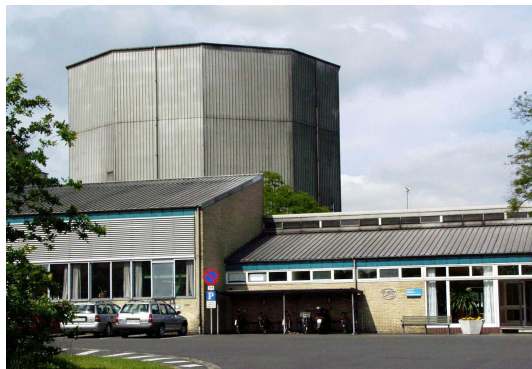


RISØ

Per Hedemann Jensen
4. oktober 2001



Alternativer til dekommissionering af Risøs nukleare anlæg



RISØ

Alternativer til dekommissionering
af Risøs nukleare anlæg

Forskningscenter Risø
Oktober 2001

Indhold

1	Problemstilling	1
2	Alternativer	1
2.1	Udskydelse	1
2.2	Museumsvirksomhed	2
2.3	Indkapsling (entombment)	3
2.3.1	Indkapslede reaktorer i udlandet	3
2.3.1.1	Hallam-reaktoren	3
2.3.1.2	Piqua-reaktoren	3
2.3.1.3	BONUS-reaktoren	3
2.3.1.4	Reaktorer i Estland	4
2.3.1.5	Tjernobyl-reaktoren	4
2.3.2	US NRC's vurderinger	4
2.3.3	Indkapsling af Risø-anlæggene	5
3	Nuklear virksomhed	6
4	Nye forskningsinstitutioner	6
5	Diskussion og konklusion	6

1 Problemstilling

Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg har til formål at fjerne alle bygninger og alt udstyr, der ikke kan rengøres til et niveau, som opfylder reglerne for frigivelse til "green field" niveau. De tilbageværende bygninger og anlægsdele samt området kan herefter frigives for anvendelse uden nogen restriktioner. Ved "green field" forstås, at alle radioaktive dele er fjernet, mens selve bygningerne ikke behøver at blive revet ned, hvis alle målinger viser, at de kan frigives til andet brug.

Det er et velkendt og accepteret princip, at den ansvarlige for driften af anlæg, der indeholder stoffer med en vis miljø- og sikkerhedsmæssig risiko, rydder op efter sig, når driften ophører. Dette gælder ikke mindst nukleare og kemiske anlæg. Rengøring og nedbrydning af Risøs nukleare anlæg til "green field" vil derfor være et vigtigt signal til det danske samfund om, at de ansvarlige ikke overlader ansvaret for oprydningen til sine efterkommere.

Hvis der efterlades radioaktive stoffer på Risøområdet, fordi bygninger og områder kun kan rengøres delvist, ville der eventuelt skulle pålægges restriktioner på den fremtidige brug af området. Dette vil i sig selv kunne virke generende samtidig med, at nye organisationer eller virksomheder måske ville være betænkelige ved at etablere sig på et område, hvor der fortsat befinder sig radioaktive stoffer.

Alternativer til en umiddelbar nedbrydning af de nukleare anlæg til "green field" bliver gennemgået i dette notat.

2 Alternativer

Der kan opstilles følgende alternativer til en **umiddelbar nedrivning** (dekommissionering) af Risøs nukleare anlæg:

- (a) **udskudt nedrivning**, dvs. forsegling af anlæggene og udskydelse af nedrivningen i en længere årrække for at reducere indholdet af radioaktive stoffer i anlæggene, og
- (b) **deponering på stedet**, dvs. indkapsling og slutdeponering af anlæggene.

I forbindelse med en udskudt nedrivning kan et eller flere af de nukleare anlæg midlertidigt indrettes som museum, der dog ikke i sig selv er et dekommissioneringsalternativ. Muligheden for at indrette et museum i et nukleart anlæg er næppe realistisk, hvis ikke anlægget først bliver bragt til "green field" niveau. De forskellige alternativer er beskrevet i det efterfølgende.

2.1 Udskydelse

Dekommissionering, af et nukleart anlæg gennemføres sædvanligvis i et antal faser eller trin. Det Internationale Atomenergiagentur, IAEA, har opstillet en definition på dekommissionering, der omfatter tre faser [1]:

- fase 1: opbevaring under opsyn ("storage with surveillance")
- fase 2: begrænset brug af området ("restricted site use")
- fase 3: ubegrænset brug af området ("unrestricted site use" eller "green field")

For at bringe et anlæg til fase 1 foretages en vis rengøring af radioaktivt forurenede overflader, dræning af systemer med væsker, afbrydelse af driftssystemer og etablering af fysiske og administrative systemer til sikring af overvågning og adgangskontrol. For reaktorer skal endvidere det brugte brændsel fjernes fra anlægget.

For at bringe et anlæg til fase 2 skal alt udstyr og alle bygninger, som let kan demonteres eller nedrives, fjernes eller dekontamineres, således at det kan overgå til anden anvendelse. For reaktorer skal den biologiske afskærmning om nødvendigt forøges og lukkes for helt at indeslutte selve reaktorstrukturen. Overvågning af anlægget kan herefter reduceres, men der skal foretages periodiske kontroller og overvågning af omgivelserne.

Fase 3 nås ved at fjerne alle bygninger og alt udstyr, som ikke kan dekontamineres til et niveau, der opfylder gældende regler for frigivelse. De tilbageværende bygninger og anlægsdele samt området kan herefter frigives for anvendelse uden nogen restriktioner.

Mellem de ovennævnte trin kan der forløbe en årrække, hvor der ikke foregår noget dekommissioneringsarbejde, men hvor anlægget blot henstår, medens indholdet af radioaktive stoffer formindskes ved henfald. Reduktion af radioaktiviteten er den primære årsag til, at man nogle steder i udlandet har planer om at lade anlæg stå i 50 år eller mere, før man går i gang med nedrivning af de mest radioaktive dele. Herved forventer man at kunne reducere strålingsdoserne til medarbejderne.

Et alternativ til en umiddelbar nedbrydning af de nukleare anlæg er således at bringe anlæggene til fase 1, hvorefter anlægget forsegles med henblik på en nedbrydning på et senere tidspunkt, der kan ligge mange årtier ude i fremtiden for at drage fordel af reduktionen af de radioaktive stoffer på grund af henfald (henfaldstid). I den forbindelse kan man endvidere undlade at rengøre visse dele

af anlæggenes bygninger og vente på, at aktiviteten henfalder til "green field" niveau. Det betyder imidlertid, at sådanne bygninger kun kan anvendes til andre formål med visse restriktioner i en længere periode. Om dette er en mulighed for de nukleare anlæg på Risø, kræver dog omfattende undersøgelser.

Der er imidlertid forhold, der taler for at afstå fra en lang henfaldstid og i stedet foretage en relativt hurtig dekommissionering. Således vil det være muligt at udnytte eksisterende viden og uddannet personale, hvis man starter dekommissioneringen kort tid efter lukning og gennemfører hele processen fortløbende. De potentielt højere strålingsdoser til personalet kan i vid udstrækning forhindres ved anvendelse af fjernbetjent udstyr eller egentlige robotter til arbejde på de mest aktive dele af anlæggene. Endvidere undgås overvågning og vedligeholdelse af anlæggene i en lang årrække.

En langvarig forsegling af de nukleare anlæg på Risø vil før eller siden føre over i en dekommissionering og slutdeponering. Under forsegling af nedlukkede nukleare anlæg og deponering af radioaktivt affald på mellemlagre vil de nukleare myndigheder stille krav om vedligeholdelse og tilsyn med deraf følgende omkostninger.

2.2 Museumsvirksomhed

Spørgsmålet om et eller flere af de nukleare anlæg på Risø ville være egnet til indretning som museum har været nævnt i den offentlige debat. Selv om indretning til museum ikke er et egentligt alternativ til dekommissionering, er problemstillingen kortfattet belyst i det efterfølgende.

De nukleare installationer på Risø kan opfattes som et lokalt historisk mindesmærke for en teknisk/videnskabelig virksomhed, der på godt og ondt var med til at forme det tyvende århundrede. Noget tilsvarende kan siges om arkitekturen og den karakteristiske profil med de to reaktorhaller på Risø-halvøen i Roskilde fjord. Eksempler på gammelt og nyt udstyr til illustration af den tekniske udvikling under forskningscentrets mere end 40-årige eksistens vil være til rådighed og er måske bevaringsværdig. Viden om eksempelvis radioøko-logiske måleserier, der illustrerer virkninger af de atmosfæriske prøvesprængninger af kernevåben, Tjernobyli-ulykken, B-52 bombeflyets havari med kernevåben om bord i Thule mv. er historisk relevant og kunne sammen med meget andet indgå i en udstillings-/museumsvirksomhed.

En mulighed er at anvende DR 1 som museum efter at kernen er fjernet. Dens egnethed som

museum synes dog at være begrænset, da der ikke er så meget at udstille her som på de to øvrige reaktorer.

DR 2 forekommer umiddelbart at være mest anvendelig, fordi den er simpel og overskuelig i opbygning, og fordi den kun indeholder beskedne aktivitetsmængder. Indretning af DR 2 med en gennemskåret reaktorblok, hvor man kan se en tro kopi af brændselselementerne placeret i reaktortanken (med det karakteristiske blå Cerenkov lys), forsøgsopstillinger, bestrålingsfaciliteter, kølekredsløb m.m. ville være en mulighed. Demonstrationsopstillinger til måling af stråling og radioaktivitet kunne også indgå i et sådant museum.

DR 3 er ikke så velegnet som museum, fordi reaktoren er så kompakt og uoverskuelig i sin opbygning. Dette vil også besværliggøre opbygningen af eventuelle demonstrationsopstillinger. Endvidere indeholder de forskellige systemer store aktivitetsmængder, bl.a. indeholder det primære kølesystem tritium, der i lang tid fremover ville kunne eksponere de besøgende. Der skal derfor udføres en omfattende pre-dekommissionering, før der måske kan indrettes museum i DR 3.

Selv om en eller flere af Risøs nukleare installationer under nedlukning måske kunne indgå i et "nukleart museum", skal det understreges, at der hermed ikke er fundet nogen løsning på problemet vedrørende dekommissioneringen af de nukleare anlæg. Der vil fortsat være behov for at dekommissionere de anlæg, der ikke indgår i museet (ikke mindst hvis lempelser i adgangsforhold er nødvendige af hensyn til museet), der skal fortsat findes en løsning på slutdeponeringen af det eksisterende affald, og der skal fortsat være planlagt for nedtagning og bortskaffelse også af de anlæg eller dele af anlæg, der måtte indgå i et museum.

Et museum kræver plads, publikum og personale, og det vil kræve ganske betydelige midler til både oprettelse og drift. Godkendelse af brug af en nedlukket reaktor til formålet er ikke nødvendigvis en simpel sag, og det må forventes, at de nukleare myndigheder vil se meget kritisk på indretning af et museum i et nukleart anlæg, der indeholder større mængder radioaktive stoffer.

Hvis der indrettes offentlig museumsvirksomhed på Risø-området, skal de adgangsmæssige forhold i forbindelse hermed vurderes nøje. Risø vil fortsat være en forskningsinstitution, der udfører kontraktforskning i tæt samarbejde med industrien. Da dette arbejde indebærer en meget betydelig interesse for eventuel industrispionage, er det fortsat nødvendigt med en ganske streng adgangskontrol til området.

Risø vil også rumme et nukleart anlæg i drift, nemlig Behandlingsstationen med lagre for radioaktivt affald, i en ganske lang årrække fremover, og de besøgende må ikke kunne udsættes for bestråling og radioaktiv forurening herfra eller fra isotoplaboratorier og de nukleare anlæg, der er under nedlæggelse. Hele filosofien for adgang til Risøområdet skal derfor revurderes, hvis der indrettes et museum med offentlig adgang.

En alternativ museums mulighed er at lade udvalgte dele af de nukleare anlæg overgå til allerede eksisterende museer, f.eks. Teknisk Museum i Helsingør eller Steno Museet ved Århus Universitet. Sidstnævnte har allerede vist interesse for at overtage kontrolpulten fra reaktor DR 1.

2.3 Indkapsling (entombment)

Hvis et nukleart anlæg f.eks. fyldes ud med og overstøbes med beton, bringes anlægget i en tilstand der er risikofri at omgås. Denne metode, der principielt er irreversibel, medfører, at anlægget omdannes til et overfladenært *slutdepot* for lav- og mellemaktivt affald. Sikkerhedsanalyser er derfor nødvendige på samme måde som for et egentligt slutdepot, men uden de muligheder for at optimere anlæggets udformning hvad angår placering, barrieresystemer, drænforhold, hydrologi, geologi mv. som ved et systematisk planlagt slutdepot. I udlandet har man i begrænset omfang anvendt denne metode, hvor også andet affald fra driften af anlægget er blevet indkapslet i anlægget.

2.3.1 Indkapslede reaktorer i udlandet

I udlandet er metoden kun anvendt på få reaktorer. I USA, hvor mere end 50 reaktorer er blevet dekommissioneret siden 1954, er metoden blevet anvendt på tre mindre demonstrationsreaktorer, der blev operationelle i begyndelsen af 1960'erne. Det drejer sig om reaktorerne Hallam-, Piqua- og Bonus-reaktoren. Endvidere er der foretaget indkapsling af to militære reaktorer i Estland samt den uheldsramte reaktor nr. 4 på Tjernobylnuklearkraftværket i Ukraine.

2.3.1.1 Hallam-reaktoren. Reaktoren i Hallam, Nebraska, var en demonstrationsreaktor med en termisk effekt på 256 MW [3]. Den blev startet i 1963 og lukket i 1966. Reaktoren var grafit-modereret og blev kølet med flydende natrium. En læk af natrium ud i grafiten og de anslåede omkostninger til udbedring af lækken førte til den tidlige lukning af reaktoren.

Det meste natrium samt det bestrålede brændsel blev fjernet fra reaktoren sammen med varmevekslere og andre større systemer. De resterende radioaktive komponenter og materialer blev forsejlet i reaktorens underjordiske rum. Alle gennemføringer blev svejset til, og reaktoren blev lukket inde bag halv-tommers stålplader, der blev svejset på stedet. Slutdepotet blev herefter tildækket med plastic film, tjære og jord. Hele konstruktionen blev designet til at kunne holde i mindst 100 år. Indkapslingen blev færdiggjort i 1969.

Aktiviteten i de indesluttede komponenter blev anslået til i alt omkring 10^{16} Bq (1969). Staten Nebraska kontrollerer depotet periodisk. En gang årligt foretages et strålingsurvey over depotet, og vandprøver indsamles fra seks observationsbrønde omkring depotet og analyseres for indhold af aktivitet. Indtil nu er der ikke konstateret hverken stråling eller kontamination uden for depotet, hvilket tyder på, at indkapslingen fortsat er intakt.

2.3.1.2 Piqua-reaktoren. Reaktoren i Piqua, Ohio, var en demonstrationsreaktor med en termisk effekt på 45 MW [3]. Den blev startet i 1963 og lukket i 1966. Reaktoren var organisk kølet og modereret. Problemer med det organiske kølesystem førte til den tidlige lukning af reaktoren.

Det bestrålede brændsel, udvalgte komponenter fra reaktorkernen og andre radioaktive materialer blev overført til en anden (føderal) nuklear installation. De organiske stoffer, der blev brugt som kølemiddel og moderator, blev afbrændt. Reaktortanken, den termiske afskærmning og gitterplader forblev i reaktoren. Rørgennemføringer til reaktortanken blev tilsvejet, og tanken blev fyldt med sand. Hele konstruktionen blev herefter dækket af en vandtæt barriere og overstøbt med beton. Indkapslingen var færdiggjort i 1969.

Aktiviteten i de indesluttede komponenter blev anslået til omkring 10^{16} Bq (1969). Analyser viser, at efter 120 års køletid ville aktiviteten være henfaldet så meget, at konstruktionen da kan frigives uden betingelser. Der er udført årlige målinger af strålings- og aktivitetsniveauer af indeslutningen, og indtil nu er der ikke detekteret frigivelse af radioaktive stoffer til omgivelserne.

2.3.1.3 BONUS-reaktoren. BONUS-reaktoren (**B**oiling **N**uclear **S**uperheater **P**ower **S**tation) i Rincon, Puerto Rico, var en demonstrationsreaktor med en termisk effekt på 50 MW [3]. Den blev startet i 1964 og lukket i 1967. Reaktoren var kølet og modereret med let vand. Problemer med superopvarmningssystemet førte til den tidlige lukning

af reaktoren.

Det bestrålede brændsel og udvalgte radioaktive komponenter blev overført til en føderal nuklear installation. Rørgennemføringerne gennem den nedre del af reaktorbygningen blev forseglede. Den betonplade, der dækkede den øverste del af reaktorblokken med afskærmninger, blev ligeledes forseglede. Konstruktionen blev færdiggjort i 1970.

Aktiviteten i de indesluttede komponenter er opgjort til omkring $2 \cdot 10^{15}$ Bq (1970). Strålings- og aktivitetsovervågning af omegnen viser ikke tegn på udslip fra den indkapslede reaktor. I 1993 skete der en oversvømmelse i den nederste del af konstruktionen som følge af en fejl i en ventilator, der muliggjorde indtrængning af regnvand. Efterfølgende målinger viste, at overfladeforureningen med radioaktive stoffer uden for reaktoren på enkelte steder overskred de tilladte niveauer.

2.3.1.4 Reaktorer i Estland. I Paldiski i Estland har to u-bådsreaktorer været anvendt som træningsfaciliet for Sovjetunionens flåde. Den første reaktor med en termisk effekt på 70 MW blev startet i 1968, og den anden med en termisk effekt på 90 MW i 1983. Begge reaktorer var i drift indtil 1989 [4].

Før den russiske flåde forlod Paldiski, blev det brugte brændsel fjernet fra reaktorerne og sendt til Rusland i 1994, men det lav- og mellemaktive affald forblev i Paldiski. Kontrolstavene, som stadig findes på anlægget, indeholder europium, der er blevet stærkt aktivt under reaktordriften. Russerne har bygget en 12.5 meter høj sarkofag af betonplader omkring hver af reaktorerne og hældt beton ned over reaktorlagene. Esterne har ikke det fulde overblik over hverken aktivitetsindholdet i de to reaktoranlæg eller konstruktionen af anlæggene. Russerne har udtalt, at de fralægger sig ethvert ansvar, hvis man forsøger at åbne ind til reaktorerne [5]. Den russiske håndtering af anlæggene har formentligt mere sigte mod at hindre andre i at få indsigt i reaktorerne konstruktion end i slutdeponering på stedet.

2.3.1.5 Tjernobyl-reaktoren. Den uheldsramte reaktor på Tjernobyl atomkraftværket i Ukraine blev indkapslet i en stål-beton sarkofag. Denne løsning blev i den hektiske periode lige efter ulykken betragtet som den mest hensigtsmæssige til hurtigt at få lukket den blottede reaktorer inde. Der er imidlertid på længere sigt problemer med den mekaniske stabilitet af den meget store indkapsling, og konstruktionen er utæt. Flere muligheder har været på tale, bl.a. at fjerne sarkofagen eller at

bygge en ny indkapsling uden på den gamle.

Sarkofagen indeholder ca. 10^{18} Bq af strontium, cæsium og transuraner (1986) [6]. Der er betragtelige mængder af pulveriseret brændsel i sarkofagen. Hvis bygningen kollapse, vil noget af dette brændselsstøv blive frigivet til omgivelserne med relativt høje strålingsdoser til den omkringboende befolkning til følge. I øjeblikket er udslippet fra sarkofagen mindre end 10^{10} Bq/år af ^{137}Cs og 10^8 Bq/år af plutonium og andre transuraner [6].

2.3.2 US NRC's vurderinger

Det amerikanske reaktortilsyn for civile reaktorer, US Nuclear Regulatory Commission (US NRC) har gennem mange år været generelt imod "on-site" slutdeponering af radioaktivt affald i form af en indkapsling af de nukleare anlæg (entombment) [2]. NRC har været bekymret for, at indkapslingen på længere sigt kunne degradere, hvorved indholdet af radioaktive stoffer kunne frigives til omgivelserne, før de var henfaldet tilstrækkeligt til at undgå uacceptable strålingsdoser til befolkningen.

NRC's sammenligninger mellem alternativerne indkapsling og nedbrydning viste også, at nedbrydning med efterfølgende oplagring udgjorde en mindre potentiel risiko for befolkningen uden at være mere omkostningskrævende end indkapslingsmetoden. Forudsætningen herfor er imidlertid, at der findes let tilgængelige og billige affaldslagere. Dette er ikke længere tilfældet i USA, og NRC overvejer derfor at tillade indkapsling af nukleare anlæg, når det er nødvendigt af hensyn til befolkningens sikkerhed og sundhed, dvs. når der ikke er plads i de eksisterende oplagringsfaciliteter for lavaktivt affald.

Pacific Northwest National Laboratory i USA har vurderet realistiske indkapslingsscenerier for kernekraftreaktorer, og NRC har brugt disse i studier af mulighederne for at anvende denne metode som et realistisk alternativ til deponering i nationale depoter for lavaktivt affald. NRC fastholder, at et af de væsentlige sikkerhedsspørgsmål i forbindelse med indkapslingen af et nuklear anlæg er indkapslingens langtidsholdbarhed. Derfor kræves der indgående analyser af strålingsdoserne til befolkningen fra potentielle aktivitetsfrigørelse fra indkapslingen til omgivelserne.

I den forbindelse understreger NRC, at mange af de amerikanske reaktorer er placeret på steder, hvor grundvandsspejlet er meget nærmere overfladen, end det typisk er tilfældet for affaldslagere. Dette kan medføre en forøget nedbrydningsrate for betonindkapslingen og samtidig en større mulighed for vandindtrængning end for et affaldslager. Da

mange reaktorer endvidere er placeret tættere på floder og befolkningscentre end affaldsdepoterne, vil risikoen for strålingsdoser til befolkningen fra en akvatisk spredning være væsentlig højere end fra et affaldsdepot.

Hvis NRC beslutter at etablere et myndighedsgrundlag for indkapsling af nukleare anlæg som et acceptabelt dekommissioneringsalternativ, vil det bl.a. være nødvendigt at gennemføre følgende [2]:

- definering af acceptable design af indkapslinger og indtrængningsscenarier og accept af disse
- gennemførelse af sikkerhedsvurderinger af indkapslede anlæg der inkluderer anlægs- og pladsspecifikke forhold
- evaluering af resultaterne af sikkerhedsvurderingerne i lyset af de eksisterende myndighedskrav for at afdække behovet for yderligere krav, f.eks. krav til monitorering og længden af den fremtidige kontrolperiode
- udarbejdelse af supplement til den gældende lovgivning vedrørende påvirkning af omegnen ved dekommissionering af nukleare anlæg (**E**nvironmental **I**mpact **S**tatement (EIS) on **D**ecommissioning of Nuclear Facilities); dette supplement skal omhandle langtidspunkterne for omegnen, der ikke er dækket af den eksisterende EIS
- etablering af basis og metoder til vurdering af, om et nukleart anlæg/site er egnet til indkapsling; relevante bekendtgørelser skal derfor udarbejdes med indhold af databaser, som omfatter de parametertyper og forsigtighedsfaktorer, der skal anvendes i en sikkerhedsvurdering
- udarbejdelse af en bekendtgørelse med krav om minimum accepterbare monitorings- og overvågningssystemer
- beslutning om hvorvidt og hvor meget af langlivede radionuklider som eksempelvis ^{14}C , ^{59}Ni , ^{63}Ni og ^{94}Nb , der kan tillades i et indkapslet nukleart anlæg

En beslutning i USA om at tillade indkapsling af nedlukkede nukleare anlæg kræver således omfattende sikkerhedsvurderinger og et tilsvarende omfattende lovgivningsgrundlag.

2.3.3 Indkapsling af Risø-anlæggene

Aktivitetsindholdet i Risø's nukleare anlæg i år 2000 er vist i nedenstående tabel. Hovedparten

af aktiviteten i Behandlingsstationen findes i 233 kg bestrålet brændsel i Centralvejslageret. Den dominerende aktivitet i DR 3 er ^{60}Co med en halveringstid på omkring 5 år og tritium med en halveringstid på omkring 12 år.

Anlæg	β -/ γ -aktivitet [Bq]	α -aktivitet [Bq]
BEH + lagre	$7 \cdot 10^{14}$	$5 \cdot 10^{13}$
DR 3	$2 \cdot 10^{14}$	-
Hot Cell	$3 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{11}$
DR 1	$1 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^9$
DR 2	$6 \cdot 10^{10}$	-

Indkapslet vil Risø's nukleare anlæg fylde meget mere end ellers nødvendigt, fordi de vil rumme væsentlige mængder inaktive konstruktionsmaterialer som eksempelvis betonafskærmningen omkring DR 3 og Hot Cell anlægget.

Ved en egentlig dekommissionering ville hovedparten af de inaktive komponenter kunne sorteres fra de aktive komponenter. Fordelen ved indkapslingsmetoden kunne være at undgå strålingsdoser fra opskæringen af stærkt radioaktive dele samt transport af affaldsenheder til et slutdepot. Da opskæring kan foretages fjernbetjent og transport af affaldsenheder skal opfylde strenge sikkerhedsmæssige krav - herunder krav til strålingsniveauer på ydersiden af transportbeholderen - giver in situ indkapsling næppe nogen væsentlig fordel hvad angår undgåede strålingsdoser.

Hvis de nukleare anlæg indkapsles i stedet for at nedbrydes, omdannes de enkelte anlæg til et irreversibelt overfladenært slutdepot for lav- og mellemaktivt affald. Der skal derfor gennemføres omfattende sikkerhedsanalyser på samme måde som for et 'rigtigt' slutdepot. En sådan analyse skal beskrive de sikkerhedsmæssige forhold ved placeringen af slutdepotet i lyset af de hydrologiske og geologiske forhold. Specielt landskabsprofilen og de hydrologiske forhold vil indgå som en vigtig del af sikkerhedsanalysen. Områdets beliggenhed ud til Roskilde Fjord stiller her særlige krav.

Den vestlige del af Risø, hvor DR 3 er placeret, afsluttes af en 10 m høj moræneklint, der navnlig tidligere blev eroderet af fjorden. Fornyet erosion kan derfor ikke udelukkes. Grundvandsspejlet på DR 3 området ligger relativt højt, helt op til få meter under overfladen, og de hydrologiske forhold er komplicerede. Afstrømning af grundvand forventes at ske til fjorden.

Hvis et indkapslet nukleart anlæg med indhold af radioaktive stoffer med lang halveringstid

i tidens løb nedbrydes, er der risiko for spredning af disse stoffer til grundvandet. Tilsvarende, hvis vandstanden i fjorden stiger, og erosionen tager fart, kan de indkapslede anlæg blive undermineret og efterhånden oversvømmet, hvorved langlivede radioaktive stoffer kan blive spredt i Roskilde Fjord. Dette kan igen betyde, at det indkapslede anlæg herefter må fjernes.

3 Nuklear virksomhed

Behandlingsstationen for radioaktivt affald varetager behandling af radioaktivt affald fra Risø og fra andre brugere af radioaktive stoffer i Danmark. Behandlingsstationen vil være i drift på Risø i en længere periode fremover i forbindelse med nedlæggelsen af de øvrige nukleare anlæg på Risø. En udvidelse af lagerkapaciteten med et nyt mellem-lager til lav- og mellemaktivt affald vil i den forbindelse blive nødvendigt. Behandlingsstationen kan herefter nedlægges som det sidste af de nukleare anlæg på Risø-området. Virksomheden skal da eventuelt overføres til et andet sted i Danmark til behandling af det radioaktive affald, der fortsat vil komme fra andre virksomheder i Danmark.

4 Nye forskningsinstitutioner

Dekommissionering af de nukleare anlæg vil give plads til ombygninger og til opførelse af nye bygninger, der kan give muligheder for ny forskningsvirksomhed på Risø-området. Fjernelsen af de nukleare faciliteter vil eventuelt kunne tiltrække nye organisationer, der ellers ikke ville 'flytte ind' på området på grund af mistillid til nukleare anlæg, stråling og radioaktivitet.

Hvis nye forskningsinstitutioner vil flytte ind på Risø-området, skal informationen til institutionernes medarbejdere koncentreres om dekommissioneringen af de nukleare anlæg og betydningen heraf for medarbejdernes sikkerhed.

5 Diskussion og konklusion

Mulige alternativer til en umiddelbar dekommissionering af Risøs nukleare anlæg til "green field" status omfatter en udskudt nedbrydning og en in-situ deponering af de enkelte anlæg som slutdepoter for radioaktivt affald.

Udskydelse

Set fra et samfundsmæssigt og et miljømæssigt synspunkt vil det ikke være hensigtsmæssigt at la-

de de nukleare anlæg henstå i en lang årrække, før man påbegynder en nedbrydning. Dette gælder specielt for Hot Cell anlægget og reaktor DR 3, der begge vil indeholde store aktivitetsmængder med høje strålingsniveauer i mange årtier fremover, da reduktionen som følge af henfald er for lille til at kunne reducere mulige strålingsdoser væsentligt. Ved at udskyde nedbrydningen vil der med stor sandsynlighed ikke være kvalificeret personale til at foretage nedbrydningen, fordi dette enten har forladt Risø eller er blevet pensioneret.

Potentielt højere strålingsdoser til personalet ved en tidlig dekommissionering kan i vid udstrækning forhindres ved anvendelse af fjernbetjent udstyr eller robotter til nedbrydningen af de mest aktive dele af anlæggene. Sådant udstyr skal fortsat anvendes, selv om nedbrydningen udskydes i nogle årtier.

Museumsvirksomhed

En dekommissionering af de nukleare anlæg kan kombineres med indretningen af et passivt eller et arbejdende nukleart museum a la *Ekspérimentarium*, hvor de besøgende ved mange spændende opstillinger selv kan skabe deres oplevelser. Et anlæg, der eventuelt skal indgå i et museum, skal dog senere dekommissioneres, hvis ikke det forinden er bragt til "green field" niveau. Det vil imidlertid være forbundet med store udgifter at indrette og at drive et museum.

Indkapsling

Konsekvensen af valg af indkapsling af Risøs nukleare anlæg bliver, at et eller flere danske slutdepoter for lav- og mellemaktivt affald bliver placeret på Risø-halvøen. Beslutning herom bør kun træffes efter nøje gennemgang af alternative muligheder og vurderinger af de specielle risici, der måtte være knyttet til at lade de indkapslede anlæg forblive, hvor de er.

Der er kun begrænset international erfaring med in-situ indkapsling af reaktorer. Det drejer sig om tre mindre demonstrationsreaktorer i USA, to u-bådsreaktorer i Estland og den uheldsramte Tjernobyli-reaktor i Ukraine.

De nukleare sikkerhedsmyndigheder i USA (US NRC) har gennem mange år været generelt imod "on-site" slutdeponering af radioaktivt affald i form af indkapsling af de nukleare anlæg. NRC overvejer imidlertid at tillade indkapsling af nukleare anlæg, når der ikke er plads i de eksisterende lagerfaciliteter for lavaktivt affald men fastholder, at et af de væsentlige sikkerhedsspørgsmål er indkapslingens langtidsholdbarhed.

En beslutning om at tillade indkapsling af nedlukkede nukleare anlæg i USA kræver dog et omfattende lovgivningsgrundlag, der ikke eksisterer i øjeblikket. Myndighederne vil endvidere kræve detaljerede analyser af strålingsdoserne til befolkningen fra potentielle aktivitetsfrigørelser.

En tilladelse fra de danske nukleare sikkerhedsmyndigheder til indkapsling af de nukleare anlæg på Risø-området vil kræve et mindst lige så omfattende grundlag som i USA.

Konklusioner

Der er ingen hensigtsmæssige alternativer til en umiddelbar nedrivning af Risøs nukleare anlæg.

Udskudt nedrivning vil blive dyrere, jo længe man venter, fordi der i ventetiden fortsat skal anvendes ressourcer til overvågning af anlæggene, og fordi selve nedrivningen ikke vil blive væsentligt billigere ved en udskydelse eller give væsentligt mindre strålingsdoser til dekommissioneringspersonalet. Udskudt nedrivning vil endvidere stride mod den almindelige opfattelse, at man ikke skal videregive sine problemer til de kommende generationer.

Deponering på stedet må betragtes som risikabelt ud fra et omegnsmiljøsynspunkt pga. anlæggenes beliggenhed. Der vil endvidere være en væsentlig risiko for, at man på et senere tidspunkt alligevel kommer til at nedrive deponierne med øgede affaldsmængder og omkostninger til følge.

Etablering af et slutdepot for radioaktivt affald i Danmark er en nødvendighed for at gennem-

føre fjernelsen af Risøs nukleare anlæg. Selv i tilfælde af deponering på stedet er et slutdepot nødvendigt, idet det radioaktive affald i Risøs nuværende lagre fylder så meget, at det ikke kan deponeres inde i anlæggene, før disse skulle indkapsles, og fordi der fortsat vil komme radioaktivt affald fra hospitaler, industri mv. Nedrivning af anlæggene kan dog påbegyndes, før slutdepotet er klart, med det vil nødvendiggøre en udvidelse af Risøs kapacitet for mellemlagring af færdigpakkede affaldsenheder. Udformningen og placeringen af et dansk slutdepot for lav- og mellemaktivt affald er en opgave, der kun delvis hører under dekommissioneringsprojektet.

Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg bør ikke udsættes, men gennemføres over de næste 10 - 15 år, hvor der endnu er ekspertise tilstede på Risø-området, både hvad angår de nukleare anlægs opbygning og funktion og de helsefysiske forhold af relevans for nedrivningen. Herved undgås overvågning og vedligeholdelse i en lang venteperiode. For lande som Danmark uden andre nukleare programmer må det erindres, at man i tilfælde af udskudt nedrivning må have betydelig udenlandsk hjælp til både demonteringsopgaver og helsefysisk kontrol.

Det er væsentligt, at information til den omkringboende befolkning og dens politiske repræsentanter vedrørende dekommissioneringen af Risøs nukleare anlæg og etablering af affaldslagre og slutdepot formidles på en forståelig måde og ikke mistolkes pga. forskelle i risikopfattelse.

Litteratur

- [1] K. Lauridsen (editor), *Decommissioning of the nuclear facilities at Risø National Laboratory. Descriptions and cost assessment*. Risø-R-1250(EN) (2001).
- [2] *Information paper on the viability of entombment as a decommissioning option for power reactors*. SECY-99-1987, USNRC, July 1999.
- [3] R.I. Smith, *Entombment Experience in the U.S.* Appendix A of SECY-99-1987.
- [4] H. Putnik, T. Grochowski, Jr., S. Petterson, *Decommissioning planning for two Russian navy land based nuclear submarines at Paldinski, Estonia*.
- [5] *Besøg i Tallin, Estland 2. - 3. marts 2000*. Rejserapport 7990003289/1109, P.L.Ølgaard.
- [6] "Sarcophagus Safety 94". *The State of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 4*. Proceedings of an International Symposium, Zeleny Mys, Chernobyl, Ukraine, 14 - 18 March 1994.

