

Regionplantillæg med VVM

Plan



## Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg

Marts 2003

**HUR** Plan

Dekommissionering af  
Risø's nukleare anlæg  
Regionplantillæg til  
Regionplan 2001 for Hovedstadsregionen  
Retningslinjer og VVM-redegørelse

Redaktion og grafisk tilrettelæggelse  
Hovedstadens Udviklingsråd  
Plandivisionen

Udgivet marts 2003 af  
Hovedstadens Udviklingsråd  
Gl. Køge Landevej 3  
2500 Valby

Telefon 36 13 14 00  
e-mail [hur@hur.dk](mailto:hur@hur.dk)

Findes kun i netudgave

Kort gengivet med  
Kort- og Matrikelstyrelsens tilladelse  
G13-00 Copyright

ISBN nr. 87-7971-176-6

Dekommissionering af  
Risøs nukleare anlæg

Regionplantillæg til  
Regionplan 2001 for Hovedstadsregionen

Retningslinjer og  
VVM-Redegørelse

# Indholdsfortegnelse

---

Forord .....	5
1 Indledning .....	6
Retningslinjer .....	8
VVM-redegørelse	
2 Ikke-teknisk resumé .....	9
2.1 Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg .....	9
2.2 Organisatorisk ansvar .....	9
2.3 Hvilke anlæg skal dekommissioneres .....	9
2.4 Scenarier og alternativer for dekommissioneringen af de nukleare anlæg .....	9
2.5 Radioaktivt affald .....	10
2.6 Miljømæssige påvirkninger af omegnen under dekommissioneringen .....	10
2.7 Anden indvirkning på omgivelserne .....	10
3 Organisatorisk ansvar for dekommissioneringen .....	11
3.1 Dansk Dekommissionering .....	11
3.2 De nukleare tilsynsmyndigheders rolle .....	11
3.3 EU's rolle vedrørende dekommissioneringen af nukleare anlæg .....	12
3.4 Bygning af slutdepot for radioaktivt affald .....	12
3.5 Internationale anbefalinger om dekommissionering .....	13
3.6 Opsamling og vurdering .....	15
4 Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg .....	16
4.1 Scenarier for dekommissioneringen .....	18
4.2 Dekommissionering af reaktor DR 1 .....	19
4.3 Dekommissionering af reaktor DR 2 .....	20
4.4 Dekommissionering af reaktor DR 3 .....	21
4.5 Dekommissionering af Hot Cell anlægget .....	22
4.6 Dekommissionering af Teknologihallen .....	24
4.7 Dekommissionering af Behandlingsstationen .....	24
4.8 Opsamling og vurdering .....	25
5 Praktisk gennemførelse af dekommissioneringen .....	27
5.1 Helsefysisk overvågning af arbejdsmiljøet .....	27
5.2 Fjernbetjent udstyr til dekommissionering af de nukleare anlæg .....	27
5.3 Facilitet til dekommissionering af forurenede genstande .....	28
5.4 Sortering af dekommissioneringsaffald .....	29
5.5 Affaldsbeholdere til radioaktivt affald .....	31
5.6 Udvidelse af eksisterende mellemlagerkapacitet til radioaktivt affald .....	31
5.7 Slutdepot for radioaktivt affald .....	32
5.8 Opsamling og vurdering .....	33

<b>6 Beskrivelse af omgivelserne .....</b>	<b>34</b>
6.1 Geografi og anvendelse .....	34
6.2 Naturforhold .....	34
6.3 Geologi .....	35
6.4 Overfladevand .....	35
6.5 Grundvand .....	36
6.6 Meteorologi/terræn .....	36
<b>7 Omegnseffekter ved dekommissioneringen .....</b>	<b>38</b>
7.1 Påvirkning af omegnsmiljøet ved normal drift .....	38
7.2 Udslipsmotering og udslipsgrænser .....	40
7.3 Påvirkning af omegnsmiljøet ved uheld .....	41
7.4 Helsefysisk overvågning af omegnen under dekommissioneringen .....	44
7.5 Transport af affald .....	46
7.6 Vurdering af konsekvenserne af drifts- og uheldsudslip .....	46
7.7 Miljøafledte socioøkonomiske forhold .....	46
7.8 Andre påvirkninger .....	47
7.9 Vurdering .....	47
7.10 Mangler ved oplysninger og vurderinger .....	47
<b>8 Uhedsberedskaber .....</b>	<b>48</b>
8.1 Generelt beredskab på de nukleare anlæg .....	48
8.2 Det interne helsefysisk beredskab .....	48
8.3 Det landsdækkende atomberedskab .....	48
<b>9 Anvendelse af Risøs arealer .....</b>	<b>50</b>
9.1 Aktiviteter på Risøområdet indtil i dag .....	50
9.2 Aktiviteter på Risøområdet under og efter dekommissioneringen .....	50
<b>10 Alternativer til dekommissionering .....</b>	<b>51</b>
10.1 Nul-alternativet (anlægget henstår uberørt i "uendelig" lang tid) .....	51
10.2 Udskydelse af dekommissioneringen .....	51
10.3 Indkapsling af anlægget ("entombment") .....	53
10.4 Museumsvirksomhed .....	53
10.5 Sammenfatning og vurdering .....	54
<b>Appendiks A .....</b>	<b>56</b>
<b>Ordforklaring .....</b>	<b>58</b>
<b>Referencer .....</b>	<b>60</b>



Hovedstadens Udviklingsråd har d. 25. marts 2003 vedtaget dette regionplantillæg med VVM-redegørelse endeligt.

Regionplantillægget muliggør dekommissionering af atomanlæggene på Risø i Roskilde Kommune. Der er ingen ændringer i retningslinjerne i forhold til det forslag til regionplantillæg, der var i offentlig høring i januar – marts 2002.

I høringen af forslag til Regionplantillæg med VVM-redegørelse indkom 11 henvendelser, heraf 4 uden bemærkninger. Høringssvarene er resumeret og vurderet i en såkaldt hvidbog. Hvidbogen fås ved henvendelse til HUR. HUR vurderede, at der ikke var bemærkninger til forslaget, som talte mod endelig vedtagelse.

Du kan få yderligere oplysninger om materialet hos:

Hovedstadens Udviklingsråd  
Plandivisionen  
Gammel Køge Landevej 3  
2500 Valby

tlf. 36 13 14 00  
[www.hur.dk/plan](http://www.hur.dk/plan)  
e-mail: [plan@hur.dk](mailto:plan@hur.dk)

# 1. Indledning

Risø har besluttet, at de nukleare anlæg nedrives. I fagsprog hedder det dekommissionering. Efter planloven kræver opgaven regionplanlægning, udarbejdelse af en VVM-redegørelse, samt en VVM-tilladelse.

Ved nyanlæg og ved væsentlige ændringer af bestående anlæg, der kan sidestilles med nyanlæg, skal disse ifølge Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 428 af 2. juni 1999 ledsages af en redegørelse, der indeholder en særlig vurdering af anlæggets virkning på miljøet. I bilag 1 til bekendtgørelsen fremgår det at:

*kernekræfter og andre kernereaktorer, herunder demontering og nedlukning af sådanne kernekraftværker eller reaktorer (bortset fra forskningsanlæg til fremstilling og forarbejdning af spaltelige og fertile stoffer, hvis maksimumskapacitet ikke overstiger 1 kW vedvarende termisk ydelse)*

er omfattet af bekendtgørelsens krav om en redegørelse, der skal indeholde en særlig vurdering af virkninger på miljøet (VVM-redegørelse). Dekommissionering af alle Risøs tre kernereaktorer er således omfattet af bekendtgørelsens krav om en VVM-redegørelse, men også dekommissioneringen af Hot Cell anlægget, Teknologihallen og Behandlingsstationen med lagre vil blive betragtet som omfattet af bekendtgørelsen. VVM-redegørelsen indeholder oplysninger og vurderinger, der kan bruges til at få et indblik i projektet, samt et indblik i hvilke konsekvenser projektet kan formodes at få.

Foruden oplysninger om kernereaktorerne DR 1, DR 2 og DR 3 er der derfor også medtaget oplysninger om de nukleare anlæg Hot Cell, Tek-

nologihallen og Behandlingsstationen med tilhørende affaldslagre.

Ved nedbrydningen af de atomare anlæg frembringes lav- og mellemradioaktivt affald, som skal deponeres. Der opereres med etablering af et slutdepot et sted i Danmark, men planlægningen herfor – placering, over eller under jorden mv. – er endnu ikke igangsat. Planlægningen for slutdepotet er ikke en del af denne VVM-redegørelse, der således kun beskæftiger sig med det projekt der er direkte relateret til nedbrydningen – dekommissioneringen.

HUR-rådet besluttede derfor på mødet den 26. oktober 2001 at igangsætte VVM-processen og udarbejde dette tillæg til regionplanen for dekommissioneringsprojektet.

HUR havde projektet i den første af to offentlige høringer indtil marts 2002, og kan nu fremlægge et mere detaljeret projekt til brug for den sidste offentlige høring.

Materialet er bygget op med de regionplanmæssige retningslinjer i starten, efterfulgt af et kortfattet ikke teknisk resumé. Herefter findes VVM-redegørelsen, der beskriver projektet og de miljømæssige konsekvenser, som dekommissioneringen kan få. Da de anlæg på Risø, som skal dekommissioneres er i forskellig grad forurenede med radioaktive stoffer, stilles der store krav til både organiseringen af arbejdet og til de enkelte arbejdsoperationer. HUR har derfor lagt vægt på at få beskrevet disse aspekter i redegørelsen, så det er muligt at se hvordan opgaven sikkerhedsmæssigt og organisatorisk planlægges. I forbindelse med opgaven er det nødvendigt at udvikle det mellemlager der allerede i dag eksisterer på Risø. Det er meningen at der skal etableres et slut-

depot et sted i Danmark. Planlægningen for et slutdepot er ikke en del af denne VVM, og planlægningen vil ske i statslig regi.

Bagerst i redegørelsen findes en ordliste, som forklarer nogle af de tekniske udtryk som indgår i regionplantillæg og VVM-redegørelse.

## VVM

VVM (Vurdering af Virkningen på Miljø) er en bredere miljøvurdering end der normalt anvendes ved planlægningen for forurenende anlæg. Ved miljø forstås omgivelserne i bred forstand herunder befolkning, fauna, flora, vand, klimatiske forhold, den arkitektoniske og arkæologiske kulturarv, landskabet og offentlighedens adgang hertil.

## TO OFFENTLIGE HØRINGER

I henhold til planloven omfatter regionplanlægning to offentlige høringer. Den forudgående debatperiode blev igangsat med HURs debatoplæg, som var i høring fra 20. januar 2002 til 11. marts 2002. Formålet med debatoplægget var at indkalde ideer og forslag til planlægningen. På baggrund heraf og på baggrund af oplysninger fra bygherren og de nukleare tilsynsmyndigheder har HUR udarbejdet nærværende mere detaljerede materiale, der danner grundlaget for næste offentlighedsperiode.

Hovedformålet med den første offentlige debat er, at få et grundlag for det videre planarbejde, der dels tager udgangspunkt i de krav, lovgivningen stiller til planlægningen, og dels de problemstillinger, der er indfanget i høringsperioden. De lovgivningsmæssige krav til indholdet i en VVM-redegørelse kan findes i Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 428 af 2. juni 1999, bilag 4.



I den forudgående debatperiode indkom ideer, forslag og bemærkninger fra 8 indsendere. De fleste havde bemærkninger omkring slutdepotet, som ikke er en del af dette regionplantillæg. HUR har behandlet de indkomne ideer og forslag i en hvidbog, som er udsendt til dem der har reageret i offentlighedsperioden. Hvidbogen kan rekvireres hos HUR.

## **ANDEN HØRINGSPERIODE**

I høringen af forslag og VVM-redegørelse indkom 11 henvendelser, heraf 4 uden bemærkninger.

3 henvendelser udtrykker tilfredshed over at deres bemærkninger og spørgsmål fra 1. høring er tilgodeset i VVM-redegørelsen. 2 henvendelser har alene tekniske bemærkninger og spørgsmål til forslaget.

2 henvendelser har egentlige ønsker om indholdsmæssige ændringer i forslaget. Den ene rejser spørgsmål og forslag om ændringer om inddragelse af internationale eksperter i projektet, sammenkædning med dekommissioneringen af atom anlæggene på Risø nedlæggelse af Barsebäck og indretningen af mellemlager på Risø. Den anden har en række spørgsmål og forslag til disse emner: Sikkerhedsmæssige forhold ved Risøs nukleare anlæg, uheldsberedskab, opbevaring af tungt vand fra DR3 reaktoren, indkapsling af de nukleare anlæg, opbevaring af radioaktivt affald fra nedbrydningen af de nukleare anlæg samt litteraturlisten til VVM-redegørelsen.

Alle bemærkninger er resumeret og vurderet i en hvidbog. Hvidbogen fås ved henvendelse til HUR. HUR vurderede, at der ikke var bemærkninger til forslaget, som talte mod endelig vedtagelse.

# Retningslinjer

Nedenstående retningslinjer for projektet er udarbejdet på baggrund af VVM-redegørelsen

## Retningslinjer:

I områderne, som angivet på nedenstående kort, kan de nukleare anlæg dekommissioneres.

Dekommissioneringen skal efterlade området og eventuelle bygninger så de uden begrænsninger kan bruges til andre formål.

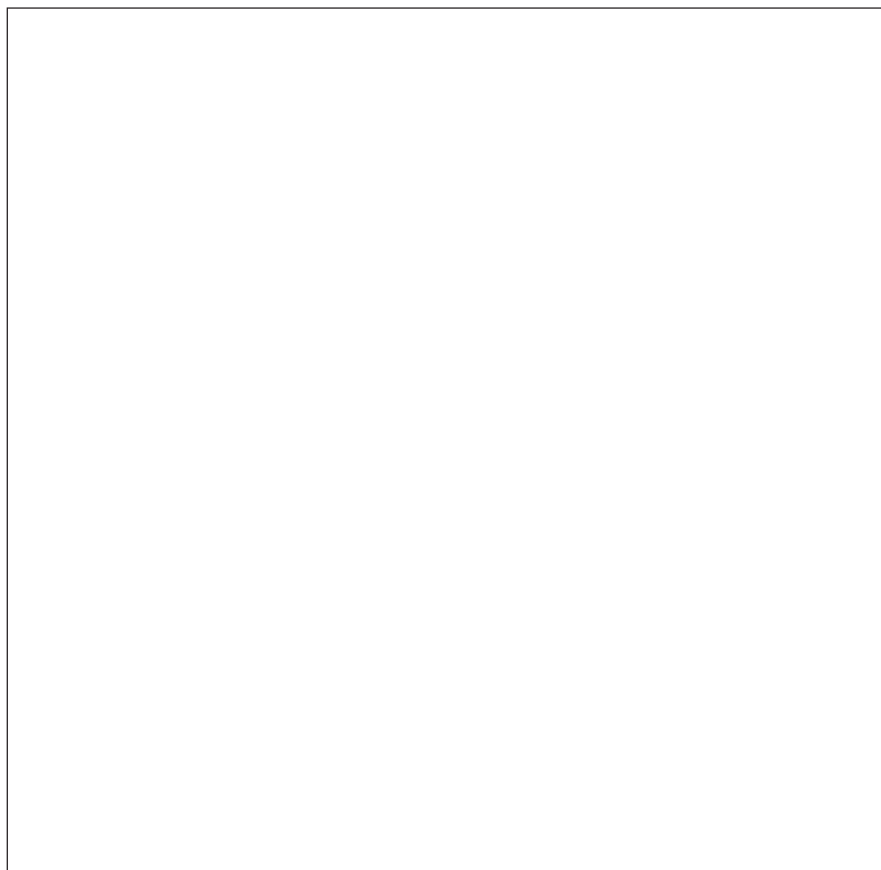
Det eksisterende mellemlager for radioaktivt affald kan udvides. Lagerfaciliteterne skal afvikles, når dekommissioneringen er afsluttet og et slutdepot er etableret.

## Bemærkninger

Dekommissioneringen skal foretages indenfor de rammer, der er beskrevet i regionplantillæggets tilhørende VVM-redegørelse, og skal i øvrigt foregå efter de nukleare tilsynsmyndigheders miljø- og sikkerhedsmæssige retningslinjer. I VVM-redegørelsen er tre tidsscenarier beskrevet, og HUR har vurderet at de miljømæssige forskelle scenarierne imellem ikke er væsentlige.

Dekommissioneringen kan foregå hurtigere end de skitserede scenarier, såfremt de nukleare tilsynsmyndigheder vurderer at det er sikkerheds- og miljømæssigt ligger indenfor rammerne af VVM-redegørelsen. Inden dette regionplantillæg vedtages endeligt forventes Folketinget at træffe beslutning om hvilke tidsmæssige rammer opgaven skal foregå indenfor.

Områder og bygninger skal efterlades som "green field", det vil sige at der ikke efterlades radioaktiv forurening, og at områder og bygninger efter endt demontering og oprydning kan bruges uden begrænsninger.



*Retningslinjekort*

En forudsætning for dekommissioneringen er at de eksisterende lagerfaciliteter skal udvides. Når dekommissioneringen er tilendebragt, skal et slutdepot være etableret. Etableringen af ekstra lagerfaciliteter skal ske som beskrevet i VVM-redegørelsen.

### 2.1 Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg

Efter 40 år overfører Risø den del af sin forskning, der behøver brug af nukleare anlæg (se ordforklaring 1 om nukleare anlæg), til udenlandske anlæg. De nukleare anlæg på Risøområdet skal derfor nedbrydes. I fagsproget hedder det at *dekommissionere*. Dekommissioneringen skal fjerne alle de bygninger og anlæg, som ikke kan renses for forurening med radioaktive stoffer. I fagsproget kalder man også forurening for kontaminering, og tilsvarende kalder man rensning for *dekontaminering*. Det frembragte radioaktive affald fra dekommissioneringen skal mellemlagres på Risøområdet, indtil der er bygget et slutdepot et sted i Danmark. Risø ønsker at dekommissionere alle de nukleare anlæg med tilhørende bygninger og områder, der er kontaminerede, til "green field" som mål i løbet af en 15 - 20-års periode. Ved "green field" forstås, at alle bygninger og områder er rensede, så de frit kan bruges til andre formål. Risø vil i øvrigt fortsætte sin forskningsvirksomhed, herunder nuklear sikkerhedsforskning, men uden brug af nukleare anlæg.

### 2.2 Organisatorisk ansvar

Til udførelse af dekommissioneringen af Risøs nukleare anlæg er der oprettet en statsvirksomhed ved navn Dansk Dekommissionering (DD). DD's formål vil være: at gennemføre hele den proces, som medfører, at alle bygninger, anlæg og arealer, som har været anvendt til nuklear forsknings- og forsøgsvirksomhed, tilbageføres til en tilstand fri for radioaktive stoffer herfra (såkaldt *green field*), at udrede på hvilken måde der i Danmark bedst etableres et slutdepot, som kan rumme dels det radioaktive affald, der allerede er mellemlagret på Risø, dels opsamle det affald, som

fremover vil komme fra offentlig og/eller privat virksomhed i Danmark, og at bidrage til dansk såvel som international videnopbygning i forbindelse med afvikling af nukleare anlæg og deponering af radioaktivt affald. Et vigtigt aspekt i tilrettelæggelsen af opgaven er de nukleare tilsynsmyndigheders rolle. Statens Institut for Strålehygiejne under Sundhedsstyrelsen og Beredskabsstyrelsen skal i henhold til lov nr. 170 af 16. maj 1962 om nukleare anlæg tilse, at arbejdet på Risø kan foregå på en sikkerheds- og miljømæssig forsvarlig måde.

### 2.3 Hvilke anlæg skal dekommissioneres

Risøområdet omfatter halvøen Risø med tilstødende land på østsiden af Roskilde Fjord. De nukleare anlæg er placeret på Risøhalvøen, og de omfatter:

- Dansk Reaktor 1 (DR 1)
- Dansk Reaktor 2 (DR 2)
- Dansk Reaktor 3 (DR 3)
- Hot Cell anlægget
- Behandlingsstationen med tilhørende lagre for radioaktivt affald
- Teknologihallen

Behandlingsstationen skal fortsat være i drift af hensyn til behandling af det radioaktive affald fra både nedbrydningen af de øvrige anlæg og fra institutioner uden for Risø (hospitaller, industrien mv.). Derfor er Behandlingsstationen det sidste anlæg, der skal dekommissioneres.

### 2.4 Scenarier og alternativer for dekommissioneringen af de nukleare anlæg

Radioaktivitet aftager med tiden. Der sker såkaldt "radioaktivt henfald". Derfor kan det være en fordel at lade tiden arbejde. Og derfor har man i planlægningen af dekommissioneringen set på tre forskellige tidsfor-

løb: 20 år, 35 år og 50 år. Vælger man det korte forløb på 20 år, kan hele dekommissioneringen gennemføres som én sammenhængende arbejdsaktivitet. De længere forløb fører til perioder, hvor der kun sker overvågning og vedligeholdelse. De tidsmæssige forløb er dyrere, jo længere de varer, fordi der skal opretholdes infrastruktur til overvågning, kontrol og vedligehold, og fordi der efter 50 år fortsat vil være så meget radioaktivitet tilbage i nogle af anlæggene, at strålingen herfra alligevel vil kræve avanceret fjernbetjening, for at dekommissioneringen kan gennemføres sikkert.

Når de nukleare anlæg skal nedbrydes, vil det ske under nøje overvågning af stråling og kontamination. De stærkt radioaktive dele (tanken i reaktor DR 3 f.eks.) skal skæres i mindre dele for at kunne håndteres. Materialer skal sorteres, således at kun radioaktivt materiale lagres i de særlige lagre for radioaktivt materiale. Dette kræver detaljerede målinger. Hvis affaldet siden skal kunne transporteres, skal en lang række regler og krav overholdes. Alle disse processer er arbejdskrævende og kræver kvalificeret indsats. For at sikre at alt foregår efter reglerne, skal hele arbejdsgangen kvalitetscertificeres efter den internationale ISO 9000 standard eller tilsvarende standard. Der findes efter HURs vurdering ikke fornuftige alternativer til dekommissioneringen. Alternativerne består udelukkende af hvornår arbejdet skal påbegyndes, og hvor lang tid projektet skal tage. Et alternativ kunne være at indkapsle anlæggene, og lade Risøområdet være flere slutdepoter. Denne VVM-redegørelse rummer ikke en så fyldestgørende sikkerheds- og miljømæssig beskrivelse, at denne løsning kan vælges. Indkapsling af anlæggene vil kræve fornyet planlæg-

## 2. Ikke-teknisk resumé

ning og VVM. De tidsmæssige alternativer vurderer HUR ikke er så væsentlig forskellige fra hinanden, ud fra en miljømæssig betragtning.

### 2.5 Radioaktivt affald

For at kunne påbegynde og eventuelt gennemføre dekommissioneringen af de nukleare anlæg på Risø uden at skulle vente på, at der politisk træffes beslutning om bygning og ibrugtagning af et slutdepot for radioaktivt affald, vil det være nødvendigt at udvide kapaciteten for mellemlagring af færdigpakkede affaldsenheder med lav- og mellemradioaktivt affald til ca. det dobbelte. Det betyder, at der skal bygges et mellemlager til opbevaring af færdigpakkede enheder, indtil de kan placeres i det endelige slutdepot. Det ville imidlertid være en fordel at have et færdigt slutdepot, når nedbrydningen af anlæggene påbegyndes. Herved undgås, at affaldsenhederne skal håndteres to gange, og strålingsdoserne ville derfor blive mindre. Afvejninger af denne art indgår på linje med andre overvejelser i valg af kort eller langt scenario for dekommissioneringen. Opførelse af et slutdepot er under alle omstændigheder essentielt for fuldstændig gennemførelse af projektet. Der skal imidlertid laves en separat VVM-redegørelse for et sådant depot, når der fra politisk hold er truffet beslutning om opførelse af depotet.

### 2.6 Miljømæssige påvirkninger af omegnen under dekommissioneringen

I forbindelse med nedbrydningen af de nukleare anlæg er der mulighed for, at mindre mængder af de radioaktive stoffer i anlæggenes konstruktionsdele kan undslippe til omgivelserne, både som følge af de daglige arbejdsoperationer og som følge af unormale hændelser eller uheld. For reaktorerne DR 2 og DR 3 vil

eventuelle udslip under dekommissioneringen med stor sikkerhed være mindre end de målte udslip i driftsperioden, som for DR 2's vedkommende var 1958 - 1975 og for DR 3's vedkommende 1960 - 2000. De maksimale strålingsdoser til den nærmestboende befolkning fra driftsudslippene fra reaktorerne DR 2 og DR 3 samt fra Behandlingsstationen har været nogle få dosisenheder<sup>1</sup> pr. år og ikke større end 10 dosisenheder pr. år. Hvad angår Hot Cell og DR 1 var der tale om meget små udslip af radioaktive stoffer, mens anlæggene var i drift. Doser fra eventuelle udslip under dekommissioneringen af disse anlæg vil være betydningsløse.

Doserne fra eventuelle uheldsudslip af radioaktive stoffer til atmosfæren under dekommissioneringen kan blive noget større end doserne fra de erfarede driftsudslip, men næppe væsentlig større end typiske årlige doser fra den naturligt forekommende baggrundsstråling. Doserne fra eventuelle udslip af radioaktive stoffer til Roskilde Fjord kan næppe blive højere end nogle få dosisenheder pr. år. Fra den naturligt forekommende baggrundsstråling udsættes hver dansker i gennemsnit for en dosis på ca. 3.000 dosisenheder pr. år - sammensat af ca. 2.000 dosisenheder pr. år fra radon i boliger og ca. 1.000 dosisenheder pr. år stort set ligelig sammensat fra kosmisk stråling, fra strålingen fra de naturligt forekommende radioaktive stoffer i jorden og i bygninger samt fra naturligt forekommende radioaktive stoffer i os selv. Tilsynsmyndighederne stiller krav til at udslippet fra hvert anlæg der skal dekommissioneres højst må udgøre 50 dosisenheder pr. år. Dosene fra alle anlæg på Risø

må højst udgøre 100 dosisenheder pr. år. Det tilladte udslip i forbindelse med dekommissioneringen er således marginale i forhold til baggrundsstrålingen.

### 2.7 Anden indvirkning på omgivelserne

Dekommissioneringen af Risø's nukleare anlæg vil påvirke de landskabelige forhold ved at nogle af bygningerne eventuelt fjernes fra området. De anlæg, som skal opføres i forbindelse med projektet (bl.a. en lagerhal) vil - set i sammenhæng med den eksisterende bygningsmasse - kun have en marginal virkning på landskabet. Det vurderes endvidere, at dekommissioneringen ikke vil give nogen påvirkninger på plante- og dyrelivet på Risøområdet. De nærmest beboede områder ligger så langt fra anlæggene, at eventuel støj i forbindelse med nedbrydningen ikke vil kunne høres i disse områder.

<sup>1</sup> I Denne redegørelse defineres en dosisenhed som 1 dosisenhed = 1 mikrosievert (se også ordforklaringen under strålingsdoser og strålingsrisici)

### 3. Organisatorisk ansvar for dekommissioneringen

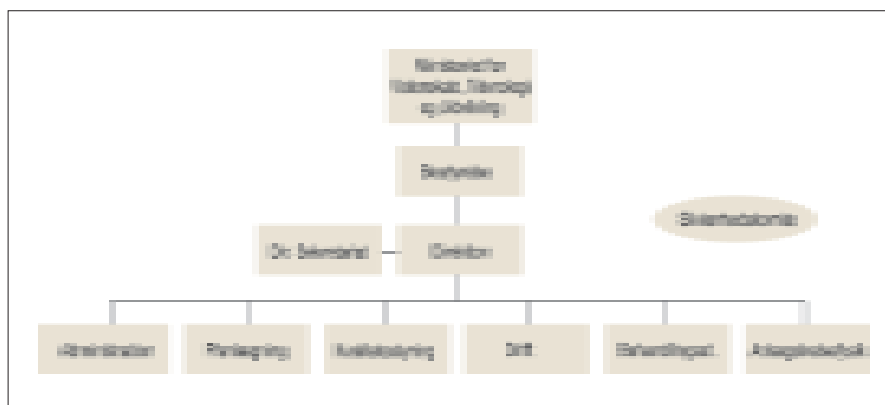
De nukleare anlæg på Risø - med undtagelse af Teknologihallen og Hot Cell anlægget - er samlet i afdelingen Risø Dekommissionering.

I 1999 opstod der en læk i kølesystemet på reaktor DR 3, der blev repareret i begyndelsen af 2000. En detaljeret undersøgelse af reaktortanken blev iværksat i foråret 2000, og denne undersøgelse afslørede en begyndende tæring af reaktortanken. Det blev derfor besluttet at lukke DR 3 permanent, ikke af sikkerhedsmæssige årsager, men fordi de nødvendige investeringer til fortsat at holde den i sikker stand ikke stod mål med udbyttet i resten af reaktorens levetid, der af andre årsager var begrænset til 5 - 6 år. Risø har derefter besluttet, at alle de nukleare anlæg skal dekommissioneres. Det er planen, at dette arbejde skal udføres af en ny dansk statsvirksomhed, Dansk Dekommissionering under Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling.

#### 3.1 Dansk Dekommissionering

Dansk Dekommissionering's (DD) formål er:

- at gennemføre hele den proces, som medfører, at alle bygninger, anlæg og arealer ved Forskningscenter Risø, som har været anvendt til nuklear forsknings- og forsøgsvirksomhed, tilbageføres til en tilstand fri for radioaktive stoffer herfra (såkaldt *green field*),
- at udrede på hvilken måde der i Danmark bedst etableres et slutdepot, som kan rumme dels det radioaktive affald, der allerede er mellemlagret på Risø, dels opsamle det affald, som fremover vil komme fra offentlig og/eller privat virksomhed i Danmark, og
- at bidrage til dansk såvel som international vidensopbygning i forbindelse med afvikling af nu-



Figur 2.1 Organisationen i Dansk Dekommissionering (DD) vedrørende driftsmæssige forhold for nukleare anlæg i drift og under dekommissionering. Organisationen omfatter afdelinger for Administration, Planlægning, Kvalitetsstyring, Drift, Behandlingsstation og Anlæghelsefysik. En uafhængig sikkerhedskomite er rådgivende over for DD.

kleare anlæg og deponering af radioaktivt affald, og i samarbejde med Forskningscenter Risø at udgøre et af de danske videncentre for strålingssikkerhed. Andre videncentre inden for området er f.eks. Statens Institut for Strålehygiejne og Beredskabsstyrelsens nukleare kontor.

Medarbejderne i Risø Dekommissionering forventes i 2003 at blive overført til Dansk Dekommissionering fra Forskningscenter Risø. Ansvar for de nukleare anlæg i drift og under dekommissionering bliver samtidigt overført fra Risø til DD.

Arbejdet i DD falder inden for tre hovedområder:

- (1) driften af de nukleare anlæg i drift og under dekommissionering,
- (2) detailplanlægning og projektlejelse af dekommissioneringen af de nukleare anlæg, og
- (3) opretholdelse af organisation for uheldsberedskab og uheldsbekæmpelse. Organisationen vedrørende de driftsmæssige forhold i DD er vist på figur 2.1.

Den detaljerede planlægning og projektlejelse af dekommissioneringen

vil foregå i en projektorganisation (matrix-organisation) med deltagelse af medarbejdere fra relevante dele af den viste driftsorganisation på figur 2.1 og eventuelt med deltagelse af ekstern ekspertise. Tilsvarende vil den nukleare beredskabsorganisation bygge på DD's driftsorganisation med bistand fra Afdelingen for Strålingsforskning på Forskningscenter Risø.

Der planlægges endvidere med en sikkerhedskomite som et uafhængigt rådgivende organ vedrørende DD's generelle sikkerhedsforhold inden for strålingssikkerhed og affaldssikkerhed. Sikkerhedskomiteen er inden for sit arbejdsområde rådgivende for direktionen og skal have kendskab til DD's organisation og skal vurdere generelle sikkerhedsforhold, beredskabsforhold samt større organisatoriske ændringer. Medlemmerne skal desuden tilsammen have viden, der dækker de fagområder, som har sikkerhedsmæssig betydning for dekommissioneringen af de nukleare anlæg. Andre sagkyndige kan inddrages efter behov.

#### 3.2 De nukleare tilsynsmyndigheds rolle

I henhold til lov nr. 170 af 16. maj 1962 (atomanlægsloven) og lov nr.



### 3. Organisatorisk ansvar for dekommissioneringen

244 af 12. maj 1976 om tilsyn med nukleare anlæg er de nukleare tilsynsmyndigheder *Statens Institut for Strålehygiejne* (SIS), som er enhed under Sundhedsstyrelsen, og *Beredskabsstyrelsen* (Nukleart kontor, NUC) ansvarlige for udarbejdelsen af de regler og betingelser, under hvilken DD kan udføre sin virksomhed. Indledningsvis skal myndighederne sikre kontinuiteten ved overdragelse af ansvaret for de nukleare anlæg fra Forskningscenter Risø til DD, således at den nødvendige nukleare ekspertise til driften af anlæggene (i drift og under dekommissionering) er tilstede i DD, og således at organisationen vedrørende sikkerhed og beredskab fortsat kan fungere. Denne proces omfatter bl.a. en vurdering og godkendelse af den sikkerhedsdokumentation, som DD har udarbejdet, og udarbejdelse af et sæt *Betingelser for Drift* (BfD) af DD's virksomhed. BfD indeholder en række bestemmelser og krav til driften af DD, bl.a. organisatoriske krav, regler for strålingsbeskyttelse, dosisgrænser for DD's medarbejdere, udslipsgrænser for radioaktive stoffer fra de nukleare anlæg til omgivelserne, frigivelsesniveauer for ikke-radioaktivt affald, rapporteringsregler m.m.

SIS har ansvaret for udarbejdelsen af en redegørelse til EU (se afsnit 3.3) om dekommissioneringen af de nukleare anlæg og eventuelle forurenings- og dosismæssige konsekvenser for medlemslande som følge af dekommissioneringen.

SIS og NUC har tilsynspligten i forbindelse med DD's drift. Det betyder i praksis, at myndighederne løbende skal vurdere de rutinemæssige rapporterede doser til personalet og udslip af radioaktive stoffer til omgivelserne. Endvidere skal de vurdere eventuelle ekstraordinære

rapporteringer af unormale forhold af sikkerhedsmæssig karakter som eksempelvis forhøjede persondoser, forøgede udslip af radioaktive stoffer o.lign. SIS og NUC kan til enhver tid uanmeldt komme på besøg i DD og anmode om at inspicere operationer, måleudstyr, dokumenter etc.

#### 3.3 EU's rolle vedrørende dekommissioneringen af de nukleare anlæg

EURATOM traktaten forudsætter blandt andet, at EU vedtager ensartede sikkerhedsnormer for al brug af ioniserende stråling, herunder nukleare anlæg og kontrol med nukleart materiale. De ensartede sikkerhedsnormer udmøntes normalt i form af direktiver, der efterfølgende gennemføres i de nationale lovgivninger.

Efter traktatens artikel 37 skal hver medlemsstat forsyne EU-kommissionen med alle almindelige oplysninger vedrørende planer om dekommissionering af nukleare anlæg for derved at kunne afgøre, om iværksættelsen af denne plan kunne medføre radioaktiv forurening af et andet medlemslands vande, jord eller luft. Efter høring af en ekspertgruppe, afgiver Kommissionen en udtalelse inden for en frist på seks måneder.

Artikel 37 redegørelsen kan opfattes som en VVM-redegørelse for nabolandene fra det land, som skal foretage dekommissioneringen af et nukleart anlæg. Redegørelsen skal indeholde vurderinger af strålingsdoserne til de nærmeste befolkningsgrupper i et naboland fra forventede driftsudslip af radioaktive stoffer til atmosfæren og til det akvatiske miljø under dekommissioneringen af det nukleare anlæg. Redegørelsen skal også vurdere mulige strålingsdoser til de samme befolknings-

grupper fra eventuelle uheldsudsip til atmosfæren eller der akvatiske miljø.

#### 3.4 Bygning af slutdepot for radioaktivt affald

Dekommissioneringen af de nukleare anlæg på Risø kan ske, uden at der er truffet beslutning om et dansk slutdepot for radioaktivt affald. Ved udbygning af eksisterende mellem-lagringsfaciliteter på Risø kan der skaffes plads til midlertidig oplagring af affaldet fra nedbrydning af de nukleare faciliteter. Derfor har overvejelserne om et slutdepots indretning og placering ingen direkte sammenhæng med dekommissioneringen.

Hverken konceptet for et dansk slutdepot eller depotets placering i Danmark er besluttet endnu, og valgmulighederne herfor eksisterer fortsat - uafhængig af en mellemlagerudvidelse på Risøområdet og design af betonbeholdere til mellemlageret. Før et slutdepot kan etableres, skal der foretages nøje sikkerhedsvurderinger og analyser af virkningerne på miljøet ved forskellige slutdepotkoncepter og geografiske placeringer.

Et konkret forslag om slutdepotløsning kan kun iværksættes, såfremt der foreligger en særskilt VVM-redegørelse om et sådant projekt. Processen omkring en VVM-redegørelse sikrer en bred adgang for offentligheden til at kommentere et konkret projekt. Beslutning om placering af slutdepotet kan træffes via regionplanlægning, landsplanlægning eller en anlægslov. Beslutning via planlovgivningen forudsætter en VVM-redegørelse, mens beslutning gennem vedtagelse af en anlægslov forudsætter en offentlig-hedsperiode af samme art og med samme indhold som ved udarbejdelse af en VVM-redegørelse. Uan-

### 3. Organisatorisk ansvar for dekommissioneringen

set valg af fremgangsmåde vil der således være sikkerhed for en offentlig høring af betydelig intensitet.

En arbejdsgruppe nedsat af det daværende IT- og Forskningsministerium har peget på, at den gældende lovgivning ikke kan anses for tilstrækkelig til, at de ansvarlige myndigheder kan give tilladelse til etablering eller ibrugtagning af et slutdepot [9]. Arbejdsgruppen har derfor anbefalet, at der via lovgivning skaffes et klart og ubetinget hjemmelsgrundlag, herunder at hele beslutningsprocessens forskellige faser fastlægges på forhånd. Arbejdsgruppen har endvidere anbefalet, at der som udgangspunkt for processen for fastsættelse af overordnede sikkerhedskriterier, udslipsscenarier og dosiskriterier m.m. benyttes anbefalinger fra Den Internationale Kommission for Strålebeskyttelse [16] og fra Det Internationale Atomenergiagentur [17], samt at der i forbindelse med valg af lokalitet tages hensyn til de forhold, som fremgår af vejledningen fra IAEA om pladsvalg [18]. Arbejdsgruppen har endelig anbefalet, at et konkret depotforslag sendes til international evaluering.

#### 3.5 Internationale anbefalinger om dekommissionering

Der er mange faktorer, der har indflydelse på sikkerheden i forbindelse med driften af forskningsreaktorer og andre nukleare installationer. Mange af disse faktorer vil fortsat være relevante for sikkerheden, når disse anlæg skal dekommissioneres, men dekommissionering vil også omfatte andre sikkerhedsaspekter, herunder håndtering af store mængder radioaktivt affald og sortering og frigivelse af ikke-radioaktivt affald. Det internationale atomenergiagentur IAEA har udarbejdet anbefalinger vedrørende dekom-

missionering af kernekraftværker og forsøgsreaktorer [3]. Disse anbefalinger er rettet mod både de nationale tilsynsmyndigheder og de organisationer, der har ansvaret for dekommissioneringen af sådanne anlæg og faciliteter. IAEA's anbefalinger er - modsat EU's forskellige direktiver - ikke bindende for medlemslandene.

#### Generelle aspekter af dekommissionering

EU kommissionen ([www.sckcen.be/eccdemcommissioning](http://www.sckcen.be/eccdemcommissioning)) definerer dekommissionering af nukleare installationer på følgende måde: "All the administrative and technical operations allowing to withdraw a facility from the list of licensed facilities". Målet for dekommissioneringen er at fjerne alt radioaktivt materiale fra de pågældende anlæg, således at bygninger og områder kan frigives til andet formål uden restriktioner på brugen af bygninger og områder.

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:

#### Fase 1: Opbevaring under opsyn ("Storage with surveillance")

For at bringe et anlæg til fase 1 foretages en vis rengøring - dekontaminering - 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.

#### Fase 2: Begrænset brug af området ("Restricted site use")

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 (sædvanligvis beton, eventuelt suppleret med bly) forøges og lukkes for helt at indeslutte selve reaktorstrukturen. Overvågning af anlægget kan herefter reduceres; men der bør foretages periodiske kontroller og overvågning af omgivelserne.

#### Fase 3: Ubegrænset brug af området ("Unrestricted site use" eller "green field")

Den afsluttende 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. Ved "green field" forstås, at alle radioaktive dele er fjernet, mens selve reaktorbygningen f.eks. ikke behøver at blive revet ned, hvis alle målinger viser, at bygningen kan frigives til andet brug.

Mellem de ovennævnte trin kan der være en årrække, hvor der ikke foregår noget dekommissioneringsarbejde, men hvor anlægget blot henstår, medens indholdet af radioaktive stoffer formindskes ved radioaktivt 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, førend man går i gang med nedrivning af de mest radioaktive dele. Herved forventer man at kunne reducere strålingsdoserne til de medarbejdere, der er involveret i nedbrydningen af anlæggene, fordi

### 3. Organisatorisk ansvar for dekommissioneringen

strålingsniveauerne er blevet reduceret som følge af radioaktivt henfald.

Der er imidlertid andre forhold, der taler for at afstå fra en lang "køletid" og i stedet foretage en relativt hurtig dekommissionering. Således vil det være lettere at udnytte eksisterende viden og veluddannet personale, hvis man starter 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 radioaktive dele af anlæggene. Endvidere undgås overvågning og vedligeholdelse af anlæggene i en lang hvileperiode.

#### Ansvar for dekommissioneringen

Når et nukleart anlæg tages ud af drift, kan ansvaret for dekommissioneringen af anlægget overføres fra den organisation, der havde driftsansvaret, til en ny organisation, som får ansvaret for sikkerheden ved anlæggene under hele dekommissioneringsfasen. For at sikre at en sådan ansvarsoverdragelse er effektiv, skal alle tegninger, rapporter fra driftsperioden mv. overføres til den nye organisation. De enkelte dekommissioneringsoperationer kan i øvrigt involvere mange andre organisationer, bl.a. udefra kommende entreprenører/underentreprenører, der ikke nødvendigvis har erfaring med nukleare installationer. Det er derfor af allerstørste sikkerhedsmæssig betydning, at ansvarsforholdene mellem de forskellige aktører klart defineres. Information af offentligheden om dekommissioneringsprojektet er vigtig, og ansvaret for udvikling af informationsprogrammer ligger hos den organisation, der har ansvaret for dekommissioneringen.

#### Det lovgivningsmæssige grundlag for dekommissioneringen

Det nationale lovgivningsgrundlag på det nukleare område skal indeholde krav og regler for dekommissionering af nukleare faciliteter. De nukleare tilsynsmyndigheder skal i den forbindelse fastsætte radiologiske kriterier for, hvornår myndighedskontrollen af dekommissionerede faciliteter og arealer kan ophæves. Tilsynsmyndighederne skal endvidere sikre, at der findes et passende system til håndtere en sådan ophævelse på forsvarlig vis.

Nogle relevante aktiviteter for dekommissioneringen af de nukleare faciliteter kan udføres under de gældende driftstilladelser. Dette omfatter eksempelvis fjernelse af reaktorbrændsel fra reaktorer, håndtering af driftsmæssig affald, målinger og bestemmelser af indholdet af radioaktive stoffer og præliminær dekontaminering.

I tilfælde af, at der ikke er udarbejdet myndighedskrav og -regler for dekommissionering af de nukleare faciliteter, kan dekommissioneringsaktiviteter iværksættes på "case by case" basis under de eksisterende regler for driften af de pågældende faciliteter. I sådanne tilfælde skal den ansvarlige driftsorganisation konsultere de nukleare tilsynsmyndigheder vedrørende udarbejdelse og implementering af en dekommissioneringsplan. Myndighederne vil da kræve, at driftsorganisationen i denne plan demonstrerer, hvorledes de eksisterende myndighedskrav kan opfyldes.

Myndighedskontrollen af dekommissioneringen kan udføres i form af en samlet tilladelse, ved separate tilladelser eller ved direkte kontrol fra de nukleare tilsynsmyndigheder. Inden for de lovgivningsmæssige rammer

skal de nukleare tilsynsmyndigheder gennemgå og godkende dekommissioneringsplaner, kvalitetssikringsprogrammer og andre forhold vedrørende dekommissioneringen.

Den ansvarlige organisation for dekommissioneringen skal periodisk rapportere til de nukleare tilsynsmyndigheder alle relevante sikkerhedsmæssige data, bl.a. forskellige monitoringsdata og radiologiske måleprogrammer. I tilfælde af unormale hændelser skal den ansvarlige organisation rapportere alle data og forhold, der er nødvendige for at kunne vurdere de sikkerhedsmæssige konsekvenser af et sådan hændelse.

#### Sikkerhedsforhold

I alle faser af dekommissioneringen skal medarbejdere, befolkning og omegnsmiljøet være tilstrækkeligt beskyttet mod farlige påvirkninger fra dekommissioneringsprocessen. En grundig sikkerhedsvurdering af selve dekommissioneringen, herunder om nødvendigt en uheldsanalyse, skal gennemføres for at fastlægge nødvendige beskyttelsesforanstaltninger i lyset af de specifikke forhold ved dekommissioneringen. I visse tilfælde kan disse beskyttelsesforanstaltninger være forskellige fra dem, der var nødvendige under driften af den pågældende facilitet.

Under selve dekommissioneringsfasen er der mulighed for at der opstår nye farlige situationer. En vigtigt mål gennem hele dekommissioneringsfasen er derfor, at de sikkerhedsmæssige aspekter, herunder fjernelse af eksisterende sikkerhedssystemer, bliver vurderet og håndteret på en sådan måde, at potentielle eksponeringer imødegås.



### Planlægning af dekommissionering

Erfaring har vist, at når dekommissionering af nukleare faciliteter bliver velforberedt og godt planlagt, kan den gennemføres sikkerhedsmæssigt forsvarligt uden større risiko for påvirkninger af medarbejdere, befolkning og omegn. Dekommissioneringen kan gøres lettere ved planlægning og forberedende arbejde gennem hele livscyklus af det nukleare anlæg (fra opførelsen, i driftsfasen og til den endelige nedlukning), hvilket også kan minimere både de erhvervsmæssige og de omegnsmæssige påvirkninger under dekommissioneringen.

For mange ældre nukleare faciliteter, der har været i drift i adskillige årtier verden over, herunder Risøs nukleare anlæg, indgik dekommissionering ikke i planlægnings- og driftsfasen. I den aktuelle planlægning af dekommissioneringen af sådanne anlæg skal dette forhold tages i betragtning, og planlægningen bør starte så tidligt som muligt.

### Beskyttelse af medarbejdere, befolkning og omgennemsmiljø

Betragtninger vedrørende strålingsbeskyttelse af både medarbejdere, befolkning og omgennemsmiljø skal indgå under selve dekommissioneringsfasen, og nationale strålingsbeskyttelseskrav skal fastlægges under hensyntagen til de grundlæggende internationale anbefalinger på området.

Under dekommissioneringen af nukleare faciliteter kan både radioaktive og ikke-radioaktive stoffer frigives til omgivelserne. Sådanne frigivelser skal kontrolleres i overensstemmelse med nationale regler for emission af farlige stoffer til omgivelserne.

Ophævelse af kontrollen med materialer, udstyr og bygninger/arealer skal baseres på kriterier fastsat af de nationale nukleare tilsynsmyndigheder.

### Radioaktivt affald

Under dekommissioneringen af nukleare faciliteter bliver der frembragt store mængder af radioaktivt affald. Dette affald bliver genereret i en anden form end det var tilfældet under driften af den pågældende facilitet. I overensstemmelse med internationale principper for behandling af radioaktivt affald skal generering af sådant affald holdes så lavt som praktisk muligt. Forskellige metoder til dekontaminering, nedbrydning og genbrug kan reducere omfanget af radioaktivt affald væsentligt.

### 3.6 Opsamling og vurdering

I det ovenstående kapitel fremgår hvordan dekommissioneringsopgaven vil være organiseret samt hvilke andre myndigheder, love og regler der regulerer den forestående dekommissioneringsopgave på Risø. Som det fremgår, er HURs regionplantillæg og VVM-redegørelsen kun et element i den store sammenhæng, og HUR vurderer, at de samlede myndighedsmæssige initiativer, som vil være en væsentlig del af den forestående opgave, vil sikre at opgaven såvel organisatorisk som miljø- og sikkerhedsmæssigt vil foregå på forsvarlig måde.

## 4. Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg

Risøområdet ligger på østsiden af Roskilde Fjord, ca. 6 km nord for Roskilde og omfatter halvøen Risø med tilstødende land på østsiden af Roskilde Fjord. De nukleare anlæg er placeret på Risøhalvøen, og de omfatter:

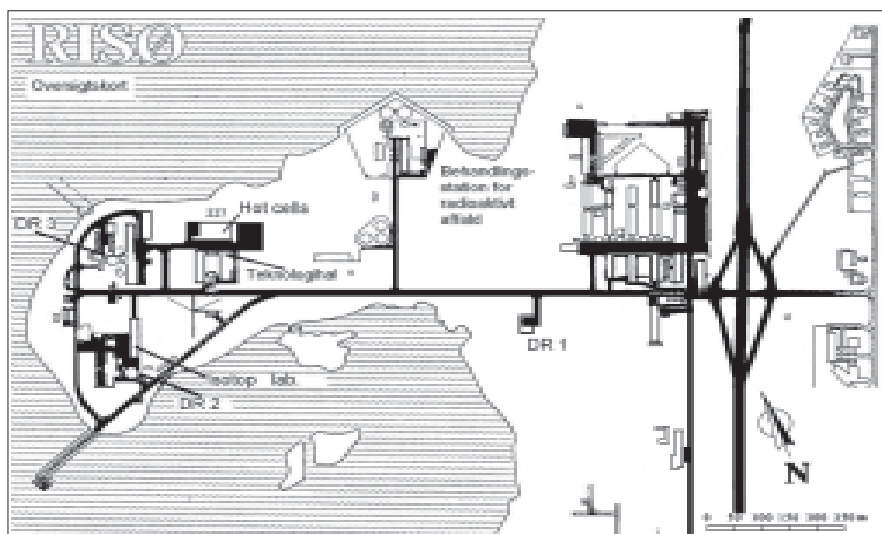
- Reaktor DR 1
- Reaktor DR 2
- Reaktor DR 3
- Hot Cell anlægget
- Teknologihallen
- Behandlingsstationen med uranmalmbeholdning og affaldslagrene:
  - Centralvejslager
  - Lagerhal for lavradioaktivt affald
  - Tromlelager
  - Tailingsbassiner

Risø er et naturskønt område, som det fremgår af de efterfølgende billeder fra området taget i foråret og forsommeren 2001. Tilsammen giver billederne et indtryk af de nukleare anlæg set udefra i sammenhæng med omgivelserne.

De væsentligste operationer i forbindelse med dekommissioneringen af Risøs nukleare anlæg er kort beskrevet i dette afsnit, hvori der også er givet en beskrivelse af de enkelte anlægs karakteristika og tidligere anvendelse i deres driftsperiode. Der er forskelle mellem de enkelte nukleare anlæg, både hvad angår deres indhold af radioaktive stoffer og deres kompleksitet i opbygning.

### Dekommissionering

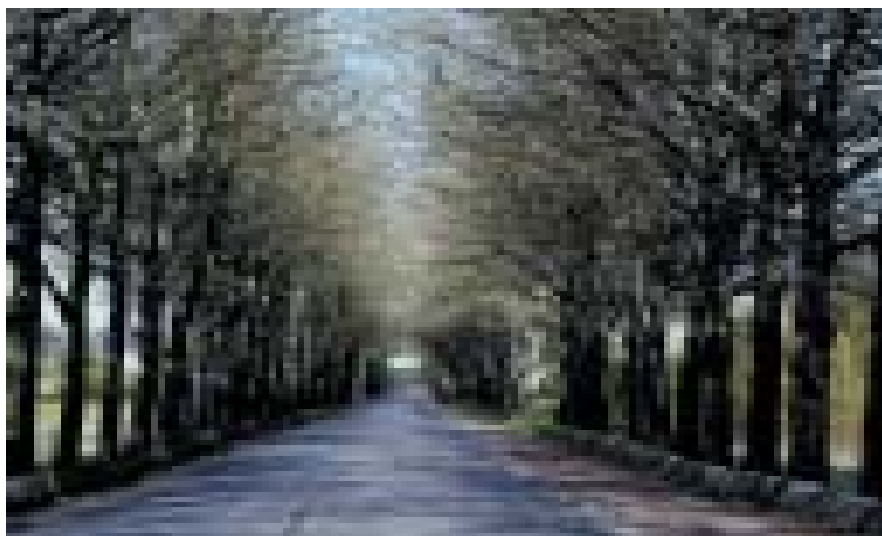
Inden nedbrydningen iværksættes skal der på grundlag af målinger, analyser, prøvetagning og beregninger foretages en detaljeret bestemmelse af indhold og placering af de forskellige radioaktive stoffer. For reaktor DR 2 og Hot Cell anlægget er sådanne bestemmelser allerede



Figur 4.1 Placeringen af de nukleare anlæg på Risøhalvøen.

de udført i en vis udstrækning, men flere analyser og målinger er nødvendige. Reaktor DR 1 er det mest simple anlæg at karakterisere og reaktor DR 3 det mest komplicerede. Indholdet i Behandlingsstationens forskellige lagre er rimeligt godt dokumenteret. Radioaktivitetsindhold og -placering vil indgå som en vigtig del af den detaljerede planlægning af nedbrydningen.

Nedbrydning og adskillelse vil generelt ske således, at de mindst radioaktive delsystemer af et anlæg fjernes først. Herved opnås, at radioaktiviteten i de mere radioaktive dele af anlægget i mellemtiden vil henfalde, hvorved strålingsniveauerne er mindre, når disse delsystemer skal fjernes. Der er imidlertid delsystemer, der selv med lange køletider kræver fjernbetjent adskillelse, f.eks. under vand i et såkaldt skærebassin.



Figur 4.2 Centralvejen med sølvpopler set mod vest den 9. maj 2001 nogle timer inden poplernes blade springehelt ud.

## 4. Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg

Når radioaktive konstruktionsdele og komponenter nedtages fra de nukleare anlæg vil det ske under helsefysisk overvågning af strålings- og kontaminationsniveauer i både arbejds- og omegnsmiljø. De mest radioaktive dele vil enten blive skåret i mindre dele på stedet under strålingsafskærmede forhold eller vil blive løftet med kran til en afskærmet position og derfra transporteret til en opskæringsfacilitet (skærebassin, afskærmet blycelle etc.). Kran- og transportoperationer af de mest radioaktive komponenter vil blive detaljeret planlagt og afprøvet inaktivt, inden selve operationen iværksættes under intens helsefysisk overvågning. I operationen indgår også forskellige på forhånd afprøvede nødprocedurer i tilfælde af, at der opstår uforudsete vanskeligheder.

For de tre reaktorer DR 1, DR 2 og DR 3 er målet at fjerne de indre dele i reaktorblokken (reaktortank, grafit etc.), hvor hovedparten af de radioaktive stoffer befinder sig, den ydre betonaftskærmning og alle tekniske hjælpesystemer. De ydre reaktorbygninger (reaktorindeslutning) kan formodentlig blive stående, hvis de ellers kan bruges til andre formål. Alternativt kan de nedbrydes og bortskaffes som ikke-radioaktivt affald.

I Hot Cell anlægget befinder radioaktiviteten sig som støv og små partikler på betoncellernes indre overflader. Da betoncellerækken formodentlig ikke kan bruges til andre formål, skal den nedbrydes, men først skal de indre overflader renses, så fjernelse af de indre dele i cellerne (væggernes stålplader, borde, shutter-døre etc.) og nedbrydningen af betonen kan foregå uden nævneværdig stråling.

I Behandlingsstationens affaldslagre befinder det radioaktive affald



Figur 4.3 Risøområdet set fra landdelen mod vest. Reaktorerne DR 1 (forrest) og DR 2 (bagerst) ses midt i billedet og sølvpoppe-alléen (centralvejen) til højre. 11. juni 2001.

sig hovedsageligt i tromler, og indholdet i hver tromle er dokumenteret på grundlag af målinger. Dekommissioneringen af Behandlingsstationen består i nedbrydning af procesudstyr og fjernelse af affaldstromler.

### Rækkefølge og tidsperspektiver for dekommissionering af Risøs nukleare anlæg

Forskellene i de nukleare anlæg på Risø med hensyn til deres restindhold af radioaktive stoffer og deres tilgængelighed for nedbrydning har

betydning for en hensigtsmæssig planlægning af rækkefølge og tidsperspektiv for dekommissionering af de enkelte anlæg.

Det mest komplicerede anlæg er at dekommissionere er reaktor DR 3, men også Hot Cell anlægget er relativt kompliceret og indeholder desuden aktinider (plutonium, americium m.fl.), der kræver særlige foranstaltninger til modvirkning af støv. Denne liste angiver fra top til bund sværhedsgraden og det forventede ressourceforbrug for dekommissio-



Figur 4.4 Bløden set fra centralvejen mod vest. Reaktor DR 2 ses til højre i billedet, der er taget den 11. juni 2001.

## 4. Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg

neringen, dvs. reaktor DR 3 er det mest komplicerede og dyreste anlæg at nedbryde, og Behandlingsstationen - bortset fra bortskaffelsen af det oplagrede affald - det mindst komplicerede og formodentligt billigste anlæg at nedbryde.

- Reaktor DR 3
- Hot Cell anlægget
- Reaktor DR 2
- Reaktor DR 1
- Behandlingsstationen med tilhørende affaldslagre
- Teknologihallen

Behandlingsstationen med tilhørende lagre vil være det nukleare anlæg, der skal nedbrydes til sidst, fordi den er nødvendig også under nedlægningen af de øvrige nukleare anlæg.

Hvis man vælger at gennemføre dekommissioneringen af de nukleare anlæg sekventielt, således at der startes med det mindst komplicerede anlæg og slutes med det mest komplicerede med undtagelse af Behandlingsstationen (der fortsat skal bruges under dekommissioneringen), vil rækkefølgen for dekommissioneringen blive følgende:

- Teknologihallen
- Reaktor DR 1
- Reaktor DR 2
- Hot Cell anlægget
- Reaktor DR 3
- Behandlingsstationen med tilhørende affaldslagre

Der er imidlertid ikke noget, der umiddelbart taler for en sekventiel nedbrydning, ud over at der tidsmæssigt opnås en vis reduktion af den forholdsvis store beta-/gamma-radioaktivitet i DR 3's konstruktionsdele. Da der under alle omstændigheder skal anvendes fjernbetjent udstyr til adskillelsen af de massive konstruktionsdele i DR 3, har denne



Figur 4.5 Skrænterne mod Roskilde Fjord set fra søsiden mod øst. 15. juni 2001.

reduktion mindre betydning. Tilsvarende betragtninger kan anlægges for Hot Cell anlægget, der hovedsageligt indeholder mere langlivede radionuklider som  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , plutonium og americium. På en 20-års skala vil reduktionen af indholdet af radioaktive stoffer i betoncellerne som følge af radioaktiv henfald kun være marginal.

Man kan derfor vælge at nedbryde anlæggene delvist parallelt, hvorved man opnår den hurtigst mulige totale nedbrydning. Samtidig opnås en

fleksibel og optimal udnyttelse af mandskabsressourcer, men der stilles til gengæld store krav til planlægningen af de enkelte operationer.

### 4.1 Scenarier for dekommissioneringen

Indholdet af radioaktive stoffer i de nukleare anlæg aftager med tiden, og det kan derfor være en fordel at lade anlæggene stå nogle år, inden man går i gang med den endelige nedbrydning. En radioaktiv isotop, som ofte dominerer strålingsniveauet i nukleare anlæg, specielt reaktio-



Figur 4.6 Skrænterne mod Roskilde Fjord set fra søsiden mod øst. I baggrunden ses DR 3. 15. juni 2001.

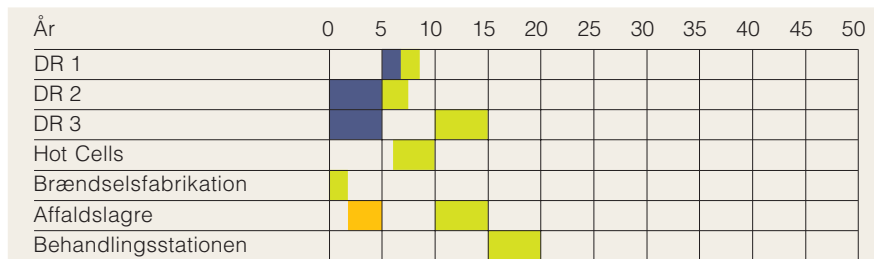
## 4. Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg

rer, er kobolt-60 ( $^{60}\text{Co}$ ). Den har en halveringstid på ca. 5,3 år, hvilket medfører, at efter 10 halveringstider (53 år) er niveauet faldet til en tusindedel af det oprindelige ( $1/2^{10} = 0.001$ ).

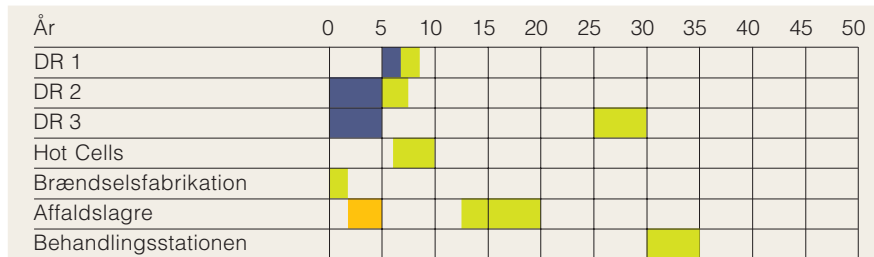
Der er udført en forundersøgelse af dekommissioneringen af de nukleare anlæg på Risøområdet med tre forskellige tidsforløb, der omfatter køletider for DR 3 på henholdsvis 10, 25 og 40 år [1]. De viste skemaer indeholder et bud på, hvordan dekommissioneringen af de enkelte anlæg kunne tilrettelægges, således at man har en rimelig jævn arbejdsaktivitet i de perioder, hvor der foregår noget.

Som det ses, vil det korte scenario kunne gennemføres med en kontinuerlig arbejdsaktivitet over de 20 år, som det er vurderet til at ville være. De to længere scenarier indeholder perioder, hvor den væsentligste arbejdsaktivitet er overvågning af anlæggene og vedligeholdelse af bygningerne.

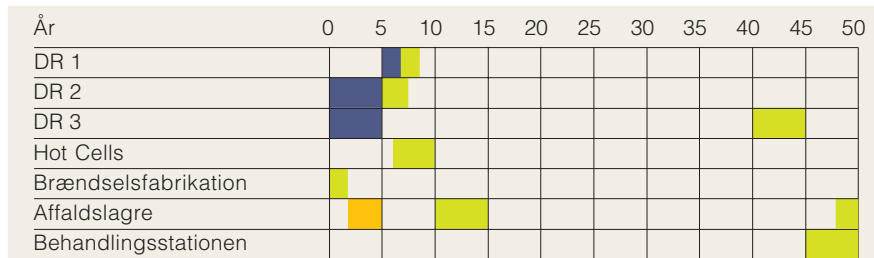
Der er lavet en opgørelse af de samlede omkostninger ved de tre ovenstående dekommissioneringsscenarioer [1, 2]. Det fremgår af denne opgørelse, at scenarierne er dyrere, jo længere de varer. Forklaringen herpå er, at der ikke har kunnet identificeres arbejdsopgaver, som vinder ved at vente, i den forstand at strålingen er aftaget så meget, at man kan arbejde direkte med emnerne frem for at bruge fjernbetjening. Selvfølgelig vil de dele af DR 3, som i dag kræver fjernbetjening, stadigvæk kræve fjernbetjening. Strålingsdoserne til personalet og de potentielle påvirkninger af omgivelsesmiljøet må dog formodes at blive noget lavere efter 50 år. Forskellen i pris mellem de tre scenarier udgøres derfor af omkostningerne til at holde en organisation i gang og til



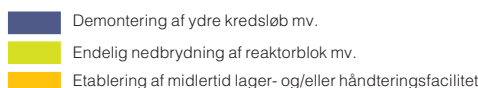
**Scenario 1 - "20 års scenario" (10 års køletid for DR 3)**



**Scenario 2 - "35 års scenario" (20 års køletid for DR 3)**



**Scenario 3 - "50 års scenario" (40 års køletid for DR 3)**



drift og vedligeholdelse af bygninger og overvågning af anlæggene, som sikrer, at myndighedskrav bliver overholdt.

Bygherre vurderer, at det korte scenario vil være det mest hensigtsmæssige af de tre skitserede, fordi der er uddannet driftspersonale og specialister til rådighed i den nuværende stab, og fordi der ikke ved at vente vil kunne opnås besparelser på anvendelsen af fjernbetjent udstyr mv. Herudover er det efterhånden et fast anerkendt princip, at „hver generation skal rydde op efter sig selv“ (Brundtland-rapporten), hvorfor man så vidt muligt bør undgå et forløb, der er længere end højst nødvendigt.

### 4.2 Dekommissionering af reaktor DR 1

DR 1 var en laveffekt reaktor (maksimalt 2 kW), hvorfor den indeholdte mængde radioaktivitet er beskedent. Reaktorkernen består af en kugleformet ståltank, som indeholder en vandig opløsning af uranylulfat med 20% beriget uran svarende til ca. 1 kg  $^{235}\text{U}$ . Kernen er omgivet af en grafitcylinder, der er 1,5 m i diameter og 1,2 m høj. Uden om reflektoren findes en betonafskærmning. DR 1 har i de seneste mange år primært været anvendt som undervisningsfacilitet for studerende fra DTU og andre højere læreanstalter samt for gymnasieklasser. Enkelte bestrålingsforsøg er også blevet gennem-

## 4. Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg

ført nu og da, i nogle tilfælde på kommerciel basis.

Den første operation i forbindelse med dekommissioneringen af DR 1 er at dræne uranopløsningen i stålflasker. Hvis opløsningen skal opbevares som radioaktivt affald i Risøs lagerfaciliteter, skal den først omdannes til fast materiale, da det ifølge myndighedskrav ikke er tilladt at opbevare flydende affald i Risøs eksisterende affaldslagre. Herefter kan primærsystemet dekontamineres ved at skylle vand gennem systemet. Dette vand vil derfor indeholde radioaktive stoffer, og det skal opsamles under kontrollerede forhold og behandles som flydende radioaktivt affald på Behandlingsstationen. Herefter kan følgende konstruktionsdele fjernes under helsefysisk overvågning:

- recombiner med tilhørende rørkredsløb
- kontrolstænger
- kernebeholder (reaktortank)
- grafitblokke fra reflektoren
- reflektortank
- øvrige rørkredsløb
- blyafskærmning omkring reaktortanken
- betonaufskærmning

Det kan være nemmere at fjerne reaktortank og reflektorgrafit ved i en enkelt operation at løfte reflektortanken ud af betonaufskærmningen. En skitse af DR 1 er vist på figur 4.8.

Når alle radioaktive emner er fjernet fra DR 1 bygningen, og bygningen er rengjort, kan den anvendes til andre formål, og området med – eller uden – bygning kan frigives ubetinget med status som “green field”.



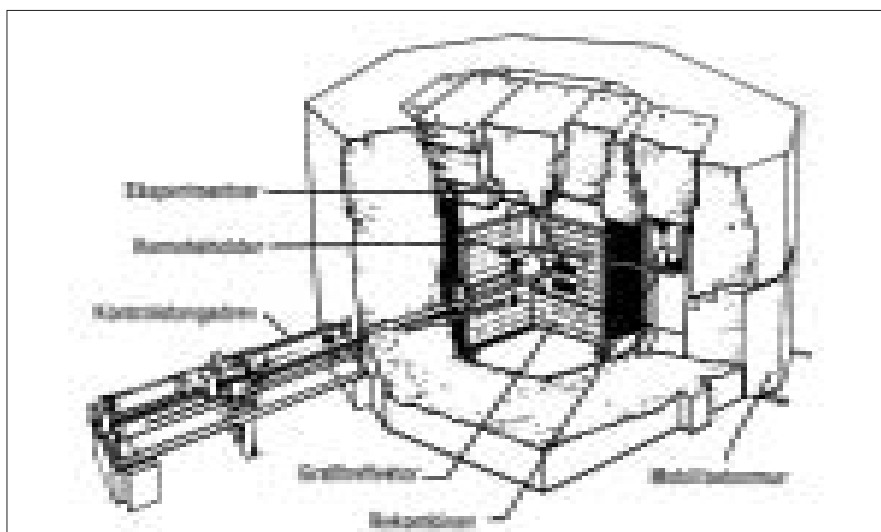
Figur 4.7 Reaktor DR 1 set mod syd. 11. juni 2001.

### 4.3 Dekommissionering af reaktor DR 2

DR 2 var en 5 MW letvandsreaktor af “pool-typen”, dvs. åben opadtil, således at man kunne se ned til reaktorkernen gennem nogle meter vand, som udgjorde dels kølemiddel dels moderator og strålingsafskærmning. DR 2 blev taget ud af drift i 1975 og bragt i fase 2 i de følgende år. I 1997 blev der iværksat et projekt, som skulle forberede en endelig dekommissionering, mens der stadig var folk på Risø, som havde arbejdet ved reaktoren og så-

ledes havde førstehåndskendskab til anlægget. Projektet, som stadig er i gang, skal fastlægge det nuværende indhold af radioaktive materialer, opdatere beskrivelsen af anlægget og identificere eventuelle vanskelige operationer.

Kontaminationen af det primære kølekredsløb er ifølge målinger på ydersiden af rørene ganske ringe. En stor del af radioaktiviteten i anlægget forventes at befinde sig i let fjernbare dele. Resultatet af det igangværende studieprojekt forven-



Figur 4.8 Principskitse af reaktor DR 1 der viser opbygningen af reaktoren.



## 4. Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg

tes at blive, at reaktoren kan nedlægges til "green field" uden de store problemer i løbet af nogle år. Når alle radioaktive konstruktionsdele og emner er fjernet fra reaktorbygningen og kældre, kan "green field" også omfatte den eksisterende reaktorhal, der så kan benyttes til andre formål.

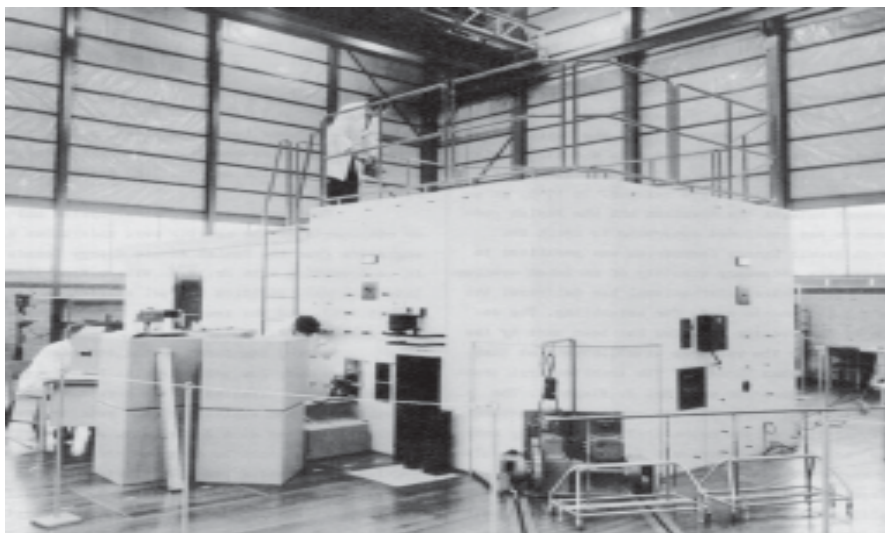
De dominerende radioaktive stoffer i reaktorens konstruktionsdele er reduceret væsentligt ved radioaktivt henfald over mere end 25 år. Der er derfor ikke store helsefysiske problemer forbundet med dekommissioneringen af DR 2. Følgende konstruktionsdele vil fortsat være radioaktive og skal fjernes som radioaktivt affald:

- beam-afskærmninger, lederør og S-rør
- gitterplade i bunden af reaktortanken
- reaktortanken
- blyafskærmningen omkring reaktortanken
- grafitblokkene i termisk kolonne, igloen, inderdøren af beton og frontdøren
- 10 - 30 cm af den indre overflade af betonaftskærmningen omkring reaktortanken
- det primære kølekredsløb (varmevekslere, hold-up tank, rør mv.)
- nedgravede tanke uden for reaktorbygningen

Figureerne 4.11 og 4.12 viser reaktorblokken, som består af en betonaftskærmning omkring reaktortanken, der er fremstillet af aluminium.

### 4.4 Dekommissionering af reaktor DR 3

DR 3 var en 10 MW tungtvandskølet reaktor af PLUTO typen (som er en af reaktorerne på det engelske forskningscenter Harwell). Efter en længere inspektion af reaktorens primære kølesystem, der tidligere var blevet re-



Figur 4.9 DR 1's reaktorblok med betonaftskærmning.

pareret for en lækage i et drænrør, besluttede Risøs bestyrelse i september 2000 ikke at tage DR 3 i drift igen. Siden da er brændslet udtaget og det tunge vand drænet fra det primære kølesystem. Brændslet er afskibet til USA i henhold til en aftale om tilbagebetaling af brugt brændsel.

Anvendelserne af DR 3 har været som neutronkilde til videnskabelige undersøgelser, til isotopproduktion, blandt andet til medicinske og industrielle anvendelser, og til bestrålinger, herunder bestråling af silicium

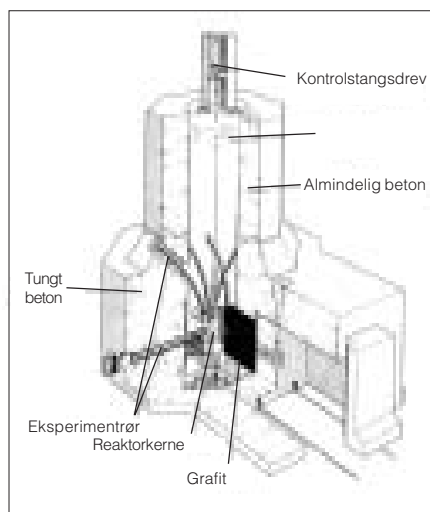
til brug i halvlederindustrien. DR 3's reaktortank og de omkringliggende strukturer er kraftigt radioaktive og frembyder strålingsmæssigt de vanskeligste dekommissioneringsopgaver.

Som følge af den korte køletid er der store mængder af radioaktive isotoper i reaktorens forskellige konstruktionsdele og kredsløb. Der vil derfor være høje strålingsniveauer i forbindelse med adskillelsen af de indre konstruktionsdele som eksempelvis reaktortanken. Forskellige former for



Figur 4.10 Reaktor DR 2 set mod nordøst. Billedet er taget den 11. juni 2001.

## 4. Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg



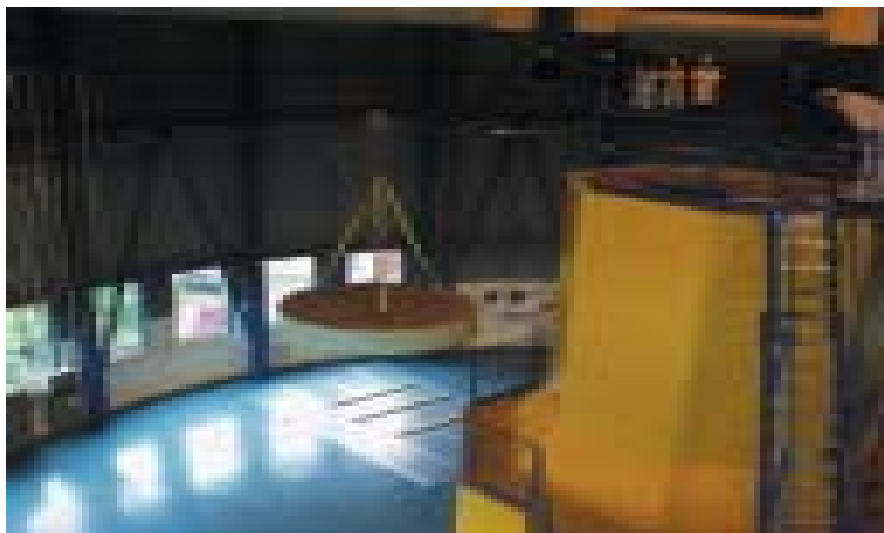
Figur 4.12 Principskitse af reaktor DR 2 med de forskellige konstruktionsdele. Reaktorkernen blev fjernet i 1975 og sendt til USA.

fjernbetjent udstyr er nødvendigt, for at nedbrydningen af de indre dele af reaktoren kan foregå helsefysisk forsvarligt.

Følgende konstruktionsdele skal helt eller delvist fjernes som radioaktivt affald:

- sekundært kølekredsløb
- kølekredsløb for afskærmninger
- kølekredsløb for rigs
- nødkølesystem
- heliumkredsløb
- blyafskærmede flasker og celler
- intern lagerblok
- extern lagerblok
- ventilationssystem
- skærebassin
- bestrålingsfaciliteter
- eksperimentelle faciliteter
- topafskærmning (21 tons)
- reaktortank (1 tons)
- grafitblokke (26 tons)
- ståltank med blyafskærmning (63 tons)
- indre afskærmning (23 tons)
- biologisk afskærmning (820 tons)

En principskitse af reaktor DR 3 er vist på figur 4.14.



Figur 4.11 Reaktorblokken på reaktor DR 2 da topafskærmningen blev løftet af den 25. maj 2000.

Den samlede mængde affald fra dekommissioneringen af DR 3 skønnes at blive væsentlig større og mere radioaktiv end den tilsvarende affaldsmængde fra dekommissioneringen af DR 2, dels fordi køletiden for DR 3 er meget kortere end for DR 2 og dels på grund af forskellene mellem de to reaktorer (termisk effekt, tungtvands- kontra letvandsreaktor, længere driftstid for DR 3 etc.).

Som for DR 2 betyder status som „green field“ ikke nødvendigvis en fuldstændig fjernelse af alle emner

og bygninger. Hvis alle radioaktive konstruktionsdele og emner er fjernet fra reaktorbygningen og hjælpebygninger, kan „green field“ også omfatte den eksisterende reaktorhal og de omkringliggende hjælpebygninger.

### 4.5 Dekommissionering af Hot Cell anlægget

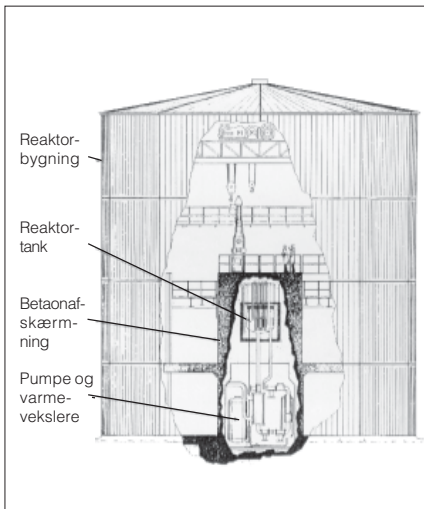
Hot Cell anlægget har status af nukleart anlæg under nedlæggelse og er i fase 2. Størstedelen af bygningen uden om betoncellerne er indrettet til andre formål. Betoncellerne blev efter en foreløbig rengøring forseglet i



Figur 4.13 Reaktor DR 3 set mod vest. 15. juni 2001.



## 4. Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg



Figur 4.14 Principskitse af reaktor DR 3 der viser opbygningen af reaktoren og dens placering i reaktorhallen.



Figur 4.15 Hot Cell bygningen set mod øst. 15. juni 2001.

1993 og henstår nu med et indhold af langlivet radioaktivitet, der sidder spredt over gulve, borde og vægge som små fastsiddende partikler. Inden en eventuel nedbrydning af betoncellerne kan påbegyndes, skal hovedparten af radioaktiviteten i cellerne fjernes ved en massiv rengøring, således at der kan arbejdes uden tidspres, når tunge komponenter fra cellerne skal fjernes.

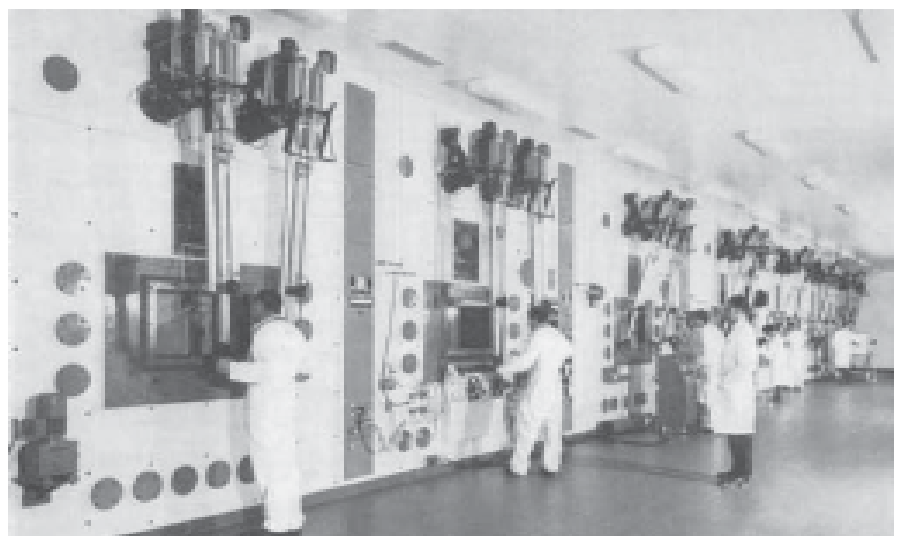
På toppen af betoncellerækken er der anbragt lettere kontaminerede genstande fra Hot Cell anlæggets tekniske systemer. Det drejer sig om dele fra ventilationsanlægget, diverse rør og andre genstande, der skal fjernes og mellemlagres som lavradioaktivt affald, inden en nedbrydning kan påbegyndes. I betonceller og cellesluse er der en del tungt udstyr, der efter rengøringen af cellerne skal fjernes, inden en nedbrydning kan påbegyndes. Det drejer sig bl.a. om de meget store og tunge „shutter“-døre og stålbeklædte blydøre mellem cellerne samt dele af ventilationssystemet. Når alt det tunge materiel er fjernet, kan nedbrydningen af betoncellerækken påbegyndes, hvis ikke cellerne efter en fuldstændig rengøring kan frigives til andet for-

mål. Loftet over cellerne består af 100 cm beton, ydervæggene af mindst 170 cm beton og væggene mellem cellerne af 100 cm tungt beton. Der vil i givet fald blive frembragt store mængder betonskrot, hvoraf en lille del måske er kontamineret.

Da de radioaktive stoffer i Hot Cell anlægget har en lang halveringstid, vindes der ikke så meget ved en udskydelse af den endelige dekommissionering.

Følgende konstruktionsdele skal helt eller delvist fjernes som radioaktivt affald:

- transportbånd
- shutter-døre
- blyklædte ståldøre
- celleborde
- cellekran
- 30 cm endevæg af bly i celle 6
- indvendige dele af ventilationssystemet
- lettere radioaktive emner fra de tekniske systemer (befinder sig på toppen af betoncellerne)
- ventilations skorsten



Figur 4.16 Betoncelfronten med blyglasruder og manipulatorarme til fjernhåndtering af stærkt radioaktive materiale i betoncellerne. Både manipulatorarme og blyglasruder er nu fjernet, og cellerne er forsejlet.

## 4. Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg

Fronten af betoncellerne i det tidligere operatørområde er vist på figur 4.16.

Figur 4.17 viser et lodret snit gennem en betoncelle.

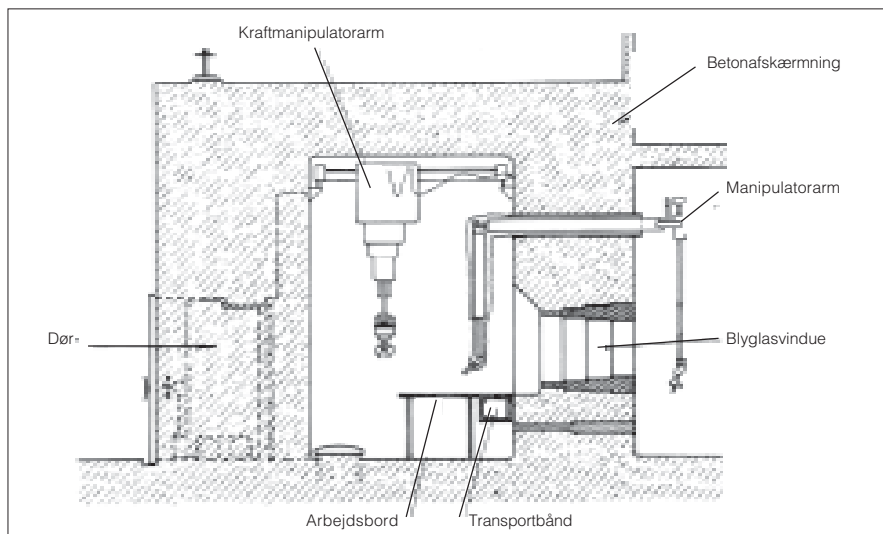
Hvis betoncellernes indre overflader kan rengøres fuldstændigt, kan cellerne frigives til andet brug med status som "green field" (hvis man kan forestille sig meningsfuld brug af cellerne til andre formål). Hvis de fuldstændigt rengjorte celler i stedet skal nedrives, kan al betonskrot fra nedbrydningen med et samlet indvendigt volumen på omkring 450 m<sup>3</sup> (vægtykkelser på 100 - 200 cm) bortskaffes som ikke-radioaktivt affald uden for Risø.

### 4.6 Dekommissionering af Teknologihallen

En del af Teknologihallen har været anvendt til fremstilling af brændselselementer til reaktor DR 3 ved brug af beriget uranpulver. Produktionen er nu ophørt. Den tilbageværende forurening af visse områder består af uranstøv og rester af uranpulver. Dekommissioneringen af den del af hallen, hvor der har været arbejdet med uranpulver omfatter fjernelse af en række inventar og udstyr, nedtagning eller rengøring af ventilationskanaler, fjernelse eller rengøring af radioaktive afløbssystemer og rengøring af hallen, der herefter kan frigives til andre formål uden betingelser.

### 4.7 Dekommissionering af Behandlingsstationen

Behandlingsstationen for radioaktivt affald varetager rensning af Risøs radioaktive spildevand samt pakning og komprimering af fast affald fra Risø og fra andre danske brugere af radioaktive isotoper. Procesudstyret benyttet hertil vil være kontamineret, men ikke til et niveau der gør dekommissionering problematisk. Be-



Figur 4.17 Lodret snit gennem en betoncelle med manipulatorarme og betonaftskærmning.



Figur 4.18 Behandlingsstationen set fra centralvejen mod nord. 11. juni 2001.



Figur 4.19 Behandlingsstationen set mod nordøst. 11. juni 2001.

## 4. Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg

handlingsstationens virksomhed i den nuværende eller ændret form vil være nødvendig også under dekommissioneringen af de øvrige nukleare anlæg på Risø, og Behandlingsstationen må derfor nedlægges som det sidste af anlæggene.

Under dekommissioneringen af de øvrige anlæg forudsættes Behandlingsstationens driftsanlæg til rensning af radioaktiv spildevand, kompaktering af fast affald og dekontaminering af beskyttelsesbeklædning at kunne bruges i nogenlunde det nuværende omfang og under tilsvarende betingelser. Faciliteterne til håndtering af fast affald vil som nu blive brugt til affald fra almindelig oprydning, afdækningsmaterialer o.l. men ikke til det egentlige affald fra dekommissioneringen, der forudsættes pakket i affaldsbeholdere på stedet eller tæt på stedet, hvor affaldet fremkommer. Behandlingsstationens eksterne service i form af modtagelse af affald udefra forventes fortsat.

Hovedparten af affaldet i Behandlingsstationens lagre forventes at kunne overføres til et fremtidigt dansk slutdepot for lav- og mellemradioaktivt affald, hvorefter lagerbygningerne kan rives ned.

Den eksisterende lagerhal for lavaktivt, fast affald på tromler har ikke kapacitet til at modtage større mængder dekommissioneringsaffald. For at undgå at mulighederne for opbevaring af færdigpakke af affaldsenheder skal begrænse dekommissioneringshastigheden, vil der blive bygget en særlig lagerbygning til betonbeholdere med affald fra dekommissioneringen, se afsnit 5.6.

### 4.8 Opsamling og vurdering

HUR vurderer, at der – ud fra en miljø- og sikkerhedsmæssig betragt-



Figur 4.20 Centalvejslageret set mod sydvest. 14. juni 2001.



Figur 4.21 Lagerhal for lavaktivt affald set mod nord. 14. juni 2001.



Figur 4.22 Lagerhal for lavradioaktivt affald set mod nord. 14. juni 2001.

## 4. Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg

---

ning - ikke er noget, der umiddelbart taler for en sekventiel og længerevarende nedbrydning, ud over at der tidsmæssigt opnås en vis reduktion af den forholdsvis store beta-/gamma-radioaktivitet i DR 3's konstruktionsdele. Da der under alle omstændigheder skal anvendes fjernbetjent udstyr til adskillelsen af de massive konstruktionsdele i DR 3, har denne reduktion mindre betydning. Tilsvarende betragtninger kan anlægges for Hot Cell anlægget, der hovedsageligt indeholder mere langlivede radionuklider som  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , plutonium og americium. På en 20-års skala vil reduktionen af indholdet af radioaktive stoffer i betoncellerne som følge af radioaktivt henfald kun være marginal.

Man kan derfor vælge at nedbryde anlæggene delvist parallelt, hvorved man opnår den hurtigst mulige totale nedbrydning. Samtidig opnås en fleksibel og optimal udnyttelse af mandskabsressourcer, men der stilles til gengæld store krav til planlægningen af de enkelte operationer. HUR hæfter sig også ved at de mere krævende arbejdsoperationer – f.eks. kran og transportoperationer – afprøves og testes med ikke-radioaktive elementer.

I kapitlet er 4 tidsmæssige scenarier beskrevet. Under forudsætning af de nukleare tilsynsmyndigheders godkendelse, vurderer HUR at andre tidsrammer for dekommissioneringen ikke vil ændre væsentligt i de miljø- og sikkerhedsmæssige konsekvenser.

Når de nukleare anlæg adskilles og nedbrydes, vil der optræde strålings- og kontaminationsniveauer, der kræver løbende helsefysisk overvågning og kontrol af de enkelte arbejdsoperationer. Meget radioaktive dele, som f.eks. reaktortanken i DR 3, skal skæres i mindre dele med fjernbetjent udstyr, så disse mindre dele kan håndteres uden at give personalet for store strålingsdoser. Det frembragte affald skal sorteres i radioaktivt og ikke-radioaktivt affald for ikke at bruge pladsen i mellemlageret og slutlageret til store mængder ikke-radioaktivt affald.

Inden det radioaktive affald placeres i affaldsbeholdere, skal dets indhold af radioaktive stoffer bestemmes ved målinger og/eller beregninger, så det kan dokumenteres, hvad de enkelte affaldsenheder indeholder. Strålingsniveauet uden på affaldsbeholderne må ikke overstige grænser bestemt af håndtering, mellemlagring og transport. Dette lægger begrænsninger på mængden af gamma-strålende radionuklider i hver beholder, alternativt om der skal bygges ekstra strålingsafskærmning inden i beholderen. Eventuelt kan der benyttes ydre afskærmning under transport.

### 5.1 Helsefysisk overvågning af arbejdsmiljøet

Afdelingen for Anlægshelsefysik er en organisatorisk enhed, hvis opgave er at udføre overvågning og kontrol af den helsefysiske arbejdshygiejne. Dette sker bl.a. ved et omfattende måleprogram, der inkluderer rutinemæssige målinger af strålings- og kontaminationsniveauer på de nukleare anlæg og specifikke målinger under arbejdsoperationer, hvor der kan optræde høje strålings- og/eller kontaminationsniveauer (se figur 5.1). Anlægshelsefysik rådgiver også i strålingshygiejniske spørgs-



Figur 5.1 Helsefysisk overvågning af en arbejdsoperation hvor radioaktivt materiale udtages fra reaktoren efter bestråling i reaktoren.

mål og udfører ekstern og intern uendervisning i strålingsbeskyttelse.

Beskyttelsen af medarbejdere, der udfører dekommissioneringen af de nukleare anlæg, skal optimeres i overensstemmelse med de gældende principper for strålingsbeskyttelse. Herved opnås, at strålingsdoserne til de enkelte medarbejdere holdes på et så lavt niveau som rimeligt opnåeligt og under alle omstændigheder under de gældende dosisgrænser. Denne dosisgrænse er af myndighederne fastsat til 20.000 dosisenheder pr. år for helkropsbestråling. Optimeringen vil normalt resultere i, at de årlige doser kun udgør en brøkdel af dosisgrænsen, der ikke må anvendes alene som operationel grænseværdi.

Under dekommissioneringen af de nukleare anlæg kræves således en løbende helsefysisk overvågning og kontrol af den helsefysiske arbejdshygiejne for at kunne holde strålingsudsættelsen af personalet på et passende lavt niveau, normalt ikke på mere end 10 - 20% af dosisgrænserne. Dette vil gælde uanset om der vælges en tidlig eller en udskudt

dekommissionering. I de situationer hvor der kan optræde høje strålings- og kontaminationsniveauer, vil der blive brugt specialudstyr for at nedsætte eksponeringen af personalet.

### 5.2 Fjernbetjent udstyr til dekommissionering af de nukleare anlæg

Anvendelse af fjernbetjent udstyr til nedbrydning/rengøring af de mest radioaktive dele af de nukleare anlæg vil være nødvendigt for at reducere strålingsdoserne til personalet. Sådant udstyr kan f.eks. omfatte skærebassiner med flere meters vanddybde hvori de radioaktive dele kan opskæres, robotudstyr til fjernbetjent sandblæsning (eller anden overfladebehandling) af de indre overflader i betoncellerne, specialfremstillede blyafskærmede containere til at udtage, rumme og aflevere stærkt radioaktive dele samt afskærmningsmure eller afskærmede celler med manipuleringsfaciliteter.

#### Reaktor DR 3

De indre konstruktionsdele i reaktor DR 3 har igennem 40 års drift været udsat for en intens bestråling med neutroner. Som følge heraf er de

## 5. Praktisk gennemførelse af dekommissioneringen

blevet stærkt radioaktive ved neutronaktivering, og de kan ikke skæres i mindre stykker i fri luft på grund af en meget høj strålingsintensitet fra den inducerede radioaktivitet, fordi persondoserne da kunne blive alt for store. Det drejer sig først om fremmest om gammastrålingen fra  $^{60}\text{Co}$ , men andre isotoper som  $^{152+154}\text{Eu}$  kan bidrage til gammadoserne, og  $^3\text{H}$  kan bidrage til betadoser fra indånding. Det bliver derfor nødvendigt at anvende fjernbetjent udstyr, når de indre dele af reaktoren skal skæres op og placeres i affaldsenheder, da gamma-strålingsniveauet i de mest radioaktive dele kan være op til 1.000 dosisenheder pr. sekund i nogle meters afstand.

En sandsynlig løsning er at bygge et stort skærebassin med en dybde på 5 - 6 meter. Vand yder en god afskærmning mod gammastråling og muliggør ved sin gennemsigtighed, at skærende operationer kan udføres under flere meter vand. I et sådant bassin kan stærkt radioaktive konstruktionsdele derfor skæres i mindre stykker ved hjælp af specialfremstillet undervandsværktøj. De ituskårne dele pakkes i drænbare metalurve, der passer ned i standardaffaldsbeholdere. Ved stærkt radioaktive dele benyttes mindre urve, der anbringes midt i beholderne, så der er plads til ekstra afskærmning. I forbindelse med bygning af et skærebassin, skal der samtidigt bygges en facilitet til fjernbetjent overførsel af de enkelte konstruktionsdele til bassinet. Af hensyn til strålingen fra de opskårne dele kan det endvidere blive nødvendigt også at etablere en fjernbetjent transportfacilitet fra skærebassinet til de enkelte affaldsenheder.

### Hot Cell anlægget

Restaktiviteten i betoncellerne på Hot Cell anlægget er spredt diffus

over gulve, borde og vægge. Hovedparten af radioaktiviteten, dvs. mere end 90%, befinder sig i cellerne 1 - 3. Det drejer sig primært om fissionsprodukterne  $^{90}\text{Sr}$  og  $^{137}\text{Cs}$  samt aktiniderne  $^{238+239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241+243}\text{Am}$  og  $^{244}\text{Cm}$ . Ud over disse nuklider befinder der sig mindre radioaktivitetsmængder af  $^{134}\text{Cs}$  og  $^{154}\text{Eu}$ .  $^{60}\text{Co}$  optræder både som aktiveringsprodukt i resterne fra bestrålet reaktorbrændsel og som Co-piller fra produktionen af terapikilder til danske hospitaler.

Ved en fremtidig oprensning og nedbrydning af cellerne vil personalet kunne få relativt store doser over kort tid. Den gennemsnitlige gammadosishastighed i cellerne 1 - 3 er af størrelsesordenen 100 - 200 dosisenheder/min. Enkelte 'hot spots' i cellerne giver en gamma-dosishastighed tæt på kilden af størrelsesordenen 1.000 - 2.000 dosisenheder/min. Overfladeforureningen i cellerne 1 - 3 kan medføre doser fra indånding af ophvirvlet materiale af størrelsesordenen 1.000 - 10.000 dosisenheder/min, hvis der ikke bruges åndedrætsbeskyttelse under oprensningsarbejdet. Mere end 90% af de potentielle indåndingsdoser vil komme fra aktiniderne.

Anvendelse af robotudstyr til cellerengøring i form af sandblæsning el.lign. vil formodentligt være nødvendigt i cellerne 1 - 3 for at nedbringe strålingsniveauerne mærkbart, inden personalet får adgang til cellerne. Herefter kan det kan det være påkrævet, at personalet bliver iklædt frømandsudstyr eller lignende åndedrætsbeskyttelse, når der skal arbejdes i cellerne. Det vil endvidere være nødvendigt at etablere et ventilationssystem, så radioaktiviteten ikke spredes uden for cellerne under rengøringen.

### Centralvejslageret

En del af de eksisterende affaldsenheder i Centralvejslageret indeholder enheder med store radioaktivitetsmængder, bl.a. store  $^{60}\text{Co}$ -kilder fra bestrålingsanlæg. Når disse enheder skal udtages og overføres til standard affaldsenheder skal det bl.a. ske ved hjælp af afskærmede containere ("flasker") og andet afskærmet hjælpeudstyr. De udtagne dele fra Centralvejslageret skal endvidere anbringes i en afskærmning inden i standard affaldsenheden.

### 5.3 Facilitet til dekontaminering af forurenede genstande

Affaldet fra dekommissioneringen af Risøs nukleare anlæg vil optræde i mange forskellige former, f.eks. betonaffald eller ståffald. Det kan forudses, at radioaktiviteten i mange tilfælde vil være koncentreret i en mindre del af de enkelte enheder. Det vil derfor med fordel være muligt at fjerne den radioaktive del ved forskellige metoder såsom flammeskæring, sandblæsning, højtryksspuling etc. Til dette formål skal der indrettes en facilitet, hvor kontamineret materiale med lavt strålingsniveau kan dekontamineres.

Bygherre forventer at dekontamineringsopgaverne kan kræve en bygning på omkring 800 m<sup>2</sup> med fleksible indretnings- og afskærmningsmuligheder samt fuld krandækning med minimum otte meter under krogen. Krandækningen skal række uden for bygningen, således at direkte kørsel ud og ind af bygningen undgås. Bygningen skal indeholde flere kar til neddykning af emner på 2 - 4 m<sup>2</sup>, og der skal indrettes kabiner til sandblæsning, højtrykrensning (0 - 200 bar) og slibe-, skære- og klippefaciliteter. Alt udstyr skal kunne betjenes både manuelt og fjernbetjent. Til bygningen hører endvidere et antal gaffeltrucks med spe-



cielt løfte- og håndteringsudstyr. Bygningen vil indrettes så den kan godkendes af tilsynsmyndighederne.

### 5.4 Sortering af dekommissioneringsaffald

Det frembragte affald fra dekommissioneringen af de nukleare anlæg vil blive sorteret i radioaktivt affald og ikke-radioaktivt affald.

Det radioaktive affald skal anbringes i standard affaldsenheder i mellem-lagrene for lav- og mellemradioaktivt affald på Risø-området. Inden affaldet anbringes i standardbeholdere, skal indholdet af radioaktive stoffer dokumenteres ved målinger og analyser. Når et dansk slutdepot for radioaktivt affald er opført, skal affaldet fra Risøs mellemlagre overføres til dette slutdepot.

Det ikke-radioaktive affald kan genbruges eller deponeres som almindeligt bygnings- eller metalaffald uden for Risø-området i henhold til kommunale regulativer for bygge- og anlægsaffald. For at kunne dokumentere over for de nukleare tilsynsmyndigheder at ikke-radioaktivt affald fra dekommissioneringen af de nukleare anlæg kan genbruges eller "frigives som ikke-radioaktivt materiale, f.eks. normal affaldsdeponering eller skrothandler" uden for Risø, skal der foretages kontrolmålinger af, at affaldet ikke indeholder radioaktive stoffer over et vist niveau. Grundreglen for denne procedure er, at alt affald skal betragtes som radioaktivt, indtil det er dokumenteret ved måling, at det ikke indeholder radioaktive stoffer, og at det derfor kan frigives som almindeligt ikke-radioaktivt affald.

Figur 5.2 viser de forskellige trin i sorteringen af affald fra dekommissioneringen af de nukleare anlæg. Forskelligt farvede containere - blå

*Figur 5.2 Flow i sorteringen af radioaktivt affald fra dekommissioneringen af Risøs nukleare anlæg. Hvis koncentrationen af radioaktive isotoper er mindre end frigivelseskoncentrationen, kan det frigives som ikke-radioaktivt affald. Er koncentrationen større end frigivelseskoncentrationen, skal affaldet enten dekontamineres eller opbevares i mellemlageret for lavradioaktivt affald.*

containere til potentielt ikke-radioaktivt affald, der afventer målinger, gule containere til radioaktivt affald, der afventer dekontaminering, og hvide containere til frigivet affald - sikrer, at forskellige affaldskategorier ikke blandes.

### Karakterisering og lagring af radioaktivt affald

Alt radioaktivt affald skal karakteriseres hvad angår indhold af radionuklider og deres generelle egenskaber. Dokumentation af indholdet af radioaktive stoffer i affaldet fra dekommissioneringen vil foregå i forbindelse med nedtagelsen. Der vil blive brugt en kombination af aktiveringsberegninger, måling af eksternstråling (væsentligst fra  $^{60}\text{Co}$ ), gamma-spektrometriske analyser af hele komponenter eller dele heraf, udtagning af delprøver for laboratorieanalyser, herunder analyser for ind-

hold af langlivede beta-emittere og hvor det er relevant, også for alfa-emittere. Til brug for aktiveringsberegninger skal der udføres kemiske analyser for en række sporstoffer i prøver af konstruktionsmaterialerne fra reaktorerne.

For at kunne foretage målinger af indholdet af radioaktive stoffer i det radioaktive affald skal der indrettes et nyt laboratorium. Laboratoriet forventes delt geografisk, så målinger på hele komponenter sker tæt ved nedtagingsområdet, men i en særlig målefacilitet med kontrolleret baggrund. Ved særligt radioaktive dele må målingerne foretages på mindre delprøver. Udtagning og oparbejdning af endnu mindre prøver til destruktiv analyse foretages andesteds under laboratiormæssige forhold. I forbindelse hermed skal der oprettes et prøvebibliotek, der

## 5. Praktisk gennemførelse af dekommissioneringen

giver mulighed for senere at udføre kontrolanalyser.

Laboratoriet vil sandsynligvis placeres i en allerede eksisterende bygning, som ombygges til formålet. Det skal forsynes med et ventilationssystem og stinkskebe, så personalet ikke udsættes for eksponering med luftbåret radioaktivitet og/eller kemiske stoffer. Endvidere skal der bygges betonmure til strålingsafsærmning mellem det egentlige laboratorieområde og de kontorer, der skal indrettes til personalet. Tilsynsmyndighederne skal godkende indretningen af laboratoriet

Når affaldets indhold af radioaktive stoffer er blevet bestemt og dokumenteret, bliver det overført til standard affaldsbeholdere (se afsnit 5.5). Hver affaldsbeholder vil blive forsynet med en identifikation og en påmalet farvekode til beskrivelse af strålingsniveauet uden på beholderen. Radioaktivitetsindholdet i hver beholder fordelt på radionuklider vil blive dokumenteret og indgå i en database over radioaktivitetsindholdet i alle affaldsenheder i mellemlagrene. En sådan database er i øvrigt en nødvendig forudsætning for senere at kunne gennemføre en sikkerhedsanalyse af et dansk slutdepot for radioaktivt affald, idet inventoriert af langlivede isotoper i depotet skal kendes, for at sikkerhedsanalysen kan gennemføres.

### Kontrolmåling og frigivelse af ikke-radioaktivt affald

Ikke-radioaktivt affald fra en godkendt praksis kan frigives uden betingelser, hvis koncentrationen af radioaktive stoffer er mindre end myndighedsbestemte frigivelseskriterier.

*<sup>1</sup> En praksis er en menneskelig aktivitet, der kan øge bestråling af personer fra menneskeskabte eller naturlige strålingskilder (atomkraftværker, røntgenafdelinger på hospitaler, minedrift, Risø mv.)*

Nuklidspecifikke radioaktivitetsniveauer, under hvilke affald fra en godkendt praksis<sup>1</sup> kan frigives, kaldes frigivelsesniveauer. Disse fastsættes på grundlag af eksponeringsscenerier og en eksponering på omkring 10 dosisenheder pr. år. De anvendte eksponeringsscenerier omfatter stort set alle tænkelige eksponeringer, som frigivet materiale kan forårsage, både i og uden for arbejdstiden. Disse scenarier er ekstremt konservative, hvilket betyder, at de reelle strålingsdoser vil være langt mindre end 10 dosisenheder pr. år.

EU-kommissionen har anbefalet frigivelsesniveauer for både naturligt forekommende og menneskeskabte radionuklider [19, 20]. Eksempler på sådanne niveauer er 0,1 Bq/g for <sup>60</sup>Co og 1 Bq/g for <sup>137</sup>Cs. Det forventes, at de nukleare tilsynsmyndigheder vil basere sine krav til kontrol af ikke-radioaktivt affald på disse værdier. Kontrol af overholdelse af sådanne grænser vil i praksis betyde, at kun en lille del af det kontrollerede affald vil indeholde koncentrationer i nærheden af frigivelsesniveauerne. Resten vil indeholde langt mindre end svarende til frigivelsesniveauerne. Da de opstillede scenarier som sagt er yderst konservative, vil eventuelle doser fra genanvendelse af frigivet affald fra dekommissioneringen af de nukleare anlæg på Risø-området i gennemsnit næppe overstige en lille brøkdel af 1 dosisenhed pr. år (svarende til mindre end en times udsættelse for den naturligt forekommende baggrundsstråling).

Der planlægges med at bygge et målelaboratorium til kontrolmålinger af, at potentielt ikke-radioaktivt affald ikke indeholder radioaktive stoffer, der overstiger de nukleare tilsynsmyndigheders fastsatte kriterier for ubetinget frigivelse. Målemetoden

er baseret på gamma-spektroskopi med store germanium-detektorer. Analyser for indhold af alfa- og beta-aktive stoffer og eventuelle tungmetaller, hvis der er formodning om indhold heraf, vil blive udført på grundlag af prøvetagning med efterfølgende laboratorieanalyser.

Det nye målelaboratorium skal placeres i en tilpas stor afstand fra DR 3 og andre strålingskilder, så eksterne gammastrålingsfelter fra operationer i forbindelse med dekommissioneringen ikke kan virke forstyrrende på målingerne. På den anden side bør laboratoriet ikke placeres så langt væk fra DR 3, at transport af store emner vanskeliggøres. Laboratoriet skal forsynes med adgangsforskelte forhold, der tillader adgang for gaffeltruck/traktor, og der skal installeres en kranfacilitet af passende størrelse samt et opspændingsbord, der skal kunne rotere emnet under måling. Affaldet transporteres til målelaboratoriet på gaffeltruck, lastbil etc.

Målemetoderne til bestemmelse af lave koncentrationer af radioaktive stoffer i affald skal kvalitetssikres efter gældende ISO-standarder. De nukleare tilsynsmyndigheder skal godkende hele proceduren for kontrol og frigivelse af ikke-radioaktive materialer, før de vil udstede generelle frigivelsesniveauer for ikke-radioaktivt affald.

Frigivet materiale vil blive genbrugt eller bortskaffet uden for Risøområdet i overensstemmelse med gældende krav fra de kommunale og amtskommunale myndigheder [8]. Disse krav pålægger affaldsproducenten en række pligter vedrørende sortering, opbevaring, håndtering, transport og bortskaffelse af bygge- og anlægssaffald. Den samlede mængde af ikke-radioaktivt affald fra dekommissioneringen af de nukleare anlæg på Risø



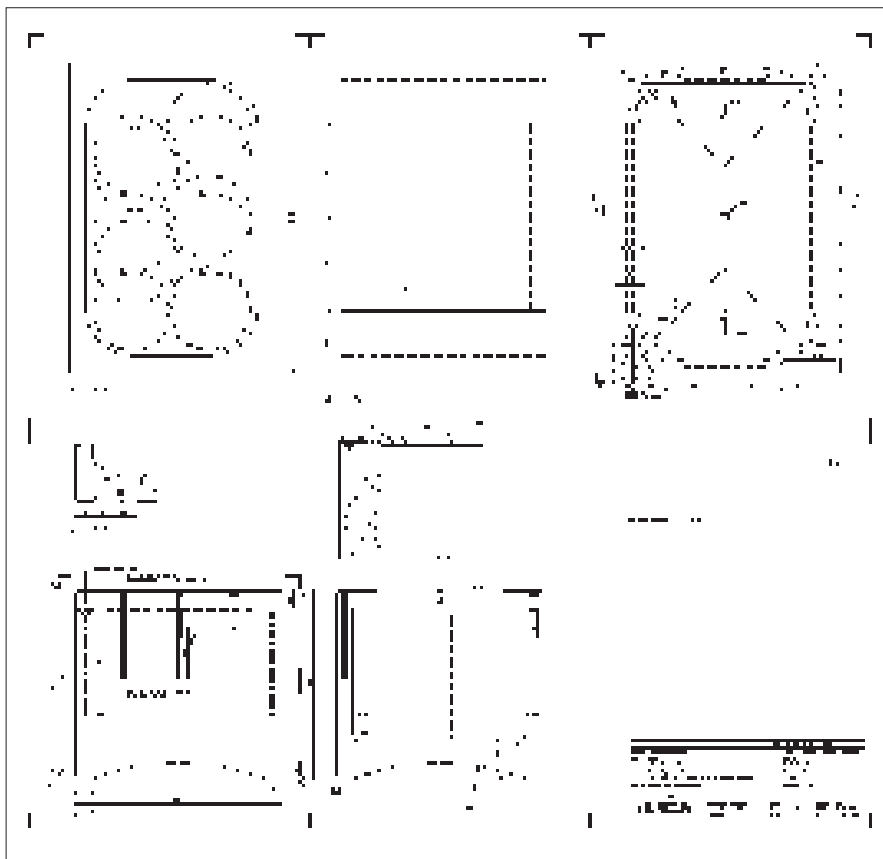
er skønnet at kunne blive op til omkring 18.000 t. Set i lyset af de lange tidsmæssige perspektiver for dekommissioneringen vurderes lastbiltransport af 18.000 t. affald ikke at påvirke miljøet væsentligt.

### 5.5 Affaldsbeholdere til radioaktivt affald

Behandling af radioaktivt affald vil normalt gå ud på at omdanne eller pakke materialerne, sådan at de fylder mindst muligt, og sådan at risikoen for spredning af radioaktivitet formindskes. Affaldet pakkes i tromler eller andre beholdere af stål eller rustfri stål. Undertiden anvendes omstøbning med beton. Affaldsmængder angives i reglen som færdigkonditioneret affald. De hidtil anvendte beholdere (tromler m.m.) på Risø er godkendt til mellemlagring i Risøs lagerbygninger for radioaktivt affald.

Til brug for affaldet fra dekommissioneringsprojektet vil der være behov for en større affaldsenhed. En kasseformet betonbeholder med ydre dimensioner på cirka 1,5 m x 2,3 m x 1,5 m er for øjeblikket under udvikling. Dekommissioneringen af de nukleare anlæg samt pakning af dele af det eksisterende affald skønnes at kræve omkring 700 betonkasser, der efter fyldning med radioaktivt affald hver vil veje op til 10 tons.

Hensigten er endvidere, at den nye affaldsenhed med sit indhold af affald på et senere tidspunkt uden yderligere forarbejdning kan anbringes i et slutdepot. Enheden skal også kunne bruges som ydre emballage omkring tromler og andre beholdere med allerede eksisterende affald, hvor dette er ønskeligt som følge af højt radioaktivitetsindhold, høj stråling eller af andre grunde. Figur 5.3 viser en tegning af den nye affaldsenhed.



Figur 5.3 Forslag til udformning af betonbeholder brugt til eksisterende tromler med affald og til generel anvendelse til dekommissioneringen

Betonbeholderens vekselvirkning med andre materialer i depotet og sandsynlige langtidsudviklinger under forskellige betingelser er blevet vurderet. En forhåndsgodkendelse af enheden til slutdeponering kan dog ikke gives på nuværende tidspunkt, og en endelig godkendelse må derfor afvente, at der til sin tid kan gennemføres en sikkerhedsanalyse for et konkret slutdepot. Uanset udfaldet af en sådan analyse skal indholdet i de færdigpakke betonbeholdere ikke reemballeres, da betonbeholderne i givet fald vil kunne placeres inden i en til den tid godkendt slutdepotbeholder.

Til brug for metalaffald o.l. fra dekommissioneringsarbejdet er det væsentligt at beholdernes indre dimensioner er store nok til at undgå alt for megen opskæring af kompo-

nenterne. På den anden side vil en rimelig tæt pakning nok forudsætte sektionering af de fleste større rør og beholdere.

### 5.6 Udvidelse af eksisterende mellemlagerkapacitet til radioaktivt affald

Oplagringskapaciteten i Risøs hidtil anvendte lagre for lav- og mellemradioaktivt affald er ved at være opbrugt, og et dansk slutdepot for radioaktivt affald kan først forventes at være til rådighed en del år ud i fremtiden. Det er derfor nødvendigt at udvide lagerkapaciteten på Risøområdet og opføre et ny bygning til midlertidig oplagring af det radioaktive affald fra dekommissioneringen af de nukleare faciliteter på Risøområdet. Bygningen vil blive en simpel uopvarmet halkonstruktion, der skal være vindtæt. Gulvet bliver en kraf-

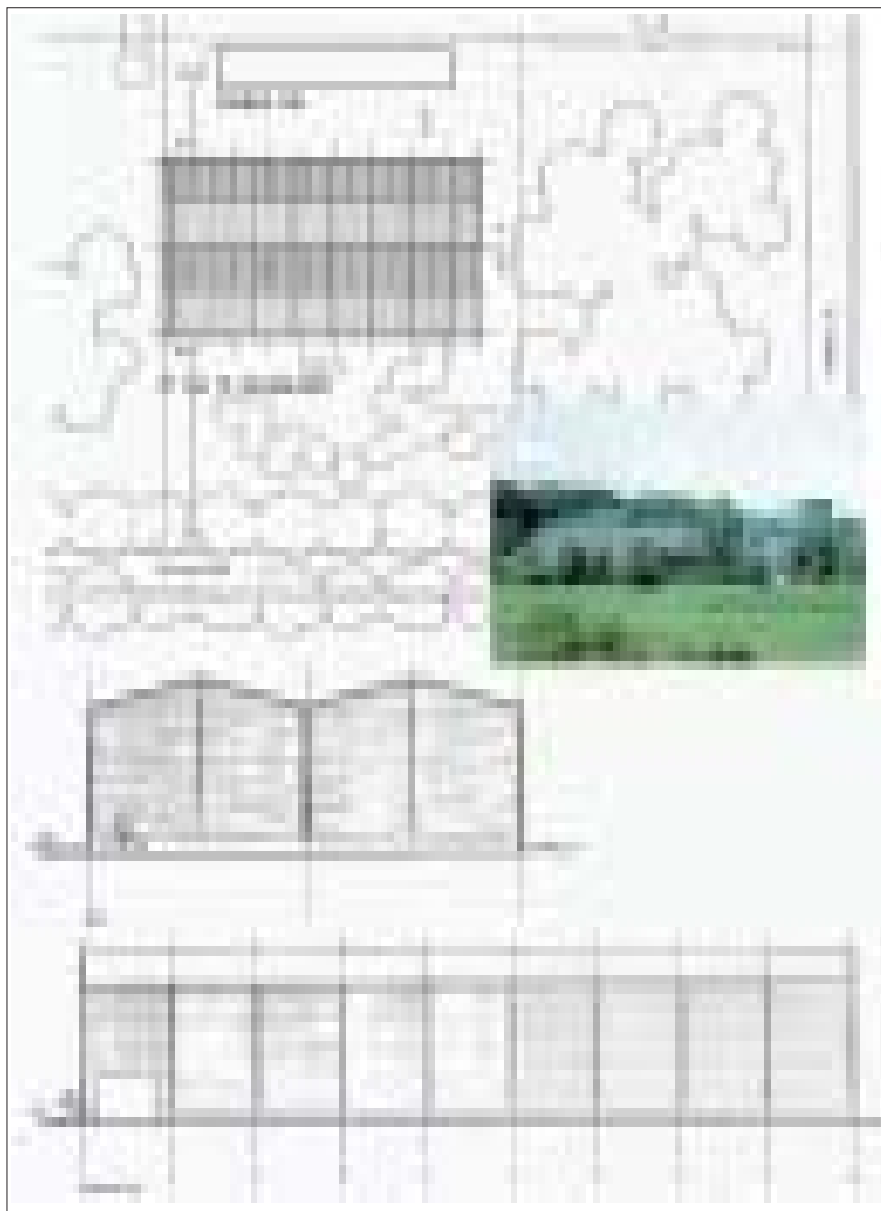
## 5. Praktisk gennemførelse af dekommissioneringen

tig betonskive dimensioneret til 10 tons/m<sup>2</sup> og forsynet med en kraftig indbygget membran til sikring mod nedsvivning af evt. spildt radioaktivitet. Bygningen vil ikke indeholde vandførende installationer, og den anbringes, så den i øvrig er sikret mod oversvømmelse. Lagerhallen måler ca. 55 m x 30 m x 6 m, og den bliver opdelt i to sektioner, hver betjent af en kran, der kan løfte op til 25 tons. Kun den ene halvdel opføres i første omgang. Visuelt vil den fremtræde som en grå aluminiumbeklædt bygning til dels skjult i eksisterende vegetation. Placeringen er vist på figur 5.4.

Konstruktion og brug af mellemlageret skal godkendes af de danske nukleare tilsynsmyndigheder, der - i lighed med hvad der gælder for de øvrige affaldslagere på Risø - forventes at stille krav om, at lageret kun må bruges til fast affald, der er pakket i på forhånd godkendte affaldsenheder. En betonbeholder til formålet er som nævnt ovenfor under udvikling. Særlig lavradioaktivt affald vil evt. blive mellemlagret i standard ISO transport-containere. Affaldsenhederne stables, så strålingen uden på bygningen bliver lav, dvs. mindre en omkring 10 dosisenheder pr. time.

Risiko for spredning af aktivitet fra det oplagrede affald vil være minimal, men der vil alligevel blive udført kontrolmålinger for eventuel udsvivning af radioaktive stoffer til omgivelserne. Det nye mellemlager vil ikke udgøre nogen egentlig risiko for omegnsmiljøet, men lageret vil alligevel være under opsyn og indgå i den helsefysiske overvågning på samme måde som de øvrige affaldslagere på Risø-området.

Mellemlageret skal formodentlig bruges i en periode på 10 - 20 år, før affaldet kan overføres til et slutde-



Figur 5.4 Grundplan, facader samt computer simulering af udseendet af det planlagte mellemlager for betonbeholdere m.m. set fra auditoriet. Hvis der vælges stabling i 3 lag i stedet for 4 lag, kan hallerne blive ca. 3 meter lavere en vist før.

pot. Lagerbygningen forventes ikke at blive kontamineret under brug, og den vil derfor kunne nedrives eller anvendes til andre formål, når affaldet er overført til slutdepotet.

### 5.7 Slutdepot for radioaktivt affald

Udformning og placering af et dansk slutdepot for lav- og mellemradioaktivt affald er en separat opgave, der kun delvis hører ind under dekommissioneringsprojektet. En

væsentlig målsætning for de kommende år er derfor at fremskaffe oplysninger, der vil være relevante for at opnå tilladelse til bygning og ibrugtagning af et slutdepot. Det vil omfatte oplysninger om indhold af radioaktivitet, oplysninger om affaldets øvrige fysiske og kemiske egenskaber, virkninger af brug af fyldmaterialer til at modificere nærområdets egenskaber, forslag til konstruktiv udformning samt natur-

ligvis - når det bliver aktuelt - fremskaffelse af stedsspecifikke oplysninger vedrørende geologi, hydrologi, omegnsforhold mv.

Forhold omkring affaldet, fyldmaterialet og til dels depotets konstruktive udformning kan bl.a. belyses ud fra udenlandske erfaringer og praksis. Der er imidlertid også behov for eksperimentelle undersøgelser især hvad angår vekselvirkning mellem fyldmateriale og de forskellige affaldstyper. Kompetent rådgivning på baggrund af den nyeste erfaring inden for betonteknologi er væsentlig.

Et slutdepot for lav- og mellemradioaktivt affald er ikke behandlet i herværende VVM-redegørelse. Når regeringen har besluttet, hvilket koncept der skal anvendes for et dansk slutdepot, skal der udarbejdes både en særskilt VVM-redegørelse for og en omfattende sikkerhedsvurdering af slutdepotet. Dansk Dekommissionering har udarbejdet en teoretisk udredning af kravene til et dansk slutdepot [9]. Dekommissioneringen af de nukleare anlæg på Risø-området behøver imidlertid ikke at afvente færdiggørelsen af et slutdepot, idet det omtalte mellemlager i afsnit 5.6 kan anvendes i perioden, indtil et slutdepot er færdigbygget.

### 5.8 Opsamling og vurdering

HUR vurderer, at den praktiske gennemførelse af nedbrydningen, herunder håndteringen af affald vil foregå på en miljø- og sikkerhedsmæssig forsvarlig måde. Overvågning og brug af fjernbetjent udstyr vil sikre både personale og det ydre miljø. Den måde affaldshåndteringen foregår på vil efter HURs vurdering også sikre at radioaktivt affald ikke sammenblandes med det konventionelle affald, som skal bortskaffes uden for Risø. Det er ligeledes HURs vurdering, at mellemlagringen af ra-

dioaktivt affald på Risø ikke udgør et risikoelement. De ekstra lagerfaciliteter bliver konstrueret således, at opbevaring af radioaktivt affald ikke udgør en trussel mod omgivelserne. Det bør igen nævnes, at både arbejdsoperationer, håndtering af affald og indretning af lager kræver tilsynsmyndighedernes godkendelse.

## 6. Beskrivelse af omgivelserne

I dette kapitel er der en generel beskrivelse af Risø-området og omgivelsernes geografi, natur, geologi, hydrologi og meteorologi.

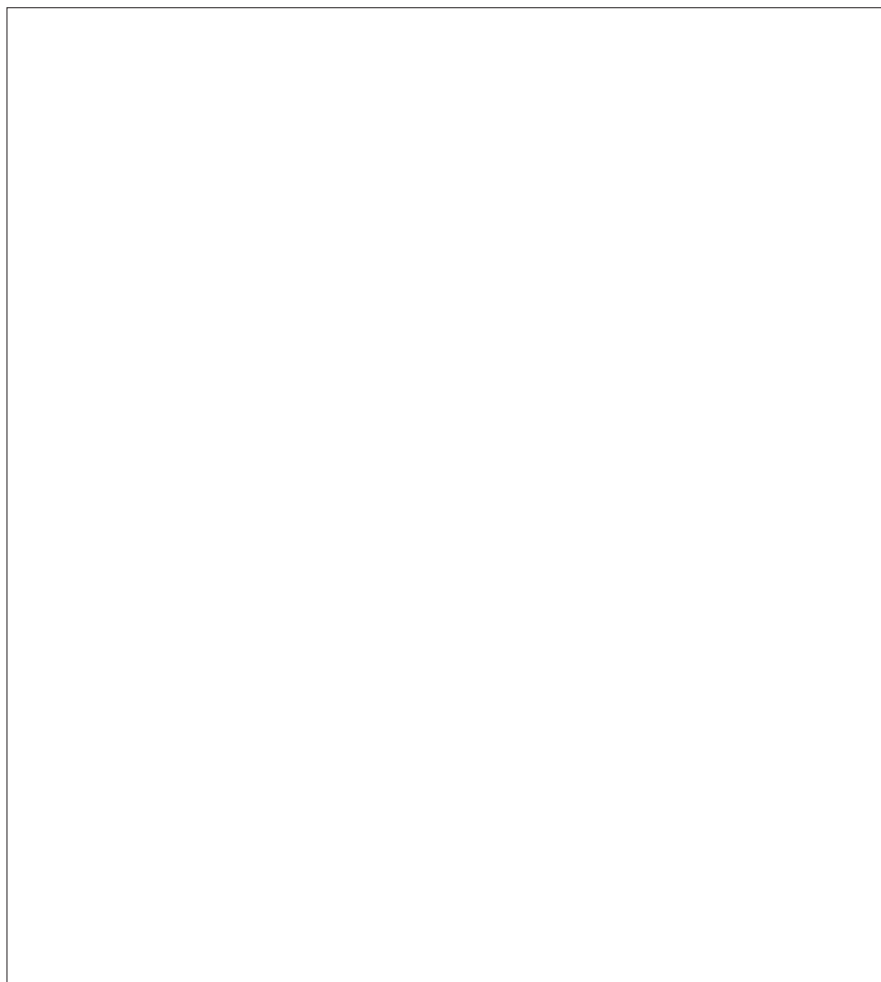
### 6.1 Geografi og anvendelse

Risøområdet er beliggende på et areal på den østlige side af Roskilde Fjord ca. seks km nord for Roskilde ad hovedvej A6. Arealet afgrænses mod vest af Roskilde Fjord. Hovedvej A6 mellem Roskilde og Hillerød passerer gennem Risøs arealer. Risø ejer i alt et areal på ca. 240 ha, hvoraf ca. 156 ha vest for hovedvejen mod land er afspærret med et ca. to meter højt ståltrådshegn. Størstedelen af området ligger i Himmelev sogn, Roskilde kommune, mens en mindre del ligger i Ågerup sogn i Gundsø kommune. Begge kommuner ligger i Roskilde Amtskommune.

Adgang til Risøområdet sker gennem portvagten ved frakørslen fra hovedvejen. I hegnet findes yderligere seks porte, heraf to porte nord for portvagtbygningen, to porte i den sydøstlige del af arealet og to porte i den sydlige del af arealet. De seks porte holdes aflåst, dog benyttes fire af portene undtagelsesvis for passage af landbrugsredskaber.

Adgang fra fjordsiden er forbudt, dette er markeret med skilte. Indsejlingen til Bløden syd for Risø-halvøen er spærret med tov og bøjer i perioden april til november. På sydvestsiden af halvøen er placeret en molen, der tidligere tjente som anløbsplads for Risøs fartøjer. Andre fartøjer må kun anløbe molen efter forudgående tilladelse fra Risø.

På ø-delen findes de nukleare anlæg, og på landdelen findes de fleste af Risøs øvrige afdelinger. I Risø-områdets nordlige del findes Danmarks Miljøundersøgelser i egne bygninger på Risø-områdets arealer.



Figur 6.1 Kort der viser området, med de stednavne der nævnes i teksten

Omkring 1.000 mennesker har deres daglige gang på Risøområdet.

Øst for hovedvejen findes boliggruppen, Risø Huse, med 16 funktionærboliger, gæstehjem, Besøgscenter, vandværk og vandtårn samt Center for Avanceret Teknologi. Endvidere findes bygninger fra gården Svaleholm, der bruges til kursusvirksomhed m.m. og som maskinhus, samt to gæsteboliger. Vest for hovedvejen, længere mod syd, findes gården Dyskærgård, som er beboet, og hvis arealer hører ind under Risø.

Risøs arealer uden for hegnet benyttes som forsøgsmark (arealet syd for Svaleholm) af Afdelingen for

Planteforskning samt til almindelige landbrugsafgrøder. Inden for hegnet benyttes de sydlige arealer som forsøgsmark, mens resten benyttes dels til landbrugsafgrøder, dels ligger hen med græsvegetation eller med naturlig vegetation. Det lave område mellem landdel og ø-del har typisk bevoksning for sumpede arealer, de lave områder langs Bløden henligger som fjordeng. Bløden med øer og strandområde har et rigt fugleliv.

### 6.2 Naturforhold

Roskilde Fjord har status som både habitatområde og fuglebeskyttelsesområde, og fjorden overvåges som en del af Den Nationale

Overvågning af Vandmiljøet [7]. Udpegning og administration af de internationale beskyttelsesområder i Danmark er fastlagt i Miljøministeriets Bekendtgørelse nr. 782 af 1. november 1998 om afgrænsning og administration af internationale beskyttelsesområder (habitatområder, fuglebeskyttelsesområder og Ramsar-områder).

Roskilde Fjord er en brakvandsfjord med omkring 30 småøer og holme. Fjorden er næsten overalt meget lavvandet med vanddybder på mindre end 6 meter. I området indgår strandenge på både øer og fastlandet samt et par mindre skovbevoksninger. Endelig indgår flere søer langs fjordkysten. Derudover omfatter lokaliteten et varieret skovområde.

Området er af både national og international meget stor botanisk betydning. Kvaliteten af dette habitatområde er meget høj. Den lange lavvandede fjord med småøer samt tilstødende strandenge og skovpartier er af stor betydning for mange ynglende og overvintrende vandfugle. Området har international betydning for sangsvane, knopsvane, trolldand, hvinand, stor skallesluger og blishøns. Fjorden er et af Danmarks vigtigste yngleområder for vandfugle. På holmene yngler hvert år 10.000 – 20.000 par fugle fordelt på 25 - 30 arter. Roskilde Fjord er Danmarks vigtigste yngleområde for fjordterne med henved en tredjedel af landets bestand. Det fredede løvskovbryn i Kohaven og den østlige del af Slotshegnet, som indgår i habitatområdet, rummer stor variation og derfor også et rigt plante- og dyreliv. Området er et af regionens vigtigste biologiske kerneområder. Derudover er der i skoven på Bognæs forekomst af den prioriterede art *Osmoderma eremita*. Roskilde Fjord

og Store Kattinge Sø blev i 1995 udlagt som vildtreservat. En række af fuglene i fjorden er fåtallige ynglefugle i Danmark, og tre arter, Dværgterne, Pibeand og Spidsand, er opført på Rødliste '97. Uden for yngletiden raster og fouragerer et meget stort antal vandfugle i fjorden. Om vinteren - afhængigt af om det er isvinter eller ej - kan der træffes mellem 45.000 og 95.000 fugle. Fjorden er især karakteristisk ved, at i vintre med isdække kan der være våger i fjordløbet, hvor tusinder af vandfugle samles.

### 6.3 Geologi

Roskilde Fjord følger en forkastning, der repræsenterer en diskontinuitet i undergrundslagene, som er fortsat i nedadgående retning vest for forkastningen. Overfladen er ligesom det meste af det danske landskab formet af gletschere i løbet af den sidste istid.

Kendskabet til undergrunden på Risøområdet stammer fra otte boringer på 60 - 80 meters dybde på Risøområdet og i omegnen. Aflejringer fra førkvartærtiden (palæocen) består af grøn-gråt ler, som nedad veksler med grøn-grå kalksten med lerforekomster. Under disse lag er en hvid eller grålig kridt med flintlag. De førkvartære aflejringer i området er dækket af istidsaflejringer, hovedsageligt bestående af ler og sand. Tykkelsen af de glaciale aflejringer (omkring 10.000 år gammel) varierer mellem ca. 10 meter og ca. 45 meter med en gennemsnitstykkelse på 27 meter.

I de vestlige og sydvestlige dele af arealet (Risø-Veddelev-Himmelev) hviler istidsaflejringerne på de samme palæocene lag som ovenfor nævnt, hvorimod der forekommer gråligt kridt (danien) umiddelbart under istidsaflejringerne i de østlige og

nordlige områder (Valby-Aagerup-Marbjerg). Antagelig har de palæocene aflejringer haft større udbredelse i østlig og nordlig retning, men er her blevet ført bort af gletscherne.

I området øst og nordøst for Himmelev findes det øverste førkvartære lag ca. 18 meter over havoverfladen, og tykkelsen af dette lag er her over 40 meter. På den vestlige del af Risø- og Veddelev-halvøen er tykkelsen af øverste lag af de førkvartære aflejringer ca. 42 meter, og ved DR 1 ca. 20 meter under havoverfladen.

Overfladen af det flint-førende kalklag (danien) er ca. 45 meter under havoverfladen på den vestlige del af Risø. Ved DR 1 findes overfladen ca. 24 meter under havoverfladen. Terrænniveauet her er ca. 6 meter over havoverfladen.

### 6.4 Overfladevand

Roskilde Fjord er omkring 36 km lang, dækker et areal på omkring 120 km<sup>2</sup> og indeholder omkring 440 millioner m<sup>3</sup> vand. Det meste af fjorden er snæver men med bredere områder f.eks. i den sydlige del. Den gennemsnitlige dybde er omkring 3,75 meter med en maksimal dybde på 25 meter. Den nordlige omkring 1 km brede indsejling er forbundet med Isefjorden tæt på det sted, hvor denne større og bredere fjord er forbundet med Kattegat.

Årligt løber der under pålandsvind omkring 500 mio. m<sup>3</sup> havvand ind i Roskilde Fjord fra Kattegat. Yderligere løber der omkring 140 mio. m<sup>3</sup> ferskvand i fjorden fra vandløb og fra grundvandet. Som følge heraf forbliver der årligt kun omkring 17% af det oprindelige vand i fjorden. Strømmen i den sydlige lukkede del af fjorden er svag, og overfladebevægelsen bestemmes hovedsageligt af vindretningen. Normalt sker der en

## 6. Beskrivelse af omgivelserne

fuldstændig opblanding af vandet fra bund til top, og denne opblanding sker relativt hurtigt. Strømmen varierer med dybden, ofte med forskellige retninger i top og bund.

I den sydlige del af fjorden består bundmaterialet hovedsageligt af mudder bortset fra de steder, hvor grundvandet trænger ud i fjorden. I de snævrere dele af fjorden består bundmaterialet af en blanding af sand og mudder. Kystlinjen er normalt lav, ofte med græsvegetation ned til vandet. Visse steder, f.eks. ved Risø er der op til 10 meter høje moræneklinter, som løbende eroderes af fjordvandet.

Den højeste vandstand over daglig vande er målt i Roskilde havn til omkring 1,65 meter, hovedsageligt som følge af længerevarende vindtryk. En forøget vandstand af denne størrelse vil ikke kunne influere på driften af de nukleare anlæg på Risø.

I Regionplan 2001 er der oplyst miljømæssige målsætninger for vandområder. Roskilde Fjord har en generel målsætning, hvilket vil sige, at der skal sikres et alsidigt dyre- og planteliv. Enkelte steder er målsætningen skærpet, hvilket vil sige at de pågældende områder rummer særlige interesser, f.eks. badevandområder, kritiske naturforhold, naturvidenskabelige interesseområder, opvækstområder for fisk mv. Fjordområdet som Risøhalvøen ligger i er generelt målsat.

### 6.5 Grundvand

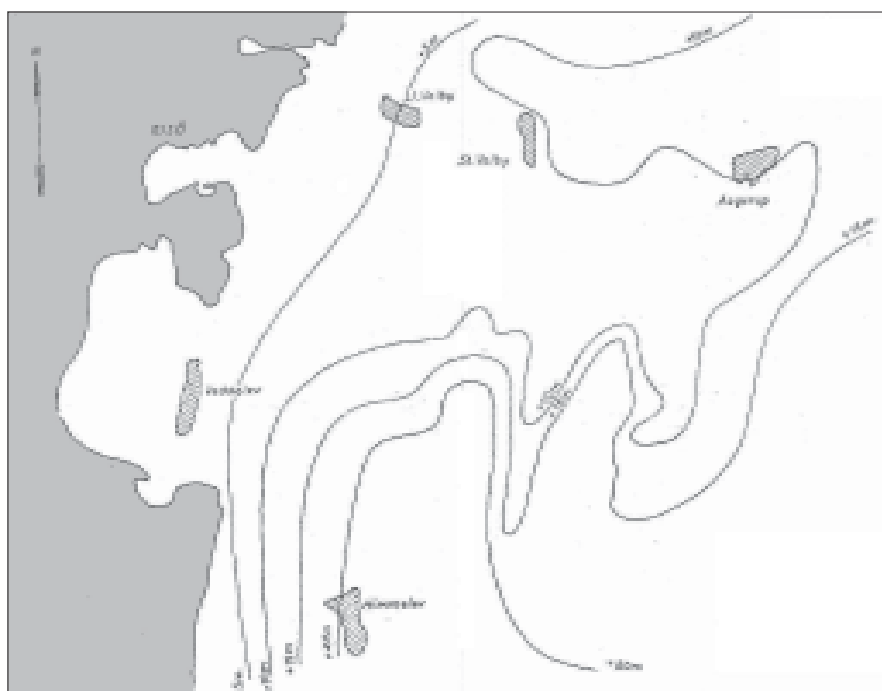
Figur 6.2 viser, at de højeste grundvandsniveauer findes mod syd i Roskilde området, og at niveauet igen er stigende nordøst for Risø. Imellem disse områder følger grundvandsniveauet ikke landskabskonturen. Området øst for Risø er karakteriseret af en meget svag grundvandsgradient.

I henhold til dansk lovgivning har en betragtelig del af landet status som beskyttet område, hvor særlige hensyn skal tages til den del af grundvandsreservoiret, der anvendes som drikkevand. De beskyttede områder er udpeget i regionplanen, der opererer med 4 kategorier for beskyttelsen. Risøområdet er omfattet af "område med drikkevandsinteresser" – den næstlaveste beskyttelseskategori. Som det ses af figuren over grundvandspejlet, strømmer grundvand fra øst mod vest – altså fra land mod fjorden. En eventuel forurening af grundvandet på Risøområdet vil følge strømningsretningen, og ende i Roskilde Fjord.

6.6 Meteorologi/terræn  
Fra et spredningsmeteorologisk synspunkt er terrænformer og øvrige overfladekarakteristika af interesse, idet overfladeforhold er af betydning

for udviklingen af det turbulente strømningsbillede, der karakteriserer atmosfærens bevægelse i de nederste par km, og er ansvarlig for spredningen af luftbåret materiale i disse luftlag. Endvidere kan tilstrækkelig dominerende terrænformer, som bakker og dale, tvinge strømmingen til at følge karakteristiske mønstre, der er givet ved disse terrænformer, og kun dårligt kan beskrives ved en eller få målestationer.

Fjordkysten er - hvor Risøområdet ligger - jævnt skrånende fra vandkanten og op til omkring 20 meter ca. 1 km inde i land. Den inderste del af fjorden er ca. 8 km bred i V-Ø retning, og den fortsætter 6 km mod syd til Roskilde. Mod nord ændrer fjorden karakter ca. 5 km nord for Risø, idet den her snævrer ind til ca. 2,5 km bredde, som fjorden derefter holder de næsten ca. 15 km til nord for Frederikssund, hvor fjorden igen udvides for endelig at udmunde i Isefjorden.



Figur 6.2 Kort med konturer for grundvandsniveau (meter over havoverfladen) i området omkring Risø (sikkerhedsdokumentation for Forskningscenter Risø, 1980). De gamle landsbyer er indikeret på kortet. De er nu omgivet af store områder med parcelhusbebyggelse, og Himmelev er nu "smeltet" sammen med Roskilde mod syd.



Nord for Roskilde er terrænformen kuperet terræn med karakteristiske højder af størrelsen 20 - 30 meter. Syd for Roskilde er der stadig kuperet terræn med svagt stigende karakteristiske højder på 30 - 50 meter. Mod øst og sydøst falder højden samtidig med, at terrænet flader ud, til det når Køge Bugt.

De dominerende enkelte terrænformer er Roskilde Fjord (og tilstødende fjordsystem) samt enkelte ådale. De karakteristiske niveauændringer omkring disse dale er 10 - 30 meter. En sammenligning med de typiske horisontale og vertikale skalaer for en spredningsfane viser, at kun for relativt sjældne meteorologiske forhold vil der være mulighed for, at de ovenover beskrevne terrændimensioner vil evne at kanalisere fanen, og da kun hvis udslippet foregår i jordhøjde og med meget ringe vindhastighed. I andre stabilitetskategorier vil det omkring Risø beliggende terræn kun influere strømningen gennem produktionen af turbulens, hvis indflydelse på spredningen er beskrevet ved de brugte spredningsparametre.

Endelig skal det nævnes, at bymæssig bebyggelse ligeledes udgør en terrænform, og i hvert fald ved egentlig bycenterdannelse vil de karakteristiske højdeskalaer være af samme størrelse, som ovennævnte højdeskalaer for den ubebyggede overflade.

## 7. Omegnseffekter ved dekommissioneringen

Risøs nukleare anlæg skal nedbrydes, og de radioaktive stoffer i anlæggenes konstruktionsdele skal deponeres som radioaktivt affald. I forbindelse med denne nedbrydning er der risiko for, at mindre mængder af de radioaktive stoffer kan frigives til omgivelsesmiljøet som følge af de daglige arbejdsoperationer eller som følge af uheld. I det efterfølgende er der foretaget en række vurderinger af konsekvenserne af både normale driftsudslip under dekommissioneringsarbejdet og egentlige uheldsudslip.

Strålingsbeskyttelsen omfatter beskyttelse af medarbejdere, befolkning og omgivelsesmiljø. Derfor foretages der i forbindelse med både driften og den senere dekommissionering af nukleare anlæg en omfattende overvågning af både arbejdssted og omegn. Formålet er at sikre, at strålingspåvirkningen af mennesker og miljø - holdes på et rimeligt lavt niveau, og at de af myndighederne fastsatte grænseværdier ikke overskrides. Den internationale kommission vedrørende strålingsbeskyttelse (ICRP) har i deres seneste generelle anbefalinger fra 1990 fremført, at når den mest udsatte befolkningsgruppe er tilstrækkeligt beskyttet, så vil flora og fauna også være tilstrækkeligt beskyttet.

I arbejdsmiljøet overvåges hver enkelt medarbejder kontinuerligt ved brug af både personlige og fælles overvågningsmålinger. I Risøs mere end 40-årige historie har strålingspåvirkningen af de medarbejdere, der har arbejdet på de nukleare anlæg, kun udgjort en mindre brøkdel af de fastsatte grænseværdier for strålingsudsættelse af medarbejdere. Denne overvågning af arbejdsmiljøet vil fortsætte under dekommissioneringen af de nukleare anlæg.

Anlæg	Beta-/GammaaktivAlfa-aktivitet	
	[GBq]	[GBq]
Centralvejslager	700.000	30.000
Lagerhal for lavradioaktivt affald	4.800	-
Behandlingsstationen	8.500	10
Reaktor DR 3 (ekskl. Brændsel)	200.000	-
Hot Cells anlægget	3.000	100
Teknologihallen	-	0,001
Reaktor DR 1 (inkl. kerneopløsning)	100	5
Reaktor DR 2	60	-
Kælder DR 2 (tungt vand)	3.000.000	-

**Tabel 7.1** Indhold af radioaktive stoffer i Risøs nuklear anlæg i år 2000. I denne redegørelse anvendes enheden GBq (giga-becquerel) for radioaktivitet. Her dansker indeholder omkring 0,00001 GBq af naturligt forekommende radioaktive stoffer. Hvert år er nedfaldet i Danmark af radioaktive stoffer dannet af den kosmiske stråling omkring 200.000 GBq.

Befolkningen overvåges tilsvarende ved kontinuerlige målinger af udledninger af radioaktive stoffer fra Risøs nukleare anlæg til både det atmosfæriske og det akvatiske miljø. Desuden udføres et omfattende måleprogram i omgivelsesmiljøet med det formål at kontrollere, at der ikke på langt sigt akkumuleres radioaktive stoffer i miljøet fra driften af de nukleare anlæg. Grundreglen er her, at beskyttelsen af den mest udsatte del af den omkringboende befolkning skal optimeres ved at holde udslip til omgivelserne på et rimeligt lavt niveau. Strålingspåvirkning af denne kritiske gruppe af befolkningen fra alle mulige nukleare virksomheder (inklusiv Risø) må ikke overskride en fastsat grænseværdi, der er på 1000 dosisenheder pr. år. Derfor må strålingspåvirkningen af den kritiske gruppe fra en enkelt nuklear virksomhed som Risø ikke overstige en brøkdel (f.eks. 10%) af den fastsatte grænseværdi for befolkningen. Den årlige strålingspåvirkning af den kritiske gruppe i befolkningen som følge af driften af de nukleare anlæg på Risø har gennem mere end 40 år på intet tidspunkt overstegt 1% af den fastsatte grænseværdi.

Både målinger af eventuelle udledninger og målinger i omgivelsesmiljøet vil fortsætte under dekommissioneringen af Risøs nukleare anlæg. Det

kan formodentlig blive nødvendigt at udvide omegnsprogrammet med henblik på også at kunne måle andre stoffer end dem, der var tale om under drift. Det forventes, at udledningerne til omgivelsesmiljøet under dekommissioneringen vil være væsentligt mindre end under driften af anlæggene.

### 7.1 Påvirkning af omgivelsesmiljøet ved normal drift

Radioaktive stoffer, der frigøres til atmosfæren, vil af vinden kunne blive ført væk fra udslipsstedet på samme måde som røgen fra en skorsten. Koncentrationen i fanen af de frigjorte stoffer kan beskrives ved en simpel matematisk model, den såkaldte *gauss-model*, der her er anvendt til at beregne strålingsdoser fra udslip af radioaktive stoffer til atmosfæren. Doser fra udslip af radioaktive stoffer til Roskilde Fjord er beregnet med en compartment-model, der er beskrevet i Appendix A.

### Indhold af radioaktive stoffer i de nukleare anlæg

Aktivitetsindholdet i Risøs nukleare anlæg i år 2000 er vist i tabel 7.1. De dominerende radionuklider i DR 3 er <sup>60</sup>Co, <sup>133</sup>Ba, <sup>152</sup>Eu, <sup>154</sup>Eu og tritium med halveringstider på 5 - 14 år. De dominerende aktiviteter i Hot Cell anlægget er <sup>90</sup>Sr og <sup>137</sup>Cs med en halveringstid på omkring 30 år og



## 7. Omegnseffekter ved dekommissioneringen

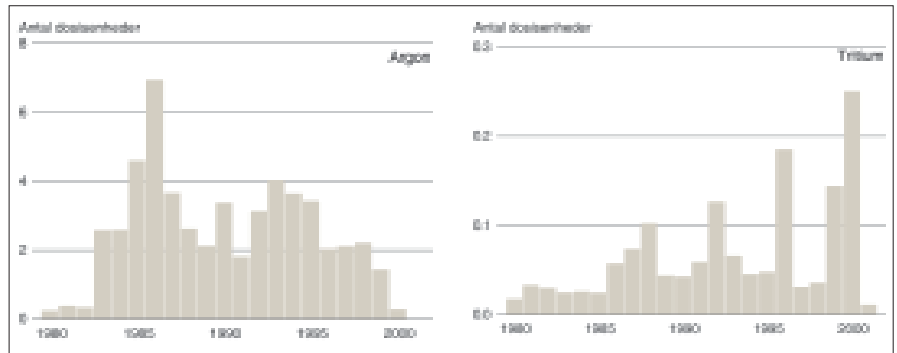
transuraner med meget lange halveringstider (mange hundreder til tusinder af år).

De dominerende radionuklider i Behandlingsstationen er  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$  og transuraner. I Centralvejslageret befinder sig bl.a. ca. 233 kg bestrålet brændsel, der i form af ituskårne brændselsstave (kraftreaktorbrændsel) har været genstand for undersøgelser i betoncellerne på Hot Cell anlægget, samt kraftige  $^{60}\text{Co}$ -kilder. I kælderen under DR 2 befinder der oplagret 200 l tromler med indhold af tungt vand fra reaktor DR 3 med indhold af tritium. Disse tromler indeholder, som det fremgår af tabel 7.1, langt den største del af den samlede radioaktivitetsmængde i de nukleare anlæg. Det er meningen, at dette tunge vand afhændes til en eller flere udenlandske institutioner, der anvender tungt vand i forbindelse med reaktordrift.

### Erfarede udslip fra Risøs nukleare anlæg under normal drift

Størrelsen af de nukleare anlægs driftsudslip fremgår af de halvårslige rapporter "Afkast af radioaktive stoffer", som sendes til de nukleare tilsynsmyndigheder. De væsentlige udslip af radioaktivitet til omgivelserne fra de nukleare anlæg på Risø har været fra DR 3 og Behandlingsstationen.

Under DR 3's drift udgjorde de årlige driftsudslip til atmosfæren i gennemsnit ca. 28.000 GBq  $^{41}\text{Ar}$  og ca. 7.800 GBq tritium som tritieret tungt vand (se ordforklaring vedrørende enheden for radioaktivitet).  $^{41}\text{Ar}$  er en kortlivet isotop (halveringstid på 1,6 timer), der dannes ved neutronbestråling af ædelgassen argon, der udgør ca. 1% af almindelig atmosfærisk luft. Med reaktorens lukning er produktionen af  $^{41}\text{Ar}$  ophørt.



Figur 7.1. Årlige doser til den nærmestboende befolkning (kritisk gruppe) fra udslip af tritium og argon fra reaktor DR 3 i perioden 1980 - 2001.

Udslip af tritieret tungt vand til Roskilde Fjord udgjorde de seneste år nogle hundrede GBq pr. år fra reaktor DR 3 og omkring 4.000 GBq pr. år fra Behandlingsstationen (indirekte også fra DR 3). De samlede vandige udslip af beta-/gamma-radioaktivitet til Roskilde Fjord fra Behandlingsstationen er mindre end 0.2 GBq pr. år, hvoraf halvdelen er den naturligt forekommende  $^{40}\text{K}$  og den anden halvdel konservativt kan betragtes som  $^{137}\text{Cs}$ .

### Doser fra erfarede driftsudslip fra Risøs nukleare anlæg under normal drift

Som grundlag for beregning af strålingsdoser til individuelle medlemmer af befolkningen fra udslip af radioaktive stoffer til atmosfæren fra DR 3 er benyttet de ovenfor anførte udslip. Det er valgt at opfatte det angivne udslip som et kontinuert årligt udslip, og derfor er der i beregningerne anvendt en gennemsnitlig meteorologi for Risøområdet. Dosisberegningerne er udført med en gauss-model og med compartment-model, der er beskrevet i Appendix A. Som kritisk gruppe for de atmosfæriske udslip er anvendt personerne i boliggruppen øst for Risøområdet. Som kritisk gruppe for udslip af radioaktivitet til Roskilde Fjord er anvendt hypotetiske grupper,

f.eks. fiskergruppen og grupper, der beregningsmæssigt får dækket deres daglige væskeindtag fra fjorden.

### Individueldoser fra kontinuerlige driftsudslip fra DR 3

De beregnede individueldoser til den kritiske gruppe fra udslip af argon og tritium fra reaktor DR 3 i perioden er vist på figur 7.1.

Det fremgår af figur 7.1, at det årlige udslip til atmosfæren under driften af DR 3 har medført små doser til den kritiske gruppe på nogle få dosisenheder pr. år, hovedsageligt fra  $^{41}\text{Ar}$

Som sammenligningsgrundlag kan nævnes, at fra den naturligt forekommende baggrundsstråling udsættes hver dansker i gennemsnit for en dosis på ca. 3.000 dosisenheder pr. år og ca. 1.000 dosisenheder pr. år fra medicinsk bestråling. Den gennemsnitlige dosis fra baggrundsstrålingen på omkring 3.000 dosisenheder pr. år er sammensat af ca. 2000 dosisenheder pr. år fra radon i boliger og ca. 1.000 dosisenheder pr. år stort set ligelig sammensat fra kosmisk stråling, fra strålingen fra de naturligt forekommende radioaktive stoffer i jorden og i bygninger samt fra naturligt forekommende radioaktive stoffer i os selv.

## 7. Omegnseffekter ved dekommissioneringen

Anlæg	Forventet årligt udslip [MBq/år]							Aktinider
	<sup>3</sup> H	<sup>14</sup> C	<sup>60</sup> Co	<sup>90</sup> Sr	<sup>133</sup> Ba	<sup>137</sup> Cs	<sup>152+154</sup> E	
DR 1	-	-	10	-	-	10	-	-
DR 2	-	-	40	-	-	-	20	-
DR 3	1000000	2	1000	-	20	-	20	-
Hot Cell	-	-	0,2	10	-	20	-	1
Behandlingsstation	-	-	-	-	-	1	-	-

Tabel 7.2 Forventet driftsudslip til atmosfæren fra de nukleare anlæg under dekommissioneringen af anlægget og fra Behandlingsstationens drift.

### Individdoser fra udslip af radioaktivitet til Roskilde Fjord

Udslippet af tritium og <sup>137</sup>Cs til Roskilde Fjord udgør i øjeblikket henholdsvis omkring 1000 GBq/år og omkring 0,1 GBq/år. Doserne til den kritiske gruppe ved et dagligt væskeindtag på 2,2 liter vil udgøre omkring 0,04 dosisenheder pr. år (tritium) og 0,003 dosisenheder pr. år (<sup>137</sup>Cs). Doserne til fiskergrupper ved spising af 25 kg fisk pr. år vil udgøre 0,01 dosisenheder pr. år (<sup>137</sup>Cs) og 0,0014 dosisenheder pr. år (tritium) (jf. Appendiks A). Adsorption af cæsium i fjordens bundsedimenter vil reducere koncentrationen væsentligt, hvilket der ikke er taget hensyn til i disse beregninger.

### Mulige driftsudslip og doser til befolkning og miljø under dekommissionering

Når de nukleare anlæg skal nedbrydes, skal planlægningen heraf omfatte strålingsbeskyttelse af befolkningen fra eventuelle udslip. Det betyder, at der skal fastlægges foranstaltninger til at begrænse eventuelle udslip, også selv om disse er mindre end de af myndighederne fastsatte udslipsgrenser, og der skal løbende monitoreres for eventuelle udslip. For reaktorerne DR 2 og DR 3 vil det være usandsynligt, at udslip under dekommissioneringen vil blive større end de konstaterede udslip i disse anlægs driftsperiode. De maksimale årlige doser til den nærmestboende befolkning fra driftsudslippene fra DR 2 og DR 3 samt fra Behandlingsstationen har været nog-

le få µSv og ikke større end 10 µSv. Mens Hot Cell og DR 1 var i drift, var der tale om meget små udslip af radioaktive stoffer fra disse anlæg.

Når DR 3 og Hot Cell skal nedbrydes, vil ventilationsluften fra arbejdsområderne blive filtreret gennem partikelfiltre (HEPA-filtre) inden afkast til atmosfæren. Radioaktivitetsindholdet i både DR 1 og DR 2 er meget lille, og det anses derfor ikke for nødvendigt at filtrere afkastet af ventilationsluften fra arbejdsområderne.

Aktiviteten i reaktorerne udgøres hovedsageligt af aktiveringsprodukter, der sidder fast i de enkelte konstruktionsdele. Derfor anslås det, at højst 0.1% af denne radioaktivitet kan nå frem til ventilationskanalen og herfra frigøres til omgivelserne i filtreret eller ufiltreret form. Radioaktiviteten i betoncellerne sidder på de indre overflader, men der regnes også her med, at kun 0.1% kan nå frem til ventilationskanalen. Det forudsættes endvidere, at filtereffektiviteten for HEPA-filtrene i DR 3 og Hot Cell kun er 99%. Driftsudslippet til atmosfæren fra Behandlingsstationen forudsættes at være af samme størrelsesorden som de målte afkast i 2001.

Med disse antagelser vil de forventede årlige driftsudslip fra dekommissioneringen af de lukkede nukleare anlæg og fra Behandlingsstationens drift være som vist i tabel 7.2 og 7.3.

Anlæg	Forventet årligt udslip [GBq/år]	
	<sup>3</sup> H	<sup>137</sup> Cs
Behandlingsstation	2000	0,3
Øvrige anlæg	-	-

Tabel 7.3 Forventet driftsudslip til Roskilde Fjord fra de nukleare anlæg under dekommissioneringen af anlægget og fra behandlingsstationens drift.

Som det fremgår af tabel 7.3 forventes der ingen vandige udslip fra dekommissioneringen af de lukkede nukleare anlæg.

For de gennemsnitligt forekomne vejforhold i Danmark (under hensyn til både skiftende vindretning, vindhastighed og atmosfærisk stabilitet) er der foretaget beregninger af dosis til den nærmestboende befolkning fra de angivne udslip i tabellerne 7.2 og 7.3. Indåndingsdoserne er beregnet til personer, der opholder sig i en afstand på 1 km fra udslipspunktet med et normalt indendørs/udendørs opholdsmønster, der her antages at give en reduktion i indendørs koncentrationen på omkring en faktor 2. Fødevarer-doserne er beregnet på grundlag af spising af forurenede fødevarer, der produceres i samme afstand, og det antages at 10% af det årlige fødevarerbehov dækkes af forurenede fødevarer. De maksimale totale doser (summen af indåndings- og fødevarer-doser) udgør omkring 0.5 dosisenheder pr. år.

### 7.2 Udslipsmonitoring og udslipsgrenser

Driftsudslippene af radioaktive stoffer fra de nukleare anlæg måles kontinuerligt, og resultaterne rapporteres til de nukleare tilsynsmyndigheder hvert halve år. Det drejer sig på nuværende tidspunkt om tritiumudslip og beta-aktivitet til Roskilde Fjord fra Behandlingsstationen samt tritiumudslip til atmosfæren fra DR 3.

## 7. Omegnseffekter ved dekommissioneringen

### Reaktor DR 3

Indholdet af tritium i den afkastede ventilationsluft måles kontinuerligt med et integrerende frysefældesystem, som kondenserer og opsamler fugtigheden i en delstrøm af ventilationsafkastet. Frysefælden tømmes en gang om ugen, og tritiumindholdet måles i en væskescintillationstæller. På grundlag af den målte tritiumkoncentration i det optøede frysefældvand bliver tritiumafkastet beregnet.

I ventilationsskorstenen er der anbragt et to-ud-af-tre ionkammersystem, der kan omstyre ventilationsystemet til forsegling af hallen. Herved kan yderligere udslip til omgivelserne forhindres. Omstyringen sker, hvis et forudindstillet alarmniveau på ionkamrene på 40 dosisenheder pr. time overskrides. En kontinuerlig instrumentvisning af denne størrelse svarer til en dosishastighed fra gammastråling på af størrelsesordenen 0,01 - 0,3 dosisenheder pr. time (afhængig af de meteorologiske forhold) til en person, der befinder sig udendørs ved Risøs hegn i vindretningen.

I ventilationssystemet er der efter de højeffektive partikelfiltre (HEPA-filtre) anbragt en partikelmonitor, der ved hjælp af en plastscintillator kontinuerligt måler på et glasfilterpapir, hvorigennem der suges en delstrøm fra ventilationskanalen. Hvis der registreres en visning på dette system, analyseres filterpapiret for indhold af partikulær radioaktivitet, og udslippet beregnes på grundlag heraf.

### Behandlingsstationen

Rensning af det radioaktive spildevand på Behandlingsstationen sker ved destillation, således at det radioaktive materiale bliver tilbage, og vandet destilleres af. Herved opnås under normale omstændigheder, at

kun omkring 0,02 - 0,05% af den ikke-flygtige radioaktivitet, der tilføres anlægget fra Risøs nukleare anlæg og laboratorier, slippes ud via det inaktive kloaksystem til Roskilde Fjord.

Destillatet ledes til det inaktive spildevandssystem, hvor der sker en fortynding med omkring en faktor 50 med almindeligt spildevand fra Risøs inaktive systemer. Det rensede spildevand ledes gennem bassiner, der giver ca. et døgn forsinkelse og dermed en mulighed for at gennemføre foranstaltninger, hvis væsentlige mængder radioaktivitet ved en fejl skulle være sluppet så langt ud i systemet. Fra bassinerne pumpes vandet gennem en rørledning ud i Roskilde Fjord.

Aktivitetsindholdet i det udledte vand bestemmes på grundlag af dagligt udtagne prøver til beta-analyser samt mere detaljerede undersøgelser og kvartalsvise samleprøver fra destillatet fra destillationsanlægget. Til disse prøver udtages der en repræsentativ prøve på mindst 50 ml hver gang en af destillattankene er fyldt.

Med ventilationen af procesanlæggene, især asfalanlægget, sker der et ringe udslip af partikulær radioaktivitet via ventilationsskorstenen. Luftafkastet monitoreres kontinuerligt for indhold af radioaktive stoffer ved måling på filterpapir, hvorigennem der suges en delstrøm af ventilationsluften. Udslip af luftformig  $^{14}\text{C}$  bestemmes årligt ved en analyse af det afgivne signal fra denne udslipsmonitor.

### Øvrige nukleare anlæg

Når dekommissioneringen af de nukleare anlæg påbegyndes, vil den eksisterende udslipsmonitoring på DR 3 og Behandlingsstationen blive fortsat

Grænser for udslip til atmosfæren	
[1.000 GBq/år]	
$^3\text{H}$	1000
$^{14}\text{C}$	1
$^{60}\text{Co}$	1
$^{90}\text{Sr}$	0,2
$^{137}\text{Cs}$	0,7
$^{239}\text{Pu}$	0,001

Grænser for udslip til Roskilde Fjord	
[1.000 GBq/år]	
$^3\text{H}$	1.000
$^{137}\text{Cs}$	0,4

Tabel 7.4 Eksempler på udslipsgrænser for radioaktive stoffer til omgivelserne angivet som tusinder GBq pr. år.

med de nuværende metoder. På DR 1 og Hot Cell anlægget vil der blive etableret udslipsmonitoring til måling af eventuelle udslip under dekommissioneringen, enten i form af monitorering i ventilationssystemet og/eller ved monitorering af luften i arbejdsområderne.

### Udslipsgrænser

De nukleare tilsynsmyndigheder har til hensigt at fastsætte udslipsgrænser for de enkelte nukleare anlæg, der er baseret på en dosisbinding for de enkelte nukleare anlæg på 50 dosisenheder pr. år. Eksempler på sådanne grænser er vist i tabel 7.4.

Hvis driftsudslippet har overskredet eller forventes at overskride de forventede årlige udslip (tabel 7.2 og 7.3) i løbet af en måned, skal der rapporteres særskilt til de nukleare tilsynsmyndigheder.

### 7.3 Påvirkning af omegnmiljøet ved uheld

Ved dekommissioneringen af de nukleare anlæg (DR 1, DR 3, Hot Cell og Behandlingsstationen) er der altid en lille risiko for uheld. Efter at reaktor DR 3 er taget ud af drift er omfanget af mulige uheld med konsekvenser for omegnen blevet kraftigt reduceret. I det efterfølgende er der foretaget en række beregninger og vurderinger af konsekvenserne af postulerede uheldsudslip. Det skal

## 7. Omegnseffekter ved dekommissioneringen

Nukleart anlæg	Dekommissioneringsoperation
Reaktor DR 1	Frigørelse af <sup>137</sup> Cs fra rekombiner som følge af brand i grafit moderatoren
Reaktor DR 2	Læk af tungt vand til Roskilde Fjord via Behandlingsstation fra tromler i eksperimentkælderen
Reaktor DR 3	Frigørelse af <sup>60</sup> Co efter tab af topafskærmningen under en kranoperation med åben reaktorhal
Hot Cell anlægget	Frigørelse af <sup>90</sup> Sr, <sup>137</sup> Cs og aktinider efter en fejl i ventilations-systemet under en 'shot-blast' dekontaminering af beton cellerne

Tabel 7.5 Uheld med udslip af radioaktive materiale til omegnen fra referenceuheld under dekommissioneringen af de nukleare faciliteter på Risø.

understreges, at disse udslip er postuleret meget pessimistisk, dvs. at selv meget alvorlige uheld næppe vil kunne forårsage større udslip. Grunden er, at de radioaktive stoffer i de fleste tilfælde sidder fast inden i anlæggenes forskellige konstruktionsdele.

### Strålingsdoser til befolkningen fra atmosfæriske udslip

I løbet af de sidste 40 års drift af de nukleare anlæg er der kun forekommet to utilsigtede hændelser med udslip af radioaktive stoffer til omgivelserne. Det drejer sig om et udslip af omkring 70 GBq jod-131 fra Hot Cell anlægget i 1981 og tab af omkring 100 liter tungt vand på DR 3 med et indhold af ca. 30.000 GBq tritium, der via Behandlingsstationens destillationsanlæg endte i Roskilde Fjord. Doserne fra disse udslip var omkring 1 dosisenhed til de mest udsatte personer i den omkringboende befolkning. Ingen af disse hændelser har medført iværksættelse af beredskabsforanstaltninger.

De samme modeller, som er anvendt til beregning af doser fra driftsud-

slip, er her anvendt til beregninger af dosis til befolkningen der opholder sig udendørs under et uheldsudslip. Nedenstående er der givet en kortfattet beskrivelse af uheldsscenerierne på de nukleare anlæg under dekommissioneringen.

#### Reaktor DR 1

Under nedbrydningen af grafitmoderatoren udbryder der en brand i grafiten. Temperaturen i rekombineren, der indeholder <sup>137</sup>Cs, bliver så høj, at hele mængden frigøres til reaktorhallen. Omkring 10% af denne mængde forudsættes frigjort til atmosfæren.

#### Reaktor DR 2

I forbindelse med håndtering af tromler med tungt vand, der er oplagret i eksperimentkælderen i DR 2, ødelægges en af tromlerne, og dets indhold på 200 liter ender via det radioaktive afløbssystem i destillationsanlægget på Behandlingsstationen og herfra i Roskilde Fjord.

#### Reaktor DR 3

Referenceuheld	Individueller til den kritiske gruppe (dosisenheder)	
	Børn	Voksne
DR 1	0,4	0,6
DR 3	30	10
Hot Cell	100	200
Behandlingsstation	40	40

Tabel 7.7 Individueller til den kritiske gruppe fra referenceuheld på de nukleare anlæg under dekommissioneringen af anlæggene og fra et flystyrt i tromlelageret på Behandlingsstationen.

Ved en kranoperation med åben reaktorhal, hvor topafskærmningen løftes med en ekstern kran uden for reaktorhallen, tabes topafskærmningen ned på reaktorblokken og knuses delvist. De radioaktive stoffer sidder fordelt i en relativt lille del i bunden af topafskærmningen, og derfor frigøres en relativt stor del af radioaktiviteten, nemlig 1% af radioaktivitetsindholdet som små partikler til atmosfæren fra den åbne reaktorhal.

#### Hot Cell anlægget

Under en overfladerensning af de indvendige overflader i betoncelle nr. 3 ved hjælp af 'shot blasting' teknik, ødelægges ventilationsfilteret af små metalstykker, og der frigøres over en arbejdsdag nogle få procent af cellens overfladeforurening til omgivelserne, inden fejlen opdages.

#### Behandlingsstationen

Foruden de viste referenceuheld i tabel 7.6 er der også betragtet et uheld på Behandlingsstationen. Det antages her, at et mindre fly efter motorproblemer styrter ned i Behandlingsstationens lager for lavradioaktivt affald og forårsager en eksplosion, hvorved 1% af lagerets indhold af radioaktive stoffer frigøres til atmosfæren.

Doserne til den kritiske gruppe fra de viste udslip i tabel 7.6 er vist i tabel 7.7 for de hyppigst forekommende vejrforhold i Danmark. Under

Anlæg	<sup>3</sup> H	Uheldsudslip [GBq]			Aktinider
		<sup>60</sup> Co	<sup>90</sup> Sr	<sup>137</sup> Cs	
DR 1	-	-	-	3	-
DR 2	60.000	-	-	-	-
DR 3	-	300	-	-	-
Hot Cell	-	-	15	20	1
Behandlingsstation	-	10	30	50	0,1

Tabel 7.6 Uheldsudslip til atmosfæren til de nukleare anlæg under dekommissioneringen af anlæggene og fra flystyrt i Behandlingsstationens tromlelager.

## 7. Omegnseffekter ved dekommissioneringen

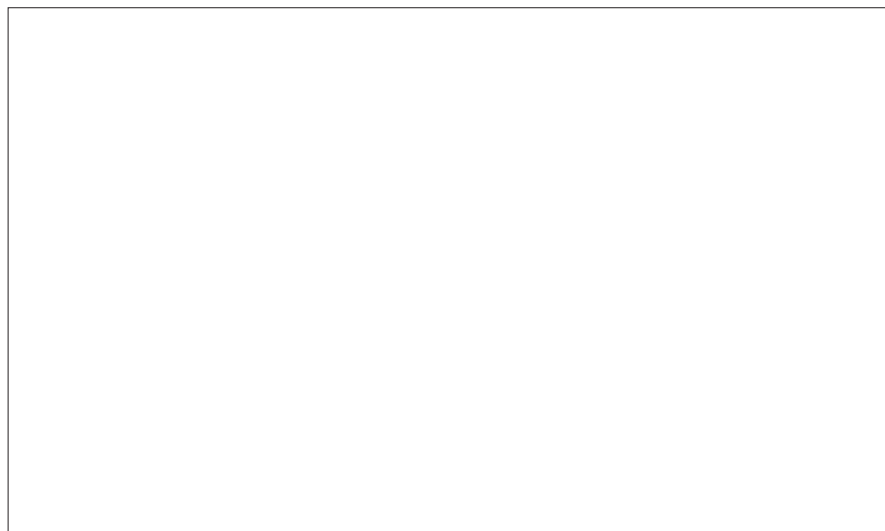
mere ugunstige vejrforhold kan doserne blive omkring ti gange højere. Doserne er beregnet på grundlag af atmosfæriske spredningsmodeller og overføringsfaktorer fra nedfald til fødevarer som summen af indåndingsdoser og doser fra forurenede fødevarer. Det antages, at 10% af det årlige fødevarerforbrug er kontamineret, hvilket er yderst konservativt, idet det svarer til, at 10% af fødevarerforbruget produceres og konsumeres i de forurenede områder.

Doserne fra referenceuheldene på DR 3, Behandlingsstationens trommelager og Hot Cell anlægget er vist grafisk på figurerne 7.2, 7.3 og 7.4.

Figur 7.2 viser de beregnede doser fra et uheldsudslip på 1% af indholdet i topafskærmningen på reaktor DR 3 til atmosfæren over kort tid. Doserne er beregnet til personer, der opholder sig udendørs ved en vestlig vindretning. De er angivet i dosisenheder som iso-dosiskurver, dvs. at dosis er den samme overalt på den givne kurve og større og mindre henholdsvis inden for og uden for den givne iso-kurve. Det fremgår af figur 7.2, at doserne falder fra ca. 20 - 30 dosisenheder til den kritiske gruppe i boliggruppen ved Risø til omkring 0,5 dosisenheder i udkanten af det viste område.

Ved indendørs ophold vil doserne på grund af bygningers filtrerende virkning blive mindre, og for danske huse kan man regne med en reduktionsfaktor på omkring to gange.

Figur 7.3 viser de beregnede doser fra et uheldsudslip på 1% af indholdet i Behandlingsstationens lager for lavradioaktivt affald til atmosfæren over kort tid. Det fremgår af figur 7.3, at doserne falder fra ca. 40 - 50 dosi-

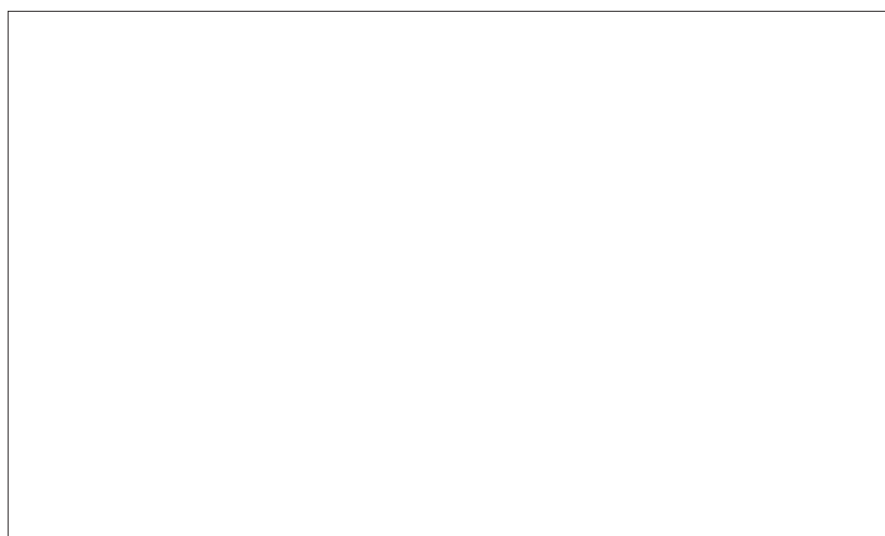


Figur 7.2 Strålingsdoser i dosisenheder fra et uheldsudslip på 1% af indholdet i topafskærmningen på reaktor DR 3 i år 2000 under de hyppigst forekommende meteorologiske forhold.

senheder til den kritiske gruppe til omkring 0.8 dosisenheder i udkanten af det viste område.

Figur 7.4 viser de beregnede doser fra et uheldsudslip på 1% af indholdet i betoncellerne på Hot Cell anlægget til atmosfæren over kort tid. Det fremgår af figur 7.4, at doserne falder fra omkring nogle hundrede dosisenheder til den kritiske gruppe til omkring 5 dosisenheder i udkanten af det viste område.

For Hot Cell anlægget og Behandlingsstationen sker der ikke nogen reduktion af uheldsdoserne, selv om et udslip på få procent af indholdet først sker efter mange årtiers køling, fordi doserne fra et udslip fra disse anlæg hovedsageligt stammer fra langlivede radioaktive stoffer. For DR 3 vil uheldsdoserne efter ca. 20 års køletid (år 2020) fra samme udslip af indholdet i topafskærmningen på dette tidspunkt derimod være reduceret med omkring 7 - 8 gange i forhold til et uheldsudslip i år 2000,



Figur 7.3 Strålingsdoser i dosisenheder fra et uheldsudslip på 1% af indholdet i Behandlingsstationens lager for lavradioaktivt affald under de hyppigst forekommende meteorologiske forhold.



## 7. Omegnseffekter ved dekommissioneringen

dvs. at der i år 2020 eksempelvis skal ske et uheldsudslip på 7 - 8% af indholdet i topafskærmningen for at få den samme dosis som ved et uheldsudslip på 1% af indholdet i år 2000.

### Strålingsdoser til befolkningen fra udslip til Roskilde Fjord

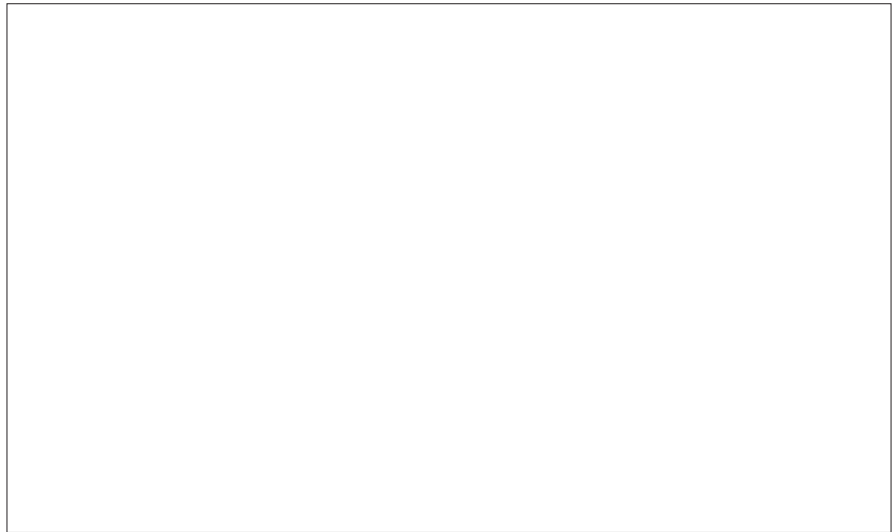
Forureningen af Roskilde Fjord fra et kortvarigt udslip kan beregnes ud fra den fundne sammenhæng mellem ligevægtskoncentration og udslip-rate som angivet i Appendiks A.

Den maksimale dosis fra et dagligt væskeindtag på 2,2 liter fra Roskilde Fjord det første år efter et uheldsudslip på eksempelvis 1000 GBq tritium til fjorden kan beregnes til ca. 0,03 dosisenheder, som herefter aftager med en halveringstid på ca. 1 år (middelopholdstid på 1,5 år), dvs. at dosis i det 2. år, 3. år osv. efter udslippet ved et fortsat væskeindtag på 2,2 liter pr. dag vil blive 0,015 dosisenheder, 0,007 dosisenheder osv.

Ved det betragtede uheldsudslip på 60000 GBq tritium til Roskilde Fjord vil dosis det første år fra et dagligt væskeindtag på 2,2 liter fra fjorden 2 dosisenheder. I de følgende år vil doserne ved fortsat væskeindtag på 2,2 liter pr. dag fra fjorden blive 0,9 dosisenheder, 0,4 dosisenheder osv. De tilsvarende doser fra spising af 25 kg fisk pr. år fra fjorden bliver 0,05 dosisenheder, 0,03 dosisenheder osv.

### 7.4 Helsefysisk overvågning af omegnen under dekommissioneringen

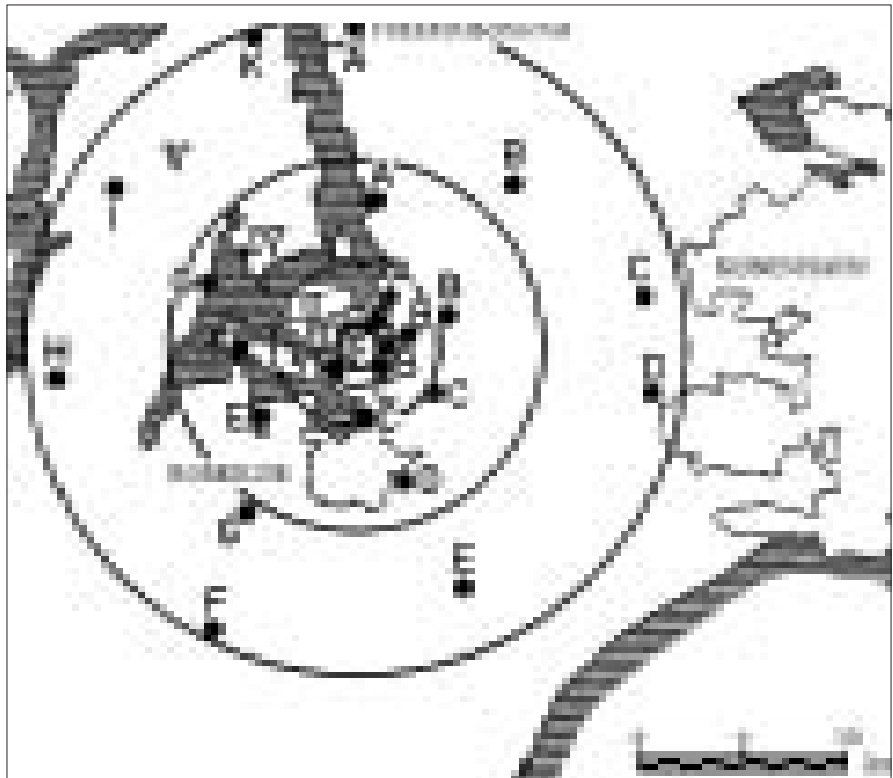
Omegnskontrolprogrammet for Risøområdet, der indgår som et led i den generelle overvågning af den radioaktive forurening i Danmark, blev startet i 1956, et år før driften af det første nukleare anlæg (DR 1) blev indledt. Den generelle overvågning



Figur 7.4 Strålingsdoser i dosisenheder fra et uheldsudslip på 1% af indholdet i Hot Cell anlægget under de hyppigst forekommende meteorologiske forhold.

omfatter dels målingen af det radioaktive nedfald fra de atmosfæriske kernevåbenforsøg, dels kontamination af specielt det marine miljø som følge af udslip fra nukleare anlæg i andre lande (eksempelvis Sellafield, Cap de la Hague, Chernobyl, Ring-

hals og Barsebäck). Disse målinger må kendes som grundlag for en vurdering af den eventuelle radioaktive forurening fra dekommissioneringen af de nukleare anlæg på Risøområdet.



Figur 7.5 Målepunkter for måling af gammastråling i Risø-områdets omegnszoner.



## 7. Omegnseffekter ved dekommissioneringen

Prøver, der kontrolleres for indhold af radioaktive stoffer, indsamles dels fra Risøområdet dels fra omegnen. Rapportering sker i de halv-årslige rapporter "Radioaktiviteten i Risøområdet". Yderligere rapportering sker i årlige Risø-rapporter i serien "Environmental Radioactivity in Denmark (årstal)".

Erfaringen fra de seneste 40 års overvågning af omegnen viser, at måleprogrammet har afsløret alle "unormale" udslip både under drift (f.eks. i forbindelse med måling af effektiviteten af ventilationsfiltre ved brug af radioaktive isotoper) og ved egentlige unormale hændelser (f.eks. udslippet af tungt vand til Roskilde Fjord).

I forbindelse med dekommissioneringen af de nukleare anlæg skal det rutinemæssige omegnskontrolprogram tilpasses dekommissioneringsarbejdet, specielt tæt på de nukleare anlæg. Analyser for kulstof-14 kunne eksempelvis være relevant i forbindelse med nedbrydningen af de relativt store grafitmængder i de tre reaktorer. Ændringer af omegnsmåleprogrammet vil blive indarbejdet i Betingelser for Drift af DD.

### Ekstern stråling

På Risøområdet og i de 4 zoner omkring Risøområdet (se fig. 7.5) måles den eksterne gammastråling dels ved TL-dosimetre dels ved Nalscintillationsmåling. Målingerne udføres i de 29 målepunkter i zonerne. TL dosimetrene akkumulerer dosis for en periode på et halvt år. Scintillationsmålingerne udføres to gange årligt.

### Luftprøver

Vest for Risøs auditorium findes en kontinuert kørende luftsuger med en kapacitet på ca. 1.500 m<sup>3</sup>/h. Filtrene indsamles ugentlig og analyseres for gamma-radioaktivitet ved gamma-

1-6	TL-dosimetre
A-E	Målepunkter for gammabaggrund
X	10m <sup>2</sup> regnsamler
R	1m <sup>2</sup> regnsamler
S	Prøveindtag for spildevand
T	Prøvetagningssted for tang- og sedimentprøver
G	Græsprøver
Δ	Luftprøvesamler

Figur 7.6 Placering af strålings- og kontaminationsmåleudstyr.

spektroskopi 2-3 dage efter indsamling.

### Nedbørsprøver

Mellem Behandlingsstationen og bygning 111 er anbragt en 10 m<sup>2</sup> kvadratisk regnsamler forsynet med en ionbytterkolonne anbragt i et frostfrit rum under indsamleren. Ionbytteren og vandet i karret tømmeres ved månedens udgang, og ionbytteren måles sammen med forfiltret for gamma-radioaktivitet ved gamma-spektroskopi. Det gennemløbende vand i karret analyseres for indhold af tritium.

Desuden findes øst for bygning 101 en 1 m<sup>2</sup> regnsamler. Prøverne herfra kombineres til månedsprøver, som analyseres for tritium. Placeringen af strålings- og kontaminationsmåleudstyret er vist på figur 7.6.

### Spildevandsprøver

Fra Behandlingsstationens spildevandsudledning udtages ugentlige prøver, der bliver målt for indhold af gamma-aktive stoffer ved gamma-spektrometri og målt for indhold af total beta-aktivitet efter inddampning af en 250 ml prøve. Indholdet sammenlignes med fastsatte referenceværdier for tilladeligt indhold.

### Sedimentprøver

Mellem Risø og Bolund (se figur 7.6) udtages 1 gang årligt en sedimentprøve. Prøven tages til ca. 15 cm dybde i sedimenterne og analyseres for gamma-radioaktivitet ved gamma-spektroskopi.

### Havplante- og havvandsprøver

Hvert halve år indsamles blæretang mellem Risø og Bolund til analyse for gamma-radioaktivitet ved gamma-spektroskopi. Hver måned indsamles ved Risø mole en vandprøve,

## 7. Omegnseffekter ved dekommissioneringen

som analyseres for tritium. En gang årligt indsamles ved Risø mole en vandprøve, der analyseres for  $^{137}\text{Cs}$ .

### Græsprøver

Hver uge indsamles øst for Hot Cell bygningen en græsprøve, som analyseres for gamma-radioaktivitet ved gamma-spektroskopi.

### 7.5 Transport af affald

Nedbrydningen af de nukleare anlæg skaber større mængder affald, både radioaktivt affald og ikke-radioaktivt affald. Endvidere indeholder de eksisterende lagre for radioaktivt affald på Risø affald fra driften af de nukleare anlæg samt radioaktivt affald fra hospitaler og industri, der sendes til Risø for oplagring. Transporten af radioaktivt affald, og de påvirkninger det kan skabe er ikke en del af denne VVM-redegørelse. Disse aspekter vil blive behandlet i forbindelse med planlægningen for et slutdepot.

Det ikke-radioaktive affald transporteres bort fra Risø på lastbiler. Det forventes, at der vil frembringes ca. 18.000 tons ikke-radioaktivt affald og transporten fra Risø til aftagerne vurderes ikke at udgøre et væsentligt miljøproblem. Transportmængderne er – set i lyset af de lange tidshorisonter for projektet – vil heller ikke påvirke klimaet som følge af drivhusgasser -  $\text{CO}_2$ .

### 7.6 Vurdering af konsekvenserne af drifts- og uheldsudslip

Efter at reaktor DR 3 er taget ud af drift er omfanget af mulige uheld med konsekvenser for omegnen blevet kraftigt reduceret. I reaktorens driftsperiode var der en teoretisk og meget lille risiko for et kernenedsmeltningsskæb. Et sådant uheld kunne have resulteret i doser til de nærmestboende på 100.000 - 500.000 dosisenheder eller mere over kort

tid. Selvom der fortsat befinder sig forholdsvis store radioaktivitetsmængder i de nukleare anlæg, og selvom der under deres nedrivning er en teoretisk risiko for et udslip af en lille brøkdel af radioaktivitetsindholdet til omgivelserne, vil doserne fra disse potentielle uheldsudslip være meget mindre end de ovennævnte doser.

Et udslip på 1% af radioaktivitetsindholdet i de nukleare anlæg er yderst konservativt, i det mindste for reaktor DR 3, fordi de radioaktive stoffer sidder fast i de indre dele af reaktorens konstruktionsdele (reaktortanken, topafskærmningen mv.). I Hot Cell anlægget sidder de radioaktive stoffer fordelt som støv og små partikler på betoncøllernes indre overflader, og et udslip på 1% under nedbrydningen er her mere realistisk end under nedbrydningen af DR 3, men stadigvæk ret usandsynligt. Selv om en stor brøkdel af indholdet af de radioaktive stoffer blev frigjort til atmosfæren, ville de maksimale doser til den nærmestboende befolkning være sammenlignelig med og næppe mere end få gange den årlige dosis fra den naturligt forekommende baggrundsstråling, der omfatter stråling fra verdensrummet samt fra radioaktive stoffer i undergrunden, i atmosfæren og i mennesket.

Strålingsdosis til den danske befolkning fra baggrundsstrålingen varierer mellem 2.000 og 20.000 dosisenheder pr. år, afhængig af bolig. Den gennemsnitlige strålingsdosis til hver dansker fra baggrundsstrålingen udgør omkring 3.000 dosisenheder pr. år. Fra medicinsk bestråling modtager hver dansker i gennemsnit 1.000 dosisenheder pr. år.

På grundlag af de ovenstående betragtninger vurderer HUR, at doserne til den nærmestboende befolkning

fra dekommissioneringen af Risø nukleare anlæg i værste fald vil være marginal sammenlignet med den ovenfor nævnte variation af de årlige doser fra baggrundsstrålingen i Danmark. Disse betragtninger gør sig også gældende i forhold til miljøpåvirkningen i det internationale beskyttelsesområde, Roskilde Fjord, og grundvandet i området.

### 7.7 Miljøafledte socioøkonomiske forhold

Socioøkonomiske faktorer kan spille en stor rolle i forbindelse med eksempelvis miljøforureninger som følge af uheld, naturkatastrofer o. lign. De kan give sig udslag i en lang række effekter, der indirekte kan påvirke de berørte områders økonomi i både positiv og negativ retning. HUR vurderer, at en eventuel miljøafledt socioøkonomisk effekt af dekommissioneringen på Risø kun kan ske som følge af udslip af radioaktiv forurening, som vil være en barriere for efterfølgende anvendelse af området, incl. Roskilde Fjord.

Eventuelle "driftsudslip" (til forskel fra uheldsudslip) af radioaktive stoffer til omgivelserne ved dekommissioneringen af de nukleare anlæg på Risøområdet kan sættes i perspektiv ved sammenligning med de tilsvarende udslip af radioaktive stoffer under anlæggenes drift. De maksimale doser til de nærmestboende (Risø huse) fra driftsudslippene fra reaktorerne DR 2 og DR 3 samt fra Behandlingsstationen har været omkring nogle få dosisenheder pr. år og ikke større end 10 dosisenheder pr. år. For Hot Cell anlægget, reaktor DR 1 og Isotoplaboratoriet har driftsudslippene været meget små, og doserne herfra har derfor været negligeble. Fra den naturligt forekommende baggrundsstråling modtager hver dansker i gennemsnit en dosis

## 7. Omegnseffekter ved dekommissioneringen

på 10 dosisenheder i løbet af godt og vel et døgn.

For reaktorerne DR 2 og DR 3 vil eventuelle udslip under dekommissioneringen med stor sandsynlighed være mindre end udslippene i driftsperioden. For de øvrige anlægs vedkommende var der tale om meget små udslip af radioaktive stoffer, mens anlæggene var i drift. Dekommissioneringen af disse anlæg (Hot Cell anlægget og DR 1) vil derfor kunne medføre udslip, der overstiger de tidligere driftsudslip, men doserne fra sådanne udslip vil fortsat være negligeable.

Doserne fra eventuelle uheldsudslip af radioaktive stoffer til atmosfæren kan i værste fald blive noget større end doserne fra de erfarede driftsudslip, nemlig op til få tusinde dosisenheder pr. år fra frigjorte radioaktive stoffer deponeret i tørvej under typiske meteorologiske forhold og op til omkring ti gange større, hvis der optræder nedbør under udslippet eller under særlige stabile atmosfæriske forhold. Doserne fra eventuelle udslip af radioaktive stoffer til Roskilde Fjord kan næppe blive højere end omkring nogle få dosisenheder.

Som det fremgår af ovenstående vil selv et "worst case" udslip næppe betyde konsekvenser for anvendelsen af området, herunder også den rekreative anvendelse af Roskilde Fjord. HUR vurderer således at dekommissioneringen ikke vil generere miljøafledte socioøkonomiske effekter.

### 7.8 Andre påvirkninger

Dekommissioneringen forventes som nævnt ikke at påvirke befolkning og Roskilde Fjord. Med hensyn til flora og fauna på Risøhalvøen vurderer HUR, at de skrappe sikker-

hedsmæssige foranstaltninger, der er forbundet med projektet betyder at områdets naturforhold ikke vil påvirkes væsentligt.

Den entreprænørmæssige del af nedbrydningen må forventes at generere støj i de perioder arbejdet pågår. Det forventes ikke at omkringboende vil blive generet af dette arbejde.

I forbindelse med de bygninger, som skal opføres som en del af projektet vil disse naturligvis ændre det visuelle indtryk af området. De nye bygningsmasser i relation til områdets størrelse, tilstedeværelsen af andre bygninger, samt den vegetation der er i området vil imidlertid udviske dette indtryk, således at påvirkningen bliver marginal. Når -og hvis - de karakteristiske reaktorbygninger forsvinder vil et stykke kulturhistorie forsvinde. Som nævnt senere - under alternativer - har der været ønsker fremme om at etablere et nukleart museum i en af de tiloversblevne reaktorbygninger. Dette "alternativ" til at nedbryde bygningerne helt, er ikke en del af denne VVM-redegørelse, men hvis en bygning bliver stående sikres en monument fra en tid hvor atomenergi/forskning stadig var et element af Danmarks energipolitik.

Selvom Risøområdet efter oprydningen af de nukleare anlæg kan frigives til andre formål, er det ikke ensbetydende med ændret adgang for offentligheden. I dag er der ikke offentlig adgang, og så længe dekommissioneringen pågår vil der naturligvis være restriktioner for adgang til området. Da Risø efter dekommissioneringen fortsat vil være et forskningscenter, kan det forventes at der stadig vil være restriktioner overfor adgangen til området.

### 7.9 Vurdering

Som det fremgår af ovenstående vurderer HUR, at dekommissioneringsprojektet ikke vil påvirke miljøet væsentligt. Efter HURs opfattelse vil de sikkerhedsmæssige foranstaltninger, der sikres af tilsynsmyndighederne - betyde at projektet kan gennemføres uden konsekvenser for både personale, befolkning og miljøet i øvrigt.

### 7.10 Mangler ved oplysninger og vurderinger

HUR vurderer umiddelbart ikke at der mangler oplysninger om projektet, som gør at det ikke er muligt at se projektet i sin helhed, og vurdere hvilke konsekvenser projektet vil få. Det havde været ønskeligt at kende de rammer for dekommissioneringen, som folketinget forventes at beslutte i efteråret 2002. Dermed ville bl.a. tidsperspektivet for opgaven være mere konkret, og projektet ville være nemmere at forholde sig til.

## 8. Uhedsberedskaber

Der opretholdes et internt uhedsberedskab, der kan imødegå strålings- og radioaktivitetsheld på de nukleare anlæg og på laboratorier, der arbejder med radioaktive stoffer. Hvis uheldet har konsekvenser uden for Risøområdet, vil det landsdækkende atomberedskab under Beredskabsstyrelsen blive aktiveret.

### 8.1 Generelt beredskab på de nukleare anlæg

Der opretholdes et generelt uhedsberedskab for uheld på de nukleare anlæg bestående af vagthavende ingeniør, teknisk vagt og operationelle beredskabsenheder.

#### Vagthavende ingeniør

Vagthavende ingeniør (VI) er en systemsagkyndig ingeniør med et dybtgående kendskab til de tekniske installationer på de nukleare anlæg. I uheldssituationer varetager den vagthavende ingeniør ledelsen af uhedsbekæmpelsen. VI befinder sig på Risøområdet i arbejdstiden og er på tilkald uden for arbejdstiden.

#### Teknisk vagt

Teknisk vagt (TVA) er på 3-holds døgnvagt på DR 3 og bemander vagtlokalet med overvågningsinstrumentering. Her overvåges anlæggenes tilstand på computer, og der foretages rundringer på området. TVA har indgående kendskab til anlæggenes systemer og kan derfor foretage prompte indgreb i unormale situationer. TVA er specielt uddannet til at modtage og kommunikere med eksterne redningsberedskaber i tilfælde af brand mv.

#### Operationelle beredskabsenheder

Det tekniske og administrative personale er uddannet til at deltage i uhedsbekæmpelse inden for arbejdstid. Dette personale vil i en

uheldssituation blive formeret i følgende grupper:

- opklaringsgruppe
- teknikergruppe
- førstehjælpsgruppe
- assistancegruppe

### 8.2 Det interne helsefysiske beredskab

Så længe der er behov for det, opretholdes et internt helsefysisk beredskab, herunder de to vagtordninger Vagthavende helsefysiker og Vagthavende helseassistent samt personale og udstyr for en række operationelle beredskabsenheder. Nogle af enhederne indgår i beredskabet i kraft af, at deres daglige arbejde er det samme, som skal udføres i en uheldssituation. Beredskabet samarbejder med og rådgiver eksterne beredskaber, der alarmeres ved uheld, f.eks. Roskilde Brandvæsen.

#### Vagthavende helsefysiker

Der opretholdes en vagtordning, som sikrer, at der altid kan mobiliseres en helsefysiker (VHF). Vagthavende helsefysiker har omfattende grundviden om helsefysik og er fortløbig med helsefysiske målinger og vurderinger. Vagthavende helsefysiker kender Risøs nukleare anlægs hovedindretning og funktion og har et godt kendskab til de nukleare anlægs driftsfunktioner samt til den øvrige beredskabsorganisation og dennes funktioner. Inden for arbejdstiden er mobiliseringstiden 5 minutter, og uden for arbejdstiden er den højst 45 minutter. VHF råder over en vagtbil med radio. Personalet i vagtordningen omfatter syv akademiske medarbejdere.

#### Vagthavende helseassistent

Vagthavende helseassistent (VHA) er på 3-holds døgnvagt på DR 3. Uden for Risøs åbningstid (kl. 16 - 08)

skal VHA deltage i uhedsbekæmpelse på de nukleare anlæg. VHA har fra sit daglige arbejde erfaring i at udføre helsefysiske målinger og vurderinger. VHA kender alle de nukleare anlægs hovedindretning og funktion og har gennemgået et kompetencegivende kursus i førstehjælp. Personalet i vagtordningen omfatter seks helseassistenter.

#### Operationelle beredskabsenheder

Det helsefysiske beredskabs operationelle enheder løser i forbindelse med uhedsbekæmpelsen en række opgaver, som omfatter:

- indsamling af omegnsprøver og målinger i omegnen
- analyser af indsamlede omegnsprøver
- personkontrol og -dekontaminering
- vurdering af måle- og analyseresultater
- persondosimetri
- dosisberegninger fra udslip af radioaktive stoffer til omgivelserne

Personalet i de operationelle beredskabsenheder er opført på tilkaldelister.

### 8.3 Det landsdækkende atomberedskab

Det landsdækkende atomberedskab hører under Indenrigs- og Sundhedsministeriet og varetages af Beredskabsstyrelsen, der har udarbejdet en beredskabsplan for det landsdækkende atomberedskab. Planen fastlægger beredskabsorganisationen samt de foranstaltninger, som skal kunne iværksættes for at beskytte befolkningen i tilfælde af et nukleart eller radiologisk uheld, hvor befolkningen kan blive udsat for stråling fra radioaktive stoffer. Risø og DD indgår i dette beredskab, både i beredskabsledelsen og i de operationelle beredskaber.

senheder. I beredskabsplanen, der også omfatter uheld på Risøs nukleare anlæg, er der krav om, at Risø skal kunne varetage følgende opgaver:

- udsende specialmålehold og rapportere deres måleresultater,
- indsamle og udmåle udlagte dosimetre,
- indsamle og måle radiologiske prøver (inkl. filtre),
- foretage sprednings- og konsekvensberegninger,
- foretage vurdering af de radioøkologiske prøver, der er indsamlet af Risø selv og/eller andre institutioner, og
- udføre andre med beredskabsledelsen aftalte opgaver.

Det forventes, at Risø i beredskabs-situationer deltager i tilrettelæggelse og gennemførelse af måleprogrammer og kontrolmålinger vedrørende radioaktiv forurening, og at Risø opretholder sin betydelige målekapacitet til analyse af radioaktivitet i miljø- og levnedsmiddelprøver mv., herunder muligheden for at udsende et antal mobile målehold til gennemførelse af specialmålinger.

## 9. Anvendelse af Risøs arealer

Risøområdet huser foruden Forskningscenter Risø også andre institutioner og virksomheder, der udfører teknisk-naturvidenskabelig forskning. Når de nukleare anlæg er blevet dekommissioneret og arealer og bygninger er blevet rengjort med status som "green field", vil disse blive frigivet til andet formål. Frigivelsen vil først finde sted, når de nukleare tilsynsmyndigheder har givet tilladelse hertil.

### 9.1 Aktiviteter på Risøområdet indtil i dag

Risø blev oprettet som atomforsøgsstation og indrettet med nukleare anlæg, forskningslaboratorier, kontorer, forsyninger og faciliteter til behandling af affald og spildevand. Forskningen på Risø har omfattet brug af de nukleare anlæg og anden naturvidenskabelig forskning ved brug af andre forskningsfaciliteter og større forsøgsanlæg, bl.a. vindmøller og forsøgsmarker. Efter beslutningen om ikke at anvende atomkraft i Danmark har Risøs forskning gradvist bevæget sig mod andre forskningsområder end det nukleare.

Risøområdet huser i dag en række forsknings- og driftsafdelinger, inklusive afdelingen for dekommissionering af nukleare anlæg, Risø Dekommissionering (RD), Danmarks Miljø Undersøgelser (DMU) og en række mindre virksomheder. Risøs arealer og bygninger anvendes generelt til forskningsformål samt til drift og dekommissionering af de nukleare anlæg. DMUs bygninger og arealer anvendes til forskning beslægtet med Risøs forskning. De øvrige virksomheder på Risøområdet anvender bygninger og arealer til forskning og udvikling inden for områder beslægtet med Risøs forskning eller til driftsmæssig anvendelse af andre faciliteter på området. Risøs arealer inden for og uden for hegn benyttes

som forsøgsmarker, til almindelige landbrugsafgrøder og til kvæghold, eller henligger med græs- og naturlig vegetation.

### 9.2 Aktiviteter på Risøområdet under og efter dekommissioneringen

Risø, DMU og de øvrige virksomheder på Risøområdet vil forsætte deres aktiviteter på de nuværende arealer og bygninger samtidig med driften og dekommissioneringen af de nukleare anlæg. Efterhånden som bygninger og arealer på de nukleare anlæg bliver rengjort til "green field", kan de frigives til andre formål efter myndighedernes godkendelse. Hvis nye forskningsinstitutioner vil flytte ind på Risøområdet, skal institutionernes medarbejdere informeres om dekommissioneringen af de nukleare anlæg og betydningen heraf for medarbejdernes sikkerhed.

Ifølge Risøs egen rammeplan fra 1995 for udbygning af området er der i et 15 års perspektiv planlagt en primær bygningsudvidelse på 20.000 m<sup>2</sup> i tilknytning til de eksisterende bygninger og desuden nye bygninger på i alt 26.000 m<sup>2</sup>, alle i 1 - 2 etager. Udbygningerne er planlagt til at omfatte laboratorier og kontorer og forventes anvendt til forskning svarende til Risøs nuværende aktiviteter. Risøs bygninger omfatter pt. ca. 80.000 m<sup>2</sup>. Ifølge rammeplanen for udbygning kan der over et 15 års perspektiv ske en udvidelse af personalet med maksimalt 900 personer. Der foreligger dog ikke konkrete planer om væsentlige udvidelser af personalet på Risø.

Behandlingsstationen for radioaktivt affald varetager behandling af radioaktivt affald fra Risø og fra andre brugere af radioaktive stoffer i Danmark. Behandlingsstationen vil væ-

re i drift på Risøområdet i en længere periode fremover i forbindelse med nedlæggelsen af de øvrige nukleare anlæg på Risøområdet. En udvidelse af lagerkapaciteten med et nyt mellemlager til lav- og mellem affald vil i den forbindelse blive nødvendigt. Behandlingsstationen kan herefter nedlægges som det sidste af de nukleare anlæg på Risøområdet. Virksomheden skal da eventuelt overføres til et andet sted i Danmark til behandling af det radioaktive affald, der fortsat vil komme fra brugen af radioaktive stoffer i Danmark (industri, hospitaler, laboratorier mv.).

Området er i dag reguleret af Partiel Byplan nr. 45 fra 1977. Byplanvedtægten udlægger området til offentlige formål, og inddeler området i zoner til de forskellige formål; forsøgsanlæg, funktionærboliger og ubebyggede områder til helsefysiske måleposter, forsøgslandbrug mv. udvidelse af mellemlageret er således i overensstemmelse med byplanvedtægten.



Dekommissioneringen af Risøs nukleare anlæg har til formål at fjerne alle bygninger og alt udstyr, som ikke kan dekontamineres til et niveau, således at områderne kan opnå status som "green field". 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. Alternativerne til en nedbrydning af de nukleare anlæg til "green field" omfatter bl.a. at "gøre ingenting" (nulløsning), at indrette museums-virksomhed i et eller flere af de nukleare anlæg, at fortsætte eller opbygge ny nuklear virksomhed, eller at indrette nye nukleare forskningsinstitutioner på Risøområdet. Disse alternativer er kort gennemgået i det efterfølgende.

### 10.1 Nul-alternativet (anlægget henstår uberørt i "uendelig" lang tid)

Et nul-alternativ i bogstaveligste forstand er ikke et realistisk alternativ. Reaktorerne er lukket ned, og af sikkerhedsmæssige årsager kan anlæggene ikke stå uberørte hen. Konsekvenserne ved at lade anlæggene stå uberørte, vil være frigivelse af radioaktiv forurening som følge af tidens nedbrydning af bygninger, afskærmninger mv. HUR har ikke undersøgt de nærmere konsekvenser ved at lade anlæggene stå, da scenariet ikke er en realistisk mulighed.

I forhold til en dekommissionering af et nukleart anlæg kunne alternativerne omfatte i det mindste tre varianter, nemlig (1) at udskyde nedbrydningen i en meget lang årrække for at få reduceret indholdet af radioaktive stoffer i anlægget, (2) at ind-

kapsle anlægget så det isoleres fra biosfæren, og (3) at lade anlægget stå uberørt i evig tid – nul-alternativet. Et nukleart anlæg der er bragt i fase 2 vil dog fortsat skulle overvåges og vedligeholdes i en meget lang periode for at undgå nedbrydning og heraf følgende udslip af langlivede radioaktive stoffer til omgivelserne. På langt sigt vil denne løsning blive dyrere end en umiddelbar nedbrydning. Derfor kan henstand af et nukleart anlæg med indhold af meget langlivede radioaktive stoffer i uendelig lang tid ikke anvendes i praksis.

### 10.2 Udskydelse af dekommissioneringen

Et alternativ til en umiddelbar nedbrydning af de nukleare anlæg er at bringe anlæggene til den såkaldte fase 1 eller fase 2, hvor der foretages en 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 også alt brugt brændsel fjernes fra anlægget. Herefter forsegles anlægget med henblik på en nedbrydning på et senere tidspunkt, der ofte kan ligge mange årtier ude i fremtiden for at drage fordel af reduktionen af de radioaktive stoffer på grund af radioaktivt henfald ("køletid").

Konsekvenserne af en sådan udskydelse af nedbrydningen i forhold til et kort nedbrydningsscenario kan få betydning hvad angår eventuelle forskelle i

- påvirkning af arbejdsmiljøet,
- påvirkning af omgivelsesmiljøet og
- mængden af radioaktivt affald.

#### Arbejdsmiljømæssige påvirkninger

De indre konstruktionsdele i reaktor DR 3 har igennem 40 års drift været udsat for en intens bestråling med neutroner. Som følge heraf er disse dele blevet stærkt radioaktive, og de kan ikke skæres i mindre stykker i fri luft på grund af en meget høj strålingsintensitet, men skal skæres i mindre dele med fjernbetjent udstyr, så de mindre dele kan placeres i affaldsbeholdere uden at give personalet for store strålingsdoser, men også for at der ikke bliver for høje strålingsniveauer uden på de enkelte affaldscontainere. Fjernelsen af den indre forurening i de mest forurenede betonceller på Hot Cell anlægget kræver også anvendelse af fjernbetjent udstyr og brug af åndedrætsværn ("frømandsudstyr").

Fjernbetjent udstyr omfatter f.eks. et skærebassin med vand i en dybde på 5 - 6 meter. Vand yder en god afskærmning mod gammastråling og muliggør ved sin gennemsigtighed, at skærende operationer kan udføres under flere meter vand. I et sådant bassin kan stærkt radioaktive konstruktionsdele derfor skæres i mindre stykker ved hjælp af specialfremstillet undervandsværktøj. De ituskårne dele pakkes i drænbare metalkurve, der passer ned i standardaffaldsbeholderne. Ved stærkt radioaktive dele benyttes mindre kurve, der anbringes midt i beholderne, så der er plads til ekstra afskærmning. Robotudstyr til fjernbetjent sandblæsning (eller anden overfladebehandling) af de indre overflader i betoncellerne og efterfølgende opsamling ("støvsugning") af de radioaktive stoffer er et andet eksempel på fjernbetjent udstyr. Endelig er blyafskærmede containere ("flasker"), der er fremstillet specielt til at kunne udtage, rumme og aflevere stærkt radioaktive konstruktionsdele til videre bearbejdning et eksempel på fjernbetjent udstyr.

## 10. Alternativer til dekommissionering

Nedbrydningen af de nukleare anlæg på Risø kan udsætte det involverede personale for strålingsdoser. Nogle anlæg indeholder meget radioaktivitet med en lang halveringstid, og størrelsen af den potentielle eksponering af personalet bliver derfor ikke mindre inden for en 50 års periode. Fjernbetjent nedbrydning vil således være nødvendig i denne periode for de mest radioaktive komponenter i disse anlæg. Fjernbetjent nedbrydning er også nødvendig for de anlæg, hvor der sker en reduktion af radioaktiviteten efter nogle årtiers henfald, fordi der fortsat vil være meget høje strålingsniveauer ved de mest radioaktive dele af anlægget. Nedbrydningen af reaktorerne DR 1 og DR 2 kræver ikke brug af fjernbetjent udstyr. Overførslen af tromlerne fra lagerhallen for lav affald til standardbeholdere kræver heller ikke brug af fjernbetjent udstyr, hvorimod nogle af affaldsenhederne fra Centralvejslageret kræver fjernbetjent håndtering ved overførsel til standardbeholdere. Der er kun marginal forskel på strålingsudsættelsen af personalet ved en umiddelbar eller en udsat nedbrydning, fordi fjernbetjent nedbrydning er nødvendig i begge tilfælde.

### Omegnsmiljømæssige påvirkninger

Risøs nukleare anlæg har i løbet af deres driftsperiode på omkring 40 år kun haft en marginal påvirkning af omegnsmiljøet som følge af forholdsvis små udslip af radioaktive stoffer til omgivelserne. I forbindelse med nedbrydningen af de nukleare anlæg er der mulighed for, at mindre mængder af de radioaktive stoffer i anlæggenes konstruktionsdele kan undslippe til omegnsmiljøet, både som følge af de daglige arbejdsoperationer og som følge af

unormale hændelser eller egentlige uheld.

Når de nukleare anlæg skal nedbrydes, skal planlægningen heraf omfatte strålingsbeskyttelse af befolkningen fra eventuelle udslip. Det betyder, at der skal fastlægges foranstaltninger til at begrænse eventuelle udslip, også selv om disse er mindre end de af myndighederne fastsatte udslipsgrænser, og der skal løbende monitoreres for eventuelle udslip.

Der kan forekomme udslip af radioaktive stoffer til omgivelserne under nedbrydningen af de nukleare anlæg, både i form af drifts- og uhelds-udslip. Størrelsen af de potentielle doser til den nærmestboende befolkning er størst ved udslip fra de anlæg, der indeholder langlivede transuraner. På en absolut skala udgør de potentielle årlige driftsdoser til denne befolkningsgruppe en lille brøkdel af den årlige dosis, alle danskere modtager fra den naturligt forekommende baggrundsstråling. De potentielle uheldsdoser kan blive af samme størrelsesorden eller nogle få gange den dosis, alle danskere modtager fra den naturligt forekommende baggrundsstråling. Der er dog ingen forskel på de potentielle befolkningsdoser fra drifts- og uhelds-udslip ved en umiddelbar eller en udsat nedbrydning, fordi langlivede radioaktive stoffer dominerer dosisbilledet.

### Mængder af radioaktivt affald

En udskydelse af dekommissioneringen vil betyde, at radioaktivitetsindholdet i det radioaktive affald vil blive mindre som følge af radioaktivt henfald. Det betyder imidlertid ikke nødvendigvis, at behovet for lagerplads bliver mindre. Grunden hertil er, at affaldet fortsat er radioaktivt,

selv om koncentrationen er blevet reduceret som følge af henfald.

I det frembragte affald fra dekommissioneringen af de nukleare anlæg findes hovedparten af radioaktive stoffer normalt i en mindre del af affaldet, mens den største mængde består af lavradioaktivt eller helt inaktivt materiale. Dette forhold vil ikke ændre sig væsentligt ved at udskyde dekommissioneringen, blot bliver koncentrationen af de radioaktive stoffer lavere i stort set den samme mængde affald. Mængden af radioaktivt affald ændres derfor ikke ved en udskudt dekommissionering over nogle årtier, fordi der fortsat vil være for meget aktivitet i materialerne til, at de kan betragtes som ikke-radioaktive.

### 10.3 Indkapsling af anlægget ("entombment")

Hvis et nukleart anlæg f.eks. fyldes ud med og overstøbes med beton, bringes anlægget i en tilstand der er i første omgang er risikofri at omgås. Samtidig ophører muligheden i princippet for på et senere tidspunkt at foretage en dekommissionering. Metoden, der principielt er irreversibel, medfører således, at anlægget omdannes til et overfladenært slutdepot for lav- og mellemradioaktivt affald på stedet. 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.

### Arbejdsmiljømæssige påvirkninger

Hvis de nukleare anlæg skulle indkapsles i beton, ville det være hensigtsmæssigt til hvert anlæg at overføre så meget af det radioaktive affald fra Risøs mellemlagre, som der

er plads til, da anlæggene alligevel ville blive omdannet til slutdepoter for radioaktivt affald. Denne overførsel ville medføre en større dosisbelastning af personalet end ved en overførsel til et "rigtigt" slutdepot, hvor indholdet fra mellemlagrene først skulle overføres til afskærmede standardbeholdere, inden de skulle transporteres til slutdepotet. Alternativt kunne også mellemlagrene indkapsles i beton, men det ville til gengæld øge antallet af "slutdepoter" på Risøområdet.

### **Omegnsmiljømæssige påvirkninger**

Indkapsling af Risø-anlæggene vil resultere i et antal overfladenære slutdepoter på Risøområdet. Da langlivede transuraner næppe kan accepteres, kan indkapsling ikke bruges til Hot Cell affald. Hvis et indkapslet anlæg i tidens løb nedbrydes, er der risiko for spredning af langlivede radioaktive stoffer til grundvandet. Også hvis vandstanden i fjorden stiger, kan de indkapslede anlæg efterhånden blive oversvømmet, hvorved langlivede radioaktive stoffer i en lang tidsperiode kan blive spredt i Roskilde Fjord. En slutdeponering på stedet i form af betonindkapslede anlæg ligger ikke inden for rammerne af denne VVM-reddegørelse, og vil som nævnt kræve en særskilt miljøkonsekvensvurdering.

### **Mængder af radioaktivt affald**

En indkapsling af anlæggene ville medføre at de herved dannede slutdepoter ville fylde meget mere end ellers nødvendigt, fordi de vil rumme væsentlige mængder ikke-radioaktive konstruktionsmaterialer som eksempelvis betonafskærmningen omkring reaktor DR 3 og omkring betoncellerne på Hot Cell anlægget.

### **Erfaringer fra 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. Endvidere er der foretaget indkapsling af to militære reaktorer i Estland samt den uheldsramte reaktor nr. 4 på Tjernobyk-kernekræfteret i Ukraine.

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). 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 udgå uacceptable strålingsdoser til befolkningen [10, 11].

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 affaldslagre. 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 oplagingsfaciliteter for lavradioaktivt affald.

Man har i USA vurderet realistiske indkapslingsscenarier 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 lavradioaktivt 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 radioaktivitetsfrigørelse 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 amerikanske affaldslagre. 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 [10, 11].

### **10.4 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. Risøs formål er imidlertid at udføre naturvidenskabelig forskning, og ikke at drive museumsvirksomhed. Først efter en dekommissionering til "green field" kunne de nogle af de rengjorte bygninger og anlæg eventuelt indrettes som museum. Selv om dette 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/viden-

## 10. Alternativer til dekommissionering

skabelig 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 Risøhalvøen 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 bevaringsværdige. Viden om eksempelvis radioøkologiske måleserier, der illustrerer virkninger af de atmosfæriske prøvesprængninger af kernevåben, Tjernobyl-ulykken, B-52 bombeflyets havari med kernevåben om bord ved Thule mv. er historisk relevant og kunne sammen med meget andet indgå i en udstillings-/museumsvirksomhed.

Selv om en eller flere af Risøs nukleare installationer måske kunne indgå i et "nukleart museum", skal det understreges, at de først skal rengøres til "green field" niveau, før et egentligt museum kan indrettes. 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 så simpel og overskuelig i opbygning, og fordi den kun indeholder beskedne mængder radioaktivitet. Indretning af en rengjort DR 2 med en dekontamineret og gennemskåret reaktorblok, hvor man kan se en tro kopi af brændselselementerne placeret i en attrap af reaktortanken (med simulering af det karakteristiske blå Cerenkov lys), forsøgsopstillinger, bestrålingsfaciliteter, kølekredsløb m.m. ville være en mulighed. Demonstrationsopstillinger til måling af strå-

ling og radioaktivitet kunne også indgå i et sådant museum.

DR 3 er den mindst velegnede af de tre reaktorer til indretning 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 mængder radioaktivitet, bl.a. tritium i form af tritieret vand, der ved fordampning i lang tid fremover ville kunne eksponere de besøgende. Der skal derfor udføres en omfattende oprensning, før der måske kan indrettes museum i DR 3. Fjernelsen af alle de radioaktive materialer i DR 3 vil endvidere betyde en gennemgribende nedbrydning af reaktorblokken mv., hvorefter der ikke er meget tilbage af den oprindelige reaktorkonstruktion.

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, 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 mv., hvorefter der ikke er meget tilbage af den oprindelige reaktorkonstruktion.

Hvis der indrettes offentlig museumsvirksomhed på Risøområdet, skal de adgangsmæssige forhold i forbindelse hermed vurderes nøje. Risøområdet vil fortsat huse et nukleart anlæg i drift, nemlig Behand-

lingsstationen 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 dekommissionering. Hele filosofien for adgang til Risøområdet skal derfor revideres, hvis der indrettes et museum med offentlig adgang.

### 10.5 Sammenfatning og vurdering

Efter HURs vurdering er der ingen indlysende alternativer til dekommissionering af Risøs nukleare anlæg. Der er ingen miljømæssige fordele ved at udskyde dekommissioneringen af de nukleare anlæg på Risø, hverken hvad angår arbejds- og omegnsmiljømæssige forhold eller hvad angår affaldsmæssige forhold, og in situ indkapsling af de nukleare anlæg som et de facto slutdepot kan næppe retfærdiggøres på grund anlæggenes beliggenhed. 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 ikke udelukkes. Grundvandsspejlet på Risøområdet 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. Som nævnt rummer dette regionplantillæg og VVM-rede-

gørelse ikke mulighed for at etablere et slutdepot på stedet.

Set fra et samfundsmæssigt og et miljømæssigt synspunkt vil det i øvrigt ikke være hensigtsmæssigt at lade de nukleare anlæg henstå i en lang årrække, før man påbegynder en nedrivning. Udskudt nedrivning vil blive dyrere, jo længere man venter, fordi der i ventetiden fortsat skal anvendes ressourcer til overvågning af anlæggene, og fordi selve nedrivningen ikke vil blive billigere ved en udskydelse. Også andre forhold taler for at afstå fra en lang henfaldstid men i stedet foretage en relativt hurtig dekommissionering over 15 - 20 år. Således vil det være muligt at udnytte eksisterende viden og uddannet personale, hvis man starter dekommissioneringen kort tid efter lukningen af de nukleare anlæg og gennemfører hele processen fortløbende.

I forbindelse med at indrette dele af Risø til museum, er det HURs vurdering, at dette ikke er et alternativ til dekommissioneringen. Når området har opnået "green field" status er det efter HUR vurdering ikke utænkeligt at anvendelsen af området kan ændres til besøgscenter, museum eller lignende. Problematikken ligger imidlertid uden for dekommissioneringsopgaven, og dermed HURs rolle som VVM-myndighed.



## Individoser fra væskeformige udslip af radioaktive stoffer til Roskilde Fjord

Akvatisk spredning af radioaktive stoffer, der frigøres til Roskilde Fjord kan beregnes ved hjælp af en compartment model som vist på figur A.1.

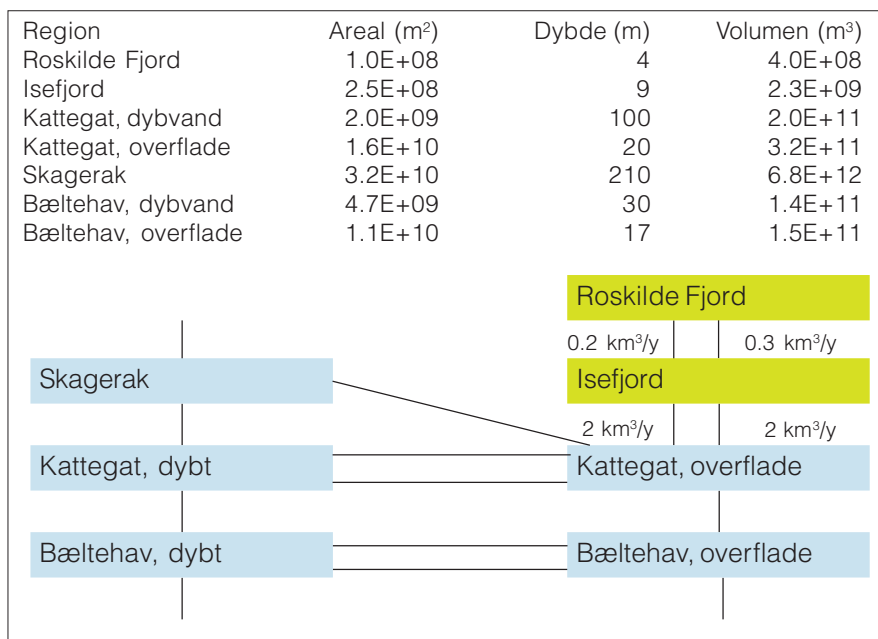
En radioaktivitetsfrigørelse til Roskilde Fjord vil medføre en forurening af de forskellige farvande, og de største koncentrationer forekommer i Roskilde Fjord og i Isefjorden. Koncentrationen i de forskellige farvande kan beregnes for både enkeltudslip og kontinuerlige udslip. Figur A.2 viser de beregnede koncentrationer for enkeltudslip af tritium på 1 TBq.

Et *enkeltudslip* af tritium på 1 TBq til Roskilde Fjord vil medføre følgende *maksimal* gennemsnitskoncentration,  $C_{max}$  i fjordvandet (ved Risø) og i overfladevandet i Kattegat:

- Roskilde Fjord:  
 $C_{max} = 2.000 \text{ Bq/m}^3$   
(middelopholdstid  $\approx 1,3$  år)
- Kattegat, overfladevand:  
 $C_{max} = 0.1 \text{ Bq/m}^3$   
(middelopholdstid  $\approx 1,3$  år)

Den beregnede tritiumkoncentration i Roskilde Fjord fra et stort enkeltudslip (ca. 30 TBq) er sammenlignet med de målte koncentrationer i fjorden som vist på figur A.2. Det fremgår af figuren, at der er god overensstemmelse mellem de målte og de beregnede værdier, men at den observerede middelopholdstid i fjorden er en smule mindre end den beregnede værdi.

Koncentrationen af tritium fra et kontinuerligt udslip af tritium til fjorden er bestemt på grundlag af de beregnede værdier fra et korttidsudslip, og disse resultater er vist på fi-



Figur A.1 Compartment model af Roskilde Fjord og de omgivende farvande.

gur A.3 for Roskilde Fjord og Kattegat overfladevand.

Et *kontinuerligt* udslip af tritium på 1 TBq/år til Roskilde Fjord vil resultere i følgende *ligevægtskoncentration*,  $C_{ligevægt}$  i Roskilde Fjord og i Kattegat overfladevand:

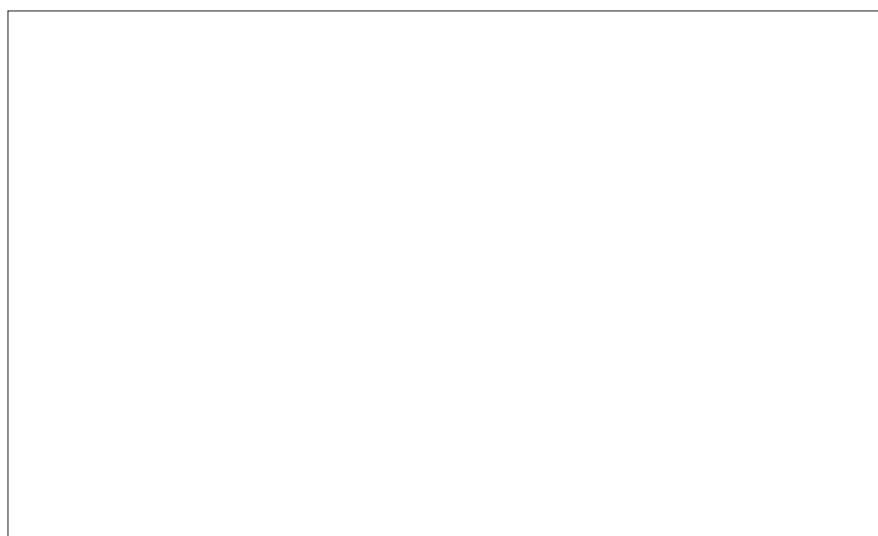
- Roskilde Fjord:  
 $C_{ligevægt} = 3.000 \text{ Bq/m}^3$

- Kattegat overfladevand:

$$C_{ligevægt} = 0,4 \text{ Bq/m}^3$$

Individoser fra spisning af fisk, der har optaget radioaktivitet fra kontamineret vand, kan beregnes på grundlag af radioaktivitetskoncentrationen i vandet, fiskeforbrugsraten,  $V_{fisk}$  og transferfaktoren for den betragtede radionuklid fra vand til fisk,  $TF_{vand-fisk}$ :

$$\dot{E}(50) = C \cdot TF_{vand-fisk} \cdot V_{fisk} \cdot e(50)$$



Figur A.2 Beregnede koncentrationer af tritium i danske farvande efter et udslip af 1 TBq tritium til Roskilde Fjord samt observerede koncentrationer i Roskilde Fjord.



Transferfaktoren fra vand til fisk er for tritium 1 Bq/kg pr. Bq/l. De årlige individdoser fra et årligt fiskeforbrug på 25 kg/år og et tænkt dagligt væskeforbrug på 2,2 liter fra Roskilde Fjord for den kritiske gruppe er beregnet til følgende værdier ved de angivne ligevægtskoncentrationer:

- kritisk gruppe (fisk fra Roskilde Fjord):  
0.0014  $\mu\text{Sv/y}$  pr. TBq/y
- kritisk gruppe (dagligt væskeindtag på 2.2 liter):  
0.04  $\mu\text{Sv/y}$  pr. TBq/y

Modellen er også anvendt på udslip af cæsium til Roskilde Fjord uden at tage hensyn til adsorption af cæsium i fjordens bundsedynter, hvilket vil give overvurderede koncentrationer af cæsium i vand. Et kontinuerligt udslip af  $^{137}\text{Cs}$  på 1 GBq/år til fjorden vil resultere i følgende ligevægtskoncentrationer i Roskilde Fjord og i Kattegat:

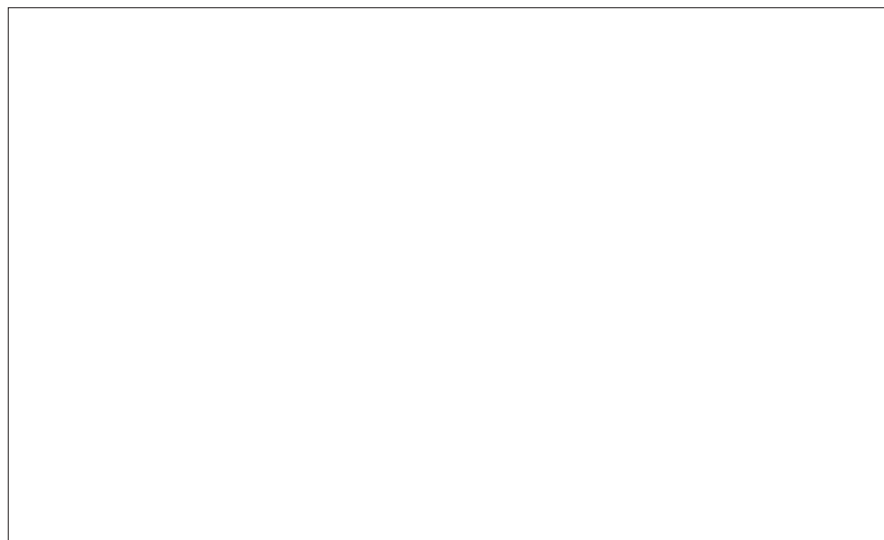
- Roskilde Fjord:  
 $C_{\text{ligevægt}} = 3 \text{ Bq/m}^3$
- Kattegat overfladevand:  
 $C_{\text{ligevægt}} = 0,0004 \text{ Bq/m}^3$

Transferfaktoren fra vand til fisk er for cæsium 100 Bq/kg pr. Bq/l. De årlige individdoser fra et årligt fiskeforbrug på 25 kg/år for den kritiske gruppe er beregnet til følgende værdier ved de angivne ligevægtskoncentrationer:

- kritisk gruppe (fisk fra Roskilde Fjord):  
0,1  $\mu\text{Sv/y}$  pr. GBq/y

Radionuklid	Individosis ( $\mu\text{Sv/år}$ pr. GBq/år)
Tritieret vand (væskeindtag)	0,00004
$^{137}\text{Cs}$ (væskeindtag)	0,03
$^{137}\text{Cs}$ (fiskeindtag)	0,1

**Tabel A.1 Dosis til personer, der dækker deres daglige væskeindtag fra Roskilde Fjord og spiser 25 kg fisk pr. år fra fjorden**



**Figur A.3. Beregnede koncentrationer i Roskilde Fjord og Kattegat overfladevand efter et kontinuerligt udslip af tritium til Roskilde Fjord på 1 TBq/år.**

- kritisk gruppe (dagligt væskeindtag):  
0,03  $\mu\text{Sv/y}$  pr. GBq/y

Tabel A.1 viser individdoser pr. enhedsudslip til Roskilde Fjord af  $^{137}\text{Cs}$  og tritium. Den anvendte værdi af den committede effektive dosis pr. enhedsindtag for tritium og cæsium,  $e(50)$ , er henholdsvis  $1,8 \times 10^{-11} \text{ Sv/Bq}$  og  $1,3 \times 10^{-8} \text{ Sv/Bq}$ .

## Aktivitet

Mængden af radioaktivt materiale beskrives ved dets aktivitet. Aktiviteten (aktivitetsmængden) af en radioaktiv isotop defineres som det antal atomer i materialet, der spontant omdannes (henfalder) pr. tidsenhed. Enheden for aktivitet er becquerel (Bq), der defineres som:

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ atomkerneomdannelse pr. sekund}$$

I en stofmængde, der indeholder 1.000 Bq, omdannes 1.000 radioaktive atomer pr. sekund, og i en stofmængde, der indeholder 1/100 Bq, omdannes 1 radioaktivt atom for hver 100 sekunder. Mennesket indeholder omkring 10.000 Bq, hovedsageligt som beryllium-7, kulstof-14 og kalium-40. Radioaktive isotoper udsender stråling, når atomkernerne henfalder. Der er her tale om alfa-stråling fra henfald af tunge grundstoffer (uran, plutonium m.fl.) og beta-/gamma-stråling fra lettere grundstoffer som cobalt og cæsium. Hver dansker indeholder ca. 10.000 Bq af naturligt forekommende radioaktive isotoper (hovedsageligt kalium-40, kulstof-14 og beryllium-7).

## Dosisenhed

I denne redegørelse defineres en dosisenhed som:

$$1 \text{ dosisenhed} = 1 \text{ mikrosievert } (\mu\text{Sv})$$

## Dosisgrænser

Dosisgrænsen for erhvervsmæssigt beskæftigede med stråling og radioaktive stoffer (personale på røntgenafdelinger, ansatte på Risø, m.fl.) er 20.000 dosisenheder pr. år. Dosisgrænsen for befolkningen er fra udsættelse fra alle godkendte praksis er 1.000 dosisenheder pr. år. Dosisgrænserne er givet i Sundhedsstyrelsens bekendtgørelse nr. 823 af 31. oktober 1997 om grænser for ioniserende stråling.

## Nukleart anlæg

I et nukleart anlæg frembringes kernefysiske processer/arbejdes med spaltelige materialer. I herværende VVM-redegørelse omfatter begrebet nukleare anlæg kernereaktorer (fissions- og fusionsreaktorer), anlæg til oparbejdning af bestrålet brændsel, anlæg til fremstilling af brændselselementer til fissionsreaktorer samt anlæg til behandling af radioaktivt affald (med indhold af spaltelige materialer).

## Nukleare fissionsreaktorer

Nukleare reaktorer består af mange skaller uden på hinanden. I midten er reaktorkernen, hvor den nukleare fissionsproces (spaltningsproces) foregår. Ved fission (spaltning) af uran- og plutonium-atomkerner i det nukleare brændstof dannes der varme, neutroner, gamma-stråling og fissionsprodukter (spaltningsprodukter), der er affaldet fra processen. Neutronerne har en høj energi, når de frigives, men de nedbremses ved vekselvirkning med omgivelserne, f.eks. vand, tungt vand eller grafit. Efter nedbremningen indfanges neutronerne lettere i uran- og plutonium-atomkerner, hvor de medfører nye fissioner i den såkaldte kædeproces. Reaktoren styres ved hjælp af særlige kontrolstænger, så den kører med en stabil energiproduktion.

Uden om reaktorkernen er der skaller med forskellige opgaver, herunder køling og nedbremning af neutroner. Tykke beton- og blyafskærmninger omkring kernen sørger for, at den intense stråling fra processen ikke når ud til omgivelserne. Hovedparten af de dannede radioaktive stoffer fra neutronernes vekselvirkning forbliver indesluttet i brændslet. Selve reaktoren med

omgivende afskærmninger er normalt indesluttet i en reaktorindeslutning. Det er en halkonstruktion, der tilstrækkelig tæt til at kunne tilbageholde radioaktivt forurenede støv, gasser og damp, der kunne blive frigjort ved et uheld. Ved dekommissionering af fissionsreaktorer er brændslet i kernen det første, der fjernes. Herved sker der en væsentlig reduktion af i de potentielle muligheder for uheld.

## Slutdepot

Et opbevaringssted - i dette tilfælde for radioaktivt affald - hvor affaldet efterlades uden henblik på senere at skulle flyttes. For den type affald, der vil blive aktuelt i Danmark, kan depotet eventuelt udformes som et overfladenært depot. En anden mulig depottype er dyb geologisk deponering eksempelvis i salthorste, som blev undersøgt af de danske elværker i 1970'erne.

## Strålingsdoser og strålingsrisici

Strålingsdosis beskriver strålingens energiafsættelse i stof. Strålingsdosis til mennesker måles i enheden sievert (Sv), der defineres som:

$$1 \text{ Sv (1 million dosisenheder)} = 1 \text{ joule afsat pr. kg}$$

Hver dansker modtager hvert år 3.000 dosisenheder fra den naturligt forekommende baggrundsstråling, herunder radon i huse. Endvidere modtager danskerne i gennemsnit omkring 1.000 dosisenheder pr. år fra medicinsk bestråling.

## Strålingsskader

Strålingsskader omfatter (1) akutte skader og (2) senskader:

- (1) Akutte skader optræder først, når dosis til det bestrålede organ (evt. hele kroppen) overstiger en tærskeldosis. For helkropsbestråling er tærskeldosis for strålingssyge omkring 1 million dosisenheder givet inden for kort tid (akut dosis). For hudforbrænding er tærskeldosis omkring 3 millioner dosisenheder.
- (2) Risikoen på langt sigt for at udvikle en senskade i form af en kræftsygdom er afhængig af størrelsen af den modtagne dosis. For en helkropsdosis på 1.000 dosisenheder er risikoen blevet bestemt til omkring 0,005%, svarende til, at hvis 20.000 personer hver har modtaget 1.000 dosisenheder, vil man statistisk forvente et kræftdødsfald i gruppen i løbet af de følgende 10 - 30 år som konsekvens af denne bestråling.

## Tritium (<sup>3</sup>H)

Isotop af brint, hvis atomkerne indeholder en proton og to neutroner, hvori mod en almindelig brintkerne kun indeholder en proton. Tritium dannes ved neutronbestråling i vandet i en reaktor, specielt i reaktorer med tungt vand, som eksempelvis DR3.

## Tungt vand

Vand hvor det sædvanlige brintatom i molekylerne er erstattet af deuterium ("tungt brint" hvis kerne indeholder en proton og en neutron).

## Referencer

---

- [1] K. Lauridsen (editor), *Decommissioning of the nuclear facilities at Risø National Laboratory. Descriptions and cost assessment*. Risø-R-1250(EN) (2001).
  
- [2] K. Lauridsen, *Dekommissionering af Risøs nukleare anlæg - vurdering af opgaver og omkostninger*.  
  
Risø-R-1251(DA) (2001).
  
- [3] International Atomic Energy Agency, *Decommissioning of Nuclear Power Plants and Research Reactors*. IAEA Safety Guide No. WS-G-2.1, IAEA, Vienna (1999).
  
- [4] *Plads- og Omegnsbeskrivelse*. Udkast til sikkerhedsdokumentation for Dansk Dekommissionering.  
  
Kapitel 3 (2001).
  
- [5] *Virkninger af Udslip*. Udkast til sikkerhedsdokumentation for Dansk Dekommissionering. Kapitel 10 (2001).
  
- [6] P. Hedemann Jensen, *Analyser af uheld på Risøs nukleare anlæg og vurdering af Risøs uheldsberejdsaber*. Risø-I-1145(DA) (1997).
  
- [7] *Overvågning af Roskilde Fjord 1999*. Vandmiljøovervågning nr. 67. Roskilde Amt, Teknisk Forvaltning og Frederiksborg Amt, Teknik og Miljø (2000).
  
- [8] *Regulativ for Bygge- og Anlægsaffald*. Roskilde Kommune (1994).
  
- [9] *Teoretisk udredning af de tekniske krav til et dansk slutdepot for radioaktivt affald*. Dansk Dekommissionering, januar 2002.
  
- [10] *Information paper on the viability of entombment as a decommissioning option for power reactors*.  
  
SECY-99-1987, USNRC (1999).
  
- [11] R.I. Smith, *Entombment Experience in the U.S.* Appendix A of SECY-99-1987 (1999).
  
- [12] *The International Chernobyl Project*. Proceedings of an international conference of the International  
  
Chernobyl Project, Vienna, Austria 21 - 24 May 1991.
  
- [13] Proceedings of an *International Conference on One Decade After Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident*, Vienna, Austria 8 - 12 April, 1996.

- [14] I. Sewerin, *Helbredsmæssige konsekvenser af reaktorulykken i Tjernobyli*. Ugeskrift for Læger, Nr. 43, 5959 - 5962 (2001).
- [15] *Rapport vedr. reaktoruheld på det amerikanske atomkraftværk "Three Mile Island" ved Harrisburg, Pennsylvania*. Rapport fra udsendt dansk delegation under ledelse af Miljøstyrelsen med repræsentanter for Miljøstyrelsen, Tilsynet med Nukleare anlæg og Forsøgsanlæg Risø (1979).
- [16] *1900 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICRP Publication 60 (1991).
- [17] *International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*. IAEA Safety Series No. 115 (1996).
- [18] *Siting of Near Surface Disposal Facilities*. IAEA Safety Series No. 111-G-3.1 (1994).
- [19] *Recommended radiological protection criteria for the clearance of buildings and building rubble from the dismantling of nuclear installations*. European Commission, Radiation Protection 113 (2000).
- [20] *Practical Use of the Concepts of Clearance to Natural Radiation Sources*. European Commission, Radiation Protection 122 (2000).



**Hovedstadens  
Udviklingsråd**

Gammel Køge Landevej 3  
2500 Valby

Telefon 36 13 14 00  
[www.hur.dk](http://www.hur.dk)

