske eksperter tilsluttede sig. Dette blev dog bestridt af af den tyske miljøminister Trittin. Da Trittin ikke var tilfreds med resultatet, trak han de to tyske eksperter ud af kommissionen. Af tekniske indvendinger er der i rapporten anført, at der er behov for yderligere afprøvning af sikkerhedsventiler. Endvidere er der ikke som ved tyske kernekraftværker taget højde for, at rørbrud i damp- og fødevandsledninger i reaktorbygningen kan medføre såkaldte piskesmæld-uheld, ved hvilke brud på en ledning kan beskadige andre rør af betydning for sikkerheden. Sådanne uheld behandles heller ikke i Frankrig og i USA. Spørgsmål har været diskuteret med det tyske Selskab for Reaktorsikkerhed, og det skønnes ikke, at det skulle hindre idriftsættelsen af værket.

Omtrent samtidig med VVM-rapporten kom en EU-rapport, som også – ligesom en tidligere WENRA-rapport fra 2000 om reaktorsikkerhed ved østreaktorer – har peget på to svagheder ved Temelin: Risiko for rørbrud i damp- og fødevandsledninger i reaktorbygningen og behov for yderligere afprøvning af sikkerhedsventiler.

Melk-dialogen blev afsluttet i efteråret med en fælles østrigsk-tjekkisk udtalelse, der siger, at landene respekterer nabolandets suveræne ret til at vælge egen energipolitik, og at de har fælles interesse i størst mulig nuklear sikkerhed. Tjekkiet anerkender Østrigs specielle interesse som naboland i sikkerheden af tjekkiske kernekraftværker. Parterne anerkender det nyttige i den førte dialog. Af de 29 punkter, som Østrig har rejst, er 9 afklarede, 10 vil blive nærmere diskuteret og for 10 har diskussionen nærmet parterne til hinanden. Selv om der ikke er opnået fuld enighed på alle tekniske punkter, har Melk-processen lettet dialogen mellem parterne.

Efter afslutningen af Melk-processen har den østrigske regering erkendt, at den ikke kan få lukket Temelin-værket, og at den derfor må affinde sig med værkets eksistens, men den vil ikke prøve at hindre Tjekkiets optagelse i EU. Jörg Haider, den tidligere formand for det østrigske Frihedsparti, har krævet, at Østrig skal hindre Tjekkiets optagelse i EU, med mindre Temelin-værket lukkes.

Den tyske miljøminister har hævdet, at de under starten opståede problemer gør værket uøkonomisk, og at det derfor bør lukkes snarest muligt. Det tjekkiske el-selskab, CEZ, der ejer Temelin, har udsendt en rapport, der konkluderer, at lukning af Temelin-værket vil være en økonomisk katastrofe for CEZ. Det tyske energiselskab E.ON har p.g.a. politisk pres meddelt CEZ, at det snarest muligt ønsker at ophæve en eksisterende aftale om effektudveksling, som har givet en nettoeksport fra Tjekkiet til Tyskland.

Den tyske holdning til Temelin-værket synes afhængig af, hvem der udtaler sig. Den tyske miljøminister ønsker værket lukket, og har foretaget en henvendelse herom til den tjekkiske regering. Dette er i Prag blevet opfattet som et forsøg på indgreb i tjekkisk suverænitet. Den tyske udenrigsminister har udtalt, at "vi ønsker ikke, at Temelin sættes i drift", men også at idriftsættelse af Temelin-værket ikke vil hindre Tjekkiets optagelse i EU. Den tyske forbundskansler har meddelt, at Temelin-værkets idriftsættelse ikke vil hindre Tjekkiets optagelse i EU, og at udestående tekniske uenigheder bør løses i overenstemmelse med Melk-aftalen.

Det har hele tiden været den tjekkiske regerings hensigt at sælge i hvert fald en del af dens aktier i CEZ, men røret om Temelin-værket og ikke mindst den tyske miljøministers henvendelse om lukning af værket fik i løbet af sommeren kursen på aktierne til at falde. På den anden side har den lave kurs gjort køb af CEZ-aktier mere favorabelt

for potentielle købere. I efteråret begyndte den tjekkiske stat at forhandle med forskellige europæiske og et enkelt amerikansk el-selskab om salg af CEZ-aktier. Også CEZ er interesseret i at få en strategisk partner i Vesteuropa.

Et eksperthold fra IAEA foretog i november en sikkerhedsvurdering af Temelin-værket. Det konkluderede, at de fleste sikkerhedsspørgsmål er løst, og at der arbejdes på løsning af de få resterende. De er ikke væsentlige, og vil efter holdets opfattelse ikke hindre en sikker drift af værket.

Afprøvning af Temelin-2 ved høj temperatur blev startet i august, og indladning af brændsel forventes at ske omkring årsskiftet.

Tjekkiet vil oplagre og deponere udbrændt brændsel indenlands.

Efter 11. september er der opstillet anti-fly missiler nær de tjekkiske kernekraftværker Dukovany og Temelin, ligesom bevogtningen på jorden er blevet skærpet.

Ungarn

Ungarn har et kernekraftværk, Paks-værket, i drift. Det består af fire VVER-440/213-enheder med en samlet effekt på 1750 MWe. Værket ligger ved byen Paks syd for Budapest nær Donau. Kernekraften dækker ca. 40% af landets el-forbrug.

Paks-værket planlægger at forlænge levetiden af dets fire enheder med 10 eller 20 år udover de oprindelig forudsete 30 år. I Ungarn giver den ungarske atommyndighed driftstilladelser af ubegrænset varighed, men med revurdering hvert tiende år. Der er også indgivet ansøgning om at øge effekten af enhederne til 500-510 MWe. Paks vil ved udgangen af 2002 afslutte et 210 mio. dollar sikkerhedsforbedringsprogram.

Efter at Rusland har åbnet for import af brugt reaktorbrændsel, overvejer Ungarn at sende sit udbrændte brændsel dertil. En komplikation kan være, at Paks er begyndt at få sit brændsel leveret fra BNFL i Storbritannien. Paks har også opført en opbevaringsfacilitet til brugt brændsel.

I 2003 åbnes 30% af det ungarske el-marked for fri konkurrence. Paks producerer Ungarns billigste el.

6.3 Skibsreaktorer

Skibsreaktorer anvendes især som kraftkilde i militære fartøjer. Specielt for ubåde er det fordelagtigt at anvende reaktorer som kraftkilde, fordi det tillader ubådene at være neddykket i ubegrænsede perioder. Reaktorer anvendes også i hangarskibe, fordi disse herved slipper for hyppige tilførsler af store mængder dieselolie. Inden for civil skibsfart anvendes reaktorer kun i isbrydende fartøjer, hvorved tankning af dieselolie i arktiske egne undgås.

USA har 82 nukleart drevne fartøjer (9 hangarskibe og 73 ubåde med i alt ca. 100 reaktorer) i drift. Rusland har 50 nukleare fartøjer (42 ubåde, 2 krydsere og 6 isbrydende skibe med i alt ca. 100 reaktorer) i drift. Storbritannien har 16 ubåde med 16 reaktorer i drift. Frankrig har 10 ubåde med 10 reaktorer i drift. Endelig har Kina 6 nukleart drevne ubåde i drift.

Som omtalt i sidste års statusrapport sank "Kursk", en af de russiske ubåde af Oscar-klassen, i 2000 under en flådeøvelse ca. 150 km nordøst for Murmansk. Ubåden blev i oktober 2001 hævet af et hollandsk firma ved hjælp af en flydepram, fra hvilken 26 løftekabler var ført ned til og fastgjort i Kursk, hvorefter ubåden blev løftet op og bragt ind til en tørdok i nærheden af Murmansk. Her vil den blive undersøgt og ophugget. Der blev i forbindelse med bjærgningen – som forventet – ikke målt nogen

frigørelse af radioaktive stoffer til havet. Der er ikke fremkommet nye oplysninger om årsagen til havariet. Dette var heller ikke at forvente, idet den forreste ende af ubåden, hvor den ødelæggende eksplosion fandt sted, var blevet savet af inden bjærgningen. Årsagen hertil er givetvis, at der stadig kan ligge torpedoer og/eller missiler i det forreste rum, som kunne komme til sprængning under bjærgningen. Russerne har angivet, at de selv senere vil bjærge den afsavede del af ubåden. Prisen på bjergningen er ikke oplyst, men den ligger formentlig på DKK 500-600 mio.

Rusland har bygget ca. 250 nukleart drevne fartøjer, hvoraf langt de fleste er ubåde. Af disse er ca. 190 i dag taget ud af drift og befinder sig på forskellige stadier af ophugning. Fordelingen af dekommissionerede russiske, nukleare ubåde fremgår af Tabel 6.1.

Tabel 6.1. Dekommissionerede russiske, nukleare ubåde

	Nordflåden	Stillehavsflåden	Ialt
Antal ubåde med brændsel	60	35	95
Antal ubåde uden brændsel	15	25	40
Antal udskårne reaktorsektioner	40	15	55
I alt	115	75	190

Når russiske nukleare ubåde tages ud af drift, fjernes våbensystemer og let fjernelige dele, hvorefter ubådene oplægges – ofte i årevis – ved flådebaser, stadig med brændsel i reaktorerne. For at sikre mod kritikalitetsuheld indføres en række sikkerhedsforanstaltninger, f.eks. blokeres kontrolstavenes bevægelse ligesom strømkablerne til stavenes drivmotorer skæres over. I den første periode efter nedlukning af reaktorerne skal eftervarmen i brændslet fjernes med kølepumperne. Senere opnås kølingen med naturlig cirkulation af kølevandet, og efter nogle års forløb kan reaktorerne drænes for kølevand uden, at brændslet overopvarmes.

I mange år gik fjernelsen af brændslet fra de russiske ubådes reaktorer meget langsomt, idet fem eller færre ubåde fik brændslet fjernet pr. år. I de allerseneste år er der sket en væsentlig stigning i antallet ubåde, der har fået brændslet fjernet, idet dette tal er kommet op på ca. 20 pr. år. Dette betyder, at alle udfasede russiske ubåde skulle kunne være uden brændsel i løbet af 5 år. Den forbedrede russiske kapacitet for fjernelse af brændsel skyldes finansiel støtte fra amerikansk og norsk side. Norge har bl.a. finansieret anskaffelsen af fire jernbanevogne til transport af det brugte brændsel til det russiske oparbejdningsanlæg ved Majak syd for Ural.

Kritikalitetsuheld under selve brændselsudtagningen hindres ved at dræne alt vand fra reaktoren, før brændselsudtagningen påbegyndes. Selve brændselsudtagningen er hidtil foretaget med særlige skibe, der imidlertid er ved at være udtjente. USA har derfor finansieret bygning af en landinstallation til brændselsudtagning ved såvel Nord- som Stillehavsflåden.

Et særligt problem udgøres af det udbrændte brændsel fra Alfa-klasse ubådene, hvis reaktorer blev kølet med en flydende metallegering (bly-vismut). Ved brændselsskift blev hele den udbrændte reaktorkerne med brændsel, kontrolstave og berylliummoderator taget ud på en gang og flyttet over i en anden tank, som også var fyldt med metallegeringen. Disse tanke var anbragt i betonbrønde i jorden. Det var meningen, at denne form for opbevaring kun skulle vare i få år, men nu er den nærmest blevet permanent. Det har rejst spørgsmålet om, hvorvidt indtrængning af vand som følge af korrosion af tankene kan medføre, at reaktoren bliver kritisk, og det ser ud til, at noget sådant ikke kan udelukkes. Der er derfor behov for at få taget reaktorkernerne op og få dem skilt ad, men der mangler faciliteter til at udføre denne operation.

Når brændslet er fjernet fra ubådene, er der kun ca. 5 % af radioaktiviteten tilbage i reaktorerne, ligesom tab-af-kølemiddeluheld og kritikalitetsuheld ikke længere er mulige. Herefter er ubåden klar til ophugning. Det er hidtil i Rusland sket ved, at man skærer reaktorsektionen og dens to nabosektioner ud af ubåden, og herefter ophugger de øvrige dele. Den resterende radioaktivitet befinder sig i reaktorsektionen. Alt udstyr i nabosektionerne fjernes, hvorefter disse lukkes ved påsvejsning af stålplader. Den herved fremkomne tre-sektion-enhed kan nu opbevares flydende ved en flådebase. Det ser dog ud til, at man er ved at gå over til lave én-sektion-enheder, der alene består af reaktorsektionen, og som ikke kan flyde. Sådanne enheder skal derfor opbevares på land. Denne metode benyttes i Frankrig. Russerne regner med en opbevaring af reaktorsektionen i 50 til 100 år. Hvad der derefter skal ske med den, er der ikke taget stilling til. Tidligere mente man, at man herefter kan genbruge materialerne, noget, man i Vesten ikke mener, er rentabelt.

Et særligt russisk problem er, at man har 5 ubåde med reaktorer, der har været udsat for reaktoruheld (kritikalitets- og tab-af-kølemiddel-uheld), hvorved brændslet er blevet beskadiget. Det betyder dels, at brændslet ikke kan tages ud, dels at hele reaktorsektionen er blevet kontamineret med høje strålingsniveauer til følge. Tidligere sænkede russerne sådanne beskadigede reaktorsektioner i havet i nærheden af Novaja Zemlja, men det er ikke længere tilladeligt, efter at Rusland har tilsluttet sig London konventionen mod havenes forurening. Der gennemføres for tiden i Rusland en undersøgelse af, hvad man skal gøre ved sådanne ubåde. Én mulighed er at trække ubådene op på land og derefter begrave dem under en høj af jord og beton.

Det radioaktive affald fra ubådene – udover det udbrændte brændsel – består dels af flydende, dels af fast affald. Gennem finansiel støtte fra Norge er der såvel i Murmansk som i Severodvinsk bygget anlæg til oprensning af flydende, radioaktivt affald fra ubåde. Ved Stillehavsflåden har Japan finansieret lignende anlæg. Det faste, lav- og mellemaktive affald, som fremkommer ved ophugningen, opbevares i Severodvinsk på værftet i et aflukket område, idet der ikke findes et regionalt deponi for dette affald i området. Også i Murmansk-området mangler man adgang til et deponi for fast, radioaktivt affald.

Den væsentligste årsag til, at dekommissioneringen og ophugningen af den aldrende russiske nukleare flåde går så langsomt og - også efter russisk opfattelse – ikke altid med de nødvendige sikkerhedsforanstaltninger, er Ruslands vanskelige økonomiske situation. For at fremme ophugningen har såvel USA, Japan og Norge ydet betydelige beløb, tilsammen over 500 mio. dollar. Bidragende til det langsomme tempo er også, at et antal russiske ministerier er involveret i arbejdet, og at der ikke er et af disse, der har det overordnede ansvar. Hertil kommer forskellige problemer m.h.t. lovgivning, national sikkerhed og adgang til baseområderne.

6.4 Det danske øststøtteprogram

Baggrunden for arbejdet med de nukleare sektorprogrammer

To ud af tre af de mest betydelige nukleare ulykker er indtruffet i Europa. Den største ulykke var Tjernobyl-ulykken i 1986, som medførte en betydelig forurening i dele af den baltiske region, Hviderusland, Ukraine og Rusland. Også andre dele af Europa blev berørt af ulykken, idet udslippet blev spredt over store landområder.

Før Tjernobyl-ulykken havde langt de fleste lande ikke et beredskab, der var forberedt på at håndtere en ulykke af en sådan karakter. I Danmark medførte ulykken, at der efterfølgende blev iværksat en omfattende modernisering af det danske atombered-

skab, herunder udvikling af nye målestationer, beslutningsstøttesystemer og informationssystemer.

Også de baltiske lande, Polen og Rusland konstaterede efter Tjernobyl-ulykken et behov for at højne beskyttelsesniveauet, således at beredskabet ville være bedre rustet i tilfælde af en ny nuklear ulykke i området. Allerede inden den danske sektorintegrerede miljøindsats blev iværksat, bistod Beredskabsstyrelsen de baltiske lande, Polen og Rusland med gennemførelsen af projekter til forbedring af den nukleare sikkerhed i området. Således blev der i 1994 igangsat projekter i Polen, Litauen og Rusland, og året efter blev programmet udvidet til også at omfatte Estland og Letland. Siden da har Beredskabsstyrelsen hvert år påbegyndt nye projekter i alle 5 lande.

Siden 1994 har Beredskabsstyrelsen anvendt over 100 mio. kr. på forbedring af sikkerheden i Østersøregionen ved gennemførelsen af øststøtteprogrammer. De gennemførte projekter omfatter levering og implementering af beslutningsstøtteværktøjer, informationssystemer og målestationer, samt udskiftning af kølevandspumper på Leningrad-værket.

I visse tilfælde har de nordiske lande samfinansieret projekter. Beredskabsstyrelsen deltager i øjeblikket i et fælles projekt med Miljøstyrelsen og NEFCO (Nordic Environment Finance Cooperation) vedrørende radioaktiv forurening af floderne omkring Ignalina-værket. Endvidere har modtagerlandene bidraget med lokal arbejdskraft, materialer på stedet og lignende.

Formål

Det centrale mål med de nukleare sektorprogrammer er at opnå en bedre beskyttelse af befolkning og miljø mod følgerne af en nuklear ulykke. Dette søges opnået gennem en forbedring af de tekniske og menneskelige ressourcer inden for området nuklear sikkerhed og beredskabsplanlægning. Herigennem øges modtagerlandenes evne til at reagere hurtigt og hensigtsmæssigt i tilfælde af en ulykke, således at der på beslutningstagerniveau kan blive truffet beslutning om iværksættelse af de mest formålstjenstlige beskyttelsesforanstaltninger. Endvidere bidrager programmet til at formindske risikoen for, at der indtræffer ulykker på kernekraftværker, ved gennemførelsen af konkrete projekter.

Det leverede udstyr m.v. ønskes integreret i de nationale beredskabsstrukturer på en fuldt operationel måde, således at beslutningstagerne i en given situation får præsenteret indkomne data på den mest formålstjenlige måde. Dette kræver naturligvis ikke blot det rette udstyr, men også personel til at betjene dette. Derfor har en stor del af fokus gennem årene været lagt på uddannelse og træning af det personel, der indgår i modtagerlandenes beredskabsorganisation.

Det er væsentligt, at der i tilfælde af en nuklear ulykke er et beredskab, som kan håndtere situationen professionelt og sikkert med de bedst mulige tekniske støttefunktioner, så virkningen på mennesker og miljø begrænses mest muligt.

Den forebyggende effekt

Energiforsyningen i Østersøregionen er meget afhængig af kernekraftværker i de tidligere østbloklande. Gennem den forebyggende indsats, som landene selv forestår og hvortil de modtager støtte fra international side, højnes sikkerhedsniveauet og evnen til at reagere hurtigt og hensigtsmæssigt, hvis der skulle indtræffe en ulykke.

Uanset holdningen til kernekraft, er det givet, at visse af regionens værker vil fortsætte driften i en årrække, og derfor er det vigtigt, at der fokuseres på den nukleare sikkerhed og atomberedskabet i regionen. Inden for området nuklear sikkerhed er et vigtigt

aspekt, at landegrænser ikke er naturlige grænser i en forureningssituation. Det er derfor ikke alene befolkning og miljø i modtagerlandene, der tilgodeses af en forbedret sikkerhed eller et forbedret atomberedskab. Også nabolandenes befolkninger og miljø vil blive tilgodeset, hvis der skulle indtræffe en ny nuklear ulykke i området. Dette gælder også Danmark.

Sideløbende med gennemførelsen af de nukleare sektorprogrammer i de baltiske lande, Polen og Rusland, har Beredskabsstyrelsen taget initiativ til en aftale om løbende, daglig udveksling af måledata mellem alle Østersørådets medlemslande (dvs. østersølandene samt Norge og Island). Aftalen blev underskrevet i juni 2001.

Det danske atomberedskab har hermed fået forbedrede muligheder for hurtigt at kunne reagere på en nuklear ulykke, hvis meddelelsen om ændrede strålingsniveauer indløber fra et af ovennævnte lande. Faktuelt ligger en række kernekraftværker i Østeuropa, og en radioaktiv sky må nødvendigvis bevæge sig over et antal lande, inden den rammer Danmark. Det er vigtigt, at de baltiske lande og Polens beredskaber er i stand til ikke bare at måle strålingsniveauet, men også kan tolke de indkomne data, således at varslingen af øvrige lande, der kan blive berørt, sker hurtigt og kompetent.

Gennemførte projekter

Beredskabsstyrelsen har gennem hele forløbet siden 1994 bestræbt sig på, at de miljø- og beredskabsorienterede projekter, der er relevante for alle landene, gennemføres parallelt i hele regionen. Derved opnås både en intern koordinering i landene og et regionalt samarbejde over landegrænserne, hvilket er af stor betydning for en effektiv håndtering af grænseoverskridende forureningssituationer. Derudover har Beredskabsstyrelsen som tidligere nævnt også forestået større projekter på regionens kernekraftværker, Leningrad-værket og Ignalina-værket.

I det følgende gives en kort beskrivelse af beredskabssystemer, som Beredskabsstyrelsen har leveret til de baltiske lande, Polen og Rusland samt projekter, som Beredskabsstyrelsen gennem årene har gennemført på ovennævnte kernekraftværker.

ARGOS

ARGOS er et beslutningsstøttesystem, der integrerer alle relevante data i forbindelse med spredning af radioaktive stoffer, og gør det muligt at vise spredningen, som den er målt. ARGOS kan også beregne prognoser for den atmosfæriske spredning og deponering og af strålingsdoser til befolkningen. En af de centrale funktioner er dermed muligheden for at forudsige konsekvenserne af en nuklear ulykke.

Systemet kan vise måledata fra flere forskellige typer af måleudstyr, f.eks. målestationer, mobile måleenheder samt meteorologiske data, og kombinere disse oplysninger i forskellige grafiske præsentationer. Derfor kaldes systemet et beslutningsstøttesystem, idet grafiske fremstillinger ofte er mere forståelige end lister med måledata.

ARGOS er i øjeblikket ved at blive udvidet med en større radioøkologisk dosismodel. Ved hjælp af denne vil der kunne forudsiges doser til mennesker fra radioaktivitet i fødekæden. Dette er vigtigt, hvis der i forbindelse med en ulykke skal indføres restriktioner over for visse typer af fødevarer. I tilknytning til igangværende EU-projekter forventes andre modeller også indbygget i systemet i de kommende år.

Det eneste reelle alternativ til ARGOS er i Europa RODOS-systemet, der er udviklet for EU-midler. Dette system tager sit udgangspunkt i beregninger, og ikke som ARGOS i målinger, og kan derfor ikke vise den målte forurening. For beslutningstagere vil et beslutningsstøttesystem, der bygger på målinger, give større sikkerhed i beslutningsprocessen end et system, der alene bygger på beregninger.

NUCINFO

NUCINFO er en forkortelse for "Nuclear Information System". NUCINFO er en web-baseret adgang til databaser, kort, dokumenter o.s.v., der indeholder alle relevante oplysninger om kernekraft, kernekraftværker, ulykker, mulige konsekvenser, on-line måledata, on-line kommunikation med informatører m.v.

I tilfælde af en aktivering af atomberedskabet vil såkaldte "spørge/svar centraler" blive etableret i Beredskabsstyrelsen og på Beredskabsstyrelsens tekniske Skole i Tinglev. Centralerne vil blive bemandet med reservebefalingsmænd, som er blevet uddannet i brugen af NUCINFO. Befolkningen vil kunne ringe til disse spørge/svar centraler og få svar på spørgsmål vedrørende den konkrete situation eller generelt om nuklear sikkerhed. Eksperter vil løbende indlægge opdateret information i NUCINFO til brug for spørge/svar centralerne. Derudover fungerer systemet som informationsdatabase for eksperter og beslutningstagere.

Beskrivelsen ovenfor dækker det danske beredskab, men modtagerlandene har tilsvarende muligheder i deres beredskabsorganisationer.

PMS og opstilling af målestationer

PMS er en forkortelse for Permanent Måle System. I alle modtagerlandene er deropstillet en række avancerede målestationer, som løbende måler stråling, temperatur og nedbørsmængder (Figur 6.1). Måledata overføres til en central server med fastsatte mellemrum. Hvis fastsatte niveauer overskrides, alarmeres de vagthavende. Alarmen kan automatisk overføres til en vagthavendes personsøger eller mobiltelefon.



Figur 6.1. Placering af de opstillede målestationer.

Der foretages en spektralanalyse af målingerne for at bestemme nuklidsammensætningen, og det vil hermed være muligt at afsløre en unormal situation. Målestationerne kan varsle om radioaktiv forurening ned til et meget lavt niveau og samtidig konstatere

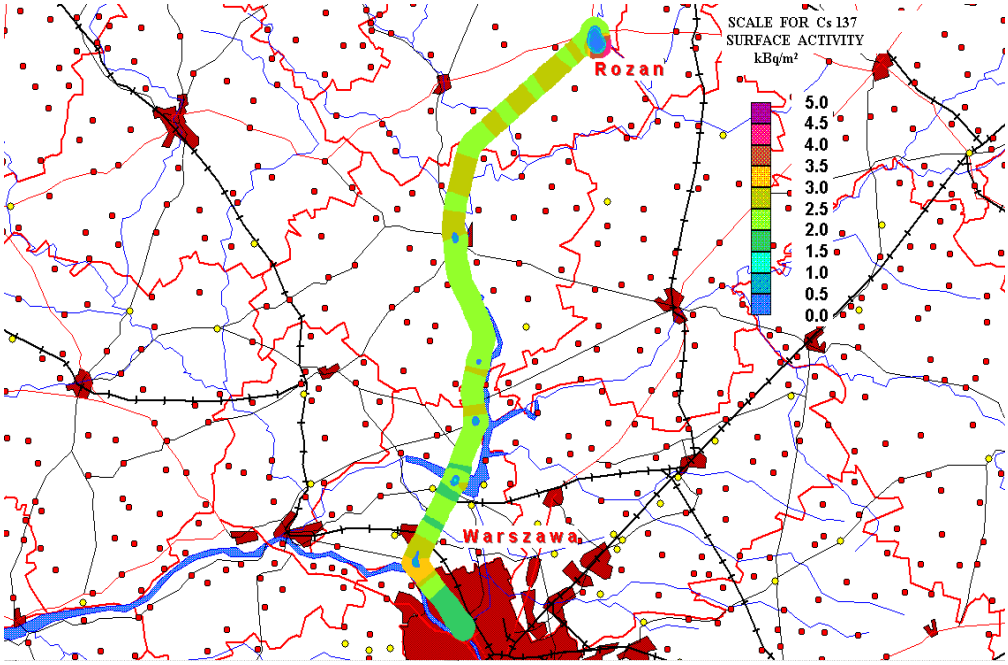
hvilke radioaktive stoffer, der giver anledning til forureningen. Det gør det muligt at skelne mellem radioaktiv forurening fra en ulykke og de hyppige og ofte markante variationer i den naturlige baggrundsstråling.

Opstillingen af målestationerne er over årene blevet det mest omkostningskrævende projekt, men samtidig også et af de mest succesfulde. Data fra målestationerne udgør en del af beslutningsgrundlaget for håndtering af en nuklear ulykke. Det er disse data, der udveksles mellem landene i Østersøregionen som følge af den tidligere beskrevne aftale.

Målestationerne er dansk udviklede i et samarbejde mellem Beredskabsstyrelsen og firmaet Prolog Development Center A/S. Den ekstrabevilling, der blev givet til Beredskabsstyrelsen efter terrorangrebet i USA den 11. september 2001, vil bl.a. blive benyttet til modernisering af de danske målestationer.

Målebiler

Ud over de stationære målestationer har Beredskabsstyrelsen leveret en målebil til hvert af de baltiske lande samt til Rusland og Polen. Bilerne har samme type måleudstyr som de stationære målestationer og i tilgift en GPS enhed, der bestemmer bilens position, så målingerne automatisk kan plottes ind på kort (Figur 6.2).



Figur 6.2. Eksempel på målinger foretaget med målebilen.

Brandbeskyttelsesanlæg til Leningrad-værket

I 2000 blev et større projekt færdigt på Leningrad-værket. Det var brandbeskyttelsesanlæg til hhv. blok 1&2 og blok 3&4 på værket (Figur 6.3). Inden gennemførelsen af dette projekt havde værket ikke tilstrækkelig vandforsyning til bekæmpelse af selv en ganske ordinær brand i disse blokke. Projektet omfattede opførelse af vandreservoir, pumpeanlæg m.v., hvorved sikkerheden omkring bekæmpelse af brand på værket blev væsentligt forbedret

.



Figur 6.3. Brandbeskyttelsesanlæg til Leningrad-værket. De røde containere til højre i billedet indeholder tre uafhængige, færdigmonterede systemer.

Udskiftning af fire kølevandspumper på Leningrad-værket
I begyndelsen af 2002 står Beredskabsstyrelsen over for at skulle aflevere endnu et stor projekt til Leningrad-værket. Dette projekt vedrører udskiftningen af fire kølevandspumper.

De tidligere kølevandspumper er fra værkets opførelse for mere end 25 år siden. Et krav til de nye kølevandspumper er, at disse er driftsikre under en oversvømmelse. Beregninger har nemlig vist, at værket statistisk set vil blive oversvømmet en gang hver 75. år, og pumperne er placeret under vandoverfladen. Derfor er det essentielt, at de nye pumper beviseligt ville kunne fortsætte kølingen på trods af en eventuel oversvømmelse.

I samarbejde med hovedleverandøren Wicotec A/S samt danske og tyske underleverandører er det lykkedes Beredskabsstyrelsen at få produceret pumper og motorer, der har vist, at de fortsætter driften selv ved en oversvømmelse. Pumper og motorer er nu installeret, og alene overdragelsen mangler at finde sted.

Vibrationsmåleudstyr til Ignalina- og Leningrad-værkerne
Både til Ignalina- og Leningrad-værkerne er der leveret vibrationsmåleudstyr. Disse projekter er gennemført i samarbejde med Brüel og Kjær A/S.

Fremtiden

Det er til stadighed vigtigt, at de baltiske lande, Polen og Rusland er i stand til at indsamle og fortolke måledata, således at en nuklear forurening kan blive opdaget på det absolut tidligste tidspunkt. Det er af stor vigtighed for befolkningerne i hele Østersøregionen, herunder også Danmark, at der bliver handlet effektivt og rationelt i tilfælde af en sådan situation.

Der er i disse år megen fokus på ”de usikre kernekraftværker” i Østeuropa. Selvom nedlukningsforhandlinger med nogle af disse kernekraftværker er påbegyndt, er risikoen for nukleare ulykker fortsat tilstede, uden at der hermed er taget stilling til sandsynligheden for, at en ulykke skulle indtræffe.

Atomberedskab og nuklear sikkerhed er ikke altid højt prioriterede områder i lande, der står over for store økonomiske udfordringer. Det er et mål for Beredskabsstyrelsen, at de lande, der har modtaget støtte gennem den sektorintegrerede miljøindsats, med tiden bliver i stand til fuldt ud at indgå på lige fod med andre lande i de etablerede internationale samarbejdsfora om nuklear sikkerhed og dermed sikre, at indgreb i tilfælde af en nuklear ulykke vil ske hurtigt og sikkert.

7 Øvrige lande

7.1 Nord- og Sydamerika

Argentina

Argentina har to kernekraftenheder i drift. Begge enheder er forsynet med tungtvandsreaktorer. Den ene, Embalse, er en canadiskbygget trykrørsreaktor af CANDU-typen, og den anden, Atucha, er en tyskbygget tryktanksreaktor. Tilsammen har de to enheder en nettoeffekt på 940 MWe og dækker ca. 10% af Argentinas el-produktion. Privatisering af værkerne er under overvejelse.

Byggeriet af enheden Atucha-2, som har været indstillet i en årrække, er ikke som forventet genoptaget efter regeringsskiftet, da økonomien i landet er meget dårlig. Atucha-2 er ca. 80% færdiggjort.

Licensen til udnyttelse af Cerro Solo uranforekomsten (3900 t, lødighed ca. 0,35 %) har været udbudt, men de indkomne tilbud har ikke kunnet accepteres.

Brasilien

Brasilien har to kernekraftenheder i drift. Begge er forsynet med trykvandsreaktorer med en samlet nettoeffekt på 1860 MWe. Den første enhed, Angra-1, blev leveret af Westinghouse i 1985, og den anden, Angra-2, der er leveret af Siemens, blev første gang kritisk og koblet til nettet i 2000. De to enheder dækker ca. 3% af Brasiliens elektricitetsbehov.

Efter færdiggørelsen af Angra-2 er der planer om, at bygge søsterenheden Angra-3 (1310 MWe) færdig. Arbejdet på Angra-3 har ligget stille i 10 år og enheden vil tidligst kunne tages i drift i 2006. Planerne møder modstand fra det brasilianske miljøråd, Conama, der forlanger, at nogle driftsmæssige problemer med de eksisterende anlæg løses, før en tilladelse til færdiggørelse af Angra-3 kan overvejes.

Canada

Canada har 22 kernekraftenheder, der alle er forsynet med reaktorer af CANDU-typen. Heraf er de 8 lagt op, men der er planer om igen at tage de fleste i drift. De 14 enheder, der er i drift, har en samlet installeret effekt på godt 10.000 MWe og står for ca. 13% af Canadas elproduktion.

Ontario Power Generation (OPG) ejer 20 af Canadas kernekraftenheder. Som et led i liberaliseringen af elektricitetsmarkedet i Canada skal OPG over en årrække afgive kontrollen med hovedparten af sin produktionskapacitet. Et første skridt blev taget i 2000, da OPG lejede de 8 kernekraftenheder i Bruce-A og Bruce-B værkerne ud til Bruce Power Partnership (BPP), som er et datterselskab af British Energy (BE). De fire enheder i Bruce-A er lagt op, medens de fire i Bruce-B er i drift. BPP mener, at der er en reel mulighed for at få i hvert fald to af enhederne i Bruce-A i gang igen. De canadiske myndigheder har i 2001 godkendt BPP's overtagelse af driften af Bruce, foreløbigt i 2 år. Med henblik på at få tilladelse til genstart af enhed 3 og 4 på Bruce-A skal der udfærdiges en VVM-redegørelse.

Alle fire enheder på Pickering-A værket, som har været ude af drift i nogle år, har fået tilladelse til efter gennemførelse af en række forbedringer at genoptage produktionen. Den første enhed ventes i drift tidligt i 2002, og alle fire forventes at være i drift ved udgangen af 2003.

Point Lepreau (640 MWe CANDU-reaktor) forventes nedlagt i 2008-2010, da trykrørenes levetid vil være udløbet på dette tidspunkt. En renovering med levetidsforlængelse til 2032 overvejes, ligesom British Energy overvejer køb af kraftværket, hvis levetidsforlængelsen godkendes.

Regeringen har foreslået parlamentet, at der udarbejdes en plan for langsigtet opbevaring af højaktivt affald. Der er givet tilladelse til bygning af et midlertidigt lager for brugt brændsel ved Bruce-A værket med plads til opbevaring af op til 700.000 brændselsbundter af de forholdsvis små CANDU elementer.

Mexico

Mexico har to kernekraftenheder, Laguna Verde-1 og -2, der begge er forsynet med kogendevandsreaktorer leveret af General Electric. Den samlede nettoeffekt er 1310 MWe, og kernekraften står for ca. 5% af landets el-produktion.

USA

USA har 103 kernekraftenheder i drift, heraf 69 forsynet med en trykvandsreaktor og 34 med en kogendevandsreaktor. Dertil kommer Browns Ferry-1, en 1070 MWe kogendevandsreaktor, som har været ude af drift siden 1985, men som stadigvæk har en driftstilladelse. Værkernes samlede nettokapacitet er ca. 98.000 MWe, og de står for ca. 20% af USA's el-produktion.

Året har været præget af:

- den nye regerings positive indstilling til udbygning af kernekraften
- fortsat reorganisering af el-sektoren
- forlængelser af driftstilladelser (20 år udover oprindeligt 40 år)
- terrortruslen mod nukleare anlæg (se temaartiklen herom)
- debatten om etablering af lager for brugt reaktorbrændsel i Yucca Mountain
- forlængelse af Price-Anderson-loven til 2017 (forsikring af kernekraftværker)

Den amerikanske regering nedsatte i 2001 en arbejdsgruppe under ledelse af vicepræsident Cheney. Arbejdsgruppen har anbefalet en udbygning af kernekraften med 50.000 MWe frem til 2020 samt en forenkling af myndighedsprocedurerne, så projekterne ikke forsinkes unødigt. Disse forslag støttes af kernekraftindustrien og elbranchen, mens kongressen er knap så positivt indstillet.

Det fri elmarked, som i USA er ved at afløse det tidligere system med koncessioner, har medført en reorganisering af el-sektoren. Selskaberne konsoliderer sig ved sammenlægninger og omorganiseringer, hvorved produktion og distribution skilles ad, køb og salg af kraftværker, og ved samarbejde om driften af mindre selskabers enheder.

Den planlagte sammenlægning af Entergy og Florida Power and Light Co. blev aflyst i april, og Entergy har i stedet købt to kernekraftenheder i 2001 og er i gang med yderligere opkøb.

Arkansas Nuclear One-1 fik i juni 2001 forlænget sin drifttilladelse frem til 2034. Der er søgt om forlængelse af driftstilladelserne for yderligere 15 enheder i 2001.

Exelon er gået i gang med opgradering af værkerne Byron og Braidwood. I løbet af de næste fire år skal Exelons 11 enheder opgraderes med i alt 800-900 MWe. Flere andre værker er i gang med tilsvarende opgraderinger, der især sigter mod forbedringer af

turbinernes virkningsgrader. Samlet har USA's reaktorsikkerhedsmyndighed, NRC, i 2001 godkendt opnormeringer af 20 enheder med i alt 1090 MWe, hvoraf nogle forudsætter tekniske forbedringer, der endnu ikke er udført.

TVA har overvejet genstart af Browns Ferry-1 (1070 MWe), som har været ude af drift siden 1985 (uden at aflevere driftstilladelsen), men dette er foreløbigt strandet på finansieringsproblemer og usikkerhed omkring en eventuel forlængelse af driftstilladelsen for denne og de to andre reaktorer på værket. Zion-1 og -2 (hver på 1090 MWe), der blev standset i 1998, overvejes også genstartet i forbindelse med et muligt salg til Exelon.

Bygning af kernekraftenheden Washington Nuclear Project, WNP-1, blev standset i 1994, da værket var 75 % færdigbygget. Det undersøges i øjeblikket, om det vil kunne betale sig at færdigbygge værket, men de foreløbige undersøgelser tyder ikke herpå. På samme sted er der en enhed af samme type (Columbia/WNP-2), som blev taget i drift i 1984.

Spørgsmålet om, hvad elværkerne skal stille op med det brugte uranbrændsel, bliver stadig mere påtrængende. Alle kernekraftværker har bassiner og måske også tør opbevaringsplads til det brugte brændsel de første år, efter at det er taget ud af reaktoren, men før eller senere skal det sendes væk. I USA bliver brugt brændsel ikke oparbejdet, men skal deponeres i en egnet geologisk struktur. Anlægget forventes placeret i Yucca Mountain i det gamle prøvesprængningsområde i Nevada, men det er foreløbig tre år forsinket, og konstruktionen er end ikke påbegyndt. En studie af miljøeffekterne, udført af DOE, peger på, at det brugte brændsel kan deponeres forsvarligt i Yucca Mountain. En beslutning om placeringen ventes taget i februar 2002, og anlægget kan tidligst være færdigt i 2010. Yucca Mountain er dog et meget varmt emne i den amerikanske debat. Der er stor modstand mod projektet i Nevada, og den ene af delstatens senatorer, Harry Reid, er modstander af projektet og har en meget central placering i beslutningsprocessen som næstformand for senatsflertallet og formand for senatets miljø-komité i sager vedrørende nuklear sikkerhed.

Der er foreløbig oplagret 40.000 tons brugt brændsel ved mere end 70 kernekraftværker i USA, og mængden øges med 2000 tons årligt. Hvis ikke nogle af kernekraftværkerne skal indstille produktionen, må der indrettes midlertidige faciliteter. Et forslag vedtaget af kongressen om et midlertidigt lager ved siden af Yucca Mountain blev standset af et veto fra præsident Clinton. I stedet forhandler en gruppe elværker om at få en aftale om midlertidig oplagring med en indianerstamme i et reservat i Utah, mens andre elværker udvider de eksisterende lagre ved værkerne. Delstaten Utah forsøger at hindre oprettelse af et sådant lager ved gennemførelse af lokal lovgivning, der stiller meget store krav til sikkerheden, og på den måde gør et midlertidigt lager i Utah dyrere end løsninger på de enkelte kraftværker. Uanset hvilken løsning, der vælges, bliver det dyrt for el-værkerne, og de første retssager mod DOE er da også i gang. En af de første domme går bl.a. ud på, at DOE ikke blot var forsinket, som DOE selv mente, men ligefrem havde gjort sig skyldig i kontraktbrud.

Price-Anderson loven regulerer ansvarsforholdene og begrænser kernekraftværkernes økonomiske ansvar i tilfælde af en ulykke. En forlængelse af denne lov frem til 2017 er på vej igennem kongressen og mangler kun Senatets endelige godkendelse. I Repræsentanternes Hus blev den i 2001 godkendt enstemmigt.

7.2 Afrika, Asien og Australien

Indien

I begyndelsen af 2001 havde Indien 14 kernekraftenheder i drift med en samlet kapacitet på 2700 MWe. Kernekraften tegnede sig for 3 % af elproduktionen i 2000.

De eksisterende kraftreaktorer har alle en forholdsvis lille enhedsstørrelse, men større reaktorer er på vej. Ved Tarapur nær Bombay er to indisk-designede 450 MWe CANDU-enheder under opførelse, og der er truffet aftale om opførelse af to russisk-designede 1000 MWe VVER enheder i Kudankulam i den sydlige delstat Tamil Nadu.

På grund af sin kernevåbenpolitik er Indien underlagt internationale restriktioner, men landet har opbygget sin egen civile kernekraftindustri støttet af et betydeligt forsknings- og udviklingsprogram. En 40 MWt hurtigreaktor (FBR) er i prøvedrift, og man forventer at have en 500 MWe FBR-enhed i drift i 2010. Brændselskredsløbet omfatter alt undtagen uranberigning. Indien har nogle af verdens største thoriumreserver, så man arbejder også med udvikling af thorium-baseret brændsel.

Der planlægges en udbygning af kernekraften, så Indien når en installeret effekt på 20.000 MWe i 2020 med en milepæl på 8.000 MWe i 2010.

Japan

Japan har 53 kernekraftenheder i drift med en samlet installeret effekt på 43.000 MWe. I 2000 var kernekraftens andel af elproduktionen 34%. Reaktorerne er alle letvandsreaktorer med lidt flere kogende- end trykvandsreaktorer. Fire enheder er under opførelse og yderligere ni enheder er planlagt.

Japans nukleare forsknings- og udviklingsprogram omfatter fortsat hurtige formeringsreaktorer. Prototypen Monju på 280 MWe har ligget stille siden et uheld i 1995, hvor flydende natrium lækkede fra et sekundært kølekredsløb. Der er taget skridt til at genstarte den om et par år efter gennemførelse af en ny sikkerhedsvurdering og godkendelsesprocedure.

Japan Atomic Power Company har indleveret en rapport til ministeriet for økonomi, handel og industri med detaljerede planer for dekommissionering af Tokai-1, som er en gaskølet reaktor på 159 MWe. Reaktoren blev taget i brug i 1966 og lukket i 1998 af økonomiske grunde. Det er den første kommercielle reaktor i Japan, der skal dekommissioneres. Projektet er planlagt til at vare 17 år, med forberedende arbejder og fjernelse af hjælpesystemer i perioden 2001-2010 efterfulgt af fjernelse af selve reaktoren og reaktorbygningen i perioden 2011-2017.

Kina

Kina har tre kernekraftenheder i drift, en 300 MWe PWR-enhed af kinesisk konstruktion og to franskbyggede 900 MWe PWR-enheder. I 2000 tegnede kernekraften sig for 1,2% af elproduktionen.

Yderligere otte enheder er under opførelse. Det drejer sig om to 650 MWe PWR af kinesisk konstruktion, to 980 MWe PWR-enheder af fransk konstruktion, to 700 MWe CANDU-enheder og to VVER-1000 enheder af russisk konstruktion. Kina importerer således kernekraftteknologi fra forskellige lande som led i en teknologioverførsel til landets egen kernekraftindustri. Den ene nye reaktor af kinesisk design ventes sat i kommerciel drift i juni 2002, og de to nye reaktorer af fransk design ventes sat i kommerciel drift i henholdsvis juli 2002 og marts 2003. Der forudses en betydelig udbyg-

ning af elforsyningen i Kina primært baseret på vandkraft og fossile brændsler, men også med et bidrag fra kernekraft.

Kina har egne uranreserver og stiler mod at beherske hele brændselskredsløbet. Forskningsprogrammet omfatter både formerings- og højtemperaturreaktorer. En eksperimentel 10 MW gaskølet højtemperaturreaktor blev igangsat i december 2000 ved instituttet for nuklear energiteknologi ved Tsinghua Universitet i Beijing.

Pakistan

Pakistan har to kernekraftenheder i drift, Kanupp NPP, som er en 125 MWe CANDU-enhed fra 1972, og Chasma NPP, som er en 300 MWe PWR-enhed af kinesisk design, der blev taget i brug i juni 2000. I 2000 tegnede kernekraften sig for 1,7% af elproduktionen. Der er ikke planlagt yderligere kernekraftværker i Pakistan på nuværende tidspunkt.

Sydafrika

Sydafrika har to PWR-enheder i drift på kernekraftværket i Koeberg med en samlet effekt på 1840 MWe. I 2000 tegnede kernekraften sig for 7% af elproduktionen.

Det statsejede kraftværksselskab Eskom er i gang med at udvikle en 100 MWe gaskølet højtemperaturreaktor-enhed med kugleformede brændselselementer (pebble bed reactor). I 2000 investerede det britiske selskab BNFL og det amerikanske PECO i det sydafrikanske projekt, og i 2001 har et konsortium bestående af et tysk (Nukem Nuklear), britisk (BNFL) og sydafrikansk selskab (Engineering Management Services) vundet en kontrakt for opførelse af en fabrik til produktion af brændselskugler til reaktoren. Det forventes, at reaktoren kan sættes i drift i 2005.

Sydkorea

Sydkorea har 16 kernekraftenheder i drift med en samlet installeret effekt på 13.000 MWe. I 2000 tegnede kernekraften sig for 41% af elproduktionen. Sydkorea er dermed det asiatiske land, der har den højeste nukleare dækningsgrad.

De eksisterende 16 enheder består af tolv PWR- og fire CANDU-enheder. Yderligere fire enheder er under opførelse, alle 1000 MWe enheder af koreansk design (PWR). Næste generation af koreanske kraftreaktorer er under udvikling og forventes at blive PWR-enheder på 1400 MWe. Sydkorea er stort set selvforsynende med hensyn til kernekraftteknologi. Dog udelukker en samarbejdsaftale med USA selvstændig uranberigning og oparbejdning af brugt brændsel.

Taiwan

Taiwan har tre kernekraftværker i drift med seks LWR-enheder på i alt 4900 MWe. I 2000 tegnede kernekraften sig for 24% af elproduktionen.

Et fjerde kernekraftværk er under opførelse ved Lungmen med to 1350 MWe ABWR-enheder leveret af General Electric og japanske partnere. I oktober 2000 meddelte Taiwans præsident, at opførelsen af Lungmen-værket skulle stoppes. Præsidenten og regeringen kommer fra Democratic Progressive Party, som kom til magten tidligere på året, og som er imod kernekraft. Standsningen af Lungmen-projektet skete i forbindelse med stridigheder med parlamentet om budgettet for 2001. I februar 2001 blev regeringen og oppositionen imidlertid enige om at fortsætte opførelsen af Lungmen-

værket, som på det tidspunkt var ca. 34% gennemført. Forsinkelsen har gjort projektet dyrere, og det vil formentlig først være fuldført et år senere end oprindelig planlagt.

Andre lande

Iran har en aftale med Rusland om at færdiggøre en af de to PWR-enheder ved Bushehr, der blev lagt i mølpose efter revolutionen i 1979. Der var oprindeligt tale om tyske reaktorer leveret af Siemens, men der installeres nu en russisk VVER-1000 enhed, der skal være klar i 2003. Fra russisk side forventes det, at man skal levere yderligere en VVER-1000 reaktor til Bushehr-værket.

Nordkorea accepterede i 1994 at standse sit nukleare våbenprogram og underkaste sig IAEA kontrol mod til gengæld at modtage to sydkoreanske 1000 MWe PWR-enheder finansieret af et USA-ledet internationalt konsortium. En kontrakt om opførelse af de to reaktorer er indgået med det sydkoreanske selskab Kepco. Anlægget vil blive opført ved Sinpo, og forberedende arbejder er påbegyndt på stedet. Projektet er forsinket, bl.a. fordi Nordkorea endnu ikke fuldt ud har levet op til IAEA's krav til safeguardskontrol (kontrol af fissilt materiale).

Australien har ikke kernekraftværker, men har ligesom en række afrikanske stater (Gabon, Niger og Namibia) en betydelig produktion og eksport af uran. I 2001 har den australske regering godkendt start af en ny uranmine, Honeymoon, som ventes i kommerciel drift i 2002. I forvejen er tre uranminer i drift i Australien: Ranger, Olympic Dam og Beverly.

8 Reaktorudviklingen

Der foregår til stadighed en udvikling inden for de kendte reaktortyper. Denne består i vidt omfang af forbedringer, der er baseret på driftserfaringer.

8.1 Tendenser inden for reaktorudvikling

Øgede belastningsfaktorer
De seneste år har mange kernekraftværker haft en væsentlig forbedret driftsstatistik. Dette gælder bl.a. værker i USA, hvor belastningsfaktoren, d.v.s. forholdet mellem den producerede elektriske energi og den mængde energi, der kunne være produceret, hvis anlægget havde kørt ved fuld effekt i den pågældende periode, er steget fra ca. 65 % for ti år siden til ca. 75 % i dag. Den øgede belastningsfaktor svarer til bygning af 6-7 enheder på hver 1000 MWe. Årsagen til den øgede produktion er, at man er blevet væsentlig bedre til at køre anlæggene. Værkerne har kortere driftsstop, og man er blevet bedre og hurtigere til at udføre vedligeholdelsesarbejder i de planlagte nedlukningsperioder.

Opgradering af effekten
Mange kernekraftværker har fået tilladelse til at øge den nominelle effekt. Således har 20 enheder ud af USA's 103 reaktorer i 2001 fået tilladelse til at øge effekten, svarende til en samlet effektstigning på 1090 MWe. Myndighederne har givet tilladelsen på baggrund af moderniseringer og forbedringer på de enkelte anlæg.

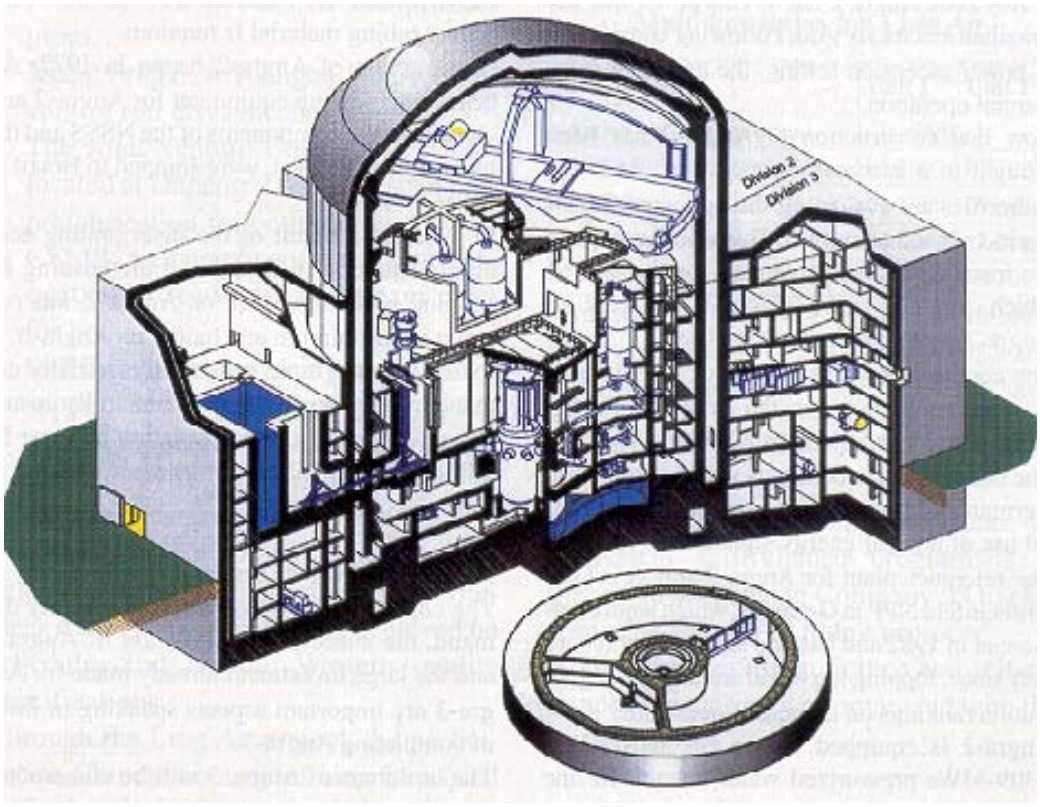
Levetidsforlængelse
Endelig overvejes det mange steder i verden at forlænge levetiden af kernekraftværkerne fra de normale 30-40 år til 50-60 år. Myndighederne i USA har således givet 8 enheder tilladelse til at øge levetiden med 20 år og flere ansøgninger er på vej. I England og Rusland har man også givet flere enheder tilladelse til fortsat drift ud over de sædvanlige 30 år, en tendens der forventes at brede sig til andre lande.

8.2 Trykvandsreaktorer

EPR - Den europæiske trykvandsreaktor

Den europæiske trykvandsreaktor EPR har været under udvikling siden 1989. På dette tidspunkt besluttede et konsortium bestående af det franske Framatome og det tyske Siemens, hvis nukleare aktiviteter nu er slået sammen under navnet, Framatome ANP, (Advanced Nuclear Power), at designe et anlæg, som kunne opfylde fremtidens krav til et kernekraftværk. Designet baserer sig på de erfaringer, man har opnået i begge lande gennem mange års drift af kernekraftværker, og man har hele tiden forsøgt at tilpasse designet til nye ønsker fra de potentielle købere af anlæggene. De nukleare myndigheder i Tyskland og Frankrig er løbende blevet taget med på råd under udviklingen og har sagt god for designet.

En EPR-enhed er i sin grundmodel dimensioneret til en effekt på 1530 MWe og en planlagt levetid på 60 år. Det årlige vedligehold inkl. brændselsskifte forventes at kunne ske på 16-19 dage, således at reaktoren skulle kunne være i drift mere end 90% af tiden.



Figur 8.1. EPR-reaktorbygning.

I Figur 8.1 er vist en tegning af EPR's reaktorbygning. Reaktoren er omgivet af to indeslutninger: En indre indeslutning, der er konstrueret til at modstå tryk- og temperaturbelastninger som følge af reaktoruheld, og en ydre indeslutning, der skal beskytte reaktoren mod ydre påvirkninger, f.eks. jordskælv og flystyrt. Mellemrummet mellem de to indeslutninger benyttes til at opsamle potentielle lækager fra den indre indeslutning, således at der ikke sker udslip til omgivelserne.

Sikkerheden af den europæiske trykvandsreaktor har haft høj prioritet i udarbejdelse af designet. De nederste dele af reaktorbygningen er dimensioneret til at kunne klare selv en kernenedsmeltning uden, at det skulle være nødvendigt at evakuere den omkringboende befolkning. Det cirkulære udsnit på tegningen viser fundamentet af reaktorbygningen med ruminddelinger til at opfange og køle en smeltet kerne.

Hvornår det første anlæg bliver bygget er et åbent spørgsmål. I Frankrig forventer man ikke at skulle bygge nye nukleare enheder før år 2010. Den tyske lovgivning tillader ikke, at man bygger nye kernekraftenheder, men EPR-designet kan også være af interesse for andre lande.

Westinghouse AP600

Den amerikanske Nuclear Regulatory Commission (NRC) har certificeret Westinghouse's design af den avancerede trykvandsreaktor, AP600. Denne certificering giver mulighed for at lade AP-600-reaktoren indgå i nye kernekraftværker. AP600-reaktoren kan opføres af modulære komponenter og er forsynet med passive sikkerhedssystemer. Levetiden er 60 år.

Westinghouse AP1000

En modificeret udgave af AP600, kaldet AP1000, er også under udvikling. Denne udgave anvender samme sikkerhedsfilosofi som AP600. Der er anvendt kendt PWR teknologi og sikkerhedstiltag baseret på passive mekanismer, f.eks. udnyttelse af tyngdekraften og naturlig cirkulation. Endvidere er designet simplificeret i forhold til tidligere PWR-anlæg.

En ansøgning om certificering af AP1000 forventes indgivet til NRC i 2002 med henblik på godkendelse i 2004.

8.3 Kogendevandsreaktorer

Siemens SWR-1000

Det grundlæggende koncept i SWR-1000-designet er anvendelse af passive sikkerhedssystemer, som baserer sig på følgende fire elementer:

- *Nødkondensatorer*
- *Kondensatorer til køling af indeslutningen*
- *Passive trykpulstransmittere*
- *Tyngdekraftdrevet system til overskylning af reaktorkernen*

Med passive sikkerhedskomponenter menes komponenter, som ikke kræver ydre energikilder for at kunne fungere.

Tabel 8.1 viser de væsentligste designdata for SWR-1000.

Tabel 8.1. Designdata for SWR-1000

Generelt for enheden:	
Termisk effekt	2778 MWt
Elektrisk effekt	1013 MWe
Virkningsgrad	35,2%
Reaktorkernen:	
Antal brændselselementer	568 Atrium 13
Total uranmængde	121 t
Kernens højde	2,8 m
Gennemsnitlig effekttæthed	47 kW/l
Udbrænding ved udtagning	65 GWd/t
Gennemsnitlig berigning	5,45%
Kølevandsflow	12000 kg/s
Reaktortryktanken:	
Indvendig højde	22,55 m
Indvendig diameter	7 m
Designtryk	88 bar
Antal recirkulationspumper	6
Turbine:	
Rotationshastighed	3000 min^{-1}
Indløbsflow	1483 kg/s
Indløbstryk	67 bar
Drift af anlægget:	
Lagerkapacitet for brugt brændsel	10 år
Anlæggets forventede levetid	60 år

Selve designet og afprøvning af delkomponenter blev afsluttet i 2001. Herefter vil det blive evalueret i EU-regi i henhold til European Utility Requirement (EUR) og modificeret, hvis evalueringen kræver det.

Både for EPR og SWR-1000 konceptet har man planer om et feasibility-study for at undersøge mulighederne for at kunne levere en eventuel ny reaktor til Finland.

General Electric ESBWR

General Electric (GE) er ved at udvikle et nyt reaktordesign, Evolutionary Simplified Boiling Water Reactor (ESBWR), på 1400 MWe. ESBWR-designet er generelt karakteriseret ved følgende egenskaber:

- *Naturlig cirkulation*
- *Simple avancerede komponenter*
- *Passive sikkerhedssystemer*
- *Udstrakt anvendelse af GE's tidligere to design ABWR og SBWR*
- *Anlægsoptimering i tæt samarbejde med kunden*

Starttidspunkt for opførelse af et eventuelt anlæg forventes omkring 2010.

8.4 Tungtvandsreaktorer

Canada og Indien er de eneste lande, der benytter tungtvandsreaktorer i større stil til el-produktion.

Canada har udviklet sin egen reaktorkonstruktion kaldet CANDU (se Appendiks A). Der er bygget 24 af disse reaktorer i Canada og 19 i andre lande. Enhedsstørrelsen er vokset fra ca. 200 MWe for de første anlæg til 880 MWe for de seneste.

Der arbejdes i øjeblikket på en 1000 MWe type (CANDU-9), men det ser ud til at interessen hos de mulige kunder nu mere samler sig om enheder på 600 MWe. Der arbejdes også på en helt ny generation af CANDU-reaktorer (CANDU-NG), som skal anvende let beriget brændsel. Kølekredsløbene skal være simplere, hvilket medfører en væsentlig besparelse i forbruget af tungt vand.

Indien har foretaget en selvstændig udvikling af tungtvandsreaktorer af CANDU-typen. Enhedsstørrelsen er på ca. 200 MWe, og der er 12 anlæg i brug. To 450 MWe enheder er under opførelse.

8.5 Gaskølede reaktorer

Udvikling af gaskølede reaktorer sker inden for området grafitmodererede heliumkølede højtemperaturreaktorer (HTGR). Den høje arbejdstemperatur (775 ^{o}C) muliggør en høj termisk virkningsgrad, idet kølegassen kan sendes gennem en gasturbine, før den går til dampgeneratoren. Reaktorer af denne art har desuden en række sikkerhedsmæssige fordele.

En variant af HTGR-reaktoren anvender kugleformede brændselselementer. Denne udformning af brændslet har givet reaktortypen navnet Pebble Bed reaktoren.

Hos Kernforschungsanlage (KFA) ved Jülich i Tyskland arbejdede man i en årrække med en sådan reaktor, der anvendte kugleformede brændselselementer med en diameter på ca. 6 cm. Reaktoren består af en "silo" med sådanne kugler. Brændselsudskiftning sker ved at man under drift tager kugler ud forneden, hvorefter deres udbrænding måles. Hvis udbrændingen ikke er høj nok, sendes de tilbage til toppen af "siloen".

Det sydafrikanske el-selskab ESKOM har i samarbejde med flere andre lande startet et projekt om bygning af en mindre enhed af Pebble Bed typen på 110 MWe. Den har fået navnet Pebble-Bed Modular Reactor (PBMR). Hvis alt forløber gunstigt, kan byggearbejdet starte i 2002, og færdiggørelsen ske i 2006.

Flere andre lande arbejder med HTGR reaktorer, men i mindre målestok.

8.6 Hurtige reaktorer

Rusland er det eneste land, der har en stor hurtig formeringsreaktor i kommerciel drift, Beloyarsk-3 (BN600). BN600-enheden på 600 MWe er forsynet med en "konventionel" hurtigreaktor med natriumkøling.

Udbygningen med nye hurtige reaktorer vil ifølge Ministeriet for Atomenergi ske med reaktorer af typen BN800. BN800 er en lidt større udgave af BN600. Den første BN800-reaktor vil blive placeret på Beloyarsk som Beloyarsk-4. Den skal stå færdig i 2009.

Udbygningen med BN800-reaktorer ser ud til at være noget forsinket i forhold til de oprindelige planer, formentlig p.g.a. Ruslands vanskelige økonomiske situation. Det nye i denne forbindelse er, at der nu er afsat øremærkede beløb til Beloyarsk-4. Den samlede pris for en BN800 reaktor forventes at blive ca. 1,3 mia. dollar. BN800-reaktorerne skal kunne udnytte MOX-brændsel og overskudsplutonium fra våben.

Rusland er det land, der er længst fremme med udviklingsarbejdet vedrørende hurtige reaktorer, der kan udnytte verdens uran- og thoriumforekomster fuldt ud. Ifølge ministeren for atomenergi, Adamov, arbejder man nu på at udvikle en helt ny hurtig reaktor, BREST300, der måske engang skal afløse BN800 generationen. Bygningen af en prototype er dog noget, der ligger langt ude i fremtiden. I BREST399 skal kølemidlet være en legering af vismut og bly.

Hurtigreaktoren Phenix, der er Frankrigs ældste kraftreaktor i drift, undergår for tiden reparationer, men forventes startet op igen i 2002. Det forventes at tilsynsmyndigheden DSIN indvilliger i at tildele Phenix yderligere 25.000-30.000 driftstimer. Phenix skal anvendes til undersøgelser af afbrænding af langlivet affald (transuraner) som led i det franske transmutationsprogram.

Den japanske hurtigreaktor Monju lukkede ned i december 1995 efter en natriumlæk i et af de sekundære kølekredsløb. En domstolsafgørelse d. 22. marts 2000 fastslog, at Monju-værket kunne beholde sin driftsautorisation, og nu har den politiske ledelse i området og borgmesteren i Tsuruga besluttet at godkende sikkerhedsdokumentationen. Dette sætter JNC i stand til at afslutte de modifikationer, der skal sikre, at 1995-uheldet ikke gentager sig. Arbejdet forventes at tage ca. 17 måneder. Sikkerhedsafprøvningen forventes at tage ca. 1 år. Der er hermed udsigt til at Monju kan starte op inden for en tidshorisont på 4 år.

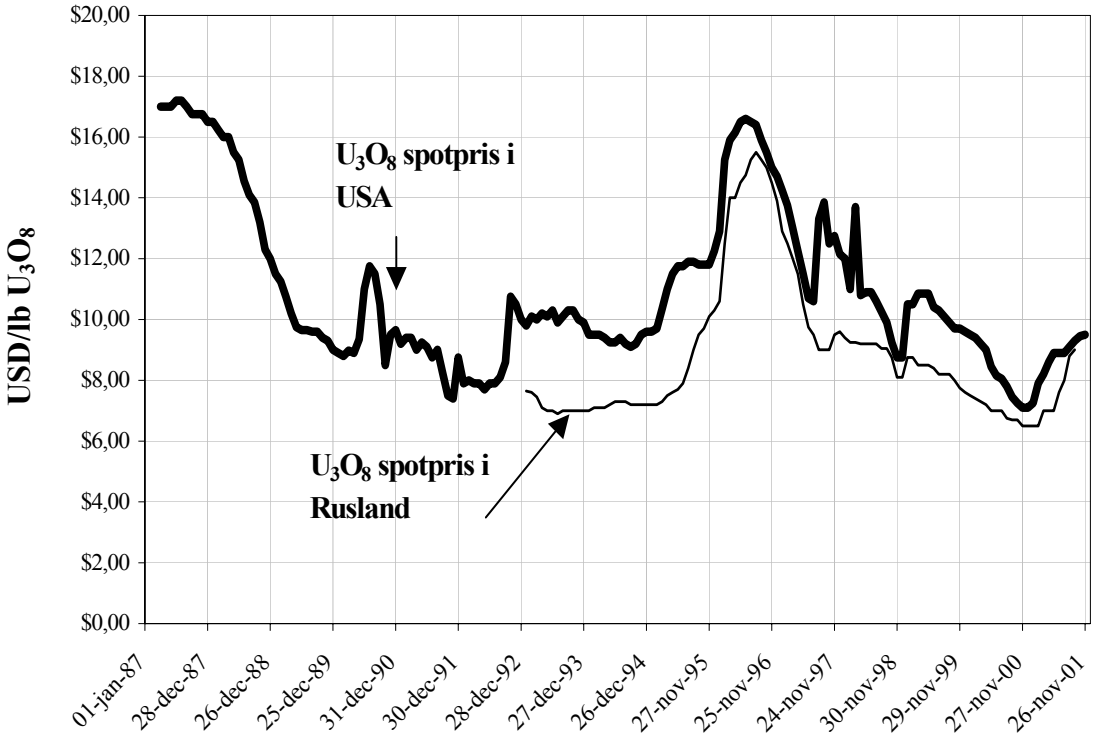
9 Brændselskredsløbet

9.1 Uranproduktion og -berigning

Uranproduktion

I starten af 1980'erne blev der hvert år opbygget betydelige lagre af naturligt uran, idet produktionen væsentligt oversteg forbruget. Dette medførte et fald i såvel uranprisen som i produktionen. I dag er det globale uranforbrug 72.000 t U_3O_8, mens produktionen kun er omkring 41.000 t. Differencen mellem de to tal dækkes ved brug af uran fra de stadig betydelige lagre samt ved opblanding af højt beriget uran (HEU) fra kernevåben med forarmet eller naturligt uran til lavt beriget uran (LEU).

Figur 9.1 viser prisforløbet gennem de senere år. Omkring årsskiftet 2000/2001 gik prisen på U_3O_8 gennem et minimum, og ved udgangen af 2001 er den en smule højere end ved begyndelsen af 2000. Den seneste prisstigning hænger sammen med, at efterspørgslen for tiden er stigende. Endvidere har USA p.g.a. uenighed om prisen begrænset sine indkøb af LEU under det russisk-amerikanske "Megaton-to-Megawatt"-program, i følge hvilket USA køber lavt beriget uran, som er produceret ud fra HEU i russiske kernevåben.



Figur 9.1. Udviklingen i spotprisen på U_3O_8 for perioden 1987-2001.

Tabel 9.1 viser uranproduktionen og de estimerede uranreserver i verden. Af tabellen fremgår, at Australien er førende m.h.t. uranproduktion. Tabellen viser også, at uranreserverne vil dække forbruget et godt stykke ud i fremtiden. Flere lande har planer om at øge uranproduktionen, og Australien øgede i 2001 uraneksporten med 6%. Det er bemærkelsesværdigt, at Canada med kun halvt så store reserver som Australien allige-

vel har en større produktion. Årsagen er, at Canada har flere åbne miner, i hvilke det er nemmere og billigere at bryde uranmalmen.

Verdens uranimport er fordelt med 34% til USA, 33% til Japan, 10% til Sydkorea, 7% til Frankrig, 2% til Canada, Sverige, Belgien og Tyskland samt 0,6% til Finland.

Den australske mine Olympic Dam producerede 4400 t U_3O_8 i 2001, lidt mindre end i 2000. Årsagen var en brand i minen i 4. kvartal. Sydafrika producerede 1030 t U_3O_8. Heraf kom 990 t som et biprodukt fra guldproduktionen i Anglegold-minen, mens de resterende 40 t kom som et biprodukt fra kobberminen Palabora. Rusland har planer om at udvikle Khiagdar-forekomsten med en forventet produktion på 1500 t uran om året. Den sidste franske uranmine indstillede produktionen i 2001.

Det amerikansk berigningsfirma USEC meddelte i januar 2001, at omkring 9500 t af selskabets uranbeholdning har vist sig at indeholde technetium-99. Dette betyder, at denne del af selskabets uranbeholdning ikke opfylder internationale specifikationer, og at uranet skal underkastes kemisk oparbejdning, før det kan sælges.

Tabel 9.1 Den globale uranproduktion samt verdens uranreserver i 2001.

	Produktion 2001 (ton uran)	**Til rådighed (ton uran)**	**Andel af verdens uranreserver**
Australien	9.200	860.000	28%
Kazakhstan	1.700	470.000	15%
Canada	12.500*	430.000	14%
Syd Afrika	1.000	300.000	10%
Namibia	2.700*	240.000	8%
Brasilien	50*	200.000	6%
Rusland.	2000*	130.000	4%
USA	1.500*	110.000	3%
Usbekistan	2.400*	110.000	3%
Verden total	33.050	3.100.000	

* Estimerede produktionstal

Uranberigning

Produktion af beriget uran angives i separativt arbejde, "Separative work units" (SWU). Forbruget af separtivt arbejde har været ret konstant i de senere år, ca. 35 mio. SWU/år, og forbruget forventes at ligge på omtrent samme niveau i de kommende år. De fire vigtigste leverandører af separativt arbejde er, som det ses af Tabel 9.2, USEC (USA), Cogema (Frankrig), Tenex (Rusland) og Urenco (UK, Tyskland, Holland). Under katagorien "Andre" hører Japan, Kina, Brasilien m.fl.

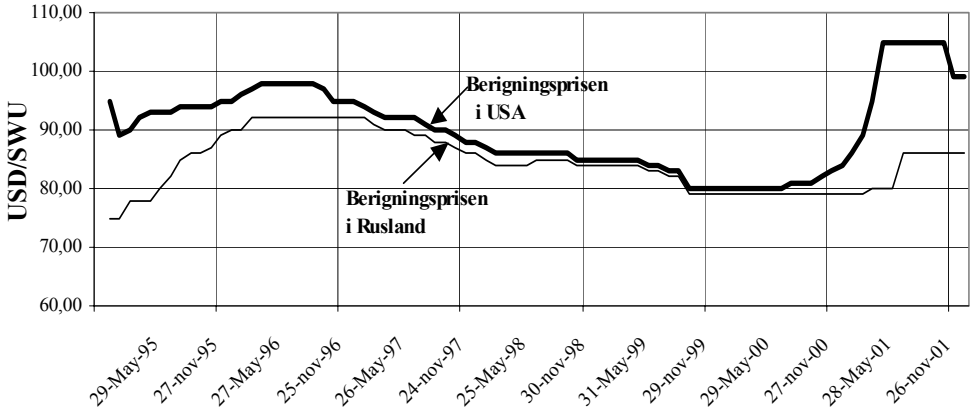
Den største leverandør er USEC, men alligevel har firmaet økonomiske problemer. USEC overtog den amerikanske stats berigningsanlæg, Portsmouth og Paducah, der begge var gamle gasdiffusionsanlæg, hvorefter selskabet blev privatiseret. USEC står også for salg af det berigede uran, som produceres ved "nedblanding" af højtberiget uran fra kernevåben, amerikanske såvel som russiske. USA indgik i 1993 en aftale med Rusland om køb af ca. 15.000 tons nedblandet våbenuran over 20 år, og dette køb dækker for tiden knap halvdelen af USEC's salg af beriget uran. Som det ses af Tabel 9.2, er udnyttelsesgraden af USEC's anlæg ringe, og derfor blev selskabets Ports-mouth-anlæg i Ohio lukket i maj 2001. Herefter har USEC kun Paducah-anlægget i Kentucky med en kapacitet på 8 mio. SWU tilbage. Paducah-anlægget er gammelt og

har et højt el-forbrug. Da el-priserne har været stigende, har anlægget svært ved at konkurrere med udenlandske producenter. Desuden benytter Paducah-anlægget freon som kølemiddel, og Paducah er det industrielle anlæg i USA, der giver det største udslip af freon. I 1999, da såvel Portsmouth som Paducah var i drift, stod de tilsammen for ca. 14% af verdens industrielle udslip af freon.

Tabel 9.2 Berigningsfirmaers produktionskapacitet

Firma	Produktionskapacitet (mio. SWU/år)	Salg 2001 (mio. SWU/år)	Udnyttelsesgrad
USEC	8,0	11,6	56%
Cogema	10,8	8,3	77%
Tenex	14,0	8,3	59%
Urenco	4,8	4,9	100%
Andre	3,4	3,3	97%

Det har været foreslået, at to amerikanske selskaber i konkurrence skulle sælge det nedblandede uran. Dette modsætter USEC sig, idet firmaet hævder, at noget sådant ville tvinge USEC til at lukke selskabets Paducah-anlæg og dermed indstille uranberigning i USA. USEC har rejst dumpningssag mod Cogema og Urenco, hvis produktion hævdes støttet af statssubsidier. Sagen ser ud til at resultere i, at der bliver lagt en told på berigning hos Cogema på ca. 14% og hos Urenco på ca. 4%. Med den nuværende dollarkurs vil det dog ikke være nok til at gøre USEC konkurrencedygtig. Sagsanlægget fik SWU-prisen i USA til at stige i første halvår af 2001 (jfr. Figur 9.2). Uden for USA ligger prisen stabilt på ca. 85 USD/SWU.



Figur 9.2. Udviklingen i prisen på separativt arbejde i USA og Rusland i perioden 1994-2001.

USEC har planer om at bygge et centrifugedemonstrationsanlæg ved Portsmouth til 0,25 mia. dollars, men der er ikke sket store fremskridt i realisering af planerne p.g.a. selskabets svage økonomi. USEC søger at opnå statsstøtte til udvikling af centrifuger. USEC støtter arbejde på laserberigning i Australien (SILEX-metoden), men også med dette projekt har fremskridtene været beskedne.

Urenco er et britisk-tysk-hollandsk berigningsfirma, der anvender ultracentrifuger til berigning. Centrifugeanlæg har et væsentlig mindre el-forbrug end gasdiffusionsanlæg, og de er derfor mere økonomiske. Selskabet har et anlæg ved Capenhurst, Storbritannien, på 2 mio. SWU, et ved Gronau, Tyskland, på 1,3 mio. SWU og et ved Amelo, Holland, på 1,5 mio. SWU. Anlæggene er konkurrencedygtige, hvilket også fremgår af den beskedne told, der ventes lagt på leverancer til USA, og de kører, som det fremgår af Tabel 9.2, på fuld kapacitet. Selskabet udvider hele tiden anlæggenes kapacitet.

På grund af den tyske og den hollandske regerings negative indstilling til kernekraft, har det været på tale at sælge disse landes Urenco-aktier, men med selskabets gode økonomi synes disse planer indtil videre af være opgivet. USEC og andre har været interesserede i at købe andele i Urenco, men deres tilbud har ikke været gode nok. Cogema står som den mest sandsynlige nye partner i Urenco, skulle en eller to af de nuværende partnere ønske at trække sig ud.

Eurodif-anlægget, som ejes af det franske selskab Cogema (51%), de italienske selskaber AGIP og CNEN, det spanske ENUSA og det belgiske SOBEN, ligger ved Tricastin i Frankrig. Det har en kapacitet på 10,8 mio. SWU/år. Det er et gasdiffusionsanlæg, der er 25 år yngre end de amerikanske anlæg, og derfor mere økonomiske end disse, men det kan på længere sigt få svært ved at konkurrere med Urenco's centrifugeanlæg.

Det russiske ministerium for atomenergi, Minatom, har fire centrifugeanlæg i drift forskellige steder i Rusland, og efter lukning af Portsmouth har Rusland den største berigningskapacitet. Halvdelen af denne findes ved "Ural Elektrokemisk Integreret Anlæg". De russiske centrifuger er små, idet de kun har en kapacitet på 5% af Urenco's. Salget af berigningsservice sker gennem det af Minatom ejede firma Tenex.

Den fremtidige udvikling inden for uranberigning ser ud til at blive domineret af centrifuger. Japan har et centrifugeanlæg med en kapacitet på godt 1 mio. SWU/år og med en centrifugestørrelse, der ligger mellem den russiske og Urenco's. Japan dækker i øvrigt en del af sit behov for beriget uran med leverancer fra udlandet. Også Kina og Brasilien har centrifugeanlæg. Laserberigning, som man for nogle år siden havde store forventninger til, har skuffet. Cogema har opgivet sit arbejde på SILVA- eller AVLIS-metoden (brug af uranmetaldamp) og vil i stedet satse på centrifuger. I Japan, Australien og USA arbejder man stadig med laserberigning, bl.a. på SILEX-metoden, der baserer sig på brug af UF_6. Men trods mange års forskning og store investeringer er der stadig ikke udviklet en økonomisk laserberigningsteknologi.

9.2 Oparbejdning af brugt brændsel

Brugt brændsel kan enten oparbejdes eller deponeres direkte. Ved direkte deponering forstås deponering af brugt brændsel i geologiske formationer. Dette indebærer, at brændslets restindhold af fissilt uran og plutonium ikke udnyttes. Ved oparbejdning af det brugte brændsel udvindes resturan og plutonium. Brændslet klippes i stykker og tilbageværende uran og plutonium samt fissionsprodukter opløses i syre. Uran og plutonium udvindes ved kemiske processer. Fissionsprodukterne blandes med tilslagsstoffer og nedsmeltes til glas, som støbes ud i stålbeholdere. Det udvundne uran og plutonium kan benyttes til fremstilling af nyt brændsel på særlige brændselselementfabrikker. MOX-brændsel (Mixed Oxide Fuel) er et eksempel på denne type brændsel.

BNFL i England har fået tilladelse fra den engelske regering til at tage MOX anlægget ved Sellafield, som blev færdigbygget i 1997, i brug. Anlægget skal lave MOX-brændsel af plutonium og uran fra oparbejdet brændsel. Ibrugtagning af anlægget har blandt andet været forsinket fordi det i 1999 blev opdaget, at BNFL-ansatte havde for-

falsket kvalitetskontrol-data på MOX-brændsel til en kunde i Japan. Nye ordrer på MOX-brændsel fra Japan har imidlertid været med til genopbygge Sellafields internationale troværdighed. Irland og de skandinaviske lande, heriblandt Danmark, har protesteret mod godkendelsen af MOX-anlægget på grund af Sellafields udslip af ^{99}Tc til Nordsøen og Det Irske Hav. FN's internationale havretsdomstol har i 2001 afvist Irlands krav om et midlertidigt forbud mod en udvidelse af Sellafield. Idag har Sellafield en udslipsgrænse for ^{99}Tc på 90 TBq/år. På trods af, at BNFL anser udledningen som sundhedsmæssigt uskadelig, har selskabet accepteret at arbejde på tekniske metoder til at undgå udledningen af ^{99}Tc.

I Rusland underskrev præsident Putin i juli 2001 et lovforslag om tilladelse til import af brugt brændsel til oparbejdning/opbevaring i Rusland. Lovforslaget havde forinden gennemgået tre behandlinger i den russiske Duma (det russiske underhus), samt det føderale råd (det russiske overhus). Det er planen at importere indtil 20.000 tons brugt brændsel fra lande som Taiwan, Sydkorea, Japan samt flere europæiske lande i løbet af de næste 10 år. Den russiske lov vil kunne hjælpe Taiwan med af løse landets alvorlige affaldsproblem. Formålet med importen er officielt at skaffe indtægter (estimeret til 20 mia. dollar) til udvikling af den russiske kernekraftindustri og miljøforbedringer.

Generel usikkerhed p.g.a. afhængighed af udenlandske olieleverancer samt problemer med el-leverancer i Califonien tidligere på året har givet ny næring for oparbejdning af brugt brændsel i USA. For USA har ikke-spredningsproblematikken været den officielle begrundelse for at undlade oparbejdning. Ca. 20% af det amerikanske elforbrug produceres i dag af nukleare kraftværker. Oparbejdning af brændslet vil kunne reducere mængden af højaktivt affald, der skal slutdeponeres, væsentligt. Der er indtil dato blevet bygget fire kommercielle oparbejdningsanlæg i USA, hvoraf kun det ene har været taget i brug. Her blev 1000 tons brugt brændsel oparbejdet i perioden 1966 til 1972. Siden 1970'erne er der ikke blevet brugt mange ressourcer på forbedring af kommerciel oparbejdningsteknologi i USA.

Den anden skibstransport af europæisk fabrikeret MOX-brændsel til Japan blev foretaget i 2001. Den første, hvor Sellafield sendte MOX-brændsel med forfalskede kvalitetsdata, blev foretaget i 1999. Udover MOX-transporterne har der i alt været ca. 160 skibstransporter (gennem flere år) med brugt brændsel fra Japan til Europa, samt adskillige transporter af højaktivt glasaffald fra Europa tilbage til Japan. Dette affald oplagres i et anlæg ved Rokkasho i Japan. I Japans langtidsprogram for kernekraft vurderes blandt andet konsekvenserne ved oparbejdning af brugt brændsel samt opførelsen af et nyt MOX fabrikationsanlæg ved Rokkasho. Med hensyn til bygning af et slutdepot for højaktivt affald i Japan er der fortsat lang vej igen. Forsøg på at finde et sted til et underjordisk forsøgslaboratorium har givet folkelig modstand.

Ved transmutation forstås generelt omdannelse af en atomkerne til en anden atomkerne ved bestråling med neutroner. Specielt omdannelse af langlivede tunge kerner (actinider, herunder ikke-fissile isotoper af plutonium) til kortlivede lettere kerner kan være interessant for affaldshåndtering. Transmutation kræver en forudgående separation (partitioning) af de relevante isotoper. Generelt ses teknikken på kort sigt ikke som en brugbar proces inden for affaldshåndtering, men måske som en mulig proces i fremtiden.

9.3 Deponering af lav-, mellem- og højaktivt affald

IAEA (FN's internationale atomenergiagentur) har siden midt i 1990'erne – i forlængelse af andre nukleare konventioner – arbejdet på at få vedtaget en international konvention vedrørende sikkerhed ved håndtering og deponering af brugt brændsel og radioaktivt affald. Danmark accepterede konventionen i september 1999, og den trådte i

kraft i juni 2001, efter at England og Irland som land nr. 24 og 25 havde ratificeret den i marts 2001. USA, Rusland og 15 andre lande har underskrevet, men endnu ikke ratificeret konventionen.

Konventionen omfatter primært radioaktivt affald fra den nukleare brændselscyclus, men andet radioaktivt affald kan deklareres som faldende ind under aftalen. I præamblen nævnes, at deponering af radioaktivt affald - så vidt det er foreneligt med sikkerheden - bør ske i det land, hvor affaldet er produceret. Under visse omstændigheder kan bortskaffelse af affald fremmes ved, at flere lande samarbejder om et depot i et af landene, ikke mindst hvis affaldet stammer fra fælles projekter.

I henhold til artikel 11 til 17 medfører konventionens ikrafttræden forpligtigelser til:

- at revurdere sikkerheden ved eksisterende anlæg og gennemføre rimelige forbedringer
- at evaluere pladsrelaterede sikkerhedsaspekter af planlagte nye systemer
- at orientere offentligheden om sådanne planer
- at andre (kontraherende) lande sikres mod påvirkninger fra systemerne
- at design og konstruktion af anlæggene i almindelighed sikrer mod radiologiske påvirkninger
- at fremtidig dekommissionering og/eller forsegling af anlæg planlægges
- at systematiske sikkerhedsanalyser og miljøkonsekvensvurderinger udføres
- at anlæggene drives inden for fastlagte betingelser
- at der for et slutdepot i driftsperioden indsamles information til planlægning og sikkerhedsvurdering af depotet, efter at det er lukket
- at der anvendes procedurer for karakterisering og sortering af radioaktivt affald
- at arkivmateriale vedrørende et depots placering og indhold bevares
- at planlagt kontrol af et lukket depot gennemføres, og udbedrende foranstaltninger gennemføres, såfremt de er nødvendige.

Affaldskonventionen må forventes at blive det regelsæt, som skal gælde for fremtidens affaldshåndtering og -deponering. Som eksempel kan nævnes, at EU planlægger at udforme sin interne rapportering, således at dens struktur passer sammen med IAEA's anbefalinger.

Deponering af lavaktivt affald er rutine i mange lande, og flere lande har planer for deponering af højaktivt og langlivet mellemaktivt affald.

I Finland har regeringen og Rigsdagen i maj 2001 godkendt, at affaldsorganisationen Posiva Oy påbegynder praktiske undersøgelser med henblik på etablering af et slutdepot for brugt brændsel dybt nede i klipperne ved kraftreaktoren Olkiluoto. Hvis undersøgelserne falder tilfredsstillende ud, må man regne med, at der vil gå ca. 10 år, inden et eventuelt anlæg til deponering af finsk brugt brændsel kan tages i brug. Højereliggende depoter i klipperne under reaktorerne Olkiluoto og Loviisa reaktorerne benyttes allerede til lavaktivt affald.

I Sverige har affaldsorganisationen Svensk Kärnbränslehantering AB (SKB) efter regeringsaccept fået lokal accept i Östhammar kommune samt venter at få det fra Oskarshamn og Tierp kommuner til at påbegynde forundersøgelser i de tre kommuner med henblik på etablering af et dybt depot for svensk brugt brændsel og andet langlivet radioaktivt affald. Östhammar og Oskarshamn kommuner rummer henholdsvis kraftværkerne Forsmark og Oskarshamn, mens Tierp er nabokommune nord for Forsmark. Endelig beslutning om placering af slutdepot ventes først taget i 2007. Behov for undersøgelser andetsteds er ikke udelukket.

I mellemtiden er mellemlageret CLAB (Central Lager för Använt Bränsle) ved Oskarshamn ved at blive udbygget, så det kan rumme alt svensk brugt brændsel, indtil et slutlager er til rådighed. Deponering af svensk lav- og mellemaktivt affald sker rutinemæssigt i SFR (Svensk Förvar för Reaktoravfall), der for mere end 20 år siden blev sprængt ud i klipperne 50 m nede under Østersøen ved Forsmark.

I Frankrig er den statslige affaldsorganisation ANDRA (l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs) ved at bygge skakter med henblik på etablering af et underjordisk laboratorium i lerlag i 400-550 m dybde under landsbyen Burre i Meuse/Haute Marne regionen i det nordøstlige Frankrig. Her undersøges muligheder for fremtidig etablering af et depot for højaktivt glas fra de franske oparbejningsanlæg. Det er også planen at se på andre geologiske formationer, primært granit, men lokalisering af et passende sted er stødt på politiske vanskeligheder.

ANDRA's depot for lavaktivt affald, l'Aube, der ligger i nabodepartementet til Meuse, har været i drift siden 1992, hvor det erstattede det nu lukkede depot la Manche i Normandiet nær oparbejdningsanlægget la Hague. ANDRA har i 2001 holdt offentlige høringer om etablering af et simplere udformet og dermed billigere depot i nærheden af l'Aube. Det tænkes anvendt til særlig lavaktivt/næsten inaktivt affald, bl.a. fra dekommissionering af franske reaktoranlæg.

I Spanien er El Cabril anlægget (i bjergene nord for Cordoba) i brug til lavaktivt affald. Det er en mindre udgave af det franske anlæg l'Aube. Tilsvarende anlæg bruges til reaktoraffald i Tjekkiet.

I England foregår der stadig en overordnet planlægning og policy-formulering, efter at den engelske affaldsorganisation NIREX for nogle år siden måtte opgive sit forslag om et depot for langlivet mellemaktivt affald i klipperne ved Sellafield. I september 2001 udsendte regeringen en rapport, der beskriver situationen og initierer et forløb, der kan resultere i en affaldspolitik, som befolkningen slutter op om. Processen forventes at tage fem til seks år og omfatter også stillingtagen til dekommissionering og hvad der skal gøres med Storbritanniens lagre af uran og plutonium.

I Tyskland er situationen låst fast, mens man efter ønske fra De Grønne forsøger at finde frem til alternativer til eksisterende planer om deponering af brugt brændsel i saltformationen i Gorleben og lav- og mellemaktivt affald i jernminen Konrad, hvor forundersøgelserne ellers var langt fremme. Man søger at finde frem til en geologisk formation, der kan rumme alt tysk radioaktivt affald (brugt brændsel, langlivet affald og almindeligt lavaktivt affald). Til det formål er der nedsat en arbejdsgruppe: AkEnd (Arbeitskreis Auswahlverfaren Endlagerstandorte), der i løbet af nogle år skal finde frem til kriterier for valg af plads til et sådant depot. Tyskland går dog stadig ind for (dyb) geologisk deponering som den bedste måde til at bortskaffe radioaktivt affald.

I Belgien har man gennem mange år udført eksperimentelle undersøgelser i HADES (High Activity Disposal Experimental Site), en minegang anlagt i lerlag i 250 meters dybde ved Mol. Anlægget er ved at blive væsentligt udvidet, til dels som et internationalt forskningsprojekt. Det skal primært bruges til deponering af belgisk højaktivt glas og langlivet mellemaktivt affald, som bl.a. stammer fra det for længst nedlagte fælleseuropæiske oparbejdningsanlæg Eurochemic.

Belgiske forsøg på at finde en plads til et overfladedepot til lavaktivt affald mislykkedes i første omgang, men nu forøger man igen i udvalgte kommuner nær eksisterende nukleare anlæg.

Holland går ind for langtidsmellemlagring af alt affald.

I Italien har en arbejdsgruppe SITO (Sito nazionale di deposito dei materiali radioattivi) under ENEA (organisation for forskning og udvikling vedrørende ikke-konventionel energi) udført en systematisk kortlægning af områder, der ud fra enræk-

ke kriterier skønnes egnet til bygning af et overfladenært depot for lav- og mellemaktivt affald. Endeligt valg af plads har ikke fundet sted.

I Schweiz har man fået accept af bygning af et mindre demonstrationsanlæg i Wellenberg i stedet for (eller som forstudie til) det store minedepot for lavaktivt affald, man oprindelig havde planlagt, men som faldt ved en lokal afstemning.

I USA fortsætter DOE (Department of Energy) undersøgelserne i Yucca Mountain i Nevada med henblik på at dokumentere, at et depot for amerikansk brugt brændsel fra de civile kraftreaktorer kan anlægges dybt nede i områdets tuf-klipper. Det forventes, at projektet i 2002 får regeringsgodkendelse til at fortsætte som udviklingsprojekt for et egentligt slutdepot. I Nevada kniber det imidlertid med lokal accept af projektet. Der er tvivl om, hvorvidt det planlagte lager er stort nok, om det kan udvides, eller om der allerede nu skal ledes efter endnu en plads. En kontrovers mellem tilsynsmyndighederne EPA (Environmental Protection Agency) og NRC (Nuclear Regulatory Commission) om regler for tilladte udslip ser ud til at falde på plads.

Juridiske stridigheder mellem DOE og de kommercielle amerikanske kraftværker fortsætter, fordi DOE endnu ikke, som fastlagt i lovgivningen og som forudsætning for afgifter, værkerne betaler, kan overtage og deponere det brugte brændsel. Resultatet er, at værkerne må investere i udbygning af lokale tørlagre. Der findes 72 af disse rundt omkring på kraftværkerne, og selv om de anses for sikkerhedsmæssigt forsvarlige (dog måske ikke terrorsikre), er de ikke nogen acceptabel langtidsløsning. De amerikanske elværker har derfor forsøgt på at forcere Yucca Mountain projektet.

Det amerikanske slutdepot WIPP (Waste Isolation Pilot Plant), der er anlagt i såkaldt "bedded salt" (flade, dybtliggende saltlag) i New Mexico, har nu været i drift i 2 år. Depotet er primært beregnet til langlivet transuranholdigt affald fra de militære programmer. Anbringelsen af affaldet ser ud til at gå glat, og anlægget gør sig positivt bemærket, bl.a. ved belønning til operatører for snedigt udformede affaldsbeholdere og håndtering af den krævede dokumentation.

Hvad lavaktivt affald angår, er der stadig politiske problemer med at få de såkaldte Compacts (samarbejde mellem flere delstater) til at fungere 20 år efter, at lovgivningen herom blev vedtaget. Resultatet er, at det er dyrt, besværligt og sommetider umuligt at komme af med lavaktivt affald i USA.

I andre lande, f.eks. Kina og Japan, findes der depoter til lav og mellemaktivt affald. Der er ofte tale om varianter af de franske systemer. Korea forsøger igen at finde en plads til et depot for lav- og mellemaktivt affald. I Rusland ser man på mulighederne for etablering af regionale depoter for højaktivt affald i krystallinske bjergarter (gnejs), f.eks. ved oparbejdningsanlægget Majak. Et depot i permafrost på Novaya Zemlya er på tale til brug for ubådsaffald.

I Danmark betyder planerne om dekommissionering af forskningsreaktorerne på Risø, at behovet for et dansk depot for lav- og mellemaktivt affald er blevet aktuelt. I overensstemmelse med IAEA-konventionen må bortskaffelse af affaldet til udlandet anses for udelukket, dog muligvis på nær små mængder specialaffald. En arbejdsgruppe under Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling har i januar 2002 færdiggjort en rapport, "Teoretisk udredning af de tekniske krav til et dansk slutdepot for radioaktivt affald." Rapporten skal sammen med anden information danne grundlag for en politisk principbeslutning om at påbegynde dekommissionering af de nukleare anlæg på Risø og at finde et konkret sted, hvor dansk lav- og mellemaktivt affald kan anbringes permanent.

9.4 Nedlæggelse af nukleare anlæg

Rundt om i verden dekommissioneres nukleare anlæg af forskellig karakter. Flere værker står på grund af alder, økonomi eller politiske beslutninger foran nedlukning, og der er på nuværende tidspunkt nedlukket ca. 100 kernekraftværker, som befinder sig i forskellige stadier af dekommissionering. Udover kraftværker er der nedlagt prototypereaktorer, forskningsreaktorer, oparbejdningsanlæg og andre nukleare anlæg.

Dekommissionering er en voksende industri, og som følge af de allerede gennemførte nedbrydningsopgaver er der internationalt opnået en betydelig viden og erfaring på området, hvilket udnyttes i nye projekter, specielt ved planlægning af arbejdet. I Tyskland opbygges for eksempel en database med informationer om dekommissionering. Ved planlægning af dekommissionering er det, udover hensynet til de radioaktive stoffer, ofte nødvendigt også at planlægge håndtering af andre farlige stoffer, for eksempel asbest.

Graden af dekommissionering afhænger af, hvad området efterfølgende skal benyttes til. I nogle tilfælde ønskes området bragt tilbage til "green field", således at området efterfølgende frit kan benyttes til andre formål. I andre tilfælde ønskes området stadig benyttet til nukleare formål. Dekommissioneringsgraden er naturligvis afhængig af de nye formål.

Efter lukning af en reaktor og fjernelse af det brugte brændsel kan man vælge at vente med yderligere dekommissionering, indtil strålingsniveauet er aftaget. Alternativt kan man umiddelbart indlede nedbrydningsarbejdet under brug af det eksisterende driftspersonales viden om anlægget. For at påbegynde nedbrydningen hurtigt taler den grundlæggende filosofi, at den generation, der har haft glæde af anlæggene, også skal rydde op efter sig og ikke overlade ansvaret til næste generation. Generelt går tendensen i dag mod hurtig dekommissionering frem for at lade anlæggenes aktivitet aftage over en længere årrække. Ved dekommissionering er det ønskeligt at råde over slutdepoter til alle typer affald fra nedbrydningen. At der endnu ikke er et depot for langlivet affald i form af stærkt aktiverede konstruktionsdele fra det indre af reaktorerne anføres f.eks. i Sverige som argument mod dekommissionering her og nu. Forskellige programmer til beregning af materialers indhold af radionuklider i og omkring nukleare installationer bliver fortsat udviklet.

Dekontaminering kan foretages for lokalt at nedbringe kontaminationen i områder, hvor personer skal arbejde, eller for at mindske mængden af radioaktivt affald. Graden af dekontaminering samt mængden af og aktivitetsindholdet i affald der kan frigives, er emner, der til stadighed diskuteres. I nogle lande er der fastsat grænser for maksimalt indhold af aktivitet i materiale, der kan frigives, hvorimod der i andre lande foretages en vurdering i hver enkelt sag. I USA, hvor der for tiden foretages sag-til-sag afgørelser, er der delte meninger om fordele og ulemper ved faste frigivelsesniveauer. Dette skyldes blandt andet frygt for, at der i tilfælde af et meget lavt frigivelsesniveau vil opstå krav til måling og dokumentation, der kan gøre det økonomisk fordelagtigt at slutdeponere affald, selvom det kunne frigives.

Finansieringen af dekommissioneringprojekter varierer fra land til land. I Sverige, Spanien og USA er der under driften af anlæggene opbygget fonde til finansiering af oprydningen, herunder deponering af affaldet. I andre lande, som f.eks. Frankrig og Canada, påhviler finansiering af dekommissioneringen ejeren af anlægget, hvilket ofte er el-producenten.

I Sverige blev Barsebäck-1 lukket i 1999, og i løbet af 2001 er samtlige brændselselementer herfra flyttet til CLAB, det svenske mellemlager for brugt brændsel. Barsebäck-2 er stadig i drift.

I Danmark er der, efter lukning af DR3, i løbet af 2000 og 2001 påbegyndt en planlægning af dekommissionering af alle Risø's nukleare anlæg. En ny statsvirksomhed, Dansk Dekommissionering, skal efter den foreløbige planlægning udføre og have ansvaret for dekommissioneringen, således at området bringes tilbage til "green field". Planlægningsfasen er i gang, og udenlandske eksperter har rådgivet og kommenteret forslag. Inden en dekommissionering kan påbegyndes, skal en VVM-redegørelsen (Vurdering af Virkninger på Miljøet) for projektet udarbejdes. Denne skal derefter godkendes af Hovedstadens Udviklingsråd (HUR). HUR har i januar 2002 udsendt et debatoplæg som forløber til et borgermøde, som er første etape i VVM-processen. VVM-behandlingen forventes færdig i slutningen af 2002. Herefter udarbejdes et regionplantillæg, som er nødvendigt, før selve dekommissioneringen startes. Samtidig med VVM-processen skal nabolandene informeres om projektet og størrelsen af eventuelle strålingspåvirkninger, der kunne følge af arbejdet. Disse kan vise sig at være meget små. De nukleare tilsynsmyndigheder forestår informationsforpligtigelsen, der foregår i EU-regi.

10 Internationale organisationer

10.1 IAEA

International Atomic Energy Agency (IAEA) er en international organisation under FN, som har til formål at fremme det internationale videnskabelige og teknologiske samarbejde om den fredelige udnyttelse af nuklear teknologi, herunder nuklear energiproduktion. Organisationen blev grundlagt i 1957 som en kulmination af de internationale bestræbelser for at følge op på Præsident Eisenhowers "Atoms for Peace" program fra 1953. Med udgangen af oktober 2001 havde organisationen 133 medlemsstater.

IAEA bistår medlemslandene med at overføre nuklear teknologi og know-how til udviklingslandene. IAEA udvikler standarder inden for nuklear sikkerhed og arbejder derigennem for at opnå og vedligeholde et højt niveau for sikkerheden ved nuklear energiproduktion og for beskyttelsen af mennesker og miljø mod de skadelige virkninger af ioniserende stråling. Som et led i ikke-spredningsaftalen (NPT) overvåger IAEA, at de nukleare anlæg og materialer, som medlemsstaterne har tilmeldt IAEAs inspektionssystem, kun anvendes til fredelige formål.

IAEA har hovedkvarter i Wien, Østrig, hvor der er ansat ca. 2200 medarbejdere. Generaldirektøren, der er ansættes for 4 år ad gangen, er pt. Dr. Mohammed ElBaradei. Under sig har han 6 afdelinger med følgende funktionsområder:

- Management
- Nuclear Sciences and Applications
- Nuclear Energy
- Technical Co-operation
- Nuclear Safety
- Safeguards

IAEA driver et laboratorium i Østrig og et i Monaco og støtter et forskningscenter i Trieste, Italien. IAEA's budget for 2001 var på 230 mio. dollar. Hertil kommer frivillige bidrag fra medlemslandene til Fonden for Teknisk Samarbejde, hvis budgetmål i 2001 var 73 mio. dollar. Det samlede budget var således på ca. 300 mio. dollar.

IAEA bistår medlemslandene og koordinerer deres indsats inden for et meget bredt felt af strålingsbeskyttelse og nuklear teknologi til fredelige formål. En række områder har dog særlig fokus. Det drejer sig for tiden om:

- Beskyttelse af landbrugsjord og vandreservoirer
- Undersøgelse af de mulige skadevirkninger af forarmet uran fra projektiler
- Sikker opbevaring af radioaktivt affald
- Erfaringerne fra Tjernobylkatastrofen
- Kontrol med fissilt materiale
- Kortlægning og demontering af Iraks program for nukleare våben

IAEA i 2001

I april 1991 etableredes IAEA Iraq Action Team, som frem til december 1998 gennemførte 29 større og en lang række mindre inspektioner i Irak i henhold til UN resolution 687. Dette arbejde resulterede i et nogenlunde sammenhængende billede af Iraks hemmelige kernevåbenprogram. Inspektionerne måtte indstilles i 1998, men

IAEA's inspektioner ifølge ikke-spredningsaftalen fortsatte og den seneste af disse blev gennemført i januar 2001.

I marts 2001 udkom den endelige rapport fra UNEP (United Nations Environment Programme) om IAEA's undersøgelser vedrørende forarmet uran (FU) i Kosovo. En "fact-finding mission" havde i november 2000 indsamlet 340 prøver af vand, jord, vegetation og mælk samt støv fra køretøjer. Rapporten konkluderer, at der ikke er nogen målelig, udbredt kontamination med FU på jordoverfladen og at den målelige overfladekontamination er begrænset til nogle få meter omkring såkaldte kontaminationspunkter, dvs. punkter, hvor projektiler har ramt overfladen. Denne punktkontamination er imidlertid så ringe, at der ikke er nogen signifikant risiko for forurening af luft, vand eller planter. Der blev ikke fundet FU-forurenet vand, mælk, objekter eller bygninger. Uran-236 og plutonium 239/240 er påvist i de FU-holdige projektiler, der blev analyseret, men mængderne er meget små og udgør ikke nogen signifikant risiko. FU-projektiler begravet dybere i jorden kan måske udgøre en fremtidig risiko for forurening af grundvandet, men en nærmere vurdering af dette vil kræve flere undersøgelser.

Terrorangrebet på USA den 11. september 2001 medførte, at IAEA igangsatte nye overvejelser om bekæmpelsen af nuklear terrorisme. Den 2. november 2001 arrangerede IAEA en konference i Wien med det formål at koordinere den internationale indsats for at styrke sikkerheden ved nukleare anlæg, nukleare materialer og radioaktive kilder. IAEA's generaldirektør appellerede om flere ressourcer og mere samarbejde for at sikre, at alle nationer har tilstrækkelige muligheder for at beskytte deres nukleare anlæg og nukleare materialer mod mulige terroristangreb. På et pressemøde den 30. november meddelte USA, at den amerikanske regering vil stille 1,2 mio. dollar til rådighed for IAEA's initiativer på området, og at USA i øvrigt vil revurdere sin holdning til finansieringen af IAEA. De områder, hvor IAEA kan bidrage, er først og fremmest hjælp til at kortlægge de enkelte landes behov for sikkerhedssystemer, en styrkelse af aftalerne om den fysiske beskyttelse af nukleare materialer og hjælp til at spore transport af radioaktive kilder samt ulovlig transport af nukleare materialer over landegrænser.

10.2 OECD/NEA

Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) er udsprunget af Organisation for European Economic Co-operation (OEEC), som blev oprettet for at administrere Marshall Planen for den europæiske genopbygning efter 2. verdenskrig. OECD har i dag 30 medlemslande, der alle bekender sig til en demokratisk regeringsform og markedsøkonomi. OECD's opgave er at støtte medlemslandenes økonomiske og administrative udvikling og fremme samarbejdet mellem landene inden for økonomi, uddannelse, teknologi og forskning m.m.

Nuclear Energy Agency (NEA) er en delvist selvstændig organisation inden for OECD. NEA's formål er at støtte medlemslandenes fortsatte udvikling af det videnskabelige, teknologiske og lovgivningsmæssige grundlag for en sikker, miljøvenlig og økonomisk udnyttelse af kerneenergien til fredelige formål. NEA har et tæt samarbejde med EU-kommissionen og en samarbejdsaftale med IAEA. NEA samarbejder også med ikke-medlemslande i Central- og Østeuropa og med lande i det tidligere USSR. NEA har i dag 27 medlemslande.

NEA's øverste myndighed er Steering Committee for Nuclear Energy. NEA har sit hovedsæde i Paris, Frankrig, hvor der er ansat ca. 80 medarbejdere. Generaldirektøren er pt. Luis Echávari. Arbejdet er organiseret i 7 komitéer:

- Radioactive Waste Management

- Radiation Protection and Public Health
- Safety of Nuclear Installations
- Nuclear Regulatory Activities
- Nuclear Law
- Technical and Economical Studies on Nuclear Energy Development and the Fuel Cycle
- Nuclear Science (including the NEA Data Bank)

Mere end 500 eksperter fra medlemslandene deltager i arbejdet i komitéerne. Hertil kommer et stort antal eksperter, som deltager i de løbende tekniske og politiske møder. NEA-sekretariatets årsbudget er på ca. 9,2 mio. euro. Hertil kommer frivillige bidrag fra medlemslandene.

NEA støtter en række samarbejdsprojekter medlemslandene imellem. Det drejer sig om ni projekter inden for nuklear sikkerhed, herunder Halden-reaktorprojektet i Norge, som er det ældste og største NEA projekt, to projekter under strålingsbeskyttelse og tre projekter inden for Radioactive Waste Management, herunder RWMC projektet vedrørende informationsudveksling om dekommissioneringsprojekter.

NEA 2001

I januar samlede NEA mere end 70 deltagere i Schweiz til en international workshop om strålingsbeskyttelse i det moderne samfund. Temaet var hvorledes offentligheden, politikere og miljøorganisationer på en bedre måde kan inddrages i beslutningsprocessen. Der var almindelig enighed om nødvendigheden af samfundsmæssig deltagelse i processen for at opnå acceptable løsninger på de strålingsbeskyttelsesproblemer, der skal løses i fremtiden.

Den 22-23 maj gennemførtes INEX-2000 øvelsen, en nuklear beredskabsøvelse, der simulerede en hændelse på en PWR reaktor ved Gravelines i Frankrig. NEA sponsorerede øvelsen i fællesskab med EU, IAEA, WHO og WMO (World Meteorological Organisation).

I maj publicerede NEA sin årlige oversigt over den nukleare udvikling og prognoserne for den installerede nukleare el-kapacitet og el-produktion i OECD landene. Det fremgår, at den nukleare del af el-produktionen forventes at stige 0,9% om året frem til 2010. Det er mindre end den forventede vækst på 1,8% pr. år i den samlede el-produktion, og den nukleare andel af el-produktionen i OECD landene forventes derfor at falde fra 23,8% i 2000 til 21,8% i 2010.

I august åbnede International School of Nuclear Law ved universitetet i Montpellier, Frankrig. Sommerskolen, der er etableret i et samarbejde mellem universitetet og NEA, lagde ud med et 2 ugers kursus i de juridiske aspekter inden for et bredt spektrum af kernekraftemner. Mere end 50 studerende fulgte kurset, der sigter mod såvel jurastuderende som unge juridiske medarbejdere i den nukleare sektor.

Den 16. oktober tilsluttede Slovenien sig den såkaldte Pariskonvention om tredie parts ansvar i forbindelse med nukleare ulykker. Pariskonventionen, der blev indstiftet i OECD regi i 1960, fastlægger de grundlæggende regler for ansvarsforhold og erstatninger i forbindelse med nukleare ulykker.

10.3 WENRA

Western European Nuclear Regulators' Association (WENRA) er en sammenslutning af de vesteuropæiske landes nukleare tilsynsmyndigheder. Sammenslutningen omfatter de lande, der har eller har haft kernekraft, nemlig Belgien, Finland, Frankrig, Tysk-

land, Italien, Holland, Spanien, Sverige, Schweiz og Storbritannien. Sammenslutningens formål er at udvikle en fælles tilgang til kernekraftsikkerhed, især inden for EU-området. Desuden lægger WENRA vægt på at kunne tilbyde EU en mulighed for uafhængige evalueringer af kernekraftsikkerheden i EU's kandidatlande.

WENRA udgav i 2000 en rapport om kernekraftsikkerheden i de relevante ansøgerlande, nemlig Bulgarien, Tjekkiet, Ungarn, Litauen, Rumænien, Slovakiet og Slovenien.

10.4 UNSCEAR

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) er en videnskabelig komite under FN. Den blev etableret i 1955 som reaktion på de atmosfæriske prøvesprængninger af nukleare våben og det medfølgende globale nedfald. Det er komiteens opgave at indsamle og evaluere information om niveauerne af ioniserende stråling og radioaktivitet stammende fra både menneskeskabte og naturlige kilder og at studere de mulige virkninger på mennesker og miljø.

UNSCEAR består af videnskabsmænd fra 21 medlemslande. Danmark er ikke medlem. De 21 medlemslande har hver én repræsentant i komiteen. Desuden har hvert medlemsland udpeget mellem 1 og 10 rådgivere, således at det samlede antal rådgivere for tiden er 58. Komiteen og sekretariatet arbejder sammen med videnskabsmænd over hele verden for at etablere databaser over eksponeringer med ioniserende stråling og information om eksponeringernes virkning.

UNSCEAR følger den internationale udvikling vedrørende eksponering med ioniserende stråling inden for områderne:

- Naturlige strålingskilder
- Kernekraft
- Prøvesprængninger af kernevåben
- Medicinske anvendelser af radioaktivitet og ioniserende stråling
- Arbejdsmiljø

Arbejdsområderne vedrørende virkningen af ioniserende stråling på mennesker og miljø er:

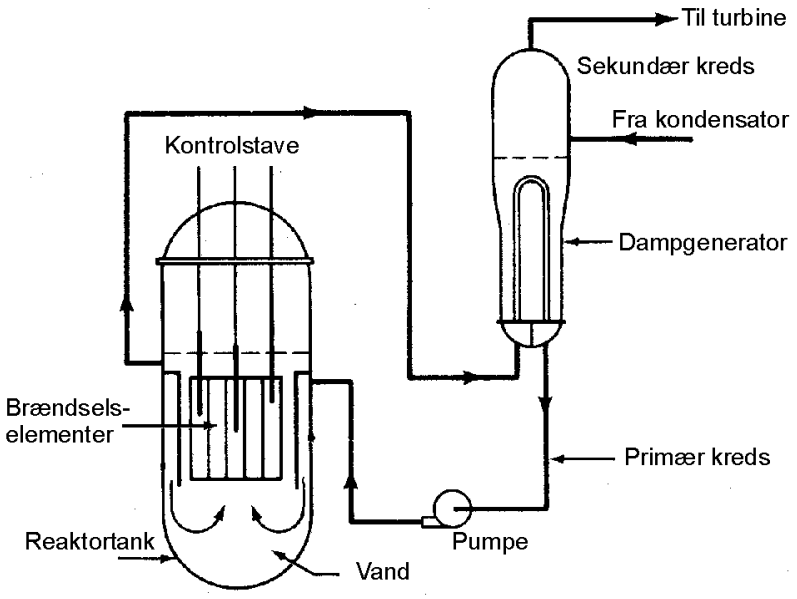
- Kræftformer induceret af ioniserende stråling
- Udviklingsmekanismer for kræft
- Kroppens forsvarssystemer mod kræft
- Genetiske skader induceret af ioniserende stråling
- Synergieffekter mellem ioniserende stråling og andre miljøfaktorer
- Evaluering af konsekvenserne af større radiologiske ulykker

APPENDIKS A: Reaktortyper

Ved begyndelsen af 2001 var der ialt 438 kraftreaktorer i drift i verden, mens der var 31 under bygning. De 438 reaktorer er ikke alle af samme konstruktion. Der er 208 trykvandsreaktorer (PWR), 91 kogendevandsreaktorer (BWR), 50 trykvandsreaktorer af russisk design (VVER), 35 tungtvandsreaktorer (PHWR), 34 gaskølede reaktorer (GCR), 17 grafitmodererede, kogendevandskølede reaktorer (RBMK), og 3 hurtige formeringsreaktorer (FBR). Af de 31 kraftreaktorer under bygning er 12 PWR, 3 BWR, 9 VVER, 6 PHWR og 1 RBMK. I det følgende er der givet en kort omtale af disse reaktortyper.

A1 Trykvandsreaktorer (PWR)

Den centrale del af en trykvandsreaktor er reaktortanken, der indeholder reaktorkernen, hvori kædereaktionen foregår (se Figur A1). Kernen består af brændselselementerne samt af vand, der fungerer som såvel moderator som kølemiddel. Brændselselementerne består af knipper af brændselsstave, der indeholder urandioxid-piller, som er omgivet af et beskyttende indkapslingsrør af zirkonium.



Figur A1. Trykvandsreaktor.

Da almindeligt vand har en ikke ubetydelig tilbøjelighed til at indfange neutroner, skal det brændselsmateriale, der anvendes i vandmodererede reaktorer, være svagt beriget uran (3-5%). Naturligt uran kan ikke anvendes. Kædeprocessen kontrolleres ved hjælp af kontrolstave, der føres ned i kernen ovenfra. Endvidere kan reaktorvandet indeholde et neutronabsorberende stof, hvis koncentration kan varieres (opløselig forgiftning). Endelig kan brændselsstavene også indeholde et neutronabsorberende stof, der gradvis "forbrændes" (brændbar gift). Reaktorens varmeproduktion måles ved hjælp af ioniseringskamre og ved at måle temperaturstigningen over kernen samt vandstrømmen gennem denne. Disse målinger benyttes til automatisk effektregulering.

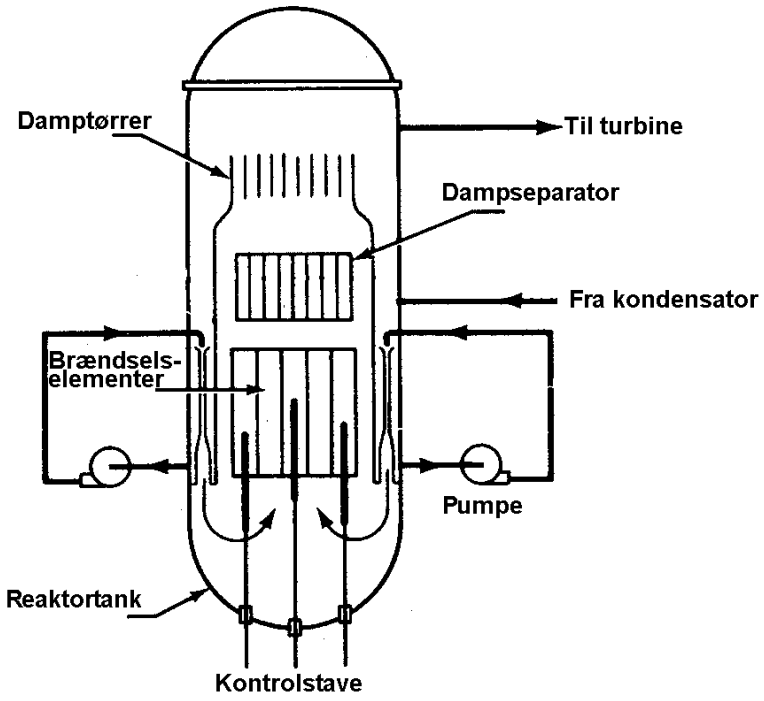
Varmen i en kraftreaktor produceres ved kernespaltning (fission) i brændselsstavene, som herved opvarmes. Når reaktorvandet bevæger sig op langs de varme brændselsstave, opvarmes det, hvorefter det strømmer til en dampgenerator. Her vil reaktorvan-

det bringe vandet på den anden side af dampgeneratorens rør i kog, samtidig med at det selv afkøles. Fra dampgeneratoren pumpes reaktorvandet ved hjælp af en pumpe tilbage til reaktortanken. Dette kredsløb kaldes det primære kredsløb. Indløbstemperaturen af reaktorvandet til kernen ligger på omkring 275 ^{o}C, mens udløbstemperaturen ligger på ca. 310 ^{o}C. For at undgå kogning i reaktorkernen holdes trykket i reaktoren på ca. 150 bar. Dette sker ved hjælp af en trykholder, der ikke er vist på Figur A1.

Den damp, der produceres ved kogningen i dampgeneratoren strømmer til dampturbinen, som dampen bringer i rotation. Turbinen trækker en elektrisk generator. Dampens tryk og temperatur falder hen gennem dampturbinen. Fra turbinens udløb føres dampen til kondensatoren, hvor dampen ved køling fortættes til vand, som pumpes tilbage til dampgeneratoren. Dette kredsløb kaldes det sekundære kredsløb. Kølingen af kondensatoren sker ved brug af havvand eller vand, der er blevet kølet i køletårne.

A2 Kogendevandsreaktorer (BWR)

Opbygningen af kernen i kogendevandsreaktorer minder meget om trykvandsreaktorers, men i kogendevandsreaktorer sker kogningen og dermed dampproduktionen inde i reaktorkernen. Et lodret snit gennem en kogendevandsreaktor er vist i Figur A2. Ved kernens top er anbragt dampseparatorer, der adskiller den blanding af vand og damp, der kommer op af reaktorkernen.



Figur A2. Kogendevandsreaktor.

Ved adskillelsen sendes vandet ned gennem mellemrummet mellem kerne og reaktortank, mens dampen sendes op gennem damptørrere, der en anbragt over dampseparatorerne, og som fjerner de sidste vanddråber i dampen. Herfra går dampen til dampturbinen, videre til kondensatoren, hvor det kondenseres, og via en pumpe tilbage til reaktortanken. Her mødes kondensatorvandet med vandet fra dampseparatoren og blandingen sendes ved hjælp af en pumpe op gennem reaktorkernen.

BWR-brændselselementer minder i deres konstruktion meget om PWR-elementer, og de kan også indeholde brændbar neutrongift. Kogendevandsreaktorer kontrolleres ved

hjælp af kontrolstave, der p.g.a. dampseparatorerne og damptørrerne over kernen bevæges ind i kernen nedefra.

Trykket i en BWR er kun omtrent halvdelen af trykket i en PWR, omkring 75 bar. Temperaturen af kølevandet ved indløbet er ca. 275 ^{o}C og temperaturen af vand og damp ved udløbet er ca. 285 ^{o}C. Temperaturen og trykket af den damp, der når frem til turbinen, er omtrent de samme som for en PWR.

A3 VVER-reaktorer (VVER)

Den russiske udgave af trykvandsreaktoren til kernekraftværker betegnes VVER, hvilket står for "Voda Voda Energija Reaktor" eller "Vand Vand Energi Reaktor", idet den anvender vand til såvel moderator som kølemiddel, og idet den benyttes til energi- eller kraftproduktion. Den spiller en vigtig rolle for kernekraftproduktionen i SNG-landene, men findes også i Finland og i adskillige centraleuropæiske lande. Den er bygget i to effektstørrelser, VVER-440 med en nominel effekt på 440 MWe og VVER-1000 med en nominel effekt på 1000 MWe. VVER-440 findes i to udgaver, hvoraf VVER-440/230 er den ældste og VVER-440/213 er den nyeste. Tabel A.1 viser den geografiske fordeling af de idriftværende VVER-enheder.

Det finske kernekraftværk Loviisa er forsynet med to VVER-440-reaktorer, der strengt taget ikke hører hverken til 440/230- eller 440/213-udgaven, idet man fra finsk side krævede indført en række ændringer, der fik den finske udgave op på vestligt sikkerhedsniveau.

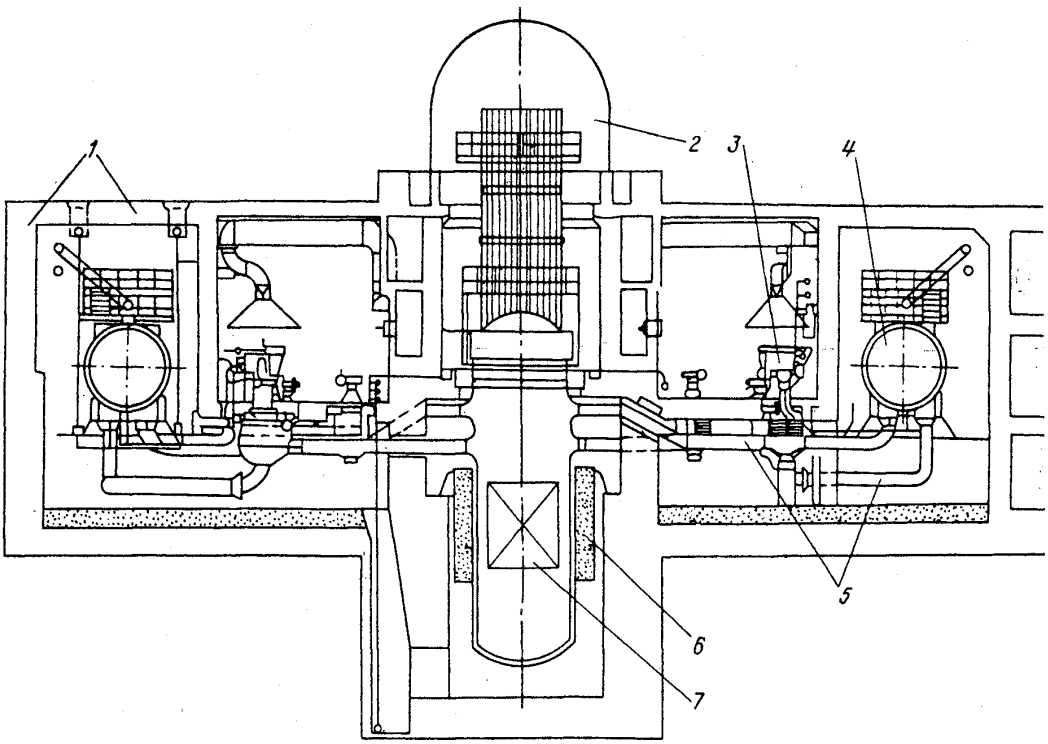
Der er et antal VVER-1000 enheder under bygning; to i Kina, to i Rusland, en i Tjekkiet og fire i Ukraine. Desuden er der to VVER-440/213-enheder under bygning i Slovakiet. Endelig færdiggør et russisk firma i Iran en 1000 MWe trykvandenhed, som Siemens startede opførelsen af. På grund af de vanskelige økonomiske forhold i Central- og Østeuropa er det tvivlsomt, om alle projekterne gennemføres.

Tabel A.1. Idriftværende VVER-enheder

Land	**Antal VVER-440/230-enheder**	**Antal VVER-440/213-enheder**	**Antal VVER-1000-enheder**
Armenien	1	0	0
Bulgarien	4	0	2
Finland	0	2	0
Rusland	4	2	7
Slovakiet	2	4	0
Tjekkiet	0	4	1
Ukraine	0	2	11
Ungarn	0	4	0
Ialt	11	18	21

VVER-440

Af de to udgaver af VVER-440-reaktoren udmærker VVER-440/213 sig ved, at der er indført en række sikkerhedsmæssige forbedringer. Et snit gennem en VVER-440-reaktor er vist i Figur A3.



Figur A3. Lodret snit gennemden russiske trykvandsreaktor VVER-440/230. 1 Betonvæg, 2 Beskyttelseslåg, 3 Primær cirkulationspumpe, 4 Dampgenerator, 5 Rør i det primære kredsløb, 6 Strålingsafskærmningstank med vand, 7 Reaktorkerne.

VVER-440/230 har ikke en reaktorindeslutning i vestlig forstand. Den bygning, der omgiver reaktoren og det primære kølekredsløb, er ganske vist solid, men den har et beskedent rumfang, og den kan kun klare et overtryk inde i bygningen på 1 bar. VVER/213 er derimod forsynet med et boblekondensations-tårn, hvor damp, der slipper ud af reaktorsystemet ved et uheld, vil blive fortættet, hvorved trykstigningen inde i bygningen begrænses. Der har været rejst tvivl om kondensationstårnets effektivitet, men forsøg har vist, at det fungerer som planlagt.

VVER-440/230 har kun et begrænset nødkølesystem. Den er forsynet med 6 pumper i to grupper, der hver kan levere 10-15 liter borholdigt vand pr. sekund ved et tryk på 125 bar. VVER-440/213 har tre højtryks- og tre lavtrykspumper til nødkøling. Dertil kommer 4 tryksatte (60 bar) lagertanke med borholdigt vand. Denne nødkølekapacitet er tilstrækkelig til at klare et fuldt rørbrud på primærkredsens rør (diameter 30 cm).

Et problem ved VVER-440-reaktorerne, der har været meget diskuteret, er, at væggen af tryktanken og ikke mindst nogle af tankens svejsesømme sidder tæt ved reaktorkernen, og at tanken derfor bliver udsat for en betydelig bestråling med hurtige neutroner, som gradvis gør stålet skørt. Denne uønskede omdannelse kan modvirkes ved med mellemrum at foretage en udglødning af de mest udsatte dele af tanken. Bestrålingen af tankvæggen kan også reduceres ved, at de brændselselementer, der befinder sig nærmest tanken, erstattes af stålelementer. Nærmere undersøgelser har vist, at skørhedsproblemet ikke ser ud til at være så stort som tidligere antaget.

En svaghed ved VVER-440-typen er, at der ikke altid er den fornødne adskillelse af forskellige sikkerheds- og andre systemer, hvorfor et uheld i ét system kan påvirke et andet. Endelig er der ikke den nødvendige dublering af sikkerhedsrelevante systemer.

Sammenlignet med vestlige trykvandsreaktorer har VVER-440-typen dog også en række fordele. Typen har 6 parallelle kølekredsløb, hvor vestlige reaktorer sædvanlig-

vis har 2 eller 3. Herved bliver diameteren på rørene i de enkelte kredsløb mindre og lækagen ved rørbrud tilsvarende mindre. Såfremt effektforsyningen til de primære cirkulationspumper forsvinder, mens reaktoren kører ved fuld effekt, er naturlig cirkulation i stand til at fjerne eftervarmen, uden at brændslet beskadiges. VVER-reaktorerne indeholder større mængder vand, hvilket betyder, at der går længere tid efter starten af en læk, før tilførsel af nyt kølevand er nødvendig. Tab-af-kølemiddeluheld med VVER-enheder har demonstreret, at dette faktisk er tilfældet. Endelig er varmebelastningen på brændselsstavene noget mindre, ligesom trykket er noget mindre end i vestlige trykvandsreaktorer.

VVER-1000
VVER-1000-typen minder meget om de vestlige trykvandsreaktorer. Reaktoren er forsynet med fire parallelle kølekredsløb med hver sin dampgenerator. Hver enhed er forsynet med en enkelt 1000 MWe generator med tilhørende dampgenerator. VVER-1000 er forsynet med en regulær reaktorindeslutningsbygning, der kan klare et overtryk på 4 bar. Typen er ligeledes designet til at kunne klare et brud på det største rør i det primære kølekredsløb og samtidigt tab af ekstern el-forsyning. Det er derfor den generelle opfattelse, at VVER-1000-enheder med begrænsede forbedringer kan nå op på vestlig sikkerhedsstandard.

Andre VVER-udgaver
Der har været arbejdet med udvikling af forskellige varianter af af VVER-typen, f.eks. VVER-91 og VVER-640, men mangel på økonomiske ressourcer rejser tvivl om gennemførligheden af disse projekter.

A4 Tungtvandsreaktorer (PHWR)

Tungtvandsreaktorer anvender tungt vand som moderator. I næsten alle tilfælde er kølemidlet også tungt vand, som adskiller sig fra almindeligt eller let vand ved, at dets molekyler indeholder tung brint eller deuterium (^{2}H) i stedet for almindelig brint (^{1}H). Tungt vand fremstilles ved isotopseparation ud fra den i naturen forekommende brint og er meget dyrt. Til gengæld kan man i tungtvandsreaktorer anvende naturligt uran som brændsel, fordi tungt vand kun i yderst ringe omfang indfanger neutroner, og fordi tung brint er en udmærket moderator.

Tungtvandsreaktorer forekommer i to udgaver, tryktank- og trykrørsreaktoren. Den første minder i sin opbygning meget om trykvandsreaktoren. Den er kun bygget i få eksemplarer og skal derfor ikke omtales yderligere.

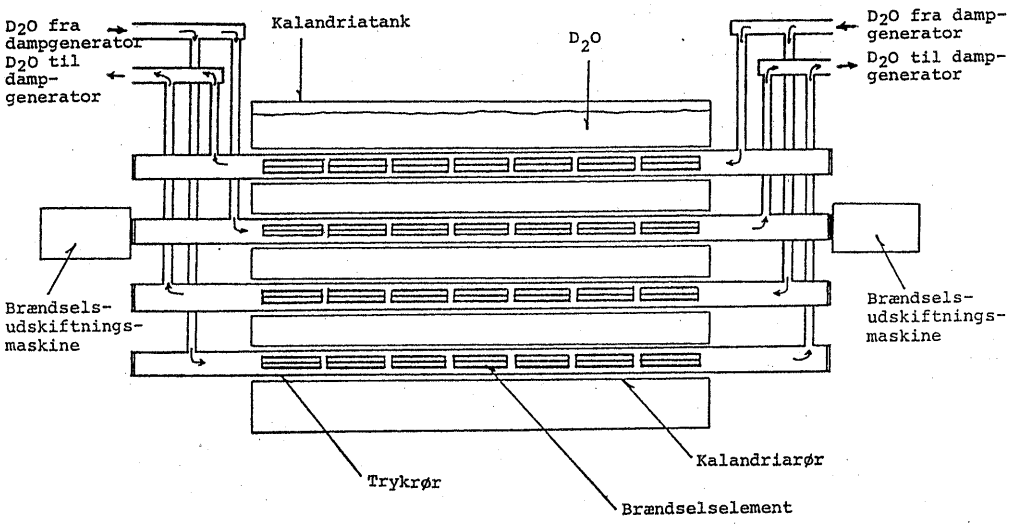
Trykrørsreaktoren er udviklet i Canada og har fået navnet CANDU (CANada DeuteriumUranium). I denne findes tungtvandsmoderatoren i en cylindrisk tank, kalandriatanken, gennem hvilken der parallelt med cylinderaksen er ført et antal rør, kalandriarørerne. Inden i disse findes et nyt sæt rør, trykrørerne, i hvilke brændselselementerne er anbragt (se Figur A4) og hvori det varme kølemiddel, tungt vand, strømmer. Såvel kalandria- som trykrør er fremstillet af en zirkoniumlegering. Brændselselementerne består af korte, runde knipper af zirkoniumindkapslede UO_2-stave. I modsætning til PWR og BWR, hvor brændselselementerne sædvanligvis er flere meter lange, er CANDU-elementerne kun ca. ½ m.

Da der ikke er termisk kontakt mellem moderator og kølemiddel, har trykrørsreaktoren den fordel, at moderatoren kan holdes ved lav temperatur, hvorfor en stor, dyr tryktank ikke er nødvendig. Ligeledes kan man i princippet anvende andre kølemidler end tungt vand. Til gengæld er det nødvendigt at indføre ekstra materialer i kernen i form af tryk- og kalandriarør. Trykket i trykrørerne er ca. 100 bar, mens indløbstemperaturen

er omkring 250°C, og udløbstemperaturen er 295 °C. Fra reaktoren går det varme kølemiddel til en dampgenerator og herfra via en cirkulationspumpe tilbage til reaktoren.

CANDU-reaktoren kontrolleres ved hjælp af kontrolstave, der føres ind ovenfra i kalandriatanken. Endvidere kan det tunge vand i kalandriatanken hurtigt drænes ned i en underliggende tank, hvorved kædereaktionen også vil standses.

Mens det ved PWR og BWR er nødvendigt at lukke reaktoren ned og åbne reaktortanken for at udskifte brændselselementer, kan udskiftningen i en tungtvandstrykrørsreaktor ske under drift. For begge ender af kalandriatanken findes der en brændselsudskiftningsmaskine, ved hjælp af hvilken man kan skubbe nye elementer ind i kernen og samtidig trække udbrændte elementer ud (se Figur A4).



Figur A4. Lodret snit gennem den canadiske tungtvandsreaktor CANDU.

A5 Gaskølede, grafitmodererede reaktorer (GCR)

I grafitmodererede reaktorer anvendes grafit eller kulstof som moderatormateriale. P.g.a. kulstofatomets relativt høje masse (det er 12 gange så tungt som et almindelig brintatom og seks gange så tungt som et deuteriumatom) er grafit ikke nogen særlig fremragende moderator. Dette medfører, at reaktorkernen i denne reaktortype bliver stor. Til gengæld har grafitatomer ringe tilbøjelighed til at indfange neutroner, hvorfor man i grafitreaktorer kan anvende naturligt uran som brændsel. Grafit er et relativt billigt materiale, der kan tåle meget høje temperaturer.

I grafitreaktorer anvendes gasarterne kuldioxid (CO_2) og helium (He) som kølemiddel. Gasarter er kun acceptable som kølemidler, hvis de holdes ved højt tryk. Derfor anbringes gaskølede reaktorer i en trykbeholder af stål eller forspændt beton.

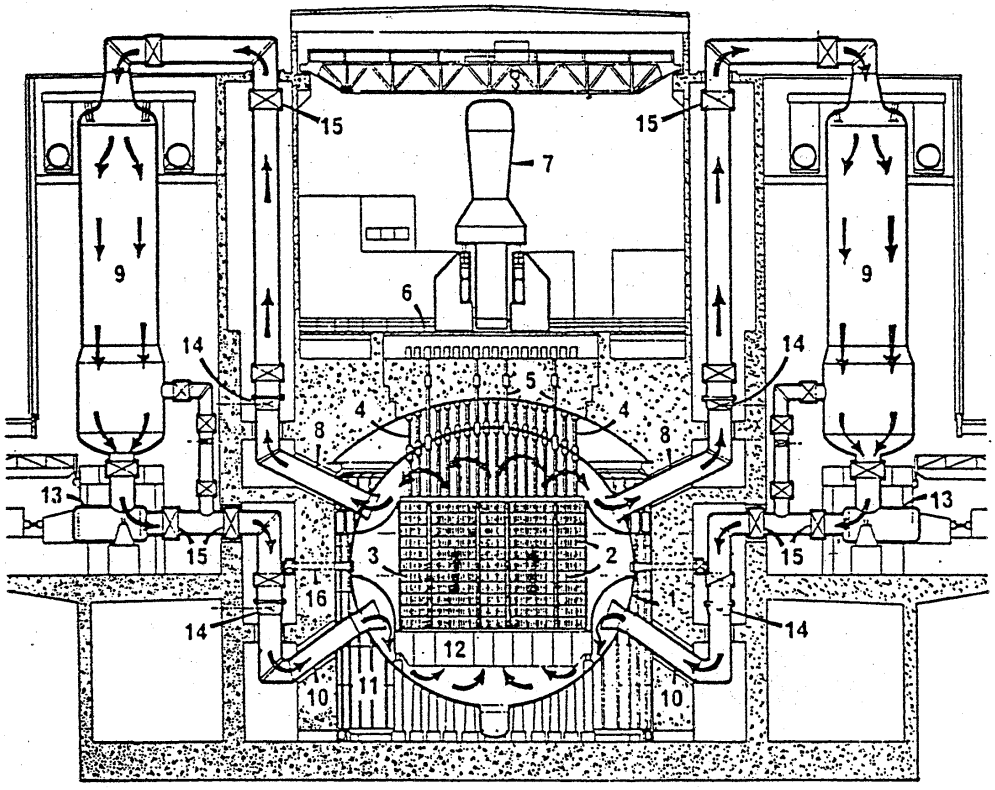
Den første generation af grafitmodererede, gaskølede kraftreaktorer blev udviklet i Storbritannien og Frankrig. Disse reaktorer anvender naturligt uranmetal som brændselsmateriale og en magnesiumlegering (magnox) som indkapsling. Brændselselementerne har form af korte uranstave eller -rør, og det omgivende magnoxlag er forsynet med køleribber for at forbedre varmetransporten. I Figur A5 er vist et lodret snit gennem denne type, som kaldes magnox-reaktoren. Brændselselementerne er stablet oven på hinanden i lodrette kanaler gennem den cylindriske grafitmoderator, og brændslet kan ligesom i CANDU-typen udskiftes under drift. Kølemidlet pumpes op gennem kanalerne, hvorved det gennem kontakt til brændslet opvarmes. Herfra går det til dampgeneratoren og via en pumpe tilbage til reaktoren. Kølegassens indløbstempera-

tur til kernen er ca. 240 °C og udløbstemperaturen ca. 400 °C, mens gastrykket er 25-30 bar.

Magnoxreaktorerne blev bygget i 1950'erne og i 1960'erne, og nogle er fortsat i drift. Men da der i dag findes reaktortyper, der er mere økonomisk konkurrencedygtige, vil der ikke blive bygget flere magnoxreaktorer.

I Storbritannien har man videreudviklet magnox-typen, og næste reaktorgeneration er den avancerede gaskølede reaktor, AGR. Den adskiller sig primært fra magnox-reaktoren ved som brændsel at anvende knipper af UO_2-stave, indkapslet i rustfrit stål. Da rustfrit stråll har betydelig tilbøjelighed til at indfange neutroner, må beriget uran (ca. 2,5%) anvendes. Dette betyder dyrere brændsel. Til gengæld kan man med de anvendte brændselsmaterialer køre ved højere temperaturer og herved opnå en højere termisk virkningsgrad, man kan p.g.a. elementernes større overfladeareal trække mere varme ud, og man kan p.g.a. berigningen få mere energi ud pr. kg brændsel. I Storbritannien er der blevet opført et antal kernekraftværker med denne reaktortype.

Tredie generation af den gaskølede reaktortype er den højtemperatur, gaskølede reaktor, HTGR. Den udmærker sig ved i kernen kun at indeholde brændselsmateriale og grafit, hvorfor den kan køre ved meget høje temperaturer. Som kølegas anvendes helium. Uranbrændslet har form af små urandioxidkugler, der er omgivet af meget tætte grafitlag. Disse kugler blandes med grafitpulver og formes enten som brændselskugler eller -cylindre. Herefter anbringes brændselskuglerne inden i grafitkugler, mens -cylindrene anbringes inden i grafitrør. Kølemidlets tryk i reaktoren ligger på ca. 50 bar, mens indløbstemperaturen er ca. 400 °C og udløbstemperaturen er 750-800 °C.



Figur A5. Lodret snit gennem en Magnox-reaktor.
1 Trykbeholder, 2 Brændselselement, 3 Grafit-moderator, 4 Laderør, 5 Standrør til kontrolstænger, 6 Platform, 7 Lademaskine, 8 Afgang for varm gas, 9 Dampgeneratorer, 10 Gastilgang til reaktor, 11 Termisk afskærmning, 12 Bærende konstruktion, 13 Cirkulationsblæsere, 14 Afspærringsventil, 15 Kompensatorer, 16 Detektorrør.

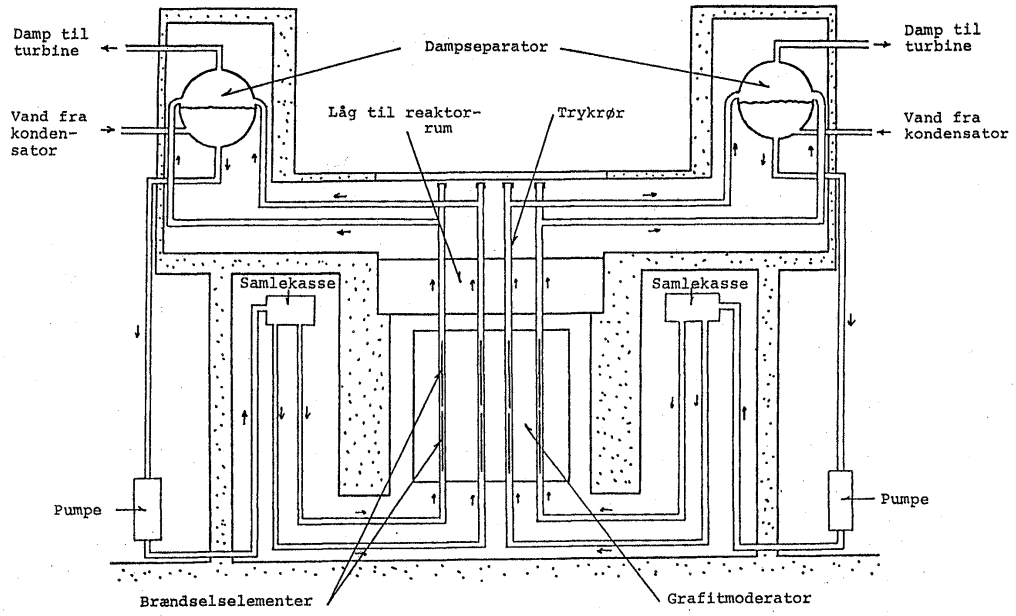
Hvis brændselskugler anvendes, fås den såkaldte Pebble Bed Reactor (PBR). Den består af en slags silo, der er fyldt med brændselskugler. Kuglerne føres ind fra oven og tages ud for neden. Hvis de ikke har en tilstrækkelig udbrænding, sendes de tilbage til reaktorens top.

HTGR-typen har en række sikkerhedsmæssige fordele. Alle i kernen anvendte materialer kan tåle meget høje temperaturer. Grafit har en betydelig varmekapacitet, hvorfor temperaturstigningen sker langsomt. Derfor vil tab-af kølemiddel-uheld ikke have alvolige konsekvenser. En PBR kan ikke blive ret meget overkritisk, hvorfor kritikalitetsuheld kan udelukkes.

Der har i mange år været arbejdet på udvikling af HTGR-typen, uden at den har fået sit kommercielle gennembrud. Men i de senere år har der i en række lande vist sig en stigende interesse for denne type.

A6 RMBK-reaktorer

Forkortelsen RBMK står for "Reaktor Bolshoj Moshnost'i Kanal'nogo", der oversat til dansk betyder "Reaktor stor effekt og kanaltype". Det er betegnelsen for den grafitmodererede, kogendevandskølede reaktor, der i årene efter 2. verdenskrig blev udviklet i Sovjetunionen. Typen er en videreudvikling af de produktionsreaktorer, der blev opført i Sovjetunionen til produktion af våbenplutonium. RBMK-typen benyttes alene til kraftproduktion og brændslet oparbejdes ikke. I stedet oplagres det udbrændte brændsel ved kraftværkerne. I Figur A6 er vist et lodret snit gennem en RBMK-reaktor.



Figur A6. Lodret snit gennem en RBMK-reaktor. (Tjernobyl-typen, principskitse)

RBMK-reaktoren består af en grafitcylinder, gennem hvilke der i et stort antal kanaler (ca. 1600) er anbragt trykrør af zirkonium, som indeholder brændselelementerne. Disse består af knipper af zirkoniumindkapslede urandioxidstave med en berigning på ca. 2%. Vand strømmer nedefra op gennem reaktorkernen, hvor det opvarmes og bringes i kog. Denne vand-damp-blanding går fra reaktorens top til en dampseparator, hvor vand og damp adskilles. Dampen går til dampturbinen, mens vandet, der blandes med

returvandet fra kondensatoren, går til pumpen og tilbage til reaktoren (jfr. afsnit A3). Kølemiddeltrykket i trykrørerne er 80 bar, indløbstemperaturen er 270 ^{o}C og udløbstemperaturen er 285 ^{o}C.

RBMK-typen er kun blevet bygget inden for Sovjetunionens grænser. Men efter Sovjetunionens opløsning lå Tjernobyl-værket, som senere er blevet lukket, i Ukraine og Ignalina-værket i Litauen. De fire resterende værker ligger i Rusland, som det fremgår af tabel A.2.

Tabel A.2. Idriftværende RBMK-enheder

Værk	Antal enheder	Land	Afstand til Danmark	El-effekt pr. enhed
Leningrad	4	Rusland	1050 km	925 MWe
Kursk	4	Rusland	1450 km	925 MWe
Smolensk	3	Rusland	1100 km	925 MWe
Bilibino	4	Rusland	5900 km	11 MWe
Ignalina	2	Litauen	700 km	1185 MWe

Efter Tjernobyl-ulykken i 1986 har interessen for fortsat bygning af denne reaktortype været begrænset, men én enhed, Kursk-5, der angives at være 90% færdigbygget, skulle komme i drift i 2002.

Tjernobyl-ulykken demonstrerede på dramatisk vis svaghederne ved denne reaktortype:

1. De tidlige reaktorer af denne type havde ikke nogen reaktorindeslutning, og de senere, hvortil Tjernobyl-værket hørte, havde en indeslutning, der kun kunne klare små uheld. Selvom indeslutningen ved nogle værker i dag er blevet forbedret, således at den kan klare noget større uheld, lever den stadig ikke op til vestlig standard. Det forekommer ikke muligt at lave en tilfredsstillende indeslutning på de eksisterende værker.
2. Brugen af en antændelig moderator, grafit, medførte en væsentlig forøgelse af udslippet af radioaktive stoffer ved Tjernobyl-ulykken.
3. Reaktortypen bliver under visse driftsbetingelser ustabil og kan få kædeprocessen til at løbe løbsk p.g.a. den såkaldte positive dampkoefficient. Denne koefficient er efter Tjernobyl-ulykken blevet reduceret ved brug af højere berigning i uranbrændslet.
4. Det oprindelige kontrolstavssystem var meget uheldigt udformet. Dette har ført til en ændring af kontrolstavssystemet.

Alle fire forhold bidrog væsentligt til Tjernobyl-ulykken. Der kan gøres noget ved de to sidstnævnte forhold, men kun lidt ved de to første. Det skal også nævnes, at driftspersonalets utilstrækkelige uddannelse og viden om anlægget bidrog til at øge ulykkens omfang.

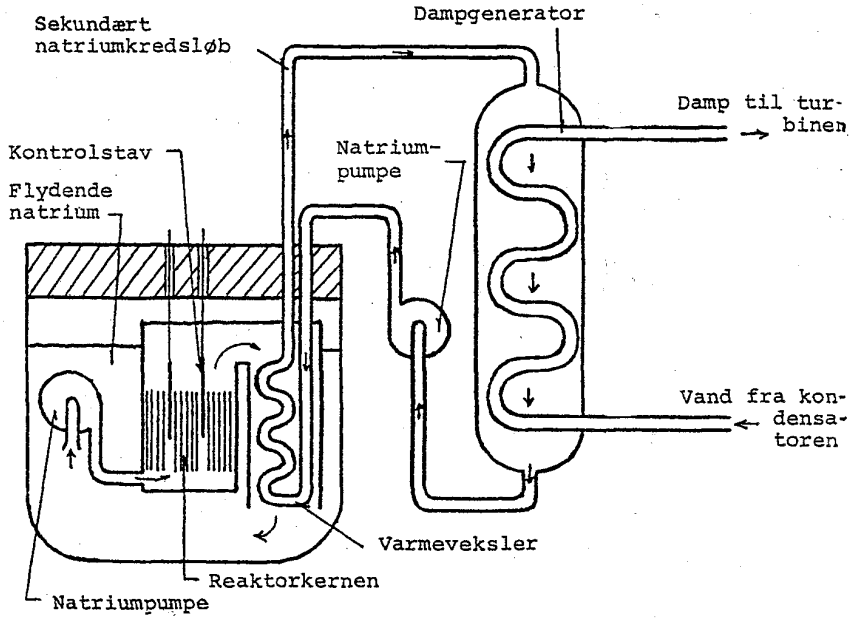
Når man alligevel har bygget denne reaktortype, er årsagen givetvis, at man kan opnå en høj effekt pr. enhed, uden at man som ved trykvandsreaktorer behøver at fremstille store reaktortryktanke. Ved RBMK-typen, som er en trykrørsreaktor, er den store tryktank erstattet af et stort antal trykrør, der indeholder brændsel og kølemiddel, og hvis antal og hermed reaktorens effekt i princippet kan øges ubegrænset.

A7 Hurtige formeringsreaktorer

Hurtige reaktorer fungerer på basis af hurtige neutroner. Derfor skal neutronerne ikke nedbremses, og derfor indeholder kernen kun brændselselementer og kølemiddel. Den store fordel ved hurtige reaktorer er, at de kan udformes på en sådan måde, at de producerer mere spalteligt materiale, end de forbruger. Dette er definitionen på en formeringsreaktor. Det sker ved, at neutronindfangning medfører, at uran-238-kerner omdannes til plutonium-239-kerner eller thorium-232-kerner til uran-233. Det betyder også, at man med denne reaktortype kan udnytte verdens uran- og thoriumforekomster fuldt ud. Med andre reaktortyper kan man kun udnytte ca. 1% af uranforekomsterne.

Brændselselementerne består af tynde stænger af urandioxid, indkapslet i rør af rustfrit stål. Som brændselsmateriale anvendes enten uran beriget til 15-20% eller en blanding af plutonium og naturligt uran. Rundt om kernen findes et lag eller en "kappe" af naturligt uran, der skal sikre, at neutroner, der undviger fra kernen, indfanges og udnyttes til produktion af nyt plutonium.

Som kølemiddel anvendes i regel flydende natrium. Det er et effektivt kølemiddel, som p.g.a. lavt damptryk kan anvendes ved høje temperaturer, uden at en svær tryktank er nødvendig. Samtidig kan en høj termisk virkningsgrad opnås. Natrium angriber hverken uranmetal, urandioxid eller rustfrit stål. Natrium reagerer derimod voldsomt med vand, hvorved der dannes stærkt korroderende stoffer. Det bliver radioaktivt ved neutronbestråling, og smelter først ved 97 ^{o}C. På grund af disse egenskaber er det nødvendigt at indføre et mellemkredsløb mellem det primære kredsløb og dampgeneratoren (se Figur A7). Dette kredsløb anvender også flydende natrium som kølemiddel, men det sikrer, at såfremt der opstår en lækage i dampgeneratoren, hvorved damp trænger ind i det sekundære kredsløb, kommer dette ikke umiddelbart til at påvirke det primære kredsløb og reaktoren. Det radioaktive natrium i det primære kredsløb bliver heller ikke involveret i den kemiske reaktion.



Figur A7. Lodret snit gennem en hurtig formeringsreaktor, principskitse.

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

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

Alle betydende lande har tilsluttet sig den pågældende opdeling i klasser, som kaldes "The International Nuclear Event Scale" eller blot INES. Der findes en omfattende beskrivelse af, hvorledes hændelser eller uheld på nukleare anlæg skal placeres på skalaen. Sædvanligvis sker det ved, 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 en anden klasse mere korrekt. Der sker jævnligt sådanne justeringer, både i opad- og i nedadgående retning. Fra IAEA sendes der snarest oplysning om indregistreringerne til alle nukleare sikkerhedsmyndigheder over hele verden. Disse kan så vurdere, om der kan ske tilsvarende hændelser i de pågældende lande, så 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 helbredsskader 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. Hvis beredskabsforanstaltninger har været indført i tide, har man formentlig kunnet undgå, at et klasse 6 uheld resulterer i strålingssyge i omegnen. I mange år mente man, at der aldrig var indtruffet et klasse 6 uheld. Men efterhånden som der er fremkommet detaljerede oplysninger om hændelser i det tidligere Sovjetunionen, er man blevet klar over, at der i 1957 skete et meget alvorligt uheld på Kyshtym oparbejdningsanlægget, hvor der spredtes store mængder radioaktivitet i omegnen. Befolkningen blev dengang evakueret for at undgå alvorlige helbredsskader.
- Klasse 5 [Uheld eller ulykke med risiko for omgivelserne]: Klassen dækker bl.a. uheld med udslip af mere begrænsede mængder radioaktivitet, der dog nødvendiggør gennemførelse af dele af en beredskabsplan, f.eks. "Gå inden døre", og efterfølgende begrænsninger for landbrugsproduktionen. Windscale-branden i 1957 er et eksempel på et klasse 5 uheld. Havariet af reaktor 2 på Tremileøen i Pennsylvanien i 1979 er også et eksempel på klasse 5. Her blev der frigivet betydelige mængder radioaktivitet inde i den lufttætte bygning om reaktoren. Der var således en vis risiko for, at betydningsfulde mængder radioaktivitet kunne være sluppet ud.
- Klasse 4 [Uheld med skader, der overvejende berører selve anlægget]: Typisk kan et klasse 4 uheld på et kernekraftværk 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 1999 skete der et klasse 4 uheld på Tokaimura anlægget i Japan, hvor der fremstilles uranbrændsel. I strid med reglerne blev der samlet 40 liter væske med beriget uran i en beholder, hvorved der opstod en kraftig kædereaktion. Tre personer fik store stråledoser; to døde senere, mens den tredie overlevede. Naboer til anlægget blev evakueret i 20 timer, men der slap kun betydningsløse mængder radioaktivitet ud fra anlægget. I 2000 døde i Egypten to personer, og flere andre fik strålingssyge som følge af bestråling fra en stjålen kilde, der benyttedes til svejsekontrol. Her havde ejeren af kilden undladt at fortælle myndighederne, at den farlige kilde var forsvundet.

- Klasse 3 [Alvorlig hændelse]: Mange forskellige slags hændelser kan rubriceres i klasse 3. Et eksempel kan være udslip til omgivelserne af små mængder radioaktivitet, der kan give strålingsdoser som dem, der fås ved en flyrejse mellem USA og Europa. Der kan også være tale om svigt af et sikkerhedssystem, som kunne have ført til en alvorlig situation, hvis der også samtidigt var forekommet andre fejl. Klasse 3 omfatter også ulykker med strålingskilder, hvor personer har fået kraftige strålingsdoser. I de senere år er det især ulykker med strålingskilder, der har domineret statistikken. Både i 1999 og 2000 skete der således to steder i verden uheld med kraftige bestrålinger fra strålingskilder.

- Klasse 2 [Hændelse]: Under klasse 2 rubriceres tekniske fejl og forstyrrelser, der ikke direkte har påvirket et anlægs sikkerhed, men som peger på, at udstyr eller rutiner skal ændres, hvis det krævede sikkerhedsniveau skal opretholdes. Som et eksempel på en klasse 2 hændelse fra 2001 kan nævnes, at man ved opstart af det tyske kernekraftværk Philippsburg-2 ikke havde fyldt nogle med store tanke helt med bor-holdigt vand. Personalet overhørte de automatiske advarsler, og først da kædeprocessen i reaktoren skulle igangsættes, blev tankene fyldt helt op. Fejlen betød ikke direkte noget for reaktorsikkerheden, man den afslørede en mangel ved personalets "sikkerhedsbevidsthed".

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

- Klasse 0: Det drejer sig om hændelser, der ikke har haft nogen sikkerhedsmæssig betydning - og ikke ville kunne have fået det, fordi alt sikkerhedsudstyr fungerede korrekt. Alligevel rapporteres mange sådanne hændelser. Det kan f. eks. være hændelser, der har været vidt omtalt i nyhedsmedierne, og som der derfor er behov for at give en nærmere teknisk gennemgang af. Som et eksempel fra 1998 kan nævnes, at man i juni 1998 flere steder i det sydlige Europa kunne detektere cæsium-137 i luften. Niveauerne var mere end 10.000 gange under de niveauer, man kunne have haft i årevis uden at overskride nogen tilladelig grænse. Men historien havde mediernes interesse - selv i Danmark. Det viste sig, at et stålværk i det sydlige Spanien havde smeltet en cæsium-137 kilde sammen med noget jernskrot, og cæsium-137 var gået op gennem skorstenen som damp og havde spredt sig ud over Middelhavet, og senere var det nået op til bl.a. Frankrig og Tyskland. At man i 2001 på et indisk kernekraftværk kunne mærke rystelser fra et kraftigt jordskælv, uden at det påvirkede værkets drift, er således også en klasse-0 hændelse, der har haft mediernes interesse. Først ved væsentligt kraftigere rystelser var der risiko for skader på værket; og automatiske følere ville da automatisk have stoppet reaktoren i løbet af få sekunder.

APPENDIKS C: Anvendte forkortelser

AB	Aktiebolag
ABC	American Broadcasting Corporation
ABWR	Advanced Boiling Water Reactor, General Electric's avancerede kogendevandsreaktor
AECL	Atomic Energy of Canada Ltd, det statslige, canadiske selskab for kerneenergiudvikling
AGR	Advanced Gas-cooled Reactor, den engelske, avancerede gaskølede reaktor
AkEnd	Arbeitskreis Auswahlverfaren Endlagerstandorte, arbejdsgruppe vedrørende pladsvalg for tysk slutdepot
ANDRA	l'Agence Nationale pour la gestion des Déchets Radioactifs, den statslige, franske affaldsorganisation
ANP	Advanced Nuclear Power
AP-600	Westinghouse's avancerede trykvandsreaktor
ARGOS	Accident Reporting and Guiding Operational System, Beredskabsstyrelsens beslutningsstøtteprogram
bar	Enhed for tryk. 1 atmosfæres tryk lig 1,013 bar
BE	British Energy, det engelske el-selskab, der ejer de fleste britiske kernekraftværker
BN	Bystrokh Nejtronakh, hurtige neutroner. Russisk version af hurtigreaktoren
BNFL	British Nuclear Fuel Ltd., britisk, statsligt kernebrændsels- og reaktorfirma
BPP	Bruce Power Partnership. Datterselskab af British Energy, der har lejet reaktorer af Ontario Power Generation
Bq	Becquerel, aktivitetsenhed (ét henfald pr. sekund)
BREST	Russisk hurtigreaktorprojekt med bly-vismut-køling
BRS	Beredskabsstyrelsen
BWR	Boiling Water Reactor, kogendevandsreaktor
CANDU	Canadian Deuterium Uranium, den canadiske tungtvandsreaktor af trykrørstypen
CDU	Christlich-Demokratische Union, tysk politisk parti
CEA	Commissariat a l'Énergie Atomique, den statslige, franske forskningsorganisation for kerneenergi
CEZ	Det tjekkiske el-selskab
Ci	Curie, aktivitetsenhed (=$3{,}7\times10^{10}$ Bq)
CLAB	Central Lager för Använt Bränsle, svensk lager for brugt brændsel
CO_2	Kuldioxid
CSN	Consejo de Seguridad Nuclear, den spanske reaktorsikkerhedsorganisation
CSU	Christlich-Soziale Union in Bayern, tysk politisk parti
DD	Dansk Dekommissionering
DMI	Danmarks Meteorologiske Institut
DOE	Department of Energy, det amerikanske energiministerium

DR 1	Dansk Reaktor 1, forsøgsreaktor på Risø
DR 2	Dansk Reaktor 2, forsøgsreaktor på Risø
DR 3	Dansk Reaktor 3, forsøgsreaktor på Risø
DTU	Danmarks Tekniske Universitet
D_2O	Tungt vand
EBRD	European Bank for Reconstruction and Development, den europæiske udviklingsbank for Central- og Østeuropa
EdF	Electricité de France, det statslige franske el-selskab
EIS	Environmental Inpact Statement, vurdering af miljøpåvirkning
EL-4	Eau Lourd-4, fransk tungtvandsmodereret og gaskølet reaktor
EnBW	Energie Baden-Würtemberg AG, tysk el-selskab
ENEA	Ente per le Nuove tecnologie, l'Energia e l'Ambiente, italiensk organisation for forskning og udvikling vedrørende ikke- konventionelle energiformer
EPA	Environmental Protection Agency, USA's miljøstyrelse
EPR	European Pressurized Reactor, trykvandsreaktor under udvikling i et samarbejde mellem Framatome og Siemens
ESBWR	Evolutionary Simplified Boiling Water Reactor, General Electric's udgave af en avanceret og simplificeret kogendevandsreaktor
ESKOM	Sydafrikansk el-selskab
EU	Den Europæiske Union
EURDEP	European Union Radioactivity Data Exchange Platform
FBR	Fast Breeder Reactor, hurtig formeringsreaktor
FDMT	Food chain and Dose Module Terrestrial
GAN	Gosatomnadzor, Ruslands reaktorsikkerhedsmyndighed
GAO	General Accounting Office, den amerikanske kongres' kontrolorgan
GCR	Gas Cooled Reactor
GPS	Global Positioning System
GRS	Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, tysk reaktorsikkerhedsmyndighed
GW	Gigawatt. 1 GW = 1000 MW
GWe	Gigawatt elektrisk
GWd	Gigawatt-dag
GWh	Gigawatt-time
G-7	USA, Japan, Tyskland, Frankrig, UK, Italien, Canada og Rusland
HADES	High Activity Disposal Experimental Site, belgisk underjordisk demonstrationsfacilitet for affaldsdeponering
He	Helium
HEU	Highly Enriched Uranium, højt beriget uran, ca. 90% ^{235}U
HEW	Hamburgische Elektrizitäts Werke, tysk el-selskab
HPLWR	High Performance Light Water Reactor
HTGR	High Temperature Graphite Reactor
IAEA	International Atomic Energy Agency, FN's kerneenergiorganisation
IFE	Institutt for Energiteknikk, norsk forskningsinstitut
INES	International Nuclear Event Scale, international skala for kerneenergiuheld

K2/R4	Khmelnitski-2 og Rovno-4 enhederne
KEPCO	Korean Electric Power Company, Sydkorea
KFA	Kernforschungsanstalt, Jülich, Tyskland
KFKI	Forskningsinstitut for kerneenergi i Ungarn
KNGP	Korean Next Generation nuclear Power plant
KNSP	Korean Nuclear Standard Power plant
kWe	kilowatt elektrisk
kWh	kilowatt-time
KWU	Kraftwerkunion, Siemens datterselskab
lb.	Engelsk pund, lig 0,454 kg
LEU	Low Enriched Uranium, lavt beriget uran, 2-5% ^{235}U
LOCA	Loss Of Coolant Accident, tab af kølemiddel-uheld
LWR	Light Water Reactor, letvandsreaktor
MINATOM	Det russiske kerneenergiministerium
MKER	Ny, russisk udgave af RBMK-typen
MNEPR	Multilateral Nuclear Environmental Program in Russia
MoU	Memorandum of Understanding, hensigtserklæring
MOX	Mixed OXide fuel, reaktorbrændsel fremstillet af en blanding af plutonium- og urandioxid
MW	Megawatt 1 MW = 1000 kW
MWe	Megawatt elektrisk
MWt	Megawatt termisk
NEA	Nuclear Energy Agency, OECD's kerneenergiorganisation
NIREX	Nuclear Industry Radioactive Waste Executive, engelsk affaldsorganisation
NOK	Norske kroner
NPP	Nuclear Power Plant, kernekraftværk
NPT	Non Proliferation Treaty
NRC	Nuclear Regulatory Commission, USA's reaktorsikkerhedsmyndighed
NRU	Canadisk 200 MW forskningsreaktor med tungtvandsmoderator
NT	New Technology
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OPG	Ontario Power Generation, canadisk el-selskab (alias Genco)
OSPAR	Oslo og Paris konvention til beskyttelse af det marine miljø i Nordøstatlanten med deltagelse af 15 lande.
PBMR	Pebble Bed Modular Reactor, sydafrikansk reaktorprojekt
PECO	Pennsylvania Power and Light, amerikansk el-selskab
PWR	Pressurized Water Reactor, trykvandsreaktor
RAO ESS	Russisk el-netselskab
RBMK	Reaktor-stor-effekt-kanaltype, russisk reaktor med grafit moderator og kogendevandskøling (Tjernobyl-typen)
REA	RosEnergoAtom, russisk kernekraftselskab
RODOS	Real time On-line DecisiOn Support system for nuclear emergency management
RPV	Reactor Pressure Vessel, reaktortryktank

RWE	Rheinisch-Westfalisches Elektrizitätswerk, tysk el-selskab
SAR	Sikkerheds Analyse Rapport
SE	Slovenské Elektrárne, slovakisk el-selskab
SFR	Svensk Förvar for Reaktoravfall, svensk affaldsdeponi
SILEX	Separation of Isotopes by Laser EXitation, australsk forsøg med laserberigning
SITO	Sito nazionale di deposito dei materiali radioattivi, italiensk udredning vedrørende placering af slutdepot
SKB	Svensk Kärnbränslehantering AB, den svenske affaldsorganisation
SKI	Statens kärnkraftinspektion, den svenske reaktorsikkerhedsmyndighed
SMP	Sellafield Mox Plant
SNG	Statssamfundet af uafhængige stater, rammeorganisation for de fleste af de stater, der tidligere udgjorde Sovjetunionen
SPD	Sozialdemokratische Partei Deutschlands, tysk politisk parti
SPDS	Safety Parameter Display System, system til hurtig detektering af driftsforstyrrelser
SQL	Structured Query Language
SSI	Statens StrålskyddsInstitut (Sverige)
SUJB	Tjekkisk reaktorsikkerhedsmyndighed
SWR	Simplified Water Reactor, Siemens udgave af kogendevands-reaktoren
SWU	Separative Work Unit, enhed for separativt arbejde ved berigning
^{99}Tc	Technesium-99, fissionsprodukt
TENEX	Russisk uran- og berigningshandelsfirma under MINATOM
TVA	Tennessee Valley Authority
TVEL	Russisk reaktorbrændselsproducent
TVO	Teollisuuden Voima Oy, finsk el-selskab
TWh	Terawatt-time. 1 TWh = 1 milliard kWh
U	Uran
^{235}U	Uran-235, spaltelig uranisotop
^{238}U	Uran-238, spaltelig uranisotop
UF_6	Uranhexaflurid, “hex”
UK	United Kingdom
UKAEA	United Kingdom Atomic Energy Authority
UNIX	Operativsystem for større computere
UNSCEAR	United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
URENCO	Engelsk-hollandsk-tysk berigningsfirma (centrifuger)
USEC	United States Enrichment Corporation, amerikansk berigningsfirma (diffusionsanlæg)
U_3O_8	Uranilte, “yellow cake”
VEW	Vereinigte Elektrizitäts-Werke Westfalen AG, tysk el-selskab
VNIIAES	Russisk kerneenergiforskningsinstitut
VTT	Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus, finsk teknologisk forskningscenter

VVER	Vand vand energi reaktor, russisk udgave af trykvandsreaktoren
VVM	Vurdering af Virkninger på Miljøet
WANO	World Association of Nuclear Operators
WENRA	Western European Nuclear Regulators Association
WIPP	Waste Isolation Pilot Plant, amerikansk, geologisk lager for militært, langlivet radioaktivt affald
WPS	Wisconsin Public Services Corp., amerikansk el-selskab

Bibliographic Data Sheet **Risø-R-1338(DA)**

Title and author

International Nuclear Power Status 2001 (in Danish)

Edited by B. Lauritzen, B. Majborn, E. Nonbøl and P.L. Ølgaard

ISBN	ISSN
87-550-3048-3	0106-2840
87-550-3049-1 (Internet)	1395-5101

Department or group	Date
Radiation Research	April 2002

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

Pages	Tables	Illustrations	References
95		24	

Abstract (Max. 2000 characters)

This report is the eighth in a series of annual reports on the international development of nuclear power with special emphasis on reactor safety.
For 2001, the report contains:
- General trends in the development of nuclear power
- Nuclear terrorism
- Statistical information on nuclear power production (in 2000)
- An overview of safety-relevant incidents in 2001
- The development in West Europe
- The development in East Europe
- The development in the rest of the world
- Development of reactor types
- The nuclear fuel cycle
- International nuclear organisations

Descriptors INIS/EDB

AFRICA; ASIA; AUSTRALIA; BWR TYPE REACTORS; EASTERN EUROPE; FAST REACTORS; FUEL CYCLE; GAS COOLED REACTORS; HEAVY WATER MODERATED REACTORS; NORTH AMERICA; NUCLEAR DECOMMISSIONING; NUCLEAR POWER PLANTS; NUCLEAR POWER; NUCLEAR TERRORISM; PWR TYPE REACTORS; RADIOACTIVE WASTE DISPOSAL; REACTOR ACCIDENTS; REACTOR SAFETY; REVIEWS; SOUTH AMERICA; SWEDEN; WESTERN EUROPE