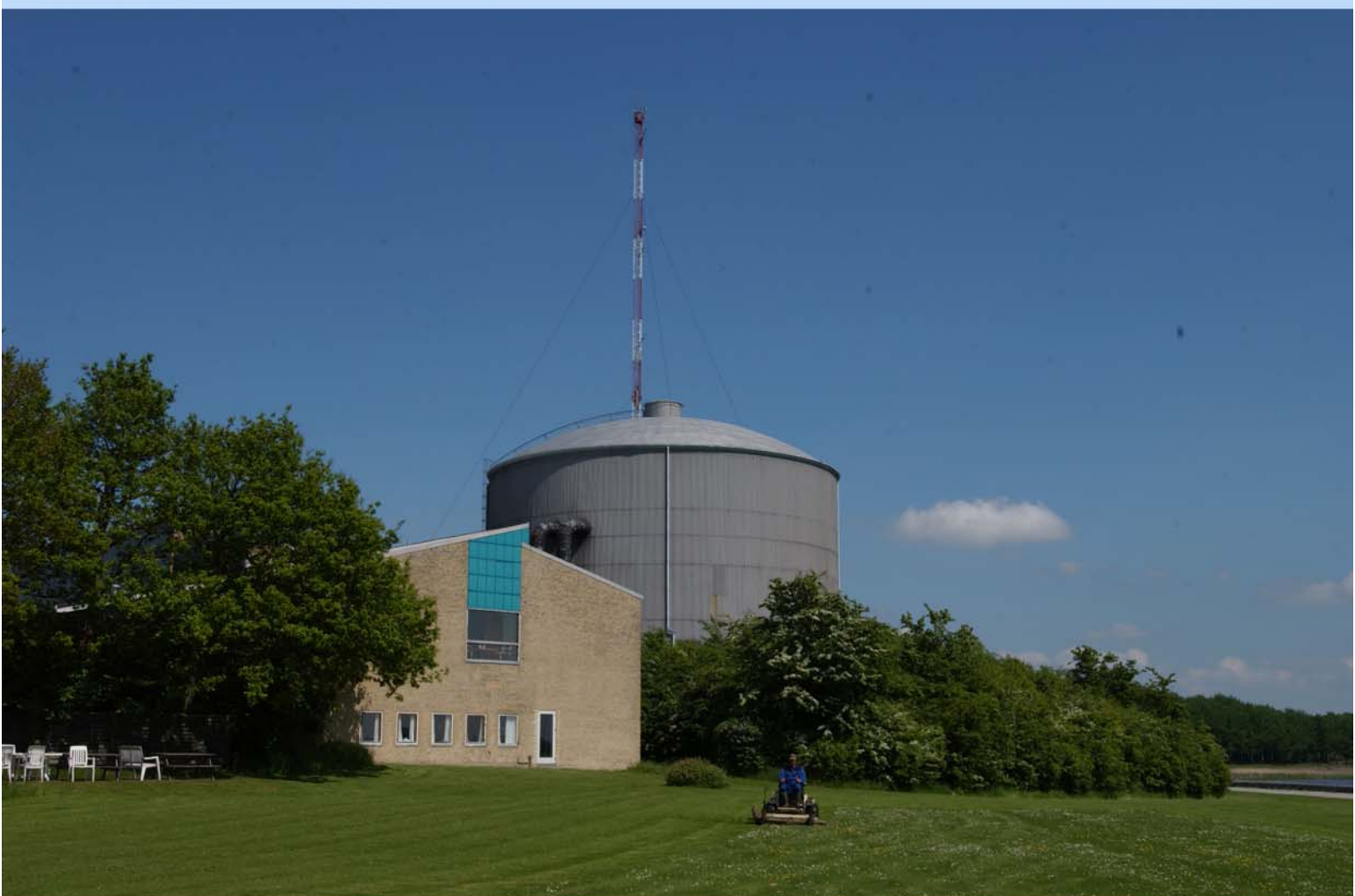


Risøs Reaktorer

Registrering og dokumentering af bevaringsværdige genstande fra Forskningscenter Risøs reaktorfaciliteter med henblik på at bevare Danmarks nukleare kulturarv



Rapport udarbejdet 7/8 - 6/10 2006 for Kulturarvsstyrelsen
af
cand.scient, ph.d. Henrik Knudsen, Elmuseet, Bjerringbro

Indhold

1. Projektbeskrivelse og baggrund	1
2. Reaktor anlæggene	2
2.1. DR1	4
2.1.1. Beskrivelse	4
2.1.2. Anvendelse	5
2.1.3. Bevaringsstatus september 2006	7
2.1.4. Fotodokumentation - billeder af driftssituationer	7
2.2. DR2	11
2.2.1. Beskrivelse	11
2.2.2. Drift og driftshistorie	14
2.2.3. Anvendelse	16
2.2.4. Bevaringsstatus september 2006	19
2.2.5. Fotodokumentation – billeder af driftssituationer	19
2.3. DR3	24
2.3.1. Beskrivelse	24
2.3.2. Drift og driftshistorie	27
2.3.3. Anvendelse	29
2.3.4. Bevaringsstatus september 2006	31
2.3.5. Fotodokumentation – billeder af driftssituationer	32
2.4. Hot Cell anlægget	35
2.4.1. Beskrivelse	35
2.4.2. Anvendelse	36
2.4.3. Bevaringsstatus september 2006	37
2.4.4. Fotodokumentation – billeder af driftssituationer	37
3. Reaktorbygningerne	39
3.1. DR1-komplekset	40
3.2. DR2-komplekset	41
3.3. DR3-komplekset	44
4. Genstandsbeskrivelser	48
4.1. Udvalgs kriterier	48
4.2. Genstande fra DR1	49
4.3. Genstande fra DR2	57
4.4. Genstande fra DR3	64
5. Udvalgte interviewklips	97
5.1. Preben Skanborg om driftsproblemer ved DR2's opstart	97
5.2. Gert Stærkind om udskiftning af brændselelementer ved DR2	99
5.3. Heinz Floto om funktionerne i DR3's kontrolrum	102
5.4. João Silva om Hånd og tøj monitoren	107
5.5. Kirsten Andresen om arbejdsgangen ved Si-produktionen	109
6. Perspektiver for fremtidige undersøgelser	111
7. Ordforklaringer	113
8. Litteratur og billedkilder	114

1. Projektbeskrivelse og baggrund

Dette registrerings- og bevaringsprojekt omhandler de væsentligste af de forsøgsanlæg på Forskningscenter Risø, som i disse år undergår ”dekommissionering” (dvs. demontering og total-oprydning), nemlig de tre forsøgsreaktorer DR1, DR2, DR3 samt det såkaldte Hot Cell anlæg.

Forskningscenter Risø, eller Atomforsøgsanlæg Risø som institutionen oprindeligt hed, er placeret på den lille halvø Risø på østsiden af Roskilde Fjord, omtrent seks kilometer nord for Roskilde. Faciliteterne blev officielt indviet den 6/6-1958. Siden 1950'erne har Risø været centrum for den danske stats teknologiske og videnskabelige forskningsvirksomhed inden for atomenergi. I 1985 besluttede Folketinget imidlertid, at atomkraft ikke skulle være en del af den nationale energiplanlægning og året efter blev Risø derfor formelt ændret fra en atomforsøgsstation til et nationalt forskningscenter nu med det formål ”at udføre naturvidenskabelig og teknologisk forsknings- og udviklingsarbejde med energi som hovedområde”. Fra midten af 1970'erne har det reaktortechnologiske forskningsarbejde ved Risø været under afmontering: Den ene reaktor (DR2) blev således taget ud af drift allerede i 1975 og Hot Cell anlægget fik i 1989 samme skæbne. Beslutningen om at nedlukke de to øvrige reaktorer blev truffet i 2000.

Siden da har Folketinget i 2003 bevilget penge til et særligt selskab med specialviden til at håndtere og demontere de nukleare forsøgsanlæg. Dette selskab, som hedder Dansk Dekommissionering, skal stå for forsøgsfaciliteternes dekommissionering. Opgaven skal løses på en måde, så alle bygninger og arealer, der har været en del af de nukleare anlæg, enten fjernes helt, eller behandles således, at de kan anvendes til andre formål uden restriktioner, også kaldet ”*green field*”. Denne proces ventes at komme til at vare op til 20 år. Status er i øjeblikket den, at DR1 er væk, mens DR2 er ved at gennemgå fysisk dekommissionering. Dekommissioneringen af de to øvrige anlæg er stadig kun i planlægningsfasen.

Elmuseet og Steno Museet indgik i efteråret 2005 et samarbejde med det formål, at få undersøgt hvilke genstande med tilknytning til Risøs reaktoranlæg, der har bevaringsværdi og få initieret en registrering og dokumentation af disse genstande. Denne rapport er udarbejdet i perioden 7/8 til 6/10-2006 med støtte fra Kulturarvsstyrelsen. Rapporten indeholder en hastedokumentation, som udgør første skridt på vejen hen imod det endelige mål, nemlig at dokumentere Risøs reaktoranlæg som forskningssite og arbejdsplads. Rapporten skal desuden give det erfaringsmæssige grundlag for det videre arbejde med at dokumentere reaktoranlæggene på Risø. Der er i denne rapport særligt lagt vægt på at registrere og dokumentere Risøs største reaktor DR3, hvilket skyldes, at den i modsætning til de øvrige anlæg endnu står næsten fuldstændig intakt, hvorfor det også er herfra, de fleste genstande har kunnet hjemtages.

Der er under udarbejdelsen af nærværende rapport blevet aflagt besøg ved Dansk Dekommissionering tre gange. Den 16/8 blev DR2 og DR3 besigtiget af museumsinspektør Hanne Tegllus (Steno Museet), museumsinspektør Flemming Petersen (Elmuseet) og undertegnede, videnskabelige projektmedarbejder Henrik Knudsen. Sidstnævnte opholdt sig på Risø fire dage i uge 35 og senere to dage i uge 38. Vi føler trang til at takke Dansk Dekommissionering og den lange række af tidligere Risø-medarbejdere, som med stor velvilje har hjulpet os med arbejdet, for et særdeles positivt og frugtbart samarbejde.

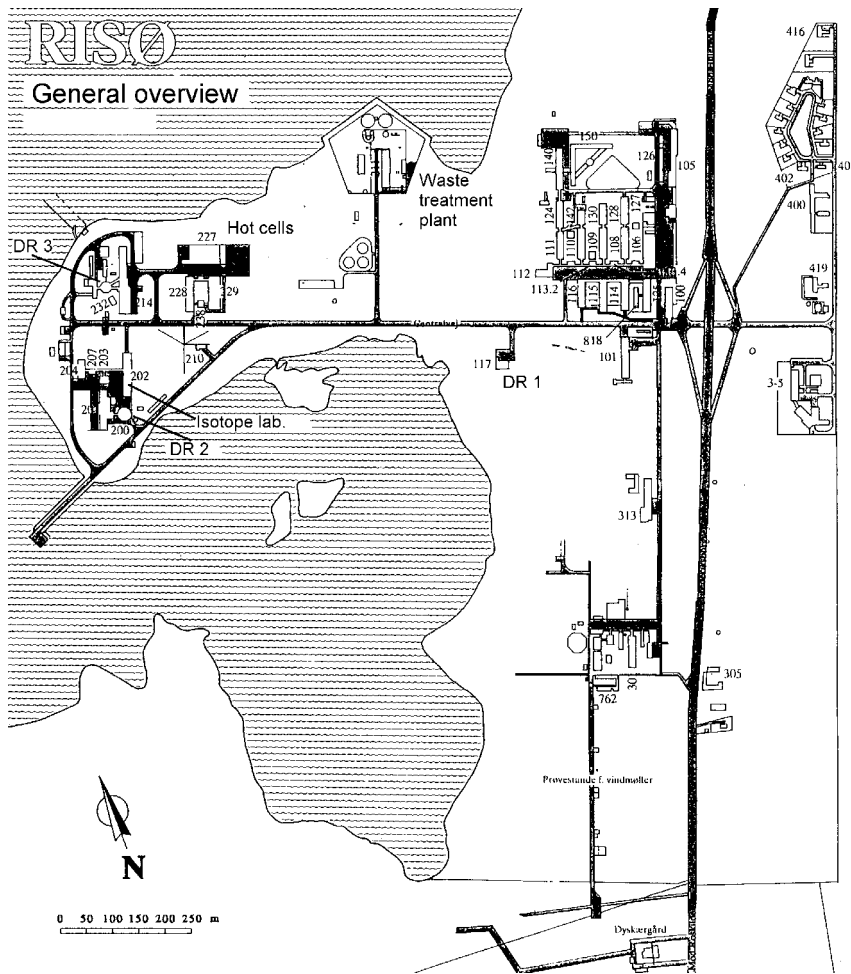
2. Reaktoranlæggene

Forskningscenter Risø rådede over tre forsøgsreaktorer med benævnelsen DR1, DR2 og DR3 (DR står for Dansk Reaktor). Risøs reaktorer var små reaktorer, beregnet til undervisning og forskning. Denne rapport omfatter desuden det såkaldte Hot Cell anlæg, hvor man kunne håndtere stærkt radioaktive emner. Figur 1 og 2 viser placeringen af de enkelte anlæg på Risø. Tabel 1 rummer en oversigt over de tre forsøgsreaktorers hoveddata. De enkelte anlæg omtales i detaljer nedenfor.

Reaktoranlæggene og tilhørende genstande kan ikke beskrives adækvat uden brug af en række tekniske og naturvidenskabelige fagtermer. Der henvises derfor generelt til ordforklaringen, der kan findes i afsnit 7, side 113.



Figur 1. Luftfoto af Forskningscenter Risø. DR1 lå i den lille næsten skjulte bygning på højre side af halvøens basis. Reaktoren DR2 er placeret ude på spidsen af halvøen i den cylinderformede bygning helt til højre i billedet. Til venstre herfor, i midten af billedet, ses DR3's reaktorbygning og det hertil hørende bygningskompleks. Hot Cell anlægget, der i dag er forsegleet i beton, havde til huse i bygningerne umiddelbart ovenfor og lidt til venstre for DR3. Jf. i øvrigt figur 2.



Figur 2. Placeringen af anlæggene på Risø.

Tabel 1. Hoveddata for de tre reaktorer

	DR1	DR2	DR3
Varmeudvikling	2 kW	5 MW	10 MW
Maximal neutronintensitet (neutroner pr. cm ² pr. sekund)	$6 \cdot 10^{10}$	$9 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{14}$
Berigningsgrad af uran	20%	90%	19,75%
²³⁵ U indhold	984 g	4,9 kg	3,3 kg
Moderator	Let vand	Let vand	Tungt vand
Reflektor	Grafit	Beryllium+let vand	Grafit+tungt vand
Kølemiddel	Let vand	Let vand	Tungt vand
Kontroludstyr	4 vandrette regulerings- og sikkerhedsstænger	5 lodrette sikkerhedsstænger, 1 lodret reguleringsstang	7 kontrolarme, 1 lodret finreguleringsstang, 2 lodrette sikkerhedsstænger
Funktionsperiode	1957-2001	1958-1975	1960-2000

2.1 DR1



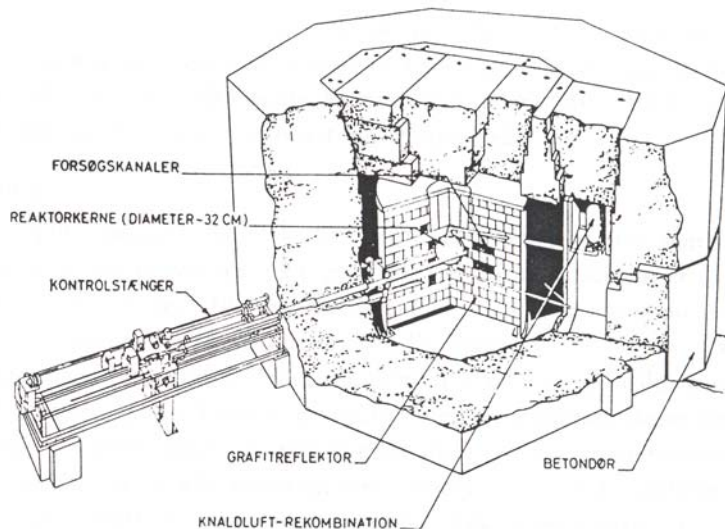
Figur 3. DR1 før dekommissioneringsarbejdet startede. Udskiftning af brændsel og anden løbende vedligeholdelse skete ved at åbne betondøren midt i billedet. Foto fra 2004.

2.1.1. Beskrivelse

DR1 var en såkaldt homogen reaktor, hvilket vil sige, at brændslet er opløst direkte i moderatoren (let vand). Reaktorkernen bestod af en kugleformet ståltank med en ydre diameter på 31,75 cm, hvori der befandt sig en vandig opløsning af uranylsulfat (13,4 liter destilleret vand, indeholdende 20 % beriget uran, svarende til ca. 984 g fissilt materiale i form af ^{235}U). Kølemidlet (let vand) cirkuleredes i et spiralformet rustfrit stålrør indlagt i beholderen. Herved kunne temperaturen i kernen holdes konstant. Reaktorkernen var omgivet af en cylinderformet reflektor af grafit (1,5 m i diameter og 1,2 m høj), som igen var indesluttet i en beholder af rustfrit stål. Reflektorens funktion består i at tilbagekaste nogle af de neutroner, som er på vej væk fra kernen. Uden om stålbekholderen var der anbragt en ottekantet betonaufskærmning – den såkaldte biologiske afskærmning - med tykkelsen 1,2 m, der skulle beskytte omgivelserne mod den i kernen producerede radioaktive stråling.

DR1 havde en maksimal termisk effekt på 2 kW, hvilket svarer til en elektrisk kogeplade. Den var konstrueret som en ”nul effekt opstilling”: ved en pludselig effektforøgelse steg temperaturen i kernen, hvilket bevirkede, at opløsningens volumen steg, hvorved urankoncentrationen faldt. Herved mindskedes chancen for fission og energ udviklingen ville da automatisk falde. Herudover var der desuden et kontrolsystem bestående af fire kontrolstænger (se figur 4), udformet som stålplader, der indeholdt det neutronabsorberende stof borcarbide (B_4C). Kontrolstængerne fungerede ved at fjerne en vis portion neutroner, hvorved kædereaktionen bremsedes. To af stængerne

var reguleringsstænger til justering af effektniveauet, mens de to øvrige var sikkerhedsstænger, der om nødvendigt kunne skydes ind i reaktorkernens omgivelser og dermed lukke reaktoren ned. Kontrolstængernes bevægelse blev, som der fremgår af figur 4, reguleret med et almindeligt kædetræk. Reaktoren var ganske lille og kunne startes og stoppes på få minutter. DR1 var lukket om natten og blev startet, når der var brug for det. Ved at åbne betondøren var der adgang til et rum, hvorfra man kunne skifte brændselsblandingen og hvor den såkaldte knaldluft-rekombinator sad. I dette apparat genforenedes H_2 og O_2 gassen, som løbende blev dannet under drift, når fissionsprodukter og den ioniserede stråling spaltede vandet. En blanding af de to gasser i forholdet to til en kaldes knaldluft, fordi det giver et mægtigt knald, når den antændes.



Figur 4. Et blik ind i reaktorkernen på DR1.

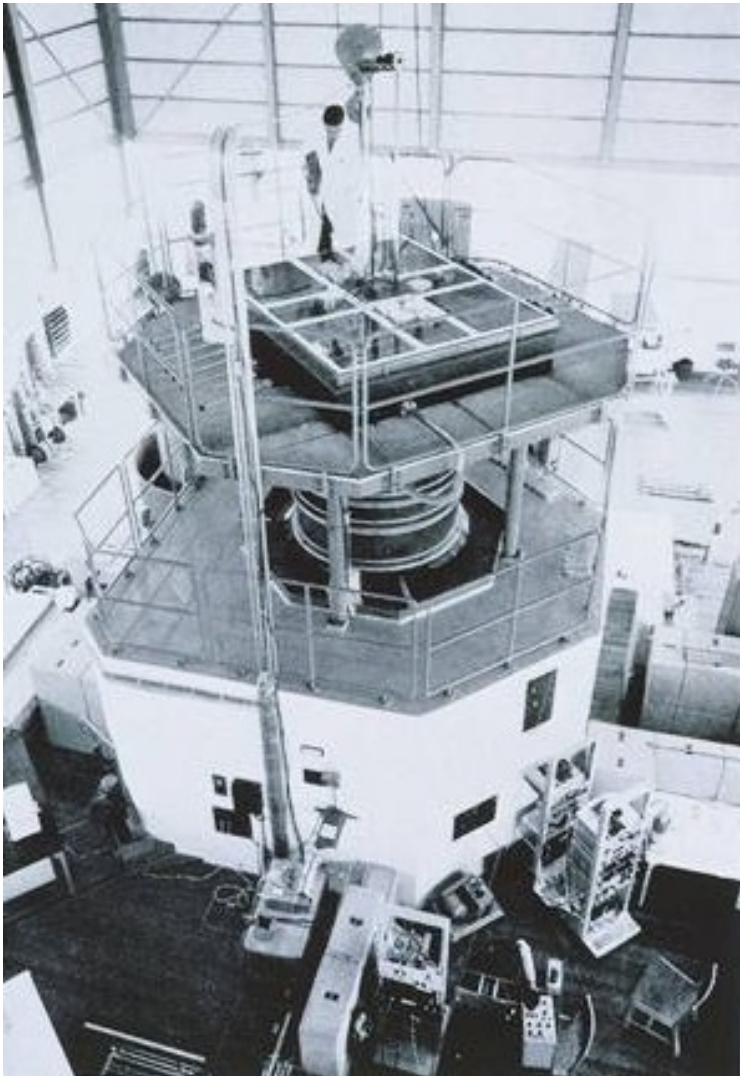
2.1.2. Anvendelse

DR1 var en såkaldt homogen reaktor, hvilket vil sige, at brændslet er opløst direkte i moderatoren (let vand). Princippet for denne reaktortype, var blevet udnyttet meget tidligt i det amerikanske atomprogram, idet den tredje amerikanske reaktor, der blev kritisk, nemlig LOPO (en forkortelse for "Low Power") fra maj 1944, var af denne type. Typen, der i 50'erne blev ret udbredt til undervisningsformål, blev populært betegnet "vandkogere" ("water boilers"), hvilket var det amerikanske dæknavn for LOPO under krigen. Navnet er rammende, fordi den radioaktive stråling og navnlig fissionsprodukterne får vandet til at dissociere, hvorved der bobler ilt og brint op gennem reaktortanken, så det ser ud som om vandet koger. Der kører verden over ifølge International Atomic Energy Agency i 2006 endnu seks af denne reaktortype. (<http://www.iaea.org/worldatom/rddb/>).

DR1 blev som Danmarks første reaktor gjort kritisk kl. 14.48 torsdag 15/8-1957. Vi ved det så præcist, fordi den daværende reaktorchefs spiralkalender stadig eksisterer og er blevet indsamlet under dette projekt. DR1 blev leveret af det amerikanske firma North American Aviation, Atomics International Division (kontrakten sluttet 12/7-1956) og reaktoren blev samlet af det danske firma Ludvigsen & Hermann. Brændselsmoderator blandingen blev gennem alle årene leveret af Risøs Kemiafdeling. Reaktoren blev (som den sidste af Risøs tre reaktorer) taget ud af drift i 2001, men fungerede indtil det sidste som undervisningsinstrument for kurser i reaktorteknik for studerende

fra DTU og andre universiteter. Den akkumulerede energi gennem reaktorens samlede levetid andrager ca. $\frac{3}{4}$ MWd, hvilket svarer til et samlet forbrug på ca $\frac{3}{4}$ g ^{235}U !

Med den indbyggede sikkerhedsfunktion, og fordi den meget hurtigt kunne igangsættes og lukkes ned, var reaktoren velegnet til undervisning. De første reaktorkurser ved DR1 startede i oktober og november 1957. Herefter blev der ved DR1 regelmæssigt afholdt reaktorkurser for ingeniører og studerende samt løbende uddannet reaktoroperatører. I de sidste 20 driftsår var det dog hovedsageligt tilrejsende gymnasieklasser, som havde glæde af faciliteterne i forbindelse med fysikundervisning. I denne periode har 600-700 elever og 6-12 studerende pr. år benyttet reaktoren. Eleverne lavede små forsøg og prøvede at starte, stoppe og effektregulere reaktoren. Blandt typiske fysikforsøg for gymnasieklasser ved DR1 kan nævnes måling af neutrontværsnit for forskellige materialer (neutrontværsnit siger noget om, hvor godt stoffet er til at sprede og absorbere neutronstråling), γ -spektroskopi med neutronaktivering (se forklaring s. 17) og måling af DR1's neutronflux.



Figur 5. Eksponentialforsøg eller Expo-forsøg ved DR1. Billedet er fra slutningen af 1950'erne. Se omtalen i teksten.

Neutronintensiteten kunne i DR1 holdes meget konstant og reaktoren blev derfor også benyttet til neutronfysikforsøg, som f.eks. måling af forskellige materialers neutronab-

sorption bl.a. med de neutronradiografiske metoder, som er beskrevet i afsnit 4.2. Stofprøver kunne gennem forsøgskanaler føres ind i området omkring reaktorkernen. Ligeledes kunne afskærmningen over reaktoren fjernes, hvorved der over reflektoren kunne monteres eller opbygges specielle forsøgsopstillinger. DR1 blev således fra 1959-60 til 1962 benyttet til et såkaldt eksponentialeksperiment i forbindelse med Risøs første store selvstændige reaktorudviklingsprojekt (DOR). Eksperimentet gik ud på, at man oven på DR1 byggede en modeludgave af DOR-reaktoren, bestående af et system af uranstave, organisk kølemiddel og tungt vand svarende til DOR konstruktion, blot i mindre målestok. Ved at sende neutroner fra DR1 op i forsøgstanken og samtidig måle neutronfordelingen i denne, var man i stand til at fastlægge de fundamentale reaktorkonstanter, der indgik som parametre ved beregning og konstruktion af den rigtige DOR-reaktor. Herved kunne forskerne på et lille underkritisk system fastlægge fundamentale designparametre (f.eks. den kritiske størrelse ved forskellige arrangementer af brændselsstavene) for en fuldskala-reaktor.

2.1.3. Bevaringsstatus september 2006

Dekommissioneringen af DR1 blev afsluttet i 2005. Bygningen der husede reaktoren står i dag tom. Reaktordelene er pillet fra hinanden og pakket i tønder eller frigivet som konventionelt affald. Ud over de nedenstående emner, er bevaringsmulighederne derfor udtømte.

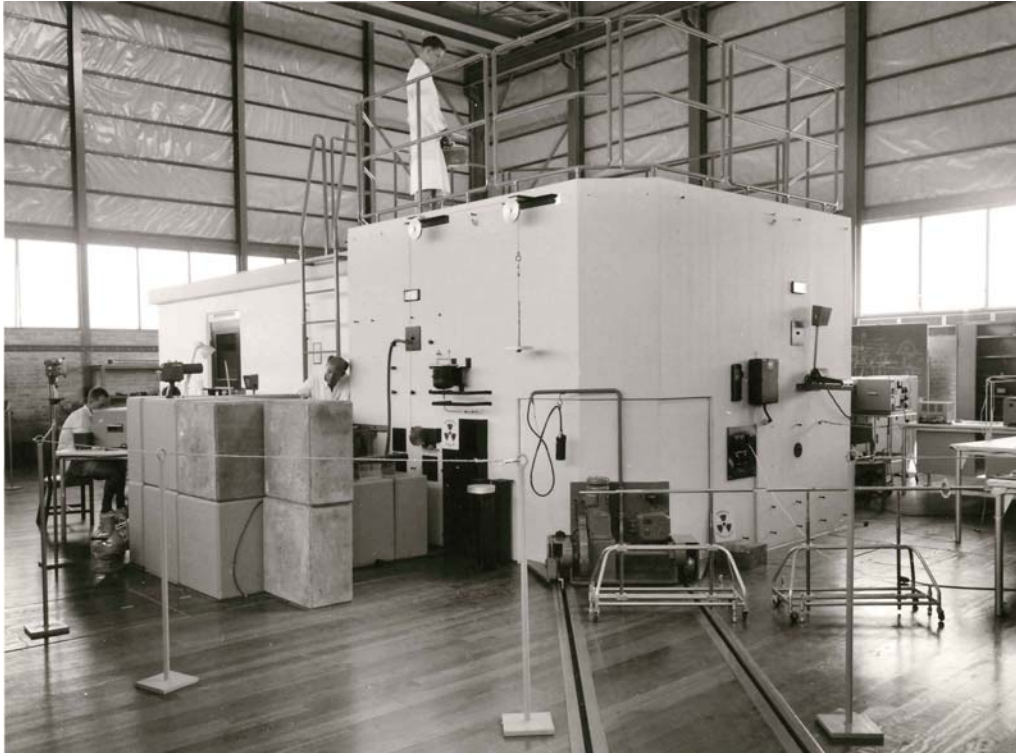
Kontrolpulten (figur 11 og 12) fra DR1 blev i 2005 overflyttet til Steno Museet.

Ved en tidligere besigtigelse i 2003 ytrede Steno Museet interesse for en række genstande, hvoraf mange uheldigvis er forsvundet. Det gælder f.eks. *kædetrækket* til DR1's kontrolstænger, som er gået tabt under dekommissioneringsprocessen. Der er dog blevet bevaret en række genstande, som er beskrevet i afsnit 4.2.

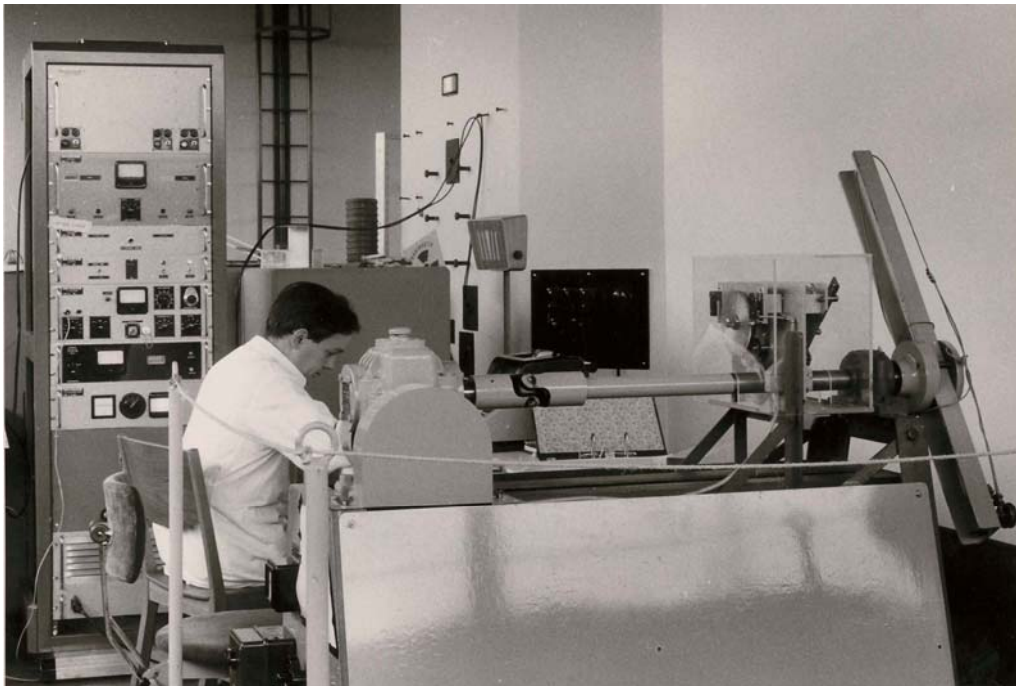
2.1.4. Fotodokumentation – billeder af driftssituationer



Figur 6. Uran til DR1 ankommer til Kastrop fra USA i 1957.



Figur 7. DR1 set fra nordvest. Foto fra 1957 – året hvor reaktoren blev gjort kritisk. Personen på toppen er i færd med at måle strålingsniveauet med et ionkammer.



Figur 8. Fysikeren Bent Fastrup arbejder ved DR1 i 1957. Apparatet i forgrunden er en såkaldt *pile oscillator*, som Fastrup og Risøs teknikere selv konstruerede. Pile oscillator-teknikken blev opfundet af Eugene Wigner ved Oak Ridge National Laboratory i 1947 og var en metode til at måle neutronabsorptionstværsnit. I en forsøgskanal var der anbragt et ionkammer. Emnet, hvis absorptionstværsnit man ville måle, blev anbragt på en slæde, som ved hjælp af det roterende svinghjul på billedet mekanisk kunne skubbes frem og tilbage i en anden forsøgskanal med stor regularitet. Da prøven absorberer neutroner, falder neutronfluxen omkring emnet, hvilket blev registreret af ionkammeret. Man fik herved en oscillerende målekurve. Ud fra kurvens amplitude kunne prøvens neutrontværsnit bestemmes.



Figur 9. DR1, set fra sydvest 2004. Den aflange røde beholder blev anvendt til opbevaring af emner til bestråling, herunder f.eks. ubrugte brændselselementer til andre reaktorer.



Figur 10. Der gøres klar til den endelige aftapning af uranbrændslet fra kernen, hvilket fandt sted i 16/7 2002. Den røde beholder til brændselsblandingen (13,4 liter) er blyafskærmet og vejer 1140 kg. Foto fra juli 2002.



Figur 11. Kontrolpulten fra DR1, da den endnu stod i kontrolrummet. Foto fra 2003. Kontrolpulten var for stor til at komme ind gennem dørene til kontrolrummet i 1957. Arkitekten var bekendt med problemet, men han ville ikke lave om på noget, da Risø-bygningerne bestod af standardelementer. Løsningen på problemet blev, at man afmonterede listerne, hvorefter pulten kunne komme igennem. Det samme problem stødte man i øvrigt på, da man 48 år efter i 2005 skulle tage kontrolpulten ud af bygningen for at bringe den på museum.



Figur 12. Interiør fra kontrolrummet. Foto fra 2004.

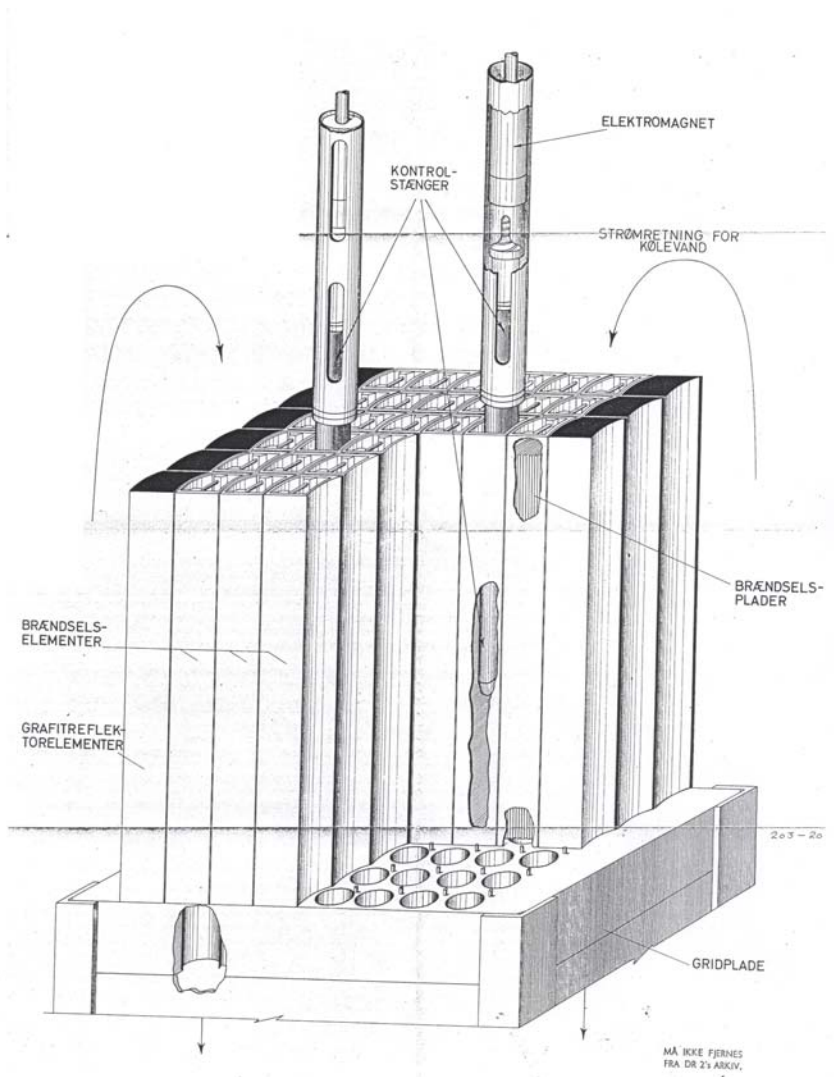
2.2. DR2



Figur 13. DR2's reaktorbygning, 2003. Vinduerne er tilføjet efter at reaktoren blev taget ud af drift i 1975, da hallen på dette tidspunkt skulle benyttes til ekstraktionsforsøg med grønlandsk uranmalm.

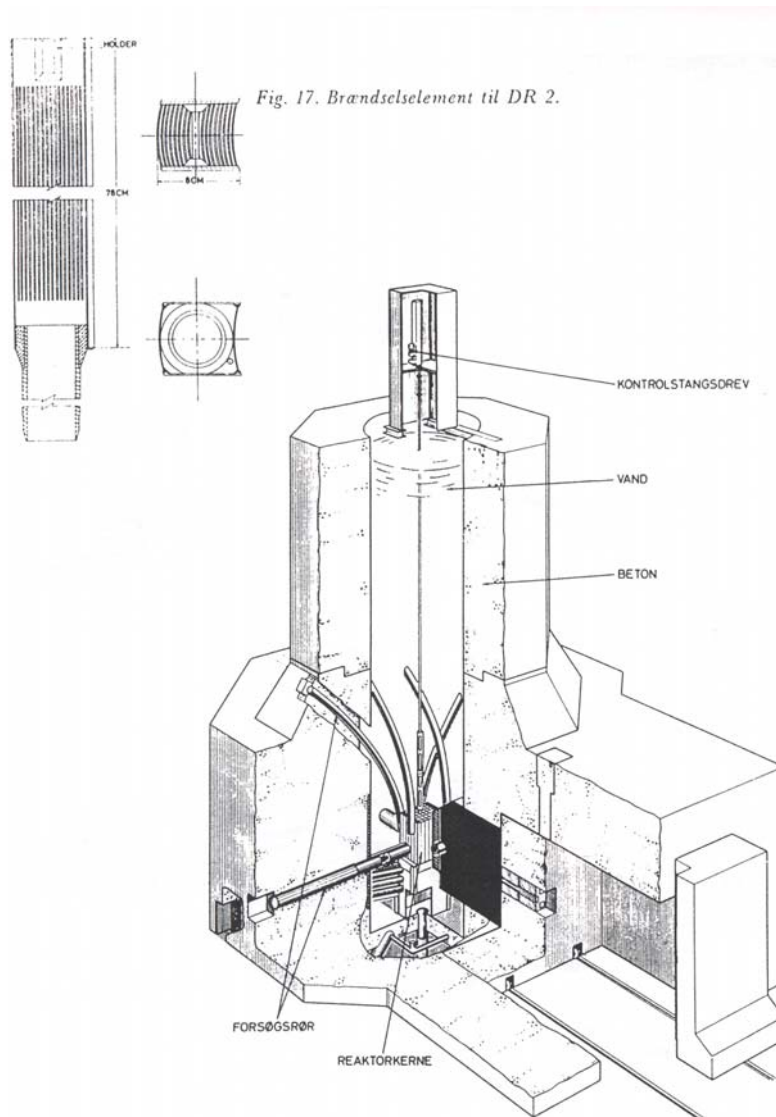
2.2.1 Beskrivelse

Reaktorkernen i DR2 bestod af 36 brændselselementer, som var 87 cm lange og havde et omtrentligt tværsnit på 8 cm gange 7,6 cm. Hvert standardelement bestod af 18 svagt buede brændselsplader af en U-Al-legering, som var indkapslet i rent aluminium. En brændselsplade var ca. 1,5 mm tyk, 7,6 cm bred og 62,5 cm lang, hvoraf selve U-Al-legeringen i midten var ca. 0,5 mm tyk og ca. 60 cm lang. Hvert standardelement indeholdt 186 g ^{235}U . I seks specielle elementer var de ni midterste plader fjernet og erstattet med en kasse af aluminium, hvori de lodrette kontrolstænger (5 sikkerhedsstænger og 1 reguleringsstang) med neutronabsorberende materiale kunne bevæge sig. Specialelementerne indeholdt kun 93 g ^{235}U . Brændslet til DR2 var højtberiget og havde et ^{235}U -indhold på 90%. Den samlede mængde ^{235}U i reaktoren var 4,9 kg. Brændselselementerne hvilede på en 15 cm tyk gridplade af aluminium, som havde plads til seks gange otte brændselselementer (jf. figur 14). I hver ende af gridpladen var der således seks ledige pladser, som blev benyttet til reflektorelementer, der oprindeligt var af aluminiumindkapslet grafit. Senere gik man på grund af lækager og vandindtrængning i elementerne over til at benytte berylliumreflektorer. Sikkerhedsstængerne var ophængt i elektromagneter og kunne styres fra reaktorens kontrolrum. Ved en forhøjelse af neutronintensiteten slap magneterne sikkerhedsstængerne og disse faldt ned på plads i reaktorkernen, hvorved neutronintensiteten straks ville aftage.



Figur 14. DR2's reaktorkerne med brændselselementer og to af de lodrette kontrolstænger, som var ophængt i elektromagneter.

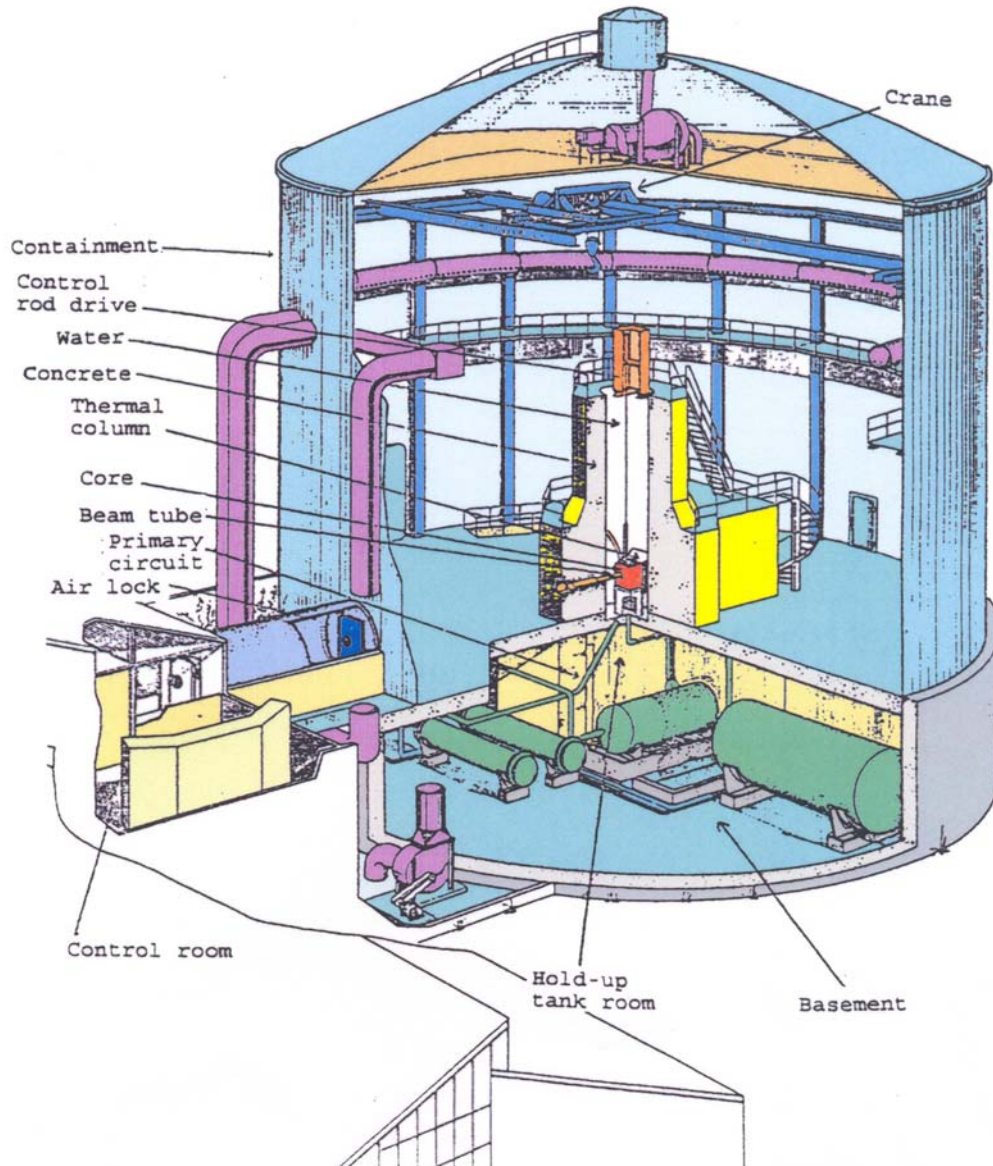
Reaktorkernen var anbragt ca. 1 m over bunden af en cylinderformet vandfyldt aluminiumtank, som var 8,08 meter høj og havde en diameter på 2,01 m. Vandtanken var indkapslet i en afskærmning af barytbeton, der i lighed med aluminiumtanken var åben i toppen. Denne åbne konstruktion gik i reaktorindustrien under betegnelsen "pool-typen". I bunden havde betonafskærmningen en tykkelse på 2 m. Vandet (let vand) havde flere formål. For det første fungerede det som moderator. For det andet fungerede det - sammen med berylliumplader anbragt på to af reaktorkernens sider - som reflektor. For det tredje fungerede vandet opad i reaktortanken som afskærmning, således at strålingen ikke nåede op til reaktortoppen. Endelig fungerede vandet ved cirkulation gennem reaktorkernen som kølemiddel i reaktorens primære kølesystem. Et filter- og ionbytteranlæg, placeret i kælderen under reaktoren, rensede løbende vandet. DR2 havde en termisk effekt på 5 MW.



Figur 15. Snitskitse af DR2 samt tilhørende brændselselementer

DR2 var af sikkerhedshensyn anbragt i en fuldstændig lufttæt stålhal. Adgangen til hallen skete gennem en personalesluse med to døre, hvoraf den ene kun kunne åbnes, hvis den anden var lukket. Hvis der i ventilationsluften blev konstateret et uheldigt højt indhold af radioaktivitet, kunne reaktorhallen således lukkes helt tæt.

En detaljeret gennemgang af DR2's konstruktion og de forskellige faciliteter omkring reaktoren findes i Ølgaard (2003).



Figur 16. Snittegning af reaktoren og reaktorbygning ved DR2

2.2.2. Drift og driftshistorie

DR2 blev leveret af det amerikanske firma Foster Wheeler Corporation (kontrakt sluttet 20/6-1956). Reaktoren blev for første gang gjort kritisk den 19/12-1958. I den efterfølgende sommer (helt præcist den 26/8-1959) startede driften på fuld effekt.

Der blev på atomare forskningsfaciliteter både i USA og Europa i årene lige før og lige efter 1960 installeret mange forskningsreaktorer af denne eller lignende, ligesom der var en række forskellige leverandører på banen. Reaktorenes åbne pool-konstruktion gjorde det let og hurtigt at udskifte bestrålingsprøver. Ved Lawrence Livermore National Laboratory i Californien var der i årene fra 1957 til 1980 en 1 MW pool-type reaktor (LPTR) i drift, som var næsten fuldkommen identisk med DR2. I Brasilien blev i Sao Paulo en lignende reaktor (IEA R1) af amerikansk fabrikat med noget større tank kritisk den 16/9-1957. Sidstnævnte reaktor kører endnu og er i lighed med DR2 gennem en årrække blevet benyttet til den herunder og i afsnit 2.3.3. omtalte produk-

tion af NTD-silicium. Adskillige universiteter og industrivirksomheder i USA og enkelte i Vesteuropa drev fra slutningen af 50'erne denne reaktortype til forskningsbrug.

Reaktortanken blev leveret af den amerikanske producent, men viste sig i december 1957 at være utæt. Da det hurtigt stod klart, at den ikke lod sig reparere, fik det danske firma Ludvigsen & Hermann til opgave at fremstille en ny tank på Foster Wheelers regning. Den danskproducerede tank blev installeret i maj-juni 1958.

Atomenergikommissionen og Risø fik DR2 som en gave fra USA, mens man måtte kæmpe med næb og klør for at få fat i den noget større DR3. Det betød i realiteten, at Risø allerede i 1960 havde for mange reaktorer. Det er i hvert fald fhv. reaktorchef ved DR2 Preben Skanborgs vurdering. Han kom til DR2 i 1959 en måned efter, at reaktoren var blevet gjort kritisk. Skanborg fortæller endvidere, at DR2's personale hurtigt fornemmede, at DR3 var direktionens foretrukne reaktor. Nye forsøg og nyt forsøgsudstyr blev nemlig opstillet på DR3 og ikke ved DR2. Af besparelshensyn blev reaktordriften på DR2 allerede i 1963 indskrænket til ca. 1/3 af tiden. Efter en lang periode, hvor man på et stærkt reduceret budget kæmpede for at holde skruen i vandet, besluttede Risøs direktion i 1974 at tage reaktoren ud af drift, hvilket effektueredes året efter, da reaktoren blev standset den 31/10-1975.

I den første intensive driftstid, hvor reaktoren kørte i døgndrift, foregik arbejdet i treholdsskift 5 dage om ugen. I 1963 gik man over til dagdrift i toholdsskift, hvor reaktoren var i drift fra kl. ca. 8-16. Det tog omkring en time at få opstartet reaktoren. Et vagthold bestod af tre personer: en mester og to operatører. Der var fra starten seks vagthold. Vagtholdene bestod af håndværkere, og hver anden uge var vagtholdene beskæftiget med vedligeholdelse og oprydning. Mesteren havde ansvaret for nøglerne til reaktoren. Desuden var der en vagthavende ingeniør, som dog kun lejlighedsvis var i kontrolrummet. I starten var reglen dog den, at den vagthavende ingeniør skulle være i kontrolrummet, når reaktoren skulle startes op. Efter nogen tid blev denne regel slækket således, at mesteren hver morgen ringede til den vagthavende ingeniør for at høre, om der var noget at bemærke. Hvis der ikke var det, startede man op.

Brændselselementerne til DR2 blev indtil 1966 leveret fra USA. Preben Skanborg fortæller, at den første sending brændselselementer blev opbevaret i et af kontorerne i den tilstødende bygning (se figur 46), som blev brugt som midlertidigt lager. Brændselslageret blev senere overtaget af Skanborg og brugt som kontor! I 1966 overgik leverancen af brændselselementer til det danske firma Helsingør Skibsværft og Maskinbyggeris (HSM) atomafdeling, der havde til huse i Risøs metallurgiafdeling. Fra 1966 til 1972 leverede firmaet i alt 36 pladeelementer til DR2.

Når reaktoren var ude af drift, kunne man ved hjælp af nogle lange stænger (kaldet "fiskestænger") fra toppen af reaktoren foretage udskiftning af brændselselementer og manipulation af de nedsænkede forsøg. Arbejde "under vand" var kun tilladt, når reaktoren var ude af drift. Udskiftningen af brændselselementer var helt igennem manuel. I en blyafskærmet transportcontainer blev elementet sænket ned i reaktoren og med dertil beregnede fiskestænger udtaget og sat på plads nede i kernen. Udtagning af udbrændte elementer foregik helt analogt. De brugte elementer blev lagret nogle måneder i selve reaktortanken, indtil strålingen var aftaget nok til, at man kunne håndtere dem. En meters penge over kernen var der på indersiden af reaktortanken anbragt en lagerrække, hvorpå der kunne opbevares op til 48 brændselselementer.

Lagerrækken med elementer ses på figur 18. I den sidste del af driftsperioden delte DR2 lagerfacilitet med DR3, men i de første år havde man sin egen lagerfacilitet til brugte elementer. De blev opbevaret i den tilstødende bygning i et rum, der var beklædt med hvide fliser, hvorfor rummet fik tilnavnet ”kødbyen”.

Preben Skanborg og fhv. vagtholdsleder Gert Stærkind har til denne lejlighed fortalt en række anekdoter fra driften. En af disse omhandler reaktorens opstart. De danske ingeniører fik i de første måneder hjælp fra tre amerikanske atomteknikere, som skulle hjælpe driften i gang. Ret hurtigt opdagede man, at der var et alarmerende højt strålingsniveau i kælderen. Det viste sig, at strålingen stammede fra det primære kølevand, som var på vej fra den såkaldte henfaldstank og ind i varmeveksleren. Vandet indeholdt den kortlivede kvælstofisotop ^{16}N (isotopen har halveringstid på 7,1 sek.), som bliver produceret i alle vandkølede reaktorer. Man var naturligvis fuldt ud på det rene med dette, hvorfor reaktoren var konstrueret med en afskærmet henfalds- eller forsinkelsestank (den hedder på figur 16 ”Hold-up tank”), som skulle cirkulere vandet indtil kvælstofisotopen var henfaldet. Henfaldstanken var imidlertid fejlkonstrueret, således at vandet suste lige igennem. Sagen blev klaret ved at forbedre henfaldstankens konstruktion, men den ledende amerikanske ingeniørs umiddelbare kommentar var, at man blot skulle lukke kælderen (”shut the basement!”) og fortsætte driften.

Den forhenværende reaktorchef Preben Skanborg har aldrig forsøgt at lægge skjul på, at DR2 var en vanskelig reaktor at få til at køre. Der var meget af det oprindelige amerikanske ”gear”, der ikke fungerede hensigtsmæssigt og en stor del måtte hen ad vejen udskiftes med apparater produceret på Risø. Det var faktisk ifølge Skanborg kun de oprindelige brændselselementer, der fungerede problemfrit.

Reaktorpersonalet udregnede flere gange om dagen reaktorens effekt med en regnestok ud fra temperaturdifferencen mellem det indløbende og udløbende kølevand. Dette effektmål blev brugt til løbende at kalibrere reaktorens elektroniske effektmålingsinstrumenter, der fik signalet fra et ionkammer nær reaktorkernen. Mange driftsoperationer var før computerens tid utroligt tidskævende. Det at sikre en rettidig og økonomisk udskiftning af brændselselementer var f.eks. en meget krævende opgave. Det foregik ved, at man placerede en række små koboltnåle i forskellige positioner nede i kernen, hvorved man (ud fra graden af aktivering) kunne måle neutronfluxen de pågældende steder i kernen. Disse tal blev brugt til at skabe grafiske kurver over neutronfluxen i forskellige snit gennem reaktoren på et stykke millimeterpapir. Ud fra disse kurver kunne man beregne, hvornår de forskellige elementer var udbændt og skulle udskiftes. Levetiden af et brændselselement afhang af, hvor megen neutronstråling elementet modtog, hvilket kunne bestemmes ud fra arealet under fluxkurven. Arealet blev aflæst manuelt med et planimeter.

2.2.3. Anvendelse

Med sin relativt høje neutronflux (maximalt $9 \cdot 10^{13}$ neutroner pr. cm^2 pr sekund) var DR2 især velegnet til neutronbestrålingsopgaver og -forsøg. DR2 var forsynet med en række forskellige forsøgsrør. Fra balkonen førte seks buede vandfyldte forsøgsrør ind i kernen. Disse blev benyttet til ”in pile” forsøg, hvor emner, der skulle bestråles, førtes ind til reaktorkernen.

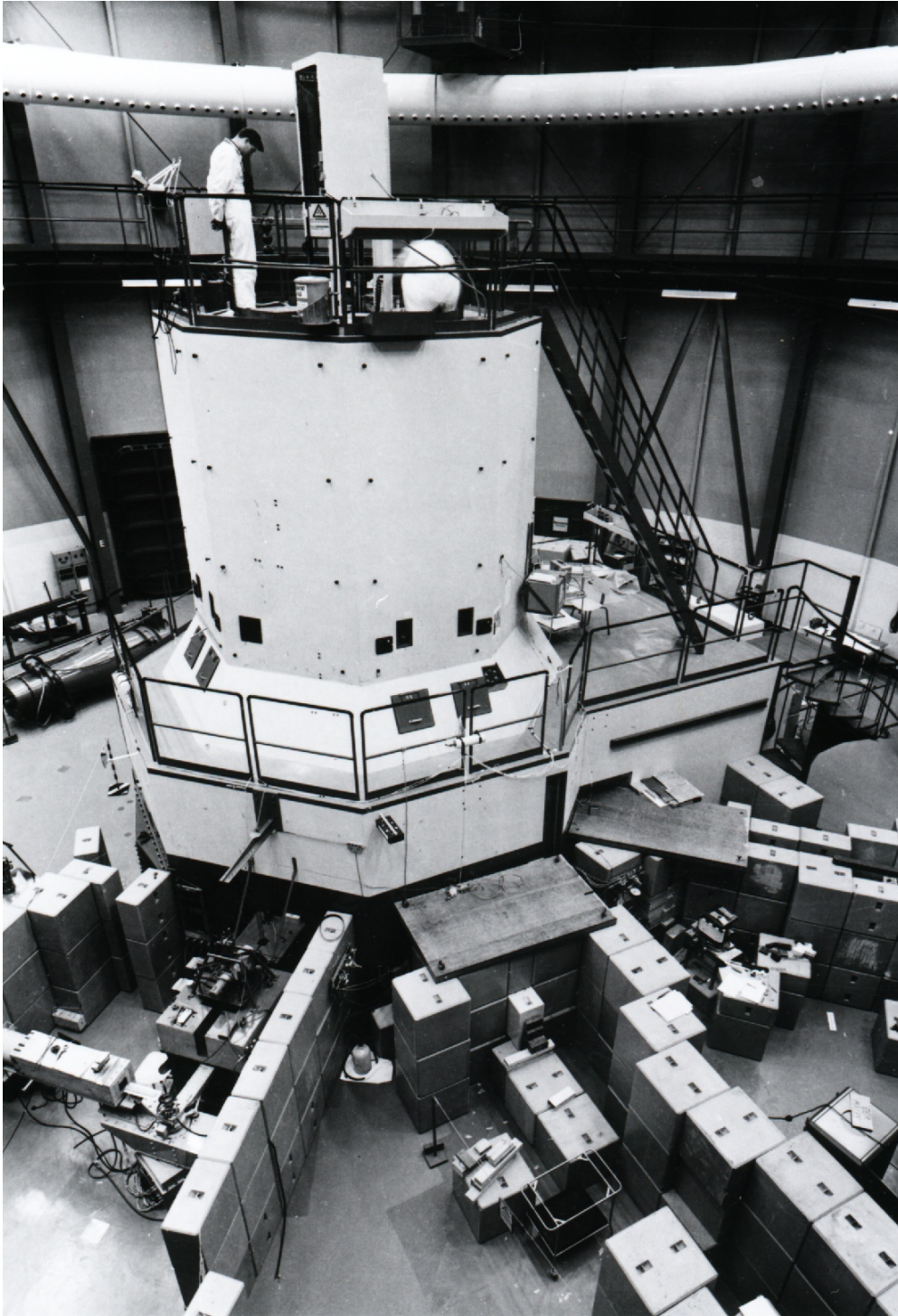
DR2 var i de første 10 år stedet, hvor hovedparten af Risøs radioaktive isotoper blev fremstillet. Prøver til længerevarende bestråling blev anbragt i en lufttæt dåse af alu-

minium, før de blev ført ind i reaktoren. Efter bestråling blev prøven anbragt i reaktortanken over kernen i mindst 20 minutter, indtil den store mængde radioaktivitet, der var opstået i dåsen, var klinget noget af. I en blycontainer anbragt på en transportvogn blev prøven herefter kørt ud af reaktorhallen til det nærliggende isotoplaboratorium. Til korttidsbestråling, hvor emnerne kun blev lettere aktiverede, havde Risø et omfattende rørpostsystem, som førte direkte fra Isotoplaboratoriet til en række forsøgsrør i DR2 og DR3. En anden fremgangsmåde til produktion af isotoper, som blev benyttet på Risø, var at oprense brugt reaktorbrændsel, hvor radioisotoperne blev udvundet ad kemisk vej. Isotoperne fra Risøs Isotoplaboratorium (kaldet "Risøkilder") blev bl.a. benyttet i gymnasiers og folkeskolers fysikundervisning og i dansk industri. Næsten 100 % af de demonstrationskilder, der i 1998 fandtes på de danske folkeskoler, er Risøkilder. Hovedaftagerne af isotoperne fra DR2 var dog hospitalerne. F.eks. producerede man store mængder kobolt til brug i strålebehandling. DR2 blev foretrukket til isotopproduktion og bestrålingsopgaver, fordi reaktorens åbne og enkle konstruktion gjorde det let at tage prøverne ind og ud af reaktoren. Gert Stærkind vurderer, at det var isotopfabrikationen, der bevirkede, at DR2 fik lov at køre helt til 1975.

DR2 blev ligeledes benyttet til aktiveringsanalyser. Aktiveringsanalyse (eller mere nøjagtigt: *neutron-aktiveringsanalyse*) er kort fortalt en metode, der kan benyttes til kvalitativ og kvantitativ analyse af grundstoffer i et bredt spektrum af prøvetyper. Neutronaktiveringsanalysen benytter sig af det forhold, at bestrålingen af et materiale med neutroner vil føre til dannelse af radioaktive nuklider (radionuklider) af en identitet og i en mængde, der afspejler grundstofsammensætningen i det bestrålede materiale. Dette kan bruges til identifikation og nøjagtig mængdebestemmelse af grundstofferne i den bestrålede prøve. De inducerede radionuklider identificeres og kvantificeres ved hjælp af deres karakteristiske γ -spektre.

DR2 blev yderligere benyttet til at bestråle forskellige konstruktionsmaterialer, kølemidler og brændselelementer for at se, hvordan de opførte sig under en reaktordriftssituation. Der er f.eks. ved DR2 blevet bestrålet uranoxid-brændselsspiller. Nedbrydningstiden under intensiv neutronbestråling for det organiske stof "Santowax", som var tiltænkt en vigtig rolle som kølemiddel i Risøs eget DOR-reaktor-projekt, er også blevet undersøgt ved DR2. Noget af det sidste, der blev foretaget ved DR2, var neutronbestråling af silicium til halvlederfabrikationen hos det danske firma Topsil A/S. Processen blev en stor kommerciel succes, men blev i 1975 flyttet til DR3, da DR2 blev lukket. Under omtalen af DR3 er principperne for processen beskrevet i detaljer.

Foruden de lodrette forsøgsrør var DR2 forsynet med otte vandrette forsøgsrør, som tillod udtagning af et neutronbeam til brug for eksperimenter uden for afskærmningen. Endelig fandtes der på reaktorens østside en såkaldt termisk kolonne, der bestod i en 163 cm lang grafitsektion (som ind mod reaktorkernen målte 64 cm gange 97 cm og i den ydre ende 132 cm gange 157 cm). Kolonnen var opbygget af opstabilede grafitklodser, hvorfor den gik under navnet "igloen". Den inderste del af kolonnen ses på figur 15 som den sorte klods. Ved passagen gennem grafitlaget bremsedes neutronerne. Den termiske kolonne kunne således levere et neutronbeam ($5 \cdot 10^9$ neutroner pr. cm^2 pr sekund) med væsentlig lavere energi end selve kilden. Neutronernes energiniveau kunne desuden varieres, idet grafitsektionens længde kunne reguleres ved at fjerne nogle af grafitklodserne. Neutronerne herfra blev benyttet til neutronfysikforsøg, bl.a. til forsøg med polariserede neutroner.



Figur 17. Billedet viser betonaufskærmede forsøgsområder med forskellige forsøgsopstillinger omkring DR2's vandrette forsøgsrør. Foto fra 1960'erne.

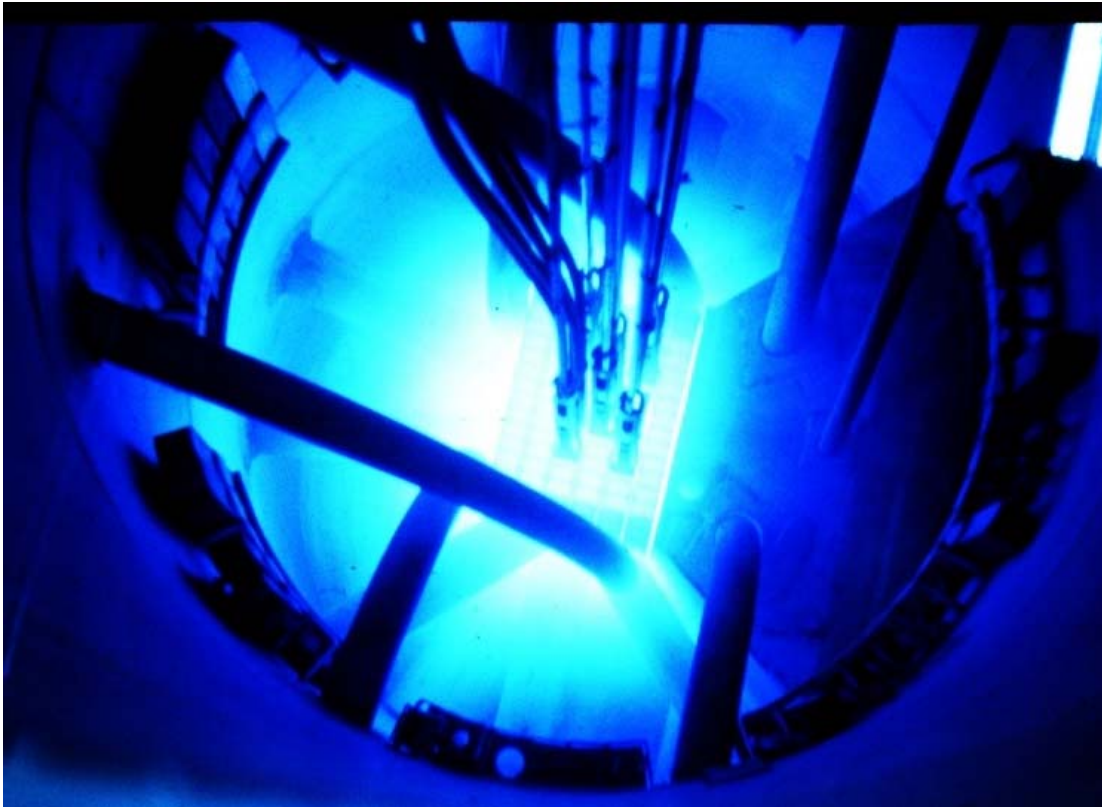
DR2 var en nem og bekvem facilitet til mindre forsøg og eksperimenter. Der blev ved DR2 gennem årene lavet rigtig mange eksamensprojekter, specialer og licentiatopgaver, specielt af studerende fra Danmarks Tekniske Højskole (eller DTU, som det hedder i dag). Helsepersonalet havde sin sag med spøgefulde studenter, der morede sig med at placere deres dosimetre i beamrørene!

2.2.4. Bevaringsstatus september 2006

Den fysiske dekommissionering af DR2 startede i begyndelsen af 2006 og ventes at være tilendebragt ultimo 2008. Reaktoren står der stadig, men teknikerne har f.eks. allerede afmonteret forsøgsrørene og visse dele af den termiske kolonne.

I forbindelse med udarbejdningen af denne rapport er DR2 blevet besigtiget den 16/8 2006, hvor en række genstande fra reaktoren udpegedes som værende af interesse for Steno Museet. Genstandene er nærmere beskrevet i afsnit 4.3.

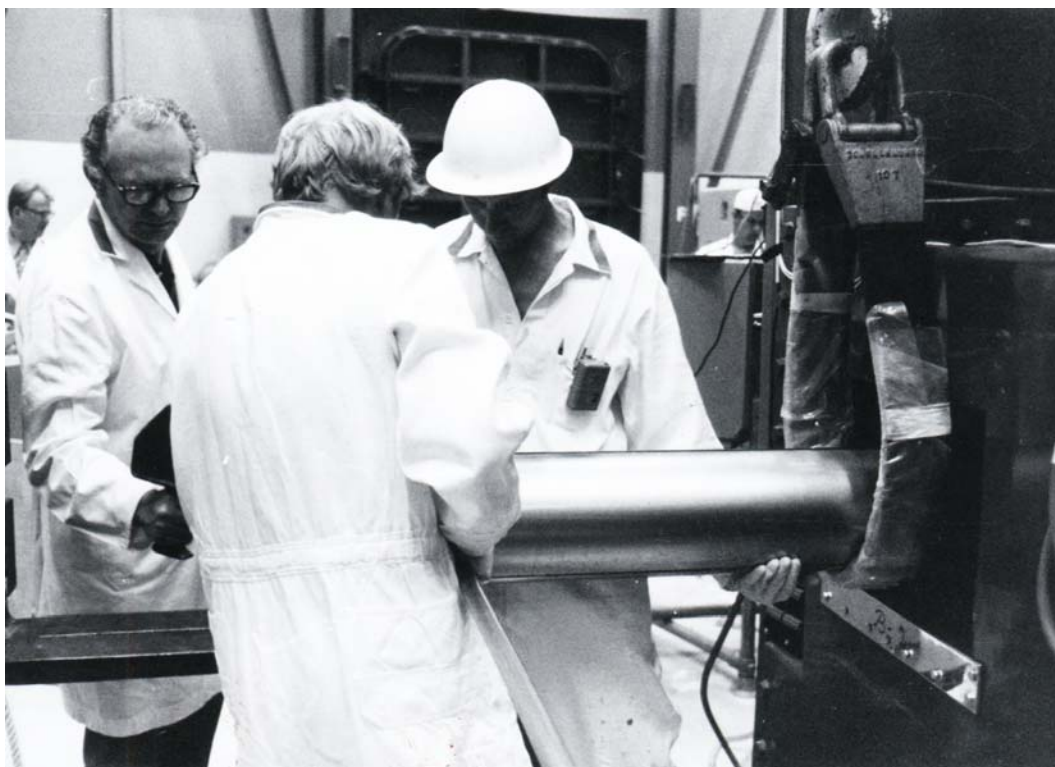
2.2.5. Fotodokumentation - billeder af driftssituationer



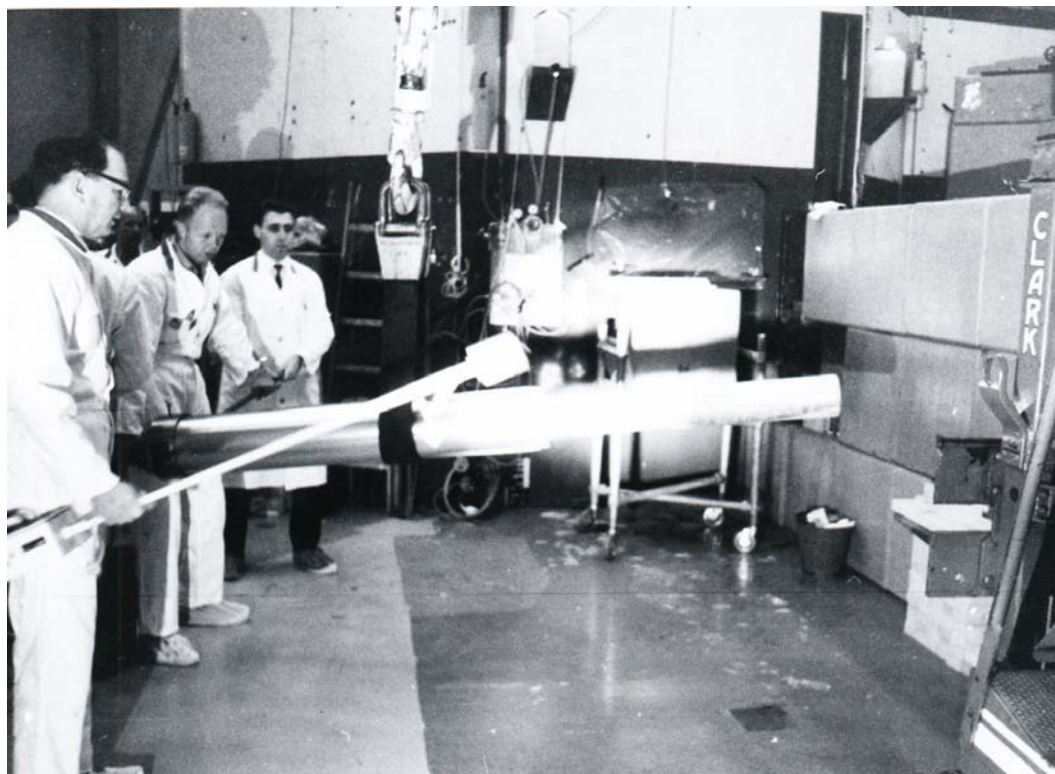
Figur 18. Et blik ned gennem vandet til DR2's reaktorkerne under drift. Det blå lys opstår på grund af den såkaldte Cerenkov-effekt. Ved fissionsprocessen i brændselselementerne skabes der betapartikler (elektroner), der udsendes fra kernerne med en hastighed, som er *højere end lysets hastighed i vand*. Når elektronerne bremses ved interaktion med vandmolekylerne udsender de deres overskudsenergi i form af elektromagnetisk stråling i den øvre ende af det synlige frekvensområde (blåt lys). Lyset kommer således ikke fra brændselselementerne, men opstår i det omgivende vand. Cerenkov-effekten ledsager alle vandkølede reaktorer. Den trapezformede blok til højre i billedet er næsen af den termiske kolonne, der er placeret meget tæt op ad reaktorkernen. Det er dette næsestykke, som bliver inspiceret indefra på figur 22.



Figur 19. Betjening af DR2's kontrolrum. Keder han sig ikke lidt? Senere blev der – angiveligt til direktionens fortrydelse – installeret fjernsyn i DR3's kontrolrum, så vagtpersonalet ikke behøvede at kede sig på de lange vagter. Foto fra 1960'erne.



Figur 20. Udtagning af beamplug. Arbejdet var vanskeligt, da pluggen var både tung, aktiveret og kontamineret. Det var kun den yderste ende, der kunne håndteres direkte uden fare. Når pluggen var ude, var der direkte åbning til området nær reaktorkernen. Foto fra 1960'erne.



Figur 21. Beampluggen skulle håndteres forsigtigt. Ved hjælp af et mavebælte og specielle stænger kunne den flyttes rundt, uden at man behøvede at berøre den "hotte" ende. Foto fra 1960'erne.



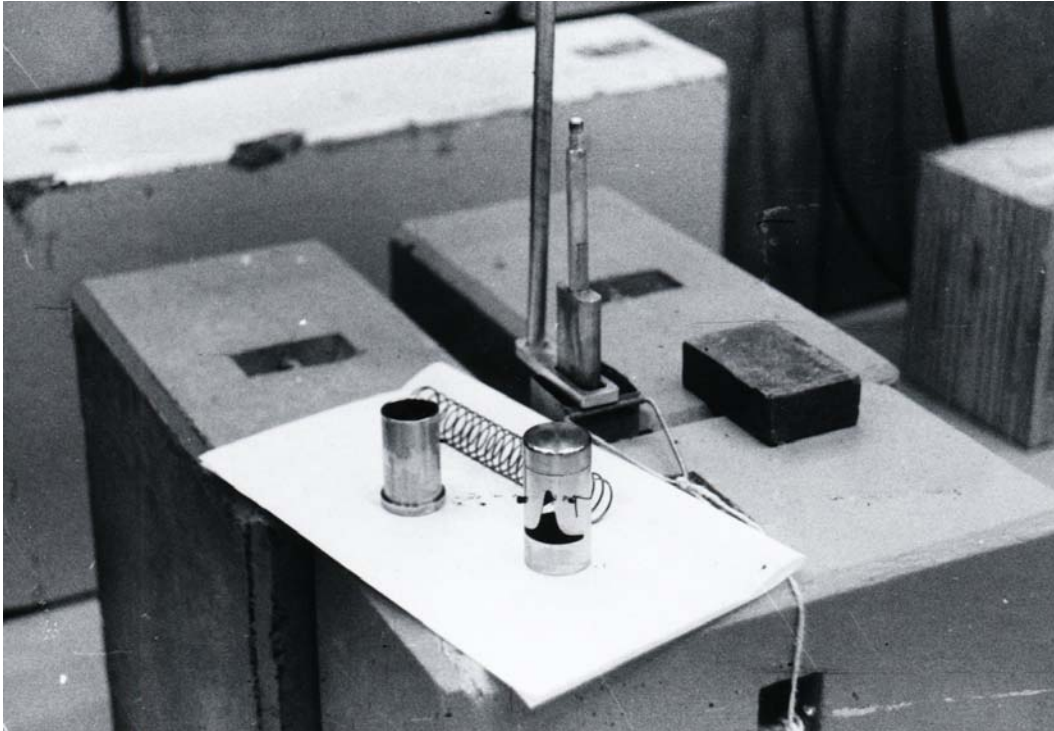
Figur 22. Aluminiumspladerne foran den termiske kolonne vendte direkte ind mod reaktorkernen og havde tendens til at korrodere. Her inspiceres pladerne ved hjælp af et endoskop. Man kan se, hvordan den termiske kolonne var opbygget af stablede grafitklodser. Foto fra 1960'erne.



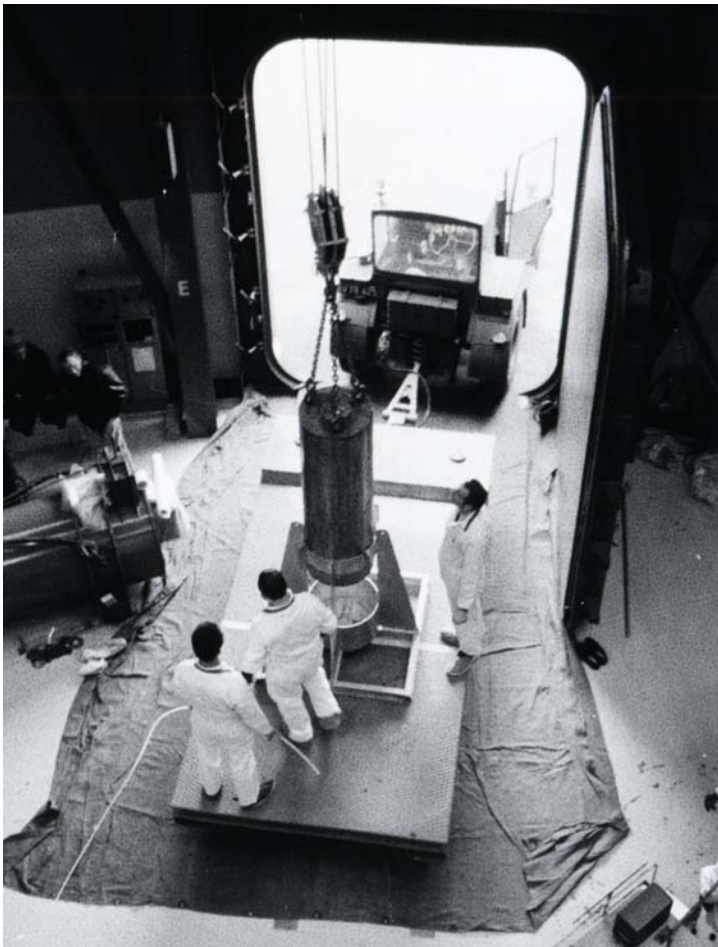
Figur 23. Prøver i bestrålingsdåser er ved at blive anbragt i bestrålingsfaciliteten i den termiske kolonne. Prøverne blev anbragt i huller i dertil indrettede grafitblokke, der med en stang kunne trækkes ind og ud af kolonnen. Foto fra 1960'erne.



Figur 24. Grafitklodserne lige ud for kernen i den termiske kolonne modtog en høj mængde neutronstråling og havde derfor en tendens til at svulme op (fænomenet skyldes Wigner-effekten der forklares i afsnit 4.3.). Efter et forgæves forsøg på at renormalisere klodserne ved at gennemføre den såkaldte "annealing proces", gik man over til den simple løsning at slibe klodserne med smergellærred. Dette skete regelmæssigt, men det var en ret farlig procedure, der måtte foregå i handskekasse ("glovebox").



Figur 25. Reaktorens sikkerhedsstang er taget ud til eftersyn og reparation. Den bliver afskærmet ved hjælp af betonklodser. I dette tilfælde havde sikkerhedsstangens støddæmper sat sig fast i lederøret. Delene i forgrunden til venstre er støddæmperen, der er blevet afmonteret. Foto fra 1960'erne



Figur 26. Scene fra brændselsskift. En transportbeholder med et brugt brændselement er ved at blive anbragt på en blokvogn, som er kørt ind i reaktorhallen. Foto fra 1960'erne.

2.3. DR3



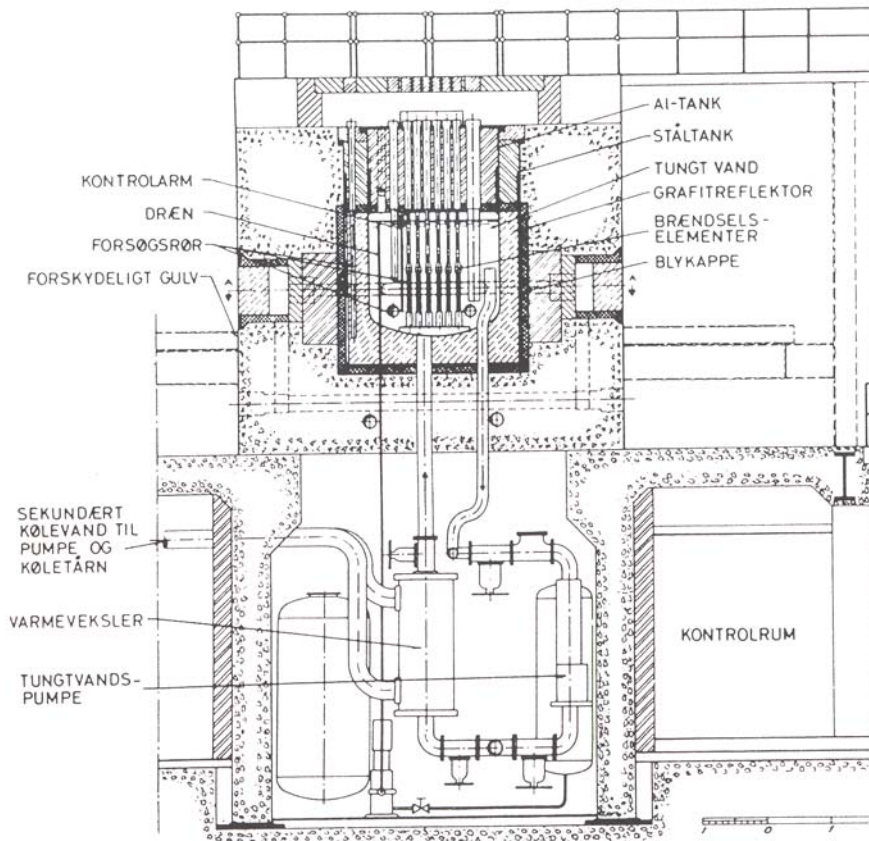
Figur 27. Et kig ud over reaktortoppen på DR3. Selve reaktoren befinder sig under den cirkelformede plade til højre i gulvet. Man kan også se rørene, hvorigennem brændselselementerne løbende blev udskiftet. Foto fra 2003, da reaktoren ikke mere var i drift.

2.3.1. Beskrivelse

DR3 benyttede tungt vand (D_2O) som moderator og kølemiddel. Da tungt vand er mindre tilbøjelig til at absorbere neutroner end let vand, fik man derved en bedre neutronøkonomi, hvilket bl.a. betød, at der kun var ca. 3,3 kg ^{235}U i DR3 (før 1990 endog kun 2,5 kg). Reaktorkernen bestod af 26 brændselselementer af samme type som DR2's brændselselementer, som hver indeholdt 10 svagt buede 1,5 mm tykke brændselsplader. Igennem tiden blev der anvendt lidt forskellige arrangementer af brændselsplader. I den oprindelige type var brændselspladerne anbragt parallelt i en kasse med ca. 5 mm afstand. I 1970'erne gik man over til at benytte en anden type, nemlig de såkaldt rørelementer, hvor pladerne var anbragt mellem to rør, hvoraf det inderste havde en diameter på 5 cm og det yderste en diameter på 12 cm. Herved kunne der i det inderste rør anbringes prøver til intensiv neutronbestrålning. Også med hensyn til brændslet og brændselselementerne er der gennem tiden sket væsentlige forandringer. I starten benyttede DR3 højt beriget uran (90 % ^{235}U , med i alt ca. 2,5 kg ^{235}U i reaktoren), hvorefter man i 1988-1990, som led i USA's bestræbelser på at sætte en stopper for leverancerne af højtberiget uran til udlandet, gik over til at anvende lavt beriget uran (19,75 % ^{235}U , med i alt ca. 3,3 kg ^{235}U).

Brændselselementerne var placeret i et kvadratisk mønster på bunden af en aluminiumtank, der indeholdt tungt vand. Rundt om kernen fungerede det tunge vand som reflektor. Den primære reflektor var dog en 30 cm tyk grafitbeklædning på aluminiumtankens yderside. Aluminiumstanken inklusive reflektoren var placeret i en ståltank, hvis vægge - for at reducere γ -strålingen - var beklædt med en 10 cm tyk blykappe samt plader med stoffet bor, som var i stand til at absorbere næsten alle lang-

somme neutroner. Hele reaktortanken var indkapslet i en tyk kappe af barytbeton – den såkaldte biologiske afskærmning. Opad var reaktoren afskærmet af en stål- og betonplade. Udefra ligner reaktoren mest af alt en firkantet betonblok.

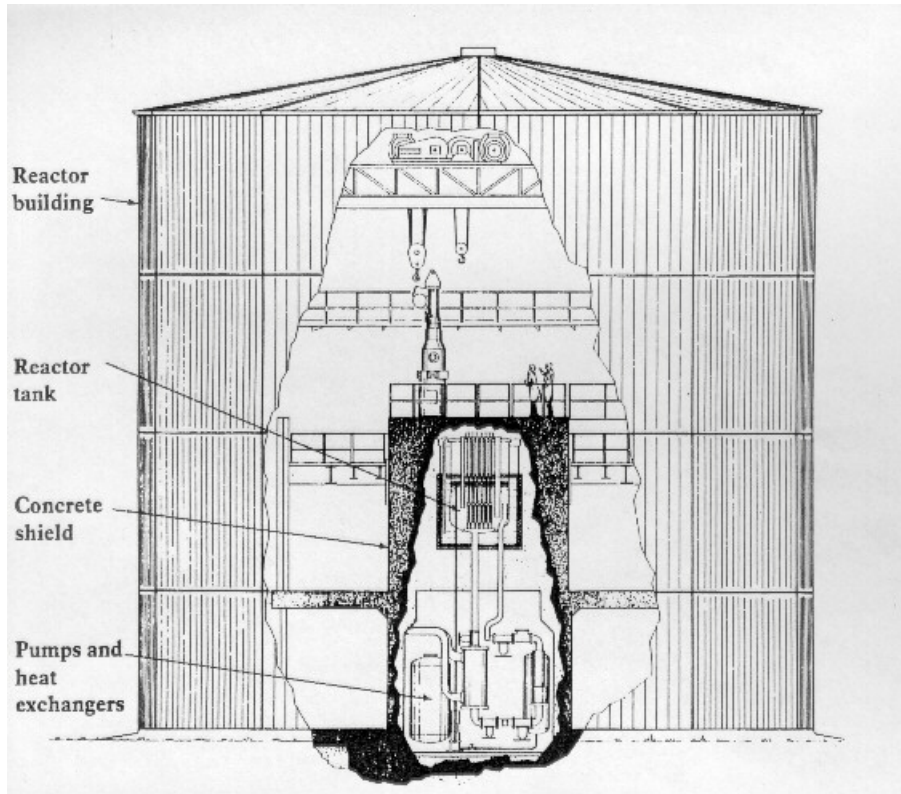


Figur 28. Konstruktionsdetaljer fra DR3's reaktorkerne og kølesystemet i kælderen

Brændselselementerne var forsynet med en indløbskasse og en udløbsåbning. Det tunge vand blev pumpet gennem reaktortanken og cirkulerede (med $19 \text{ m}^3/\text{min}$) op gennem brændselselementerne mellem brændselspladerne og køledisene, hvorved temperaturen i det tunge vand steg fra $32 \text{ }^\circ\text{C}$ til $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Fra reaktortanken pumpedes det tunge vand gennem varmeveksleren og afgav sin varme til et sekundært kredsløb forbundet med et køletårn. Det tunge vand blev løbende rensset for indtrængende let vand ved hjælp af en destillationskolonne til ca. 99,8 % renhed. For at minimere indtrængningen af almindeligt vand fra fugt i luften, var reaktortankens tungtvandsoverflade dækket af en He-atmosfære.

Start og stop af reaktoren foregik ved hjælp af syv lodrette kontrolarme, som kunne bevæges mellem rækkerne af brændselselementer. Under normal drift blev reaktoren løbende reguleret ved hjælp af en finreguleringsstang (indeholdende neutronabsorbende materiale) med automatisk effektstyring. Reaktorens to sikkerhedsstænger var ophængt i en stålwire i hver sit lukkede lodrette rør ("guide tube"). Sikkerhedsstængerne var ophængt ved hjælp af elektromagneter og blev styret af reaktorens sikkerhedssystem. En uønsket stigning i neutronintensiteten fik automatisk elektromagneterne til at slippe stængerne og kædereaktionen blev standset.

DR3 var i lighed med DR2 anbragt i en lufttæt cylindrisk stålbygning, med en indre diameter på 21 m og en højde på 22,4 m, hvortil der kun var adgang gennem lufttætte sluser. På ydersiden af stålcyklinderen sad de bærende konstruktioner, der var beklædt med isolering og et lag stålplader, der tilsammen dannede en stor 10-kant. En nærmere beskrivelse af bygningskomplekset følger i afsnit 3.3.

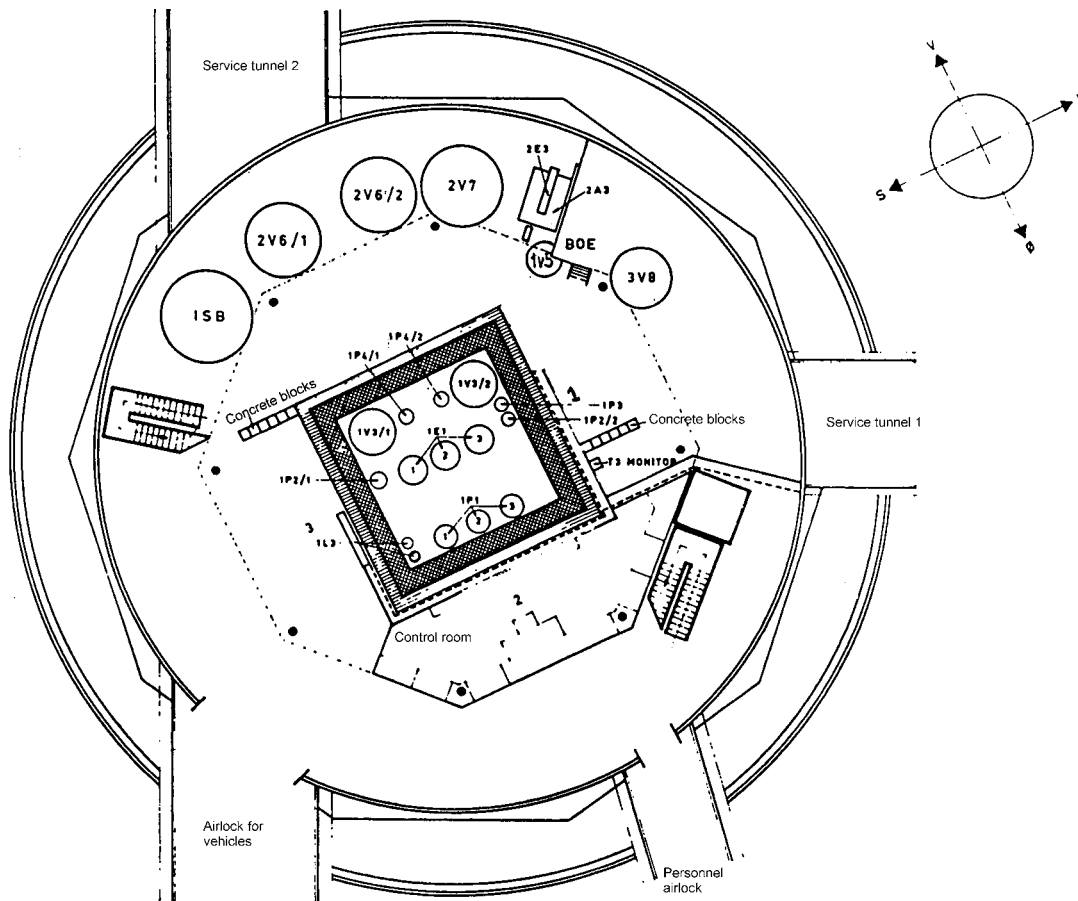


Figur 29. Et blik ind igennem reaktorbygningen på DR3

Reaktorbygningen var (se figur 29) inddelt i kælder, første etage og reaktortop. En oversigt over kælderplanet findes på figur 30. I kælderplanet var der indgang til reaktorbygningen gennem en lufttæt personalesluse (fra bygning 214a) samt en større sluse for køretøjer fra den såkaldte AH-hal (bygning 214). De nævnte bygninger er nærmere beskrevet i afsnit 3.3., hvor deres funktion er omtalt (se figur 50). På første etage var der desuden en nødudgang. Kontrolrummet (se figur 28, 31 og 33) befandt sig på øst-siden af reaktorrummets kælderplan og havde et totalt flademål på ca. 15 m³. Kontrolrummet rummede reaktorens kontroludstyr, som bl.a. omfattede et kontrolbord og kontrolpaneler til automatisk og manuel kontrol af reaktorens drift. En nærmere omtale af genstandene herfra findes i afsnit 4.4., mens nogle af rutinerne i kontrolrummet fremgår af interviewet med Heinz Floto (afsnit 5.3.) Det, at kontrolrummet befandt sig i selve reaktorhallen, havde den fordel, at vagtpersonalet kunne høre og lugte, når noget gik galt eller var i stykker (hvis f.eks. en transformator brændte af). Til gengæld indebar det nogle sikkerhedsmæssige problemer for personalet, der skulle ud af hallen, når noget gik galt.

På reaktorens sydside ud for køretøjsslusen var der et åbent arbejdsområde, som blev benyttet til transport ind og ud af reaktorbygningen af bl.a. prøvebeholdere og brændselsstave, som blev transporteret rundt i store afskærmede flaskeformede beholdere (såkaldt ”flasker”). Dette område blev også benyttet til krantransport op og ned fra

reaktortoppen, hvorfor der var en åbning på ca. 40 m³ op igennem loftet til første etage. Krantransporten foregik med en ringkran, der havde en kapacitet på op til 25 tons. Den vestlige og nordlige del af kælderen rummede forskellige faciliteter, herunder bl.a. tanke samt køle- og behandlingssystemet for den helium, der blev benyttet til at dække reaktorens tungtvandsoverflade. Under reaktorkernen var der i kælderen et særskilt kvadratisk (5 gange 5 m) rum - D₂O rummet - som indeholdt pumper, varmevekslere og forskellige tanke til reaktorens primære kølesystem.



Figur 30. Oversigt over DR3-reaktorbygningens kælderplan.

2.3.2. Drift og driftshistorie

Forskningsreaktoren DR3 blev leveret af det engelske ingeniørfirma Head Wrightson Processes Ltd. (HWP) (kontrakt sluttet 20/6-1957). DR3 var en variant af de to engelske forsøgsreaktorer og materialetestreaktorer DIDO og PLUTO, som blev installeret i forsøgsanlægget Harwell i henholdsvis 1956 og 1957. Der blev i alt produceret og installeret seks forsøgsreaktorer af denne type i hele verden. De fem andre befinder sig i henholdsvis Storbritannien (DIDO og PLUTO i Harwell og DMTR ved Dounreay, Skotland), Tyskland (FJR-2 ved forsøgsstationen i Jülich) og Australien (HIFAR ved ANSTO). Typen blev designet til at levere en høj neutronflux til tests af materialer under intensiv neutronbestråling. Med lukningen af den tyske reaktor FJR-2 i maj 2006 er alle seks reaktorer i denne klasse i øvrigt i dag lukket ned.

B&W fik chancen for at levere selve reaktortanken til det tunge vand, men det endte med at blive en temmelig kostbar fiasko, da man ikke kunne opfylde de tekniske speci-

fikationer, der blev angivet af HWP. Driften af DR3 blev indledt den 16/1-1960. Reaktoren blev taget ud af drift den 15/4-2000 på grund af mistanke om lækage. Efter en længere periode med eftersyn traf bestyrelsen i september 2000 beslutning om permanent driftsstop og satte derved det endelige punktum for DR3. Den engelske atomenergikommission (UKAEA) havde indtil midten af 1970'erne de kontraktmæssige rettigheder på leverance af brændselsstavene til DR3. Men fra 1975 blev brændselselementerne leveret af HSM's atomafdeling (se s. 15), som trods senere navneforandring grundet skiftende ejerforhold fortsatte med at lever brændselselementer til DR3 helt indtil nedlukningen i 2000.

Driftscyklus:

Reaktordriften foregik i 3-holdsskift. Hver driftscyklus varede 28 dage (4 uger), hvor reaktoren kørte konstant i 23½ døgn med indskudte pauser på 4½ døgn. En driftscyklus startede fredag morgen kl. 9.00 og reaktoren kørtes så i 23½ døgn for at blive lukket ned søndag aften kl. 21.00. Efter en længere pause, hvis årsager er forklaret i det nedenstående, gik man om onsdagen i gang med at foretage brændselskift. Der blev skiftet tre elementer pr. gang, hvilket tog to-tre timer pr. element. Såvel nye som brugte elementer blev transporteret i store blyafskærmede beholdere ("flasker"), der vejede 23 tons. Natten til fredag gik med rensning af He-dækgassen og afprøvning af sikkerhedssystemerne, således at man om morgenen kl. 9.00 var klar til at starte reaktoren op igen. Fhv. reaktorchef Heinz Floto beskriver denne forberedende uge som en særdeles travl tid.

Når reaktoren kører, producerer fissionsprocessen bl.a. iod-135 (der udgør ca. 6 % af fissionsprodukterne), som har en halveringstid på ca. 6,7 timer. Når den henfalder produceres isotopen xenon-135. ^{135}Xe har et enormt absorptionstværsnit for neutroner, og er derfor en effektiv "neutrontyv". Så længe denne isotop forefindes i større mængde i reaktoren, kan kædereaktionen ikke opretholdes. ^{135}Xe har en relativ kort halveringstid (9,2 timer). Under normal drift var tilstedeværelsen af ^{135}Xe begrænset, fordi der i DR3 ville være et overskud af neutroner, der kan absorberes af ^{135}Xe , hvorved isotopen løbende "brændte væk" i en dynamisk ligevægt. Men når reaktoren blev lukket ned, skete der i løbet af 2-3 timer en ophobning af ^{135}Xe , fordi der nu ikke længere var neutroner at absorbere. Ophobningen af ^{135}Xe kaldes "xenonforgiftning" og er et velkendt problem for reaktorer.

Når ophobningen af ^{135}Xe først var sket, tog det omkring tre døgn før reaktoren kunne startes igen. Det var derfor meget vigtigt, at reaktoren efter et "emergency shut down" eller et "trip" kom i gang igen i løbet af 2-3 timer. Hvis man ikke kom det, måtte man nemlig vente tre døgn. Det var xenonforgiftning, der var anledningen til, at man først kunne gå i gang med at skifte brændsel om onsdagen. Samtidig var man også interesseret i, at de hurtigst henfaldende fissionsprodukter var forsvundet, før man gik i gang med at skifte brændselselementer.

DR3 var ifølge Heinz Floto internationalt kendt som en særdeles pålidelig og stabil reaktor. Driften var baseret på to kerneværdier. For det første skulle sikkerheden være i orden. For det andet skulle reaktoren køre punktligt. Når reaktoren efter planen skulle starte op kl. 9.00 så var det 9.00 og ikke en halv time senere. Præcision, pålidelighed og punktlighed var vigtigt for de mange tilrejsende forskere, der bookedede tid ved en af de tilhørende forskningsfaciliteter. Når man spørger ind til årsagen til, hvorfor DR3 var så stabil en reaktor, henviser Heinz Floto til, at man gjorde meget for at holde på de

dygtigste teknikere og give dem gode arbejdsbetingelser. Men han henviser også til den måde man håndterede fejl på og den arbejdskultur man havde omkring fejl. Personalet blev nøje instrueret i at rapportere og dele deres viden om dysfunktioner i reaktoren og de fejl de selv begik. Det at begå en fejl var ikke automatisk fyringsgrund, men det kunne det være, hvis den blev gentaget.

Vagthold:

I 1983 opgives antallet af medarbejdere på DR3 til 66, hvoraf de otte var akademikere. Heinz Floto beretter, at et vagthold bestod af fire personer. Lederen af vagtholdet var maskinmester og blev assisteret af to reaktoroperatører (med en særlig uddannelse) og en assistent, som runderede og foretog små vedligeholdelsesopgaver. Desuden var der altid en reaktoringeniør på døgnvagt. Han tilhørte ikke selv vagtholdet og befandt sig ikke nødvendigvis i reaktorrummet, men han kunne altid tilkaldes. Vagtholdet var også på plads, når reaktoren var ude af drift. Der skulle altid være mindst en person i kontrolrummet og helst to. Dette betyder, at reaktorens kontrolrum har været bemandedt uafbrudt i de 40 år, der gik fra starten af 1960 til reaktoren blev lukket ned i år 2000.

En medarbejder på et vagthold ved DR3 kunne forvente i løbet af et år at modtage en strålingsdosis på ca. 2 gange den naturlige baggrundsstråling, hvilket ikke er sundhedsfarligt. Som et eksempel på de potentielle risici ved arbejdet ved DR3, kan det nævnes, at strålingen fra et uafskærmet nyudtaget brændselement var så stor, at man i en meters afstand ville få en dødelig dosis på omkring 10 sekunder. Netop af den grund blev brændselementer transporteret i blyafskærmede beholdere!



Figur 31. Diskussion i DR3's kontrolrum. Den oprindelige instrumentering i kontrolrummet blev udskiftet i årene omkring 1980. Instrumenteringen, der ses på dette billede, er anden generation og den sidder endnu i kontrolrummet. Alarmpanelerne i loftet er beskrevet i afsnit 4.4. Foto fra starten af 1980'erne.

2.3.3. Anvendelse

Reaktoren var forsynet med 18 forsøgsrør, der førte ind til området omkring reaktorkernen. Heraf var de 14 lodrette, af hvilke de otte førte ned i reaktortankens tunge vand, mens de seks førte ned i grafitreflektoren. De lodrette forsøgsrør blev benyttet til *in pile* forsøg, hvor prøven bestråles i området omkring selve reaktorkernen. Som sagt kunne der herudover anbringes prøver i de særlige rørelementer. Endelig var der fire vandrette forsøgsrør, som fungerede som neutronkilder til *out of pile* forsøg. Reaktoren havde en maksimal termisk effekt på 10 MW og leverede for fuld kraft en termisk neutronflux på $1,5 \cdot 10^{14}$ neutroner pr. cm^2 pr. sekund.



Figur 32. En dåse med silicium flyttes i en blyafskærmet transportflaske til lagerområdet på toppen af DR3 fra det forsøgsrør, hvor den er blevet bestrålet. Si-produktionen er omtalt i teksten nedenfor. Foto fra sidst i 1970'erne.

DR3 er gennem tiden blevet benyttet til Risøs reaktortekniske forsknings- og udviklingsarbejde. Den blev således brugt til forsøg med de dansk producerede brændsels-elementer og i forbindelse med de ambitiøse reaktorteknologiske forsknings- og udviklingsprojekter, som Risø bedrev i 1950'erne og 1960'erne. I lighed med DR2 blev DR3 benyttet til produktion af radioisotoper. I 1970'erne blev reaktoren anvendt til røntgenfluorescens-undersøgelser af boreprøver fra Nordsøens undergrund. Prøverne blev bestrålet i DR3 og gennemgik derefter nuklear analyse. Man kunne på den måde måle prøvens indhold af forskellige grundstoffer og herudfra sige noget om undergrundens geologiske historie og mulighederne for olie- og gasfund. Et andet stort arbejdsområde med industriel og kommerciel betydning var samarbejdet med Topsil A/S om produktion af neutrondoteret silicium eller NTD-silicium. Processen (på engelsk hedder den "neutron transmutation doping" (forkortet NTD)), gik ud på, at man ved at bestråle siliciumkrystaller med termiske neutroner fik omdannet (transmuteret) en del af siliciumatomerne til fosfor (P), hvorved der blev skabt en halvlederkrystal.

stal. Denne proces kunne udføres meget præcist og give krystaller med en meget ensartet fordeling af P-atomer, som bl.a. kunne benyttes i kraftdioder. Denne produktion startede ved DR2, men blev ved denne reaktors lukning i 1975 flyttet til DR3. Produktionen var en stor kommerciel succes: i 1992 blev ca. 30% af verdensproduktionen af NTD-silicium bestrålet i DR3.

DR3 var dog hovedsageligt en grundforskningsfacilitet og som sådan havde den i en lang årrække en ganske prominent plads blandt de største europæiske big-science forskningsfaciliteter. Reaktoren tiltrak endnu i 1990'erne årligt omkring 200 forskere fra hele verden. Den var på samme tid både krumtappen og flagskibet i Risøs grundforskningsaktiviteter. DR3 havde et højt neutronflux, hvilket gjorde den velegnet til neutronfysiske eksperimenter og som neutronkilde i forbindelse med kernefysiske og faststoffysiske eksperimenter. Som neutronkilde var den blandt de bedste i verden. Det var DR3, der leverede neutronbeamtet til Fysikafdelingens målinger af neutronens middellevetid – et af Risøs absolut største forskningsmæssige resultater.

I et af de fire vandrette forsøgsrør blev der i starten af 1970'erne installeret en såkaldt "kold kilde". Det samme var sket ved den tyske søsterreaktor FRJ-2 i 1970. Den kolde kilde bestod af en beholder, som indeholdt nedkølet brint. Når neutronerne kolliderede med brintatomerne blev de energirige neutroner nedbremset og man fik et beam bestående af neutroner med lavere energi – de såkaldte kolde neutroner. Disse neutroner er blandt andet blevet benyttet til materialefysiske undersøgelser, herunder f.eks. hvordan atomer opfører sig ved lave temperaturer i forskellige materialer. I 1980 blev "den kolde neutronkilde" udbygget med det såkaldte SANS-instrument (Small Angle Neutron Scattering), som gjorde det muligt at undersøge kemiske processer i biologisk aktive molekyler uden at beskadige dem. SANS-instrumentet blev i 1990'erne benyttet til at undersøge, hvordan superledende materialer påvirkes af eksterne magnetfelter. Herigennem kan man sige noget om gitterstrukturen og faseovergange i superledende materialer. Se i øvrigt Nielsen et al (1998) s. 470-478 for en detaljeret gennemgang af, hvad forskerne på Risø gennem tiden har fået ud af neutronerne fra DR3.

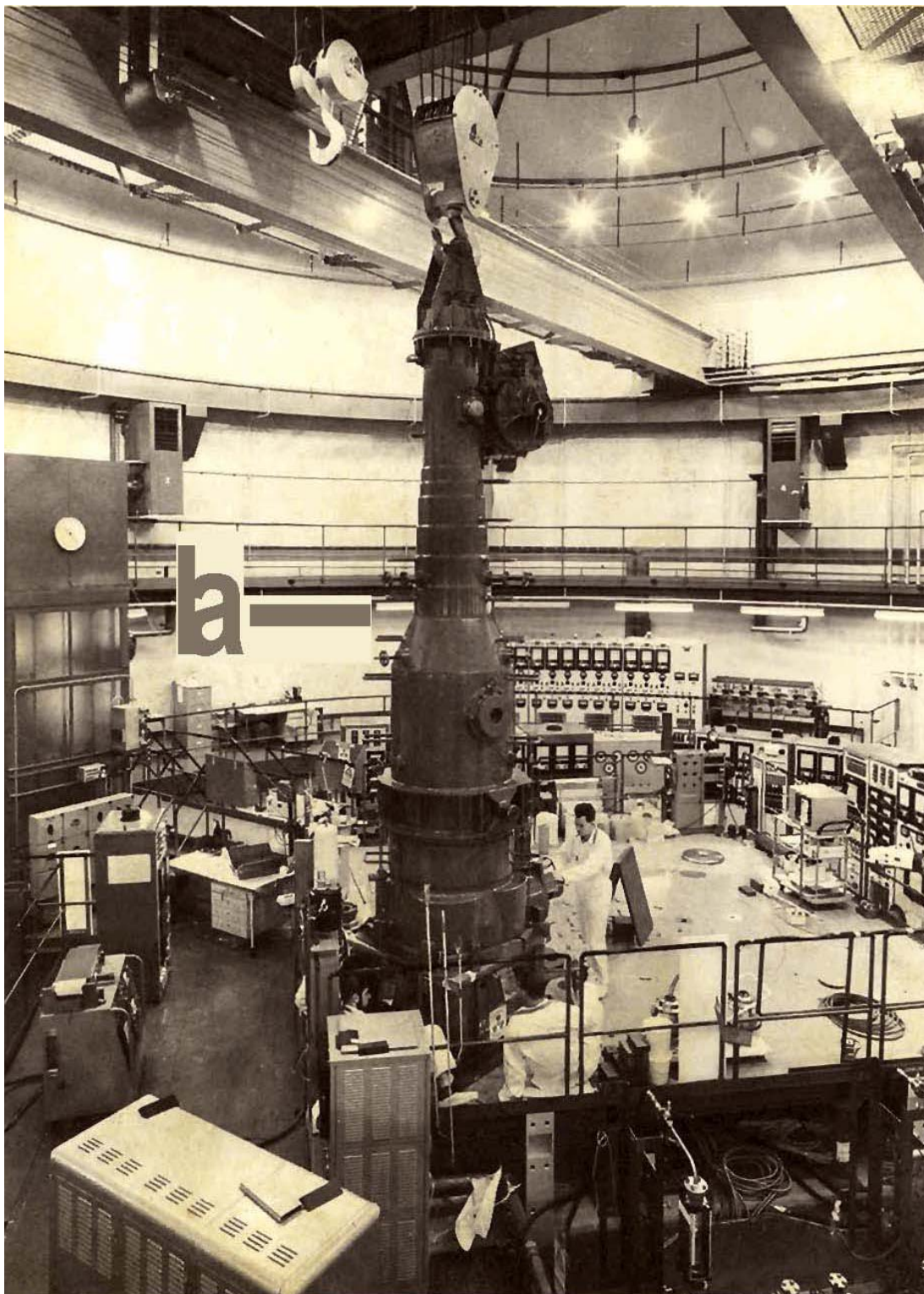
2.3.4. Bevaringsstatus september 2006

DR3 var Risøs største reaktor. Det er kun seks år siden, at reaktoren blev taget ud af drift. Dekommissioneringen af DR3 befinder sig stadig næsten udelukkende i planlægningsfasen. Reaktoren blev efter nedlukningen tømt for brændsel og dette blev i 2002 returneret til USA. Herudover er det kun dele af det perifere udstyr, som er fjernet fra reaktoren. Denne fase vil vare indtil 2012, hvor den fysiske dekommissionering af reaktorblokken efter planen vil begynde. Det betyder, at DR3 er det af Risøs reaktor-anlæg, der har det største indsamlingsmæssige potentiale. Det er også herfra, at det største antal genstande hjemtages. Fotos og beskrivelser af de enkelte genstande er findes i afsnit 4.4.

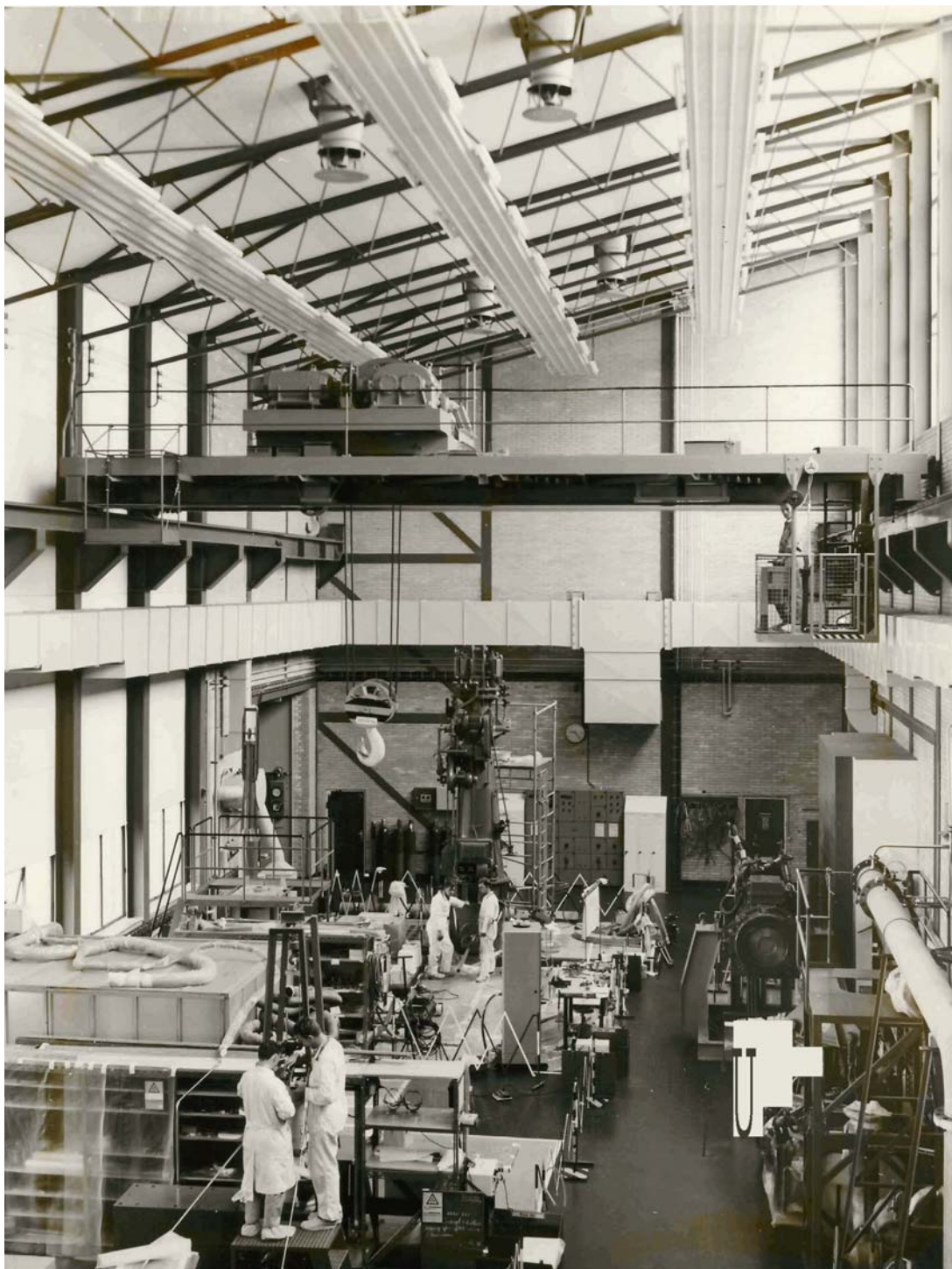
2.3.5. Fotodokumentation – billeder af driftssituationer



Figur 33. Et blik ind i DR3's kontrolrum i 1960'erne, hvor man ser kontrolrummets oprindelige instrumentering. Sammenlign evt. med figur 31, hvor man ser anden generations instrumenteringen. Flere af apparaterne er beskrevet i afsnit 4.4.



Figur 34. Et blik ud over DR3's reaktortop, hvor man er i færd med udskiftningen af et brændselselement eller en prøve. Emnet, der skulle udskiftes, ankom i den store blyafskærmede transportflaske. Transportflaskerne vejede op til 25 tons og var 5,3 m høje. Læg i øvrigt mærke til hvor mange instrumenter, der fandtes på toppen af DR3. Foto fra 1960'erne.



Figur 35. Et vue ud over den såkaldte AH-hal, hvor mange af de løbende vedligeholdelsesopgaver ved DR3 blev løst. I hallen var der også lagerfaciliteter til brændselementer og et skærebassin, hvor uranmetallet blev adskilt fra aluminiumindkapslingen på brugte brændselementer. Indgangen til reaktorhallen sker gennem sluseporten til højre i billedet. Billedet er fra 1960'erne.

2.4. Hot Cell anlægget

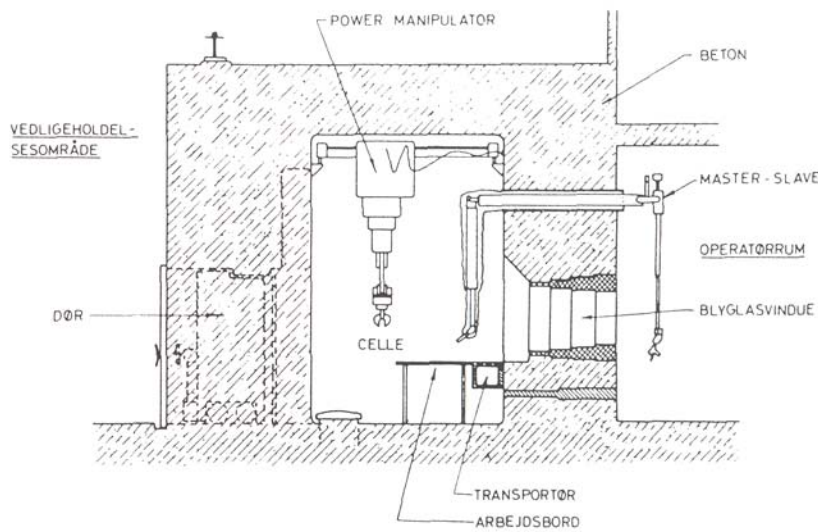


Figur 36: Arbejdet med kontaminerede eller aktiverede emner foregik ved Risøs Hot Cell anlæg bag tykke betonvægge og blyglasruder ved hjælp af fjernstyrede robotarme, såkaldte master-slave manipulatorer. Ukendt dato, formentlig fra 1960'erne

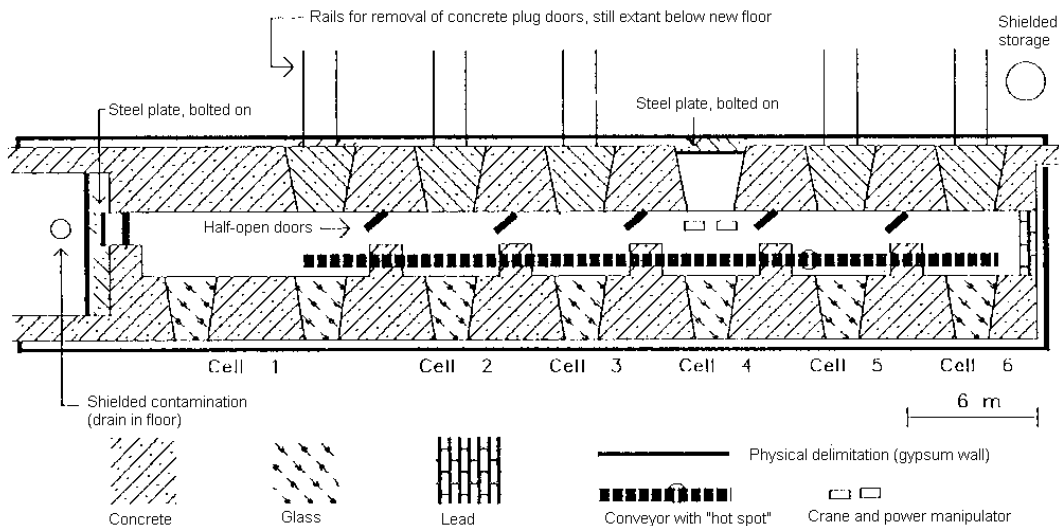
2.4.1. Beskrivelse

Hot Cell anlægget blev benyttet til fjernstyret mekanisk håndtering af radioaktive emner, som på grund af strålefare ikke kunne håndteres direkte. I Hot Cellerne lavede man således f.eks. kemiske eller metallurgiske undersøgelser af bestrålede genstande og materialer som reaktorbrændsel, til emballering af radioaktive kilder. Cellerne blev også benyttet til eftersyns- og reparationsarbejde på reaktorkomponenter.

Anlægget bestod af seks lufttætte celler placeret på en række, af hvilken de fem indvendigt målte ca. 3,3 m (l) gange 3,0 m (b) gange 4,1 m (h). Den første celle, opskæringscellen, havde dobbelt længde. Den indre del af anlægget bestod af en stålkasse med dimensionen (l=39 m, b=4 m, h=5 m). Facaden bestod ligeledes af en stålramme. Betonvæggen herimellem var ca. 1,8 m tyk. Fra operatørrummet kunne man se ind i cellerne gennem syv tykke vinduer af blyglas. Til hvert vindue hørte et sæt master-slave-manipulatorer – fjernstyrede hænder – hvormed arbejdet kunne udføres. Til transport af større emner i cellerne var der en større manipulator (power manipulator) samt en kran med løfteevne på 1,5 tons. Begge disse blev betjent fra bevægelige kontrolpulte i operatørrummet og kunne gennem døre køres gennem alle seks celler. Mindre emner blev transporteret mellem cellerne på en særlig transportør (conveyor). Hver celle indeholdt et arbejdsbord. Adgangen til cellerne foregik gennem fem tykke betondøre på cellernes bagside. Jf. i øvrigt figur 37 og 38. Adgang til cellerne kunne kun foregå når radioaktivitetsniveauet var bragt ned under et vist niveau. Den person, som skulle ind i cellen, blev iført en beskyttelsesdragt, der omsluttede hele kroppen, og hvor både åndedræt og kommunikation foregik gennem en slange.



Figur 37: Et snit gennem en Hot Cell



Figur 38: Oversigtsplan over Hot Cell anlægget.

2.4.2. Anvendelse

Hot Cell anlægget var i brug fra 1964 til 1989. I 1993 blev anlægget rengjort og forseglet bag beton.

Hot Cell anlægget var placeret ikke så langt fra DR3, hvorfra de fleste af de bestrålede emner stammede. Den normale arbejdsgang ved anlægget var, at de bestrålede emner ankom fra DR3 i lufttætte prøvebeholdere af aluminium i store blyafskærmede transportbeholdere ("flasker"). Med afskærmning kunne disse veje helt op til 25 tons. Prøvebeholderne blev først gennem sluseanlægget ført ind i celle 1 (den såkaldte opskæringscelle), hvor emnet blev taget ud af prøvebeholderen. Herefter blev det transporteret til en af de øvrige celler, hvor selve undersøgelserne eller reparationsarbejdet blev lavet. Når arbejdet var færdigt, blev affaldet – stadig bag betonvæggene – pakket ned i ståltromler og derefter ført til en afskærmet lagerplads for radioaktivt

affald. Mere konkret er anlægget blevet benyttet til undersøgelse af bestrålede brændselsstave fra DR3 og fra en række udenlandske reaktorer (hvoraf nogle var plutoniumberigede). Anlægget er også blevet brugt til at udvinde og emballere radioisotoper til stråleterapeutisk behandling, herunder navnlig ^{60}Co .

2.4.3. Bevaringsstatus september 2006

Hot Cell anlægget har siden 1993 været forseglet i beton således, at der lige nu kun er adgang til et areal oven over selve cellerne. Selve cellerne er stadig stærkt kontaminerede, hvorfor det ikke har været muligt, at besigtige eller indsamle genstande herfra. Dekommissioneringsarbejdet forventes at blive indledt primo 2008. Fra Hot Cell anlægget vil Steno Museet modtage en *heldragt til arbejde med kontaminerede materialer*, som i mellemtiden har været opbevaret ved DR3, hvorfor den er omtalt sammen med genstandene fra DR3 i afsnit 4.4. Der er således ikke indsamlet genstande fra denne del af Risø. Med hensyn til fotodokumentation har vi været helt henvist til historisk materiale. Set ude fra er der ikke noget ekstraordinært ved den bygning, der rummer de indkapslede celler. Hot Cell faciliteterne er af denne grund heller ikke medtaget under bygningsregistreringen.

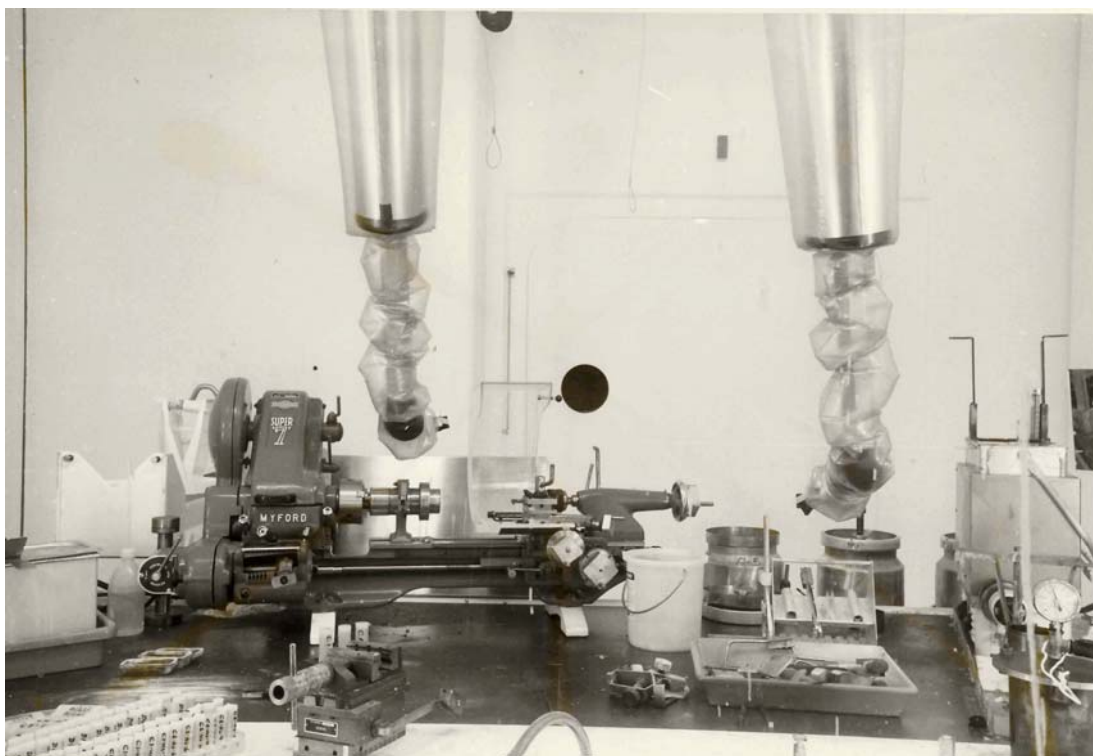
2.4.4. Fotodokumentation – billeder af driftssituationer



Figur 39. Når der skulle arbejdes inde i Hot Cellerne, var det nødvendigt at benytte en ventileret heldækkende strålebeskyttelsesdragt. En dragt af noget nyere dato vil blive hjemtaget til Steno Museet og den er derfor nærmere beskrevet i afsnit 4.4. Foto fra 1960'erne.



Figur 40. Arbejde med fjernbetjente master-slaves manipulatorer ved Hot Cell anlægget. Arbejdet kunne følges på tæt hold ved hjælp af en kikkert. Foto fra 1960'erne.



Figur 41. Et nærmere blik på en arbejdsopstilling inde i en celle. I dette tilfælde benyttes en metaldrejebænk til metallurgisk arbejde. Også kemiske analyser kunne man gennemføre ved hjælp af master-slave manipulatorerne. Foto fra 1960'erne.

3. Reaktorbygningerne

De fleste Risø's bygninger, der husede nukleare faciliteter, er bygget i perioden fra 1956 til begyndelsen af 1960'erne. Bygningerne er gennemgående lave og ligger i små sammenhængende klynger, der er spredt ud i landskabet. For flertallets vedkommende er der tale om ét etagers bygninger opført i gule mursten, som rundt omkring er beklædt med rippede aluminiumpaneler. Stilen er en funktionalistisk og strengt rationel industrimodernisme. Der er tale om en mellemting mellem industri- og universitetsarkitektur, således at bygningerne stilmæssigt afspejler anlæggets industrielt-akademiske funktion. Arkitekten var den kgl. bygningsinspektør og professor ved Kunstakademiet Preben Hansen (1908-89). Preben Hansen blev senere kendt for sine undervisningsbygninger (gymnasierne i Birkerød, Rungsted og Roskilde Katedralskole, alle fra 1960, og Roskilde Universitet), men havde før Risø-projektet hovedsageligt beskæftiget sig med industribygninger (C.W. Obels tobaksfabrikker i Aalborg, Hirschsprungs tobaksfabrik i Virum og Aalborghallen). Hansen interesserede sig for, hvordan industrialiseringen og rationaliseringen af arbejdsmetoderne påvirkede arkitekturen og skabte vigtige stilmæssige fornyelser. Risø byggeriet var rationelt og standardiseret: bygningerne er således opdelt i elementer på tre meter, således at bygningernes dimensioner gennemgående er et multiplum af 3 m. Selve byggeriet foregik i en eksemplarisk ekspresfart, der i tidens jargon blev døbt "Risø-tempo". At noget foregik i Risø-tempo, var udtryk for eksemplarisk effektivitet og hurtighed.



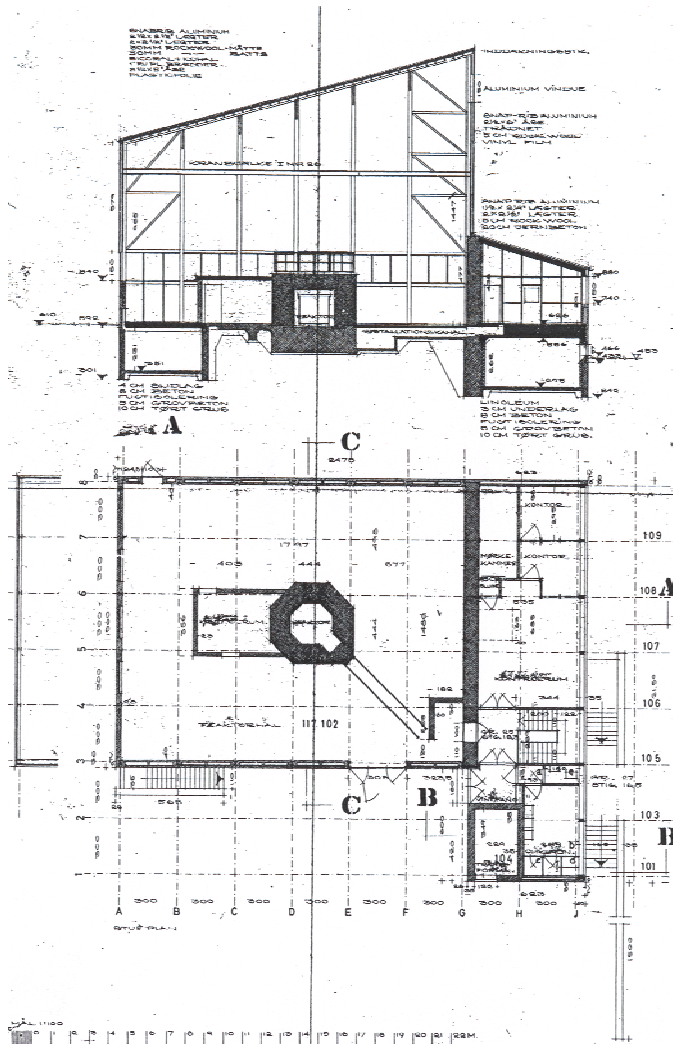
Figur 42. Reaktor DR2 og DR3 med tilhørende bygninger. Foto fra omkring 1960.

3.1. DR1-komplekset

DR1 var placeret på et isoleret område mod syd, umiddelbart inden for halvøens basis. Selve reaktorbygningen har et indvendigt mål på 15 m gange 18 m. De nederste dele af væggen består af gule mursten, ovenpå hvilken der er konstrueret en rockwool-isoleret ramme, som yderst er beklædt med ribbede aluminiumplader og inderst en plastfolie (hvilket tydeligt ses på figur 7). Bygningens skråtag består ligeledes af aluminiumplader. Dette ikke nogen særlig solid konstruktion, hvilket afspejler, at DR1 var en ganske lille forsøgsreaktor, som ikke stillede særlige arkitektoniske krav. Reaktoren, der nu er helt væk, var placeret omtrent i bygningens centrum. Langs reaktorbygningens vestside, er der en lav et-etages bygning (der indvendigt var ca. 21 m lang og 6 m bred) som rummede kontrolrum, kontorer og andre hjælpefunktioner. Under denne del af bygningen var der desuden en kælder.



Figur 43. Bygningen der husede DR1 var Risøs første reaktorbygning. Billede fra kort efter opførelsen, omkring 1957. I dag er bygningen næsten helt gemt bag høje træer. At Risøs fotograf Preben Nielsen var en dygtig fotograf, der havde en godt blik for stedets særegne og noget sterile atmosfære, fremgår tydeligt af dette billede.



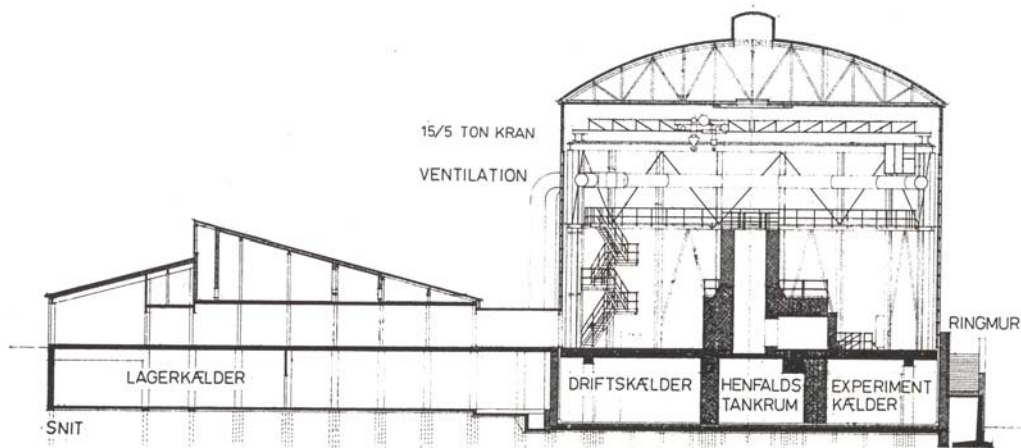
Figur 44. Plantegning over DR1-bygningen, som viser reaktorens placering

3.2. DR2-komplekset

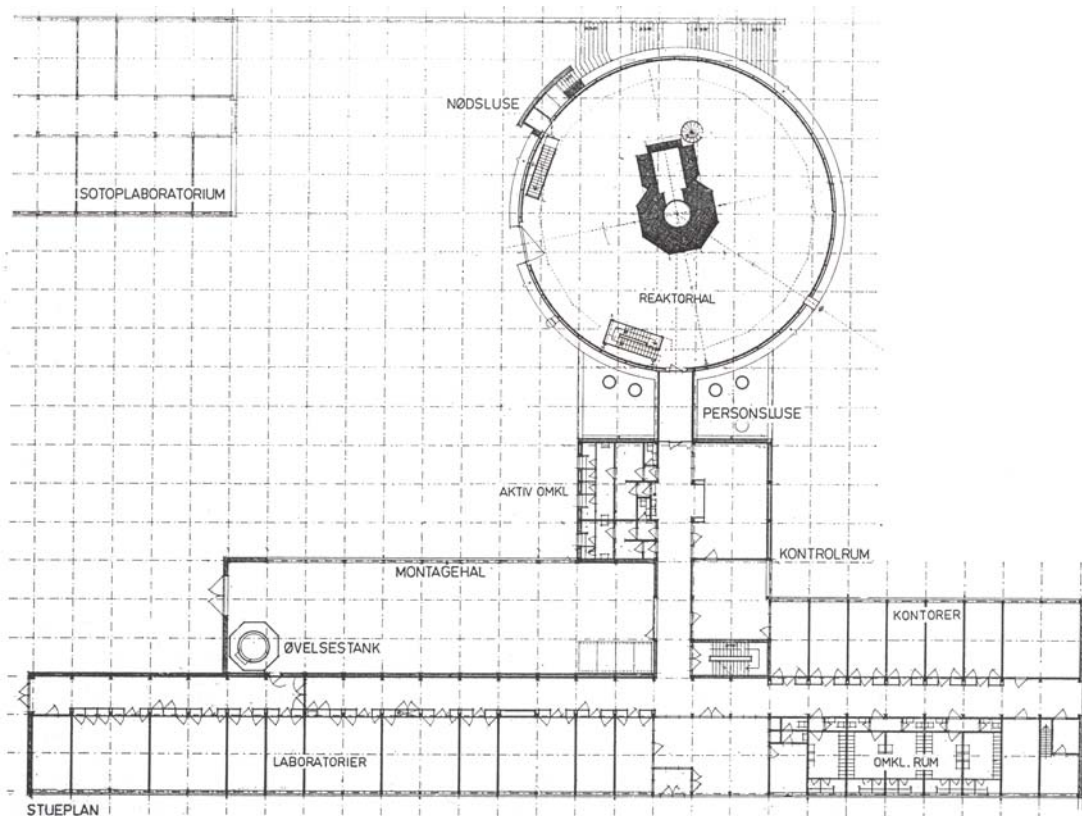
DR2-komplekset er placeret på den sydvestlige del af halvøen. Selve reaktoren er placeret i en lufttæt cylinderformet reaktorhal af stål, som har en indre diameter på ca. 24 m og en centerhøjde på ca. 20 m. Stålcylinderen er anbragt oven på en ringmur af gule teglsten. Reaktorhallen er forsynet med en ringkran, der har en maksimal kapacitet på 15 tons. Under reaktorummet er der en driftskælder, hvor bl.a. pumper og tanke til det sekundære kølekredsløb samt filter- og ionbytteranlæg befinder sig. Et rum lige under reaktoren (henfaldstankrummet) indeholder tanke til reaktortankens lette vand. En anden del af kælderen blev benyttet som eksperimentkælder.

Normalt foregik adgangen til reaktorhallen gennem en personsluse, men hallen var desuden forsynet med en lufttæt nødsluse for personalet. Den lufttætte nødsluse bestod af to døre, hvorimellem der var en vandfyldt grav, som på midten var adskilt af en lodret væg, der fortsatte ca. 75 cm ned under vandoverfalden. I tilfælde af uheld skulle personalet dykke ned gennem vandet for at komme ud af reaktorhallen. Dette var ikke nogen helt naturlig sag – og slet ikke i en stresset situation. Personalet var derfor trænet i denne procedure. Desuden var der adgang til reaktorhallen gennem en større port

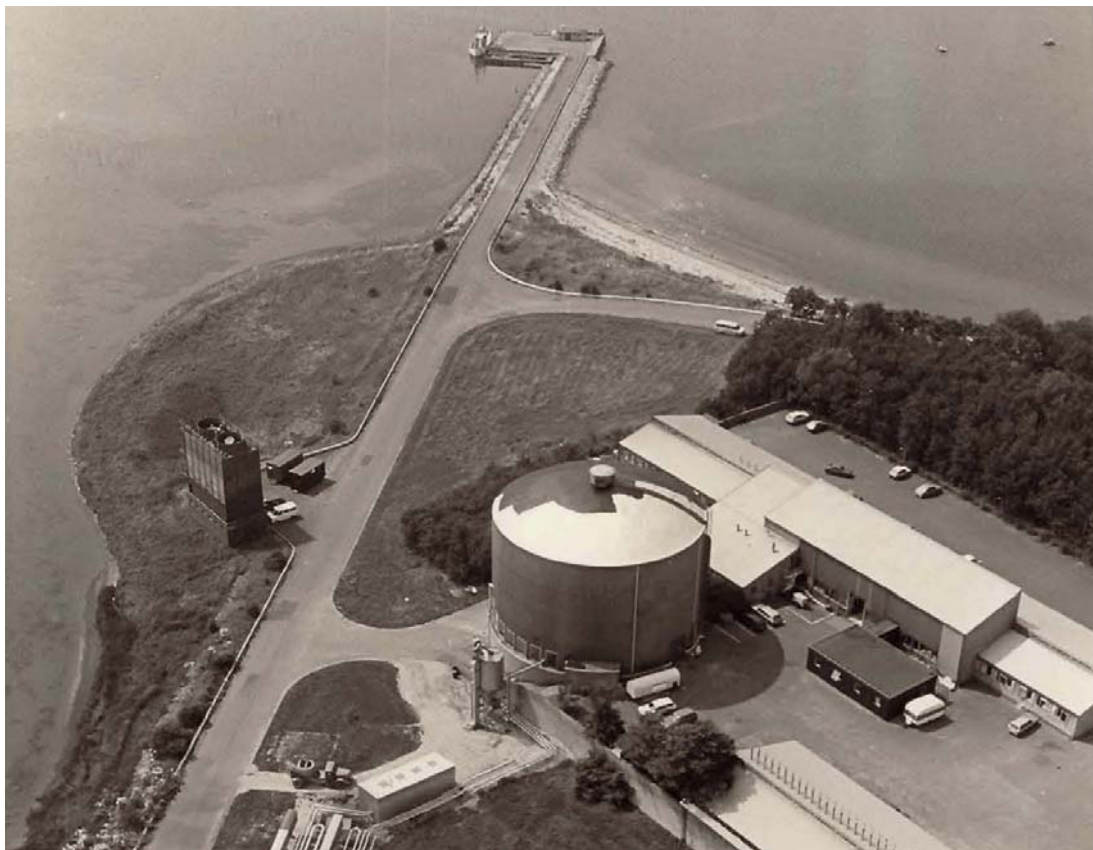
til køretøjer. Porten blev kun benyttet, når reaktoren var ude af drift, hvorfor den ikke behøvede at være en dobbeltport. Umiddelbart ved siden af indgangen til personslusen befandt reaktorens kontrolrum sig, lige som der i tilknytning til personslusen var et såkaldt aktivt omklædningsrum med brusekabiner beregnet til afvaskning i tilfælde af kontaminering. En længere bygning ved siden af reaktorhallen (længde 51 m og maksimal brede 18 m) rummede kontorer, montagehal med øvelsestank, laboratorier og almindelige omklædningsrum. Øvelsestanken er kun blev brugt meget lidt, da der var problemer med algevækst og fordi man simpelthen benyttede selve reaktortanken som øvelsesplads. Overfor reaktorhallen lå isotoplaboratoriet, hvor Risøs isotopproduktion, der i mange år havde sit centrum ved DR2, fandt sted.



Figur 45. DR2. Reaktortårnet og den tilstødende bygning set fra syd



Figur 46. Plantegning: DR2, reaktortårnet og bygningerne omkring



Figur 47. DR2-komplekset på den yderste ende af halvøen. Foto fra sidst i 1970'erne, hvor reaktoren var lukket ned og bygningen blev benyttet til forsøg med ekstraktion af uran fra grønlandsk malm. Den mørke bygning ved strandkanten til venstre er reaktorens køletårn.

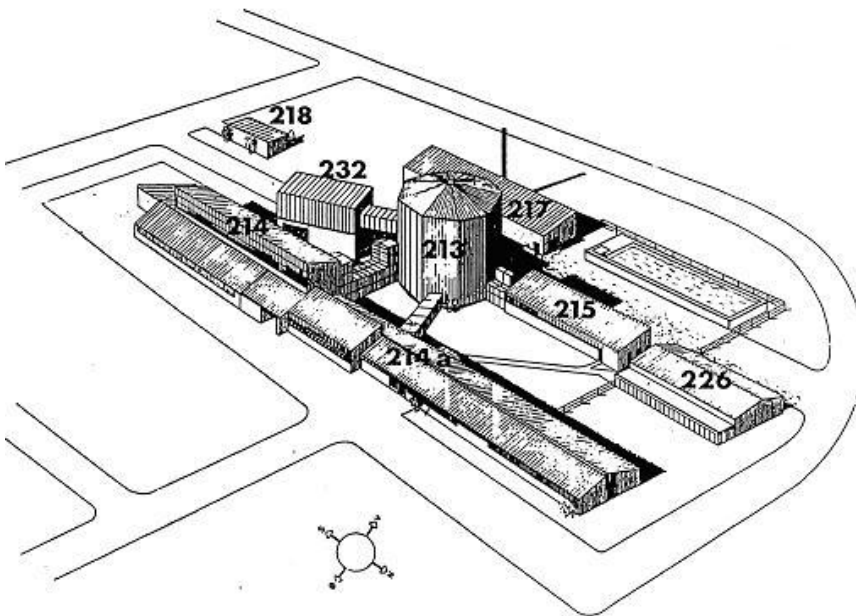


Figur 48. DR2 med de tilstødende bygninger, her set fra sydvest. Foto fra august 2006.



Figur 49. DR2-komplekset. August 2006.

3.3. DR3-komplekset



Figur 50. Bygningskomplekset omkring DR3.

DR3-komplekset ligger på et opfyldt landområde på den yderste nordvestlige del af halvøen. Det består foruden selve reaktorbygningen (213 (dette og de følgende tal henviser til figur 50)) af en række bygninger, som huser hjælpe- og administrationsfaciliteter. Alle de oprindelige bygninger er opført i gule mursten med tag af aluminium-

plader. Reaktorbygningen består af en lufttæt cylinder med en indre diameter på 21 m og en højde på 22,4 m i midten, hvilket giver et rumfang på ca. 8000 m³. På ydersiden af cylinderen sidder de bærende elementer og en isolering. Yderst er bygningen beklædt med profilerede aluminiumplader, som danner en 10-kant. De indre dele af reaktorbygningen er beskrevet nærmere i afsnit 3.3.

Blandt de omkringliggende bygninger skal vi her kort omtale de vigtigste.

Normalt skete indgangen til reaktorbygningen fra kontorbygningen (214a). Bygningen rummede bl.a. værksteder og reaktorpersonalets kontorer. Et elektronisk system sikrede, at kun personer med tilladelse kunne komme ind igennem reaktorslusen uden eskorte. Ved indgangen til slusen fandtes håndvask, monitorer til måling af radioaktivitet samt et baderum til personlig dekontaminering.

Mod syd ligger bygning 214, den såkaldte AH-hal ("active handling"). Den måler 12 m gange 39 m. Det var her, at de nødvendige operationer til reaktorens løbende drift og vedligeholdelse foregik. I den nordlige del af bygningen - nær køretøjsslusen - findes i gulvet en lagerfacilitet til midlertidig opbevaring af op til 80 brugte brændselselementer og 24 bestrålede prøver fra DR3's lodrette forsøgsrør. I samme ende af bygningen er der mod øst yderligere en facilitet til opbevaring af op til 30 prøver fra reaktorens vandrette forsøgsrør. Længere mod syd er der bl.a. en facilitet til inspicering og reparation af reaktorens kontrolarme og tungtvandspumperne. Der var endvidere et område til opbevaring af de store blyafskærmede "flasker". Længst mod syd er der et 4,5 meter dybt vandfyldt opskæringsbassin, hvor de brugte brændselselementer blev opskåret og det brugte uranbrændsel adskilt fra aluminiumindkapslingen. Disse operationer foregik under almindeligt vand, som er en god afskærmning mod gammastråling.

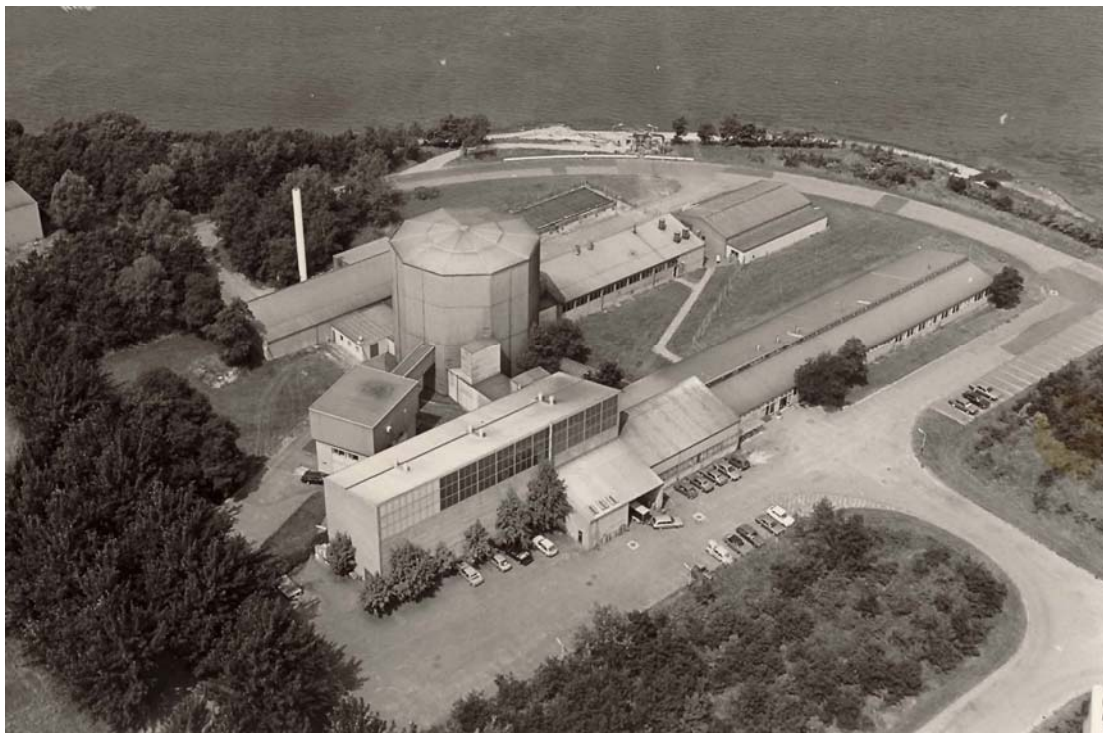
Bygning 215 rummede de for reaktordriften nødvendige elektriske faciliteter, som f.eks. transformatorer, generatorer til nødstrøm og airconditioning-anlæg.

Bygning 217 rummede de pumper, som drev reaktorens kølesystem, samt filtre og blæsere til reaktorens ventilationssystem.

Bygning 218 rummede DR3's nødkontrolrum. Bygningen har meget tykke vægge (op til 125 cm) og lofter (100 cm). Herfra kunne man fjernbetjene enkelte af reaktorens funktioner i tilfælde af et reaktoruheld.

Bygning 226 er en lagerbygning. Langs bygningens østside findes i et rum en række batterier, som skulle levere jævnspænding til de motorgeneratorer der leverede strøm til reaktorens nødkølesystem, -belysning og -ventilation. Batterierne er brugte ubådsbatterier, som man fik leveret gratis fra søværnet.

Endelig er der tæt på reaktoren neutronbygningen (232), der rummede spektrometre og andet forsøgsudstyr. Her foregik de neutronfysiske og andre eksperimenter, hvor der blev benyttet neutroner fra DR3. Neutronerne blev ført ind i bygningen gennem et lederør. Neutronbygningen blev opført i 1973-74.



Figur 51. DR3-komplekset fotograferet fra Risøs meteorologimaste. Foto fra sidst i 1970'erne. Billedet lader sig datere, da det er fotograferet samtidig med figur 47. Neutronhuset (den lille firkantede bygning til venstre for reaktorhallen) er opført i starten af 1970'erne.



Figur 52. DR3: Den 10-kantede reaktorbygning set fra nord. Tilbygningen med det pyramideformede glastag er fra 1980'erne. Foto fra 2003.



Figur 53. Bagsiden af medaljen. DR3-komplekset set fra vest, hvor man bl.a. har en materielgård. Her fornemmer man virkelig anlæggets industrielle karakter. Foto fra september 2006.

4. Genstandsbeskrivelser

Efter en kort gennemgang af de udvalgs-kriterier og betingelser, der har styret indsamlingsprocessen, følger der en gennemgang indeholdende funktionsbeskrivelser og fotodokumentation af de genstande, som er eller i fremtiden vil blive overført til Steno Museet. Med kyndig bistand, hjælp og vejledning fra nuværende medarbejdere ved Dansk Dekommissionering og gamle Risø-medarbejdere er genstandene blevet udpeget af Steno Museet og Elmuseet i forening. Genstandene vil efter aftale med Elmuseet blive opbevaret på Steno Museet.

4.1. Udvalgs-kriterier

Med hensyn til udvælgelsen af genstandene til bevaring har der i første række gjort sig en række historiske, praktiske og helsefysiske begrænsninger gældende. Registreringsprojektet er for det første gået i gang på et tidspunkt, hvor den fysiske dekommissionering var begyndt. Det betyder, at der på dette tidspunkt allerede var forsvundet en række genstande, som vi potentielt gerne havde ønsket at kunne bevare. Det gælder f.eks. en række genstande fra DR1, som nu er gået tabt. For det andet er der en øvre grænse for, hvor store og hvor tunge genstande de to museers magasiner kan rumme. Det betyder i praksis, at vi har indsnævret fokus til at omhandle genstande, som ikke er større end et par meter i højde og bredde og som ikke vejer over et par hundrede kilo. Langt de fleste genstande er dog meget mindre. For det tredje taler vi om genstande fra nukleare faciliteter, hvorfor der kan forekomme kontaminerede genstande. Dette har naturligvis haft betydning for hvilke genstande, vi har kunnet udpege til bevaring. Det skal dog samtidig understreges, at de udvalgte genstande alle i henhold til lovgivningsmæssige og strålehygiejniske kriterier vil blive grundigt undersøgt og om nødvendigt afvasket af Dansk Dekommissionering, før de frigives til museet.

De ovennævnte begrænsninger findes alle på et niveau, som er overordnet de egentlige museale udvælgelses-kriterier. Med hensyn til de museale kriterier, der har styret indsamlingsprocessen, har Elmuseet og Steno Museet særligt interesseret sig for to sider af reaktordriften: På den ene side har museerne i henhold til deres arbejdsområde rettet opmærksomheden på genstande, der illustrerer den videnskabelige og teknologiske forskning ved reaktorerne. På den anden side har museerne samtidig ønsket at bevare genstande, som også illustrerer det daglige arbejdsliv ved reaktorerne og de særlige sikkerhedsforanstaltninger og -procedurer, som reaktordriften har krævet. Den førstnævnte interesse henleder automatisk opmærksomheden på forsøgsopstillinger, instrumenter og måleapparater, som blev benyttet i institutionens videnskabelige og teknologiske forskningsarbejde. Her er situationen dog den, at mange af disse apparater og forsøgsopstillinger på indsamlingens påbegyndelse allerede var væk, fordi de har tilhørt de skiftende forskningsgrupper, som for en afgrænset periode har arbejdet ved reaktorerne.

4.2. Genstande fra DR1

Kassette med røntgenfilm og prøver til neutronradiografi

Museumsnr. 254.553

Hjemtaget 31.08-2006



Figur 54. Kasette med røntgenfilm og prøver til neutronradiografi.

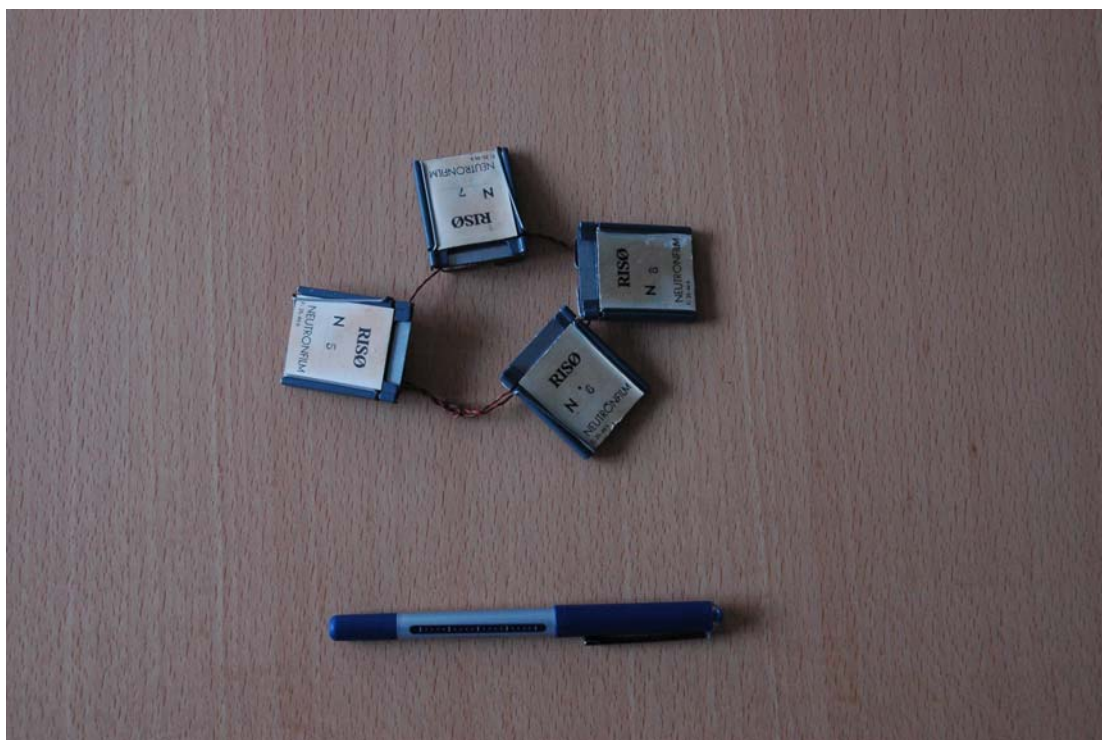
Kassetten indeholder røntgenfilm, gadoliniumfolie og tre forskellige prøver til neutronradiografi (kort NR). Sættet er fra Kodak. Sæt som disse blev benyttet ved DR1 ca. 1975-1985. I den pågældende periode blev der ved DR1 foretaget undersøgelser af brændselsstave, som udnyttede denne teknik. Dette sæt er formentlig beregnet til undervisningsbrug og til at forklare selve princippet bag metoden.

NR er en såkaldt ikke destruktiv testmetode, der kan anvendes til at bestemme tykkelsen og indholdet af en prøve. Princippet i testmetoden er følgende: forskellige stoffer har forskellig evne til at sprede og absorbere neutroner (man taler om stoffernes neutrontværsnit). Metaller som aluminium og stål lader mange neutroner passere og har derfor et lavt tværsnit, mens f.eks. stoffer, der indeholder meget brint som f.eks. plastik, olie og vand, har den egenskab, at de er gode til at sprede neutroner. Prøverne, der skal undersøges, placeres på en gadolinium-folie og indsættes i et beam af termiske neutroner. Gadolinium (Gd) er det grundstof, som har det højeste tværsnit for termiske neutroner. Indfangningen af neutroner i Gd skaber radioisotoper, som udsender gammastråling, hvorfor en røntgenfølsom film placeret bag Gd-folien vil blive sværet. Afhængig af prøvens evne til at lade neutronerne passere videre til Gd-folien vil røntgenfilmen sværetes i større eller mindre grad, hvorved der fremkommer et billede, der kan vise den indre struktur og sammensætning af en prøve. Man er således i stand til at se, hvor der p.g.a. sprækker og korrosion er trængt vand eller olie ind i et emne og man kan eksempelvis på den måde undersøge, om der som følge af udbrænding er opstået utætheder i et brændselselement.

Neutronfilmdosimetre

Museumsnr. 254.554.

Hjemtaget 31.08-2006



Figur 55. Neutronfilmdosimetre.

Personalet ved DR1 og ved de øvrige atomare anlæg bar alle disse filmdosimetre til registrering af den modtagne dosis neutronstråling. Dosimetret var personligt og blev båret uden på tøjet eller i en lomme. Med jævne mellemrum (typisk hver måned) blev de kontrolleret og udlæst af Risøs helsefysikere. De fire eksemplarer, der er afbilledet her, har dog siddet på selve reaktoren. Da de bærer serienumrene fra 5-8 er der efter alt af dømme tale om det første sæt dosimetre, som har været i brug ved DR1, hvorfor de stammer fra 1957. Rygtet på Risø vil i øvrigt vide, at det var Risøs første direktør Torkild Bjerge, som bar dosimetret med nr. 1.

Dosimetre af denne type måler den akkumulerede dosis af neutronstråling. De fungerer på den måde, at der på en røntgenfølsom film er monteret tre små metalplader (det ligner bly, kobber og gadolinium). Pladerne fungerer som filtre. De vil nemlig i forskellig grad indfange hurtige og langsomme neutroner, hvorved de aktiveres og derved sværte røntgenfilmen. Det er den samme mekanisme, som benyttes ved neutronradiografi (se evt. den forrige genstand). Ved at sammenligne med allerede bestrålede film med kendte bestrålningsniveauer kan den modtagne stråling bedømmes både med hensyn til dosis og art (hurtige eller langsomme neutroner).

De pågældende dosimetre er af Risøs eget fabrikat og typen er blevet benyttet fra 1957 til ca. 1990 (helsefysiker Bente Lauridsens vurdering).

Jordskælvssikring fra DR1

Museumsnr. 254.555.

Hjemtaget 31.08-2006



Figur 56. Jordskælvssikring fra DR1.

Jordskælvssikring fra firmaet Square D Company, Los Angeles, Californien, 1956-57. Sikringen hang på DR1-reaktorens vestside, hvor den var anbragt på en plade, der var indstøbt i reaktorblokken. (jf. figur 3, hvor sikringen er synlig midt på reaktoren). Sikringen har været i anvendelse lige indtil reaktoren blev taget ud af drift i 2001.

Sikringen blev leveret sammen med reaktoren fra den californiske producent Atomics International. Det var naturligvis ikke nødvendigt med en jordskælvssikring på en reaktor i Danmark, men sikringen hørte med til standardpakken, når producenten kom fra det jordskælvsplagede Californien. Ifølge projektleder Kurt Lauridsen har jordskælvssikringen aldrig givet udslag.

Sikringen fungerer som en kontakt, der afbrydes ved en jordrystelse af en vis størrelse. Den består af et messinglod, som er ophængt i tynde tråde. Midt på loddet er der en konisk spids, hvorpå der hviler en tilsvarende konisk spids, der udgør enden af en ca. 11 cm lang messingstang, som er gjort tung ved hjælp af et lod midt på. Messingstangen vil i denne position berøre en elektrisk kontakt i toppen af sikringen. Når sikringen udsættes for tilpas store rystelser, vil de to koniske spidser glide fra hinanden og messingstangen dumper ned, hvorved kontakten i den anden ende afbrydes. Jordskælvssikringens strømkreds er forbundet med reaktorens to sikkerhedsstænger, der er holdt fast ved hjælp af elektromagneter. Hvis strømmen i jordskælvssikringen afbrydes får elektromagneterne ikke længere strøm og sikkerhedsstavene trækkes automatisk ind i deres bundstilling omkring reaktorkernen ved hjælp af lodder og et kædetræk.

Vagtskilt

Museumsnummer 254.556

Hjemtaget 31.08-2006



Figur 57. Vagtskilt.

Fra DR1. Vagtskiltet har hængt ved indgangen til reaktorhallen og har vist, hvem der på et givet tidspunkt var ansvarshavende. De ansatte på Risø vurderer, at genstanden er produceret på Risøs eget værksted samt, at den er fra tiden omkring igangsættelsen, dvs. omkring 1957.

"REAKTOR IGANG" skilt

Museumsnr. 254.557

Hjemtaget 31.08-2006



Figur 58. "REAKTOR IGANG" skilt.

Der var i reaktorhallen mindst 4 af disse skilte, som indikerede at reaktoren var i drift. Der sad en på hver af reaktorens driftssider plus en ved indgangen. To af skiltene er synlige i ansigtshøjde på reaktorblokken, figur 3. Projektleder Kurt Lauridsen vurderer, at der er tale om dansk producerede skilte (dog næppe fra Risøs værksted). De har hængt der siden reaktorens start i 1957.

Der medfølger et enkelt belysningsarmatur.

Ionkammer med display

Museumsnr. 254.558

Hjemtaget 31.08-2006



Figur 59. Ionkammer med display.

Ionkammeret har siddet i fri luft i reaktorhallen. Der har været to serieforbundne displays, som var placeret henholdsvis i hallen og i kontrolrummet. Der medfølger dog kun det display, som har siddet sammen med ionkammeret i hallen og som var placeret i 1,5 meters højde på reaktorhallens sydvæg. Ud over signaturen "JE" på displayet er der ikke noget fabrikantmærke på apparatet. Projektleder Kurt Lauridsen mener dog ikke, at apparatet er produceret på Risø. Ionkammeret var standardudstyr, der kunne købes i handlen.

Ionkammeret måler γ -strålingen (i millirem/time) i reaktorhallen. Visningen giver alarm og lukker reaktoren, hvis strålingen når et vist niveau.

I den store cylindriske beholder (lavet af et plastmateriale) sidder der et lukket kammer, som er fyldt med gas og to elektroder, mellem hvilke der holdes en konstant spændingsforskel. Kammerets væg udgør den ene elektrode, mens den anden sidder midt i kammeret. Den indkommende γ -stråling vil ionisere gassen, hvorved der skabes positive ioner og elektroner, som alt efter ladning vil søge mod elektroden med modsat ladning. Dette vil mindske potentialet imellem elektroderne, hvilket måles og udlæses som en dosis.

Prober for γ -detektorer

Museumsnr. 254.559

Hjemtaget 31.08-2006



Figur 60. Prober for γ -detektorer.

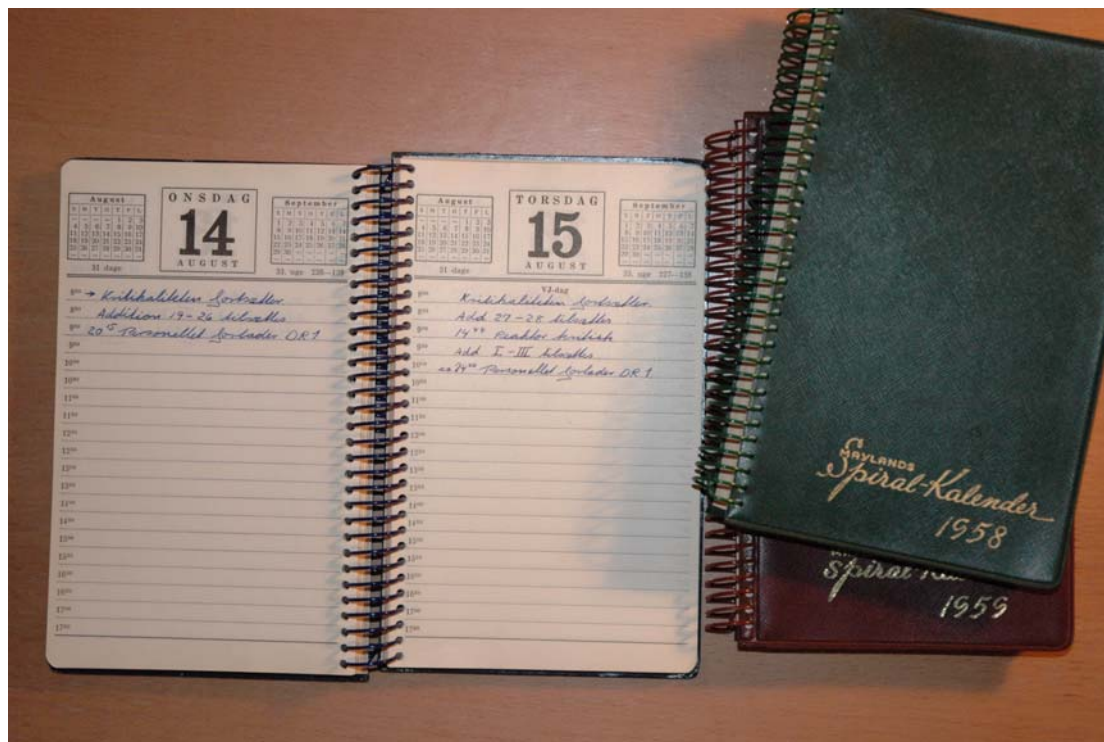
Disse to prober har siddet i udsugningskanalen til luft fra området omkring reaktorkernen under gulvet ved DR1. Den ene er af amerikansk oprindelse (Xetex Inc.), mens den anden synes af at være en lokal *ad hoc* produktion. Proberne har sandsynligvis siddet i reaktoren fra start (1957) og gik først ud af drift ved reaktorens nedlukning i 2001.

Proberne og de dertil hørende γ -detektorers funktion har været at overvåge udsugningsluften fra området omkring reaktorkernen for argonisotopen ^{41}Ar . Argonisotopen dannedes til stadighed i området omkring kernen, når ^{40}Ar atomer i den atmosfæriske luft absorberede neutroner fra kernen. ^{41}Ar isotopen er kortlivet (halveringstiden er 110 min) og udsender γ -stråling. Proberne gav signal til en viser på kontrolpulten. Normalt blev udluftningsluften sendt ud gennem en skorsten, men hvis koncentrationen af ^{41}Ar når over et vist niveau, blev udluftningsgassen holdt tilbage og renses.

Reaktorchef Per Frederiksens spiralkalendere og notesbøger fra 1956-1959

Museumsnr. 254.575

Hjemtaget 22.09-2006



Figur 61. Reaktorchefens spiralkalendere fra 1957-1959.

Foruden de tre spiralkalendere fra 1957-1959, der er vist på billedet, er der også to mindre notesbøger/kalendere fra 1956 og 1957.

Spiralkalenderne og notesbøgerne er alle ført af DR1's første reaktorchef, civilingeniør Per Frederiksen. Notesbøgerne fra 1956 og 1957 dækker forberedelserne, hvor reaktoren blev indkøbt og opbygget. Det er planlægningsmøder, kontraktforhandlinger og rejser til USA, der dominerer blandt aktiviteterne i denne tid. De tre spiralkalendere starter i august 1957 netop på den dag, hvor opbygningen af kritikaliteten startede og dækker herefter de første 2 ½ driftsår. Spiralkalenderne giver især et godt indblik i de tekniske problemer, man baksede med den første tid og de mange kursusforløb, der kørte i de første år. Det fremgår af kalenderen, at DR1 opnåede kritikalitet kl. 14.48 torsdag den 15. august 1957. Det tidspunkt, hvor Danmark gik ind i atomalderen, kan altså fastlægges helt præcist!

4.3. Genstande fra DR2

Sikkerhedsstang til DR2

Museumsnr. 254.568

Hjemtaget 31.08-2006



Figur 62. Sikkerhedsstang til DR2.

Sikkerhedsstang til DR2. Denne type er formentlig produceret på Risø i starten af 1970'erne. De oprindelige amerikanskproducerede sikkerhedsstænger viste sig at være utætte, hvorfor Risø selv fabrikerede nye.

Sikkerhedsstangen indeholder det neutronabsorberende stof bor i form af borcarbid (B_4C), som er indkapslet i aluminium. Sikkerhedsstængerne var anbragt i lodrette lederør ("guide tubes") og var ophængt i elektromagneter. Alarmsignaler i sikkerhedssystemet bestod i afbrudte strømsignaler. Når strømmen blev brudt i sikkerhedssystemet, slap elektromagneterne sikkerhedsstængerne og reaktoren blev lukket ned. DR2 benyttede fem sikkerhedsstænger og var derudover forsynet med en finreguleringsstang. Hvis der ikke var fejl på disse kontrolstænger, havde de lang levetid. Fhv. reaktorchef Preben Skanborg erindrer således ikke at have udskiftet disse sikkerhedsstænger, fordi de var "brændt ud".

Sikkerhedsstangens placering fremgår af figur 14, mens figur 25 viser en sikkerhedsstang, som er taget ud til reparation.

Relaterede genstande: "Specialelementer fra DR2" og "Guidetube til sikkerhedsstang"

Blysten til γ -afskærmning

Museumsnr. 254.570

Endnu ikke hjemtaget



Figur 63. Blysten til γ -afskærmning

Blysten til γ -afskærmning brugt ved DR2. Disse er hentet fra kælderen under DR2 og har aldrig været i brug.

Blystenene blev brugt til at afskærme steder, hvor der var forhøjet γ -aktivitet. Det kunne f.eks. være et forsøgsrør, hvor pluggen var taget ud, således at der var åbent ind til kernen. Jo tungere og tættere et stof er, jo bedre vil det generelt kunne bremse γ -stråling. Man kan ved hjælp af disse blysten bygge en skærm eller en væg rundt om en kilde.

Vinklerne på stenene er henholdsvis 90° eller 135° . Når blystenene ikke blot er rektangulære, er det fordi man vil undgå, at strålingen, der bevæger sig i rette linjer, trænger igennem mellemrummene mellem stenene.

Ud over blysten blev der også anvendt blokke af tungt beton til afskærmning ved reaktorfaciliteterne på Risø. Disse blokke vejer ca. 500 kg. Denne type afskærmning ses bl.a. på figur 3, 17 og 25.

Advarsel: Bly er som bekendt et tungmetal, der kræver brug af gummihandsker, når stenene skal håndteres.

Specielle elementer fra DR2

Museumsnr. 254.571

Endnu ikke hjemtaget



Figur 64. Specielle elementer fra DR2

Der er tre styk, hvoraf de to er grafitreflektorelementer og det tredje (ikke vist) er et specialelement til kontrolstængerne. Der er således ikke tale om standard brændselselementer. Elementerne er dansk producerede (Rustfri Stålindustri A/S, producentstempel påtrykt). Fhv. reaktorchef Preben Skanborg mener, at der er tale om elementer, der udelukkende er fremstillet til brug i DR2's øvelsestank. Denne begrundede formodning understøttes også af det forhold, at støbningskvaliteten er ret dårlig. Elementerne stammer fra 1957-58, men gik hurtigt ud af brug, eftersom øvelsestanken hurtigt blev opgivet.

Elementerne er ca. 87 cm lange. Materialet er aluminium. Selvom der er tale om kopier af specialelementer, har de nøjagtig samme form og dimension som reaktorens brændselselementer. Forskellen ligger i den indre udforming og i, at den øverste ende på specialelementet til kontrolstængerne har en speciel udformning.

Grafitreflektorelementer: Reaktoren havde 12 reflektorelementer, der var placeret på hver side af selve kernen. I den ene ende er elementet forsynet med en cylindrisk fitting, som passer ned i gridpladens huller. Den anden ende er formet, så den kan "kroges" med et særligt redskab – en fiskestang. I sin ydre fremtoning er elementerne næsten identiske med brændselselementerne. Grafitelementerne viste sig imidlertid hurtigt at være utætte. Indtrængende vand udgør en sikkerhedsrisiko, fordi det på grund af strålingen vil dekomponere, hvorved der skabes gas, som på grund af trykket

kan få elementet til at flække. Derfor gik man ved DR2 hurtigt over til at bruge berylliumreflektorer, der stod i reaktortanken uden indkapsling.

Specialelementet til kontrolstang: Der var i alt seks af disse specialelementer. I specialelementerne var ni ud af standardelementets 18 brændselsplader erstattet med en aluminiumkasse, hvori reaktorens seks kontrolstænger kunne stå.

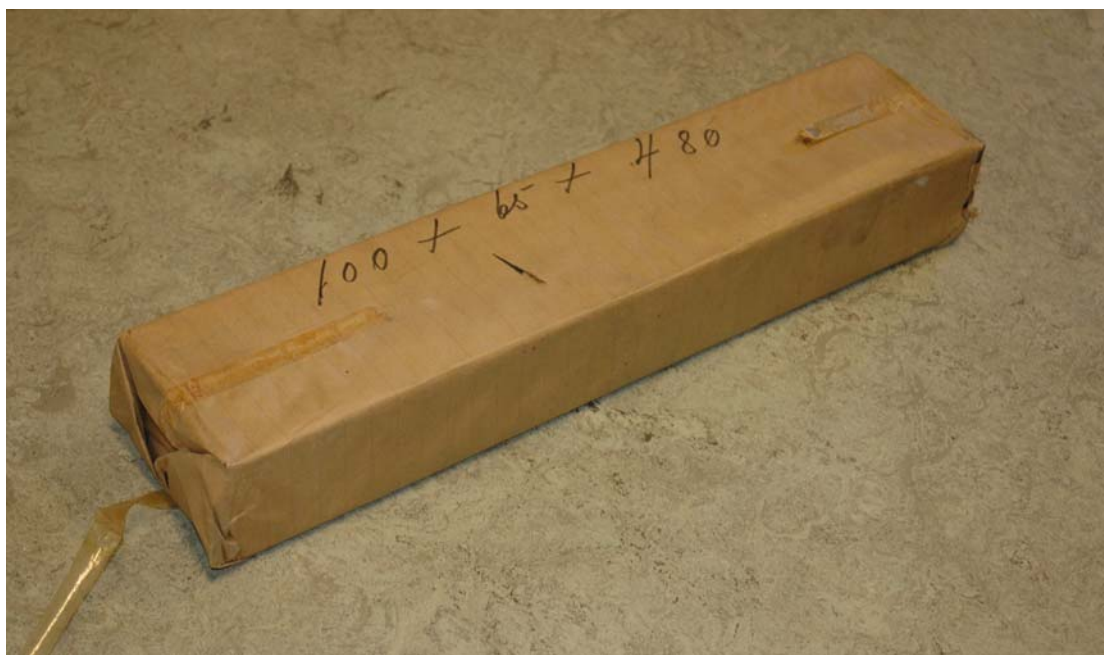
Begge elementtyper ses i øvrigt på figur 14.

Tilhørende genstande: ”sikkerhedsstang til DR2” og ”guide tube til sikkerhedsstang”.

Ubrugt grafitblok til den termiske kolonne ("Grafitstringer")

Museumsnr. 254.572

Endnu ikke hjemtaget



Figur 65. Pakken indeholder en grafitblok til brug i DR2's termiske kolonne.

Producent ukendt. Grafitblokken kan dateres til 1957-1975. Tallene på pakken angiver klodsens dimensioner.

Fysikere og materialeforskere er mest interesseret i langsomme, såkaldt termiske eller kolde neutroner, fordi disse i langt højere grad indfanges af eller interagerer med atomkerner. Nyemitterede neutroner fra fissionsprocessen bevæger sig groft set med hastigheder, der svarer til omkring 10 % af lysets hastighed i vakuum. Grafittens funktion er at moderere, dvs. nedbremse disse energirige, hurtige neutroner. Langsomme neutroner har typisk hastigheder på nogle få kilometer pr. sekund. Dette skete ved DR2 ved hjælp af en såkaldt termisk kolonne, som var en stor grafitsektion, placeret ved siden af reaktorkernen (beskrevet i afsnit 2.2.1). Fordi den bestod af opstabilede blokke, blev den også kaldt "igloen".

Grafit til brug i nukleare anlæg (ofte kaldet "nuclear graphite") skal have det mindst mulige indhold af stoffer, som er i stand til at absorbere neutroner. Navnlig er det stoffet bor, der er kritisk i den henseende. Ligeledes skal indholdet af andre stoffer være lavt for at undgå, at neutronerne aktiverer atomerne i disse urenheder og der dermed produceres uønskede radioaktive isotoper. Reaktorgrafit er derfor et af de reneste industrielle materialer overhovedet.

Grafitklodser, der bliver bombarderet med neutroner, har en tendens til at svulme op, fordi kulstofatomerne vil modtage et stød, når de kolliderer med en neutron, hvilket vil bringe dem ud af deres rette position i krystalgitteret. Fænomenet kaldes "Wigner effekten" efter den ungarsk-amerikanske fysiker Eugene Wigner, der opdagede fænomenet, mens han under Anden Verdenskrig arbejdede med de første grafitmode-

rerede reaktorer under Manhattan-projektet. De dislokerede atomer kan bringes på plads igen ved en proces, der kaldes "annealing", der består i en længerevarende opvarmning af grafitten til ca. 250°, hvorved de dislokerede atomer kan afgive deres overskudsenergi og derved så at sige kan komme på plads i krystalgitteret igen.

Ved DR2 stødte man også på problemet med opsvulmende grafitklodser. Det var primært de grafitklodser i den termiske kolonne, som var anbragt tættest på reaktorkernen, der var problemer med. For at rette problemet forsøgte man (ifølge fhv. reaktorchef Preben Skanborg) uden videre succes at gennemføre en "annealing" proces. Herefter gik man over til den noget simple løsning at slibe grafitklodserne med smergellærred (se figur 24).

Guidetube til sikkerhedsstang

Museumsnr. 254.574

Endnu ikke hjemtaget



Figur 66. Guidetube eller lederør til sikkerhedsstang

Guidetuben er af rustfrit stål, og den er produceret på Risøs værksted.

Den ene ende har været monteret på specialelementerne nede i kernen (jf. figur 14 og 18). Sikkerhedsstangen har bevæget sig inde i røret.

Relaterede genstande: ”Sikkerhedsstang til DR2” og ”Specialelementer til DR2”

4.4. Genstande fra DR3

Effektskriver fra kontrolrummet

Museumsnr. 254.537

Endnu ikke hjemtaget



Figur 67. Effektskriver.

Effektskriveren (serienummer QY28404K) er fra det engelske instrumentfirma George Kent Ltd. fra Luton og stammer formentlig fra 1958-59. Instrumentet har siddet i den midterste del af kontrolrummet umiddelbart over bordet (instrumentet ses på figur 33). Instrumentet er oprindeligt og blev leveret sammen med reaktoren fra den engelske reaktorproducent. Forskningstekniker Søren Roed vurderer, at apparatet er blevet udskiftet omkring 1980.

Instrumentet viser reaktorens effekt som funktion af tiden. Skalaen går fra 0-15 MW. Med reaktorens effekt menes der termisk effekt, altså forskellen mellem varmeflow ud og ind af reaktoren, som kan beregnes ud fra forskellen mellem kølevandets udgående og indgående temperatur. Apparatet fik dog input fra et ionkammer inde i reaktoren, som egentlig målte neutronfluxen. Den termiske effekt følger neutronfluxen; det var dog nødvendigt at kalibrere de to størrelser for at få et nøjagtigt resultat.

Apparatet gav udslag, når der blev udskiftet prøver i reaktorkernen. Det Internationale Atomenergi Agentur (IAEA) kontrollerede løbende effekten, så den maksimalt tilladte effekt på 10 MW ikke blev overskredet.

Kontrolenhed til sikkerhedsstænger

Museumsnr. 254.538

Endnu ikke hjemtaget



Figur 68. Kontrolenhed til sikkerhedsstænger.

Apparatet er leveret af den engelske elektronikvirksomhed E.K. Cole Ltd. Apparatet oplyser selv, at det er fra 1958. Det har siddet i instrumentpanelet til højre for bordet i kontrolrummet. Forskningstekniker Søren Roed erindrer, at apparatet er blevet udskiftet i 1984.

I apparatets to displays vises positionen af reaktorens to sikkerhedsstænger. Der sad et potentiometer i sikkerhedsstængernes kontroldrev, som målte hvor langt stængerne var nede. Yderpositionerne er angivet i displayet: 0=helt nede og 150=helt oppe. Lamperne lyste på følgende måde: grøn = helt oppe, gul = midt imellem og rød = helt nede. Sikkerhedsstængerne standser reaktoren og blev udløst automatisk ved otte forskellige begivenheder, nemlig de såkaldte "emergency shut-down", der er angivet på kontrolpanelet (se dette). "Emergency shut-down" kunne f.eks. blive udløst manuelt fra reaktortoppen ("manual building seal") eller automatisk, når der pludselig var fissionsgas i He-atmosfæren over tungtvandsoverfladen. I de fire hulrum har der siddet en omskifter til at hejse sikkerhedsstængerne op igen. Mens denne operation pågår, lyser de gule lamper. Omskifteren er blevet genbrugt på det nye apparat, der har erstattet det gamle.

Misalignment kontrolpanel

Museumsnr. 254.539

Endnu ikke hjemtaget



Figur 69. Misalignment kontrolpanel.

Leveret af den engelske elektronikvirksomhed Ekco Electronics (en del af E.K. Cole Ltd.) i 1958. Modelbetegnelse: No 3-7/13567. Apparatet har siddet i kontrolrummet, i instrumentpanelet til højre for bordet på den yderste højre flanke. Forskningstekniker Søren Roed har udskiftet apparatet i 1991.

Måler og viser om alle syv kontrolarme kører synkront. Hvis de ikke kører synkront vil der blive ubalance i reaktorkernen (lokale effektforhøjelser), hvilket udløser et trip og reaktoren lukker ned. Signalet til apparatet fremkommer ved at måle differencen på hoved- og slavegearkassen.

Beslægtede genstande: Kontrolblad til Coarse Control Arm

Neutronhoved

Museumsnr. 254.540

Endnu ikke hjemtaget



Figur 70. Neutronhoved.

Leveret af Ekco Electronics Ltd. (en del af E.K. Cole Ltd.). Årstal mangler, men apparatet er formentlig fra 1958-59. Modelbetegnelse: 1463A. Apparatet har været installeret i DR3 fra begyndelsen og er gået ud af drift på et ukendt tidspunkt i løbet af 80'erne eller 90'erne. Forskningstekniker Søren Roed siger, at apparatet har fungeret upåklageligt og aldrig er blevet serviceret, mens det var i drift.

Neutronhovedet har siddet i reaktortoppen oppe i den frie luft og har overvåget niveauet af neutronstråling i luften. Forhøjet neutronstråling fremkommer f.eks. hvis nogen har glemt at lukke et forsøgsrør. Neutronhovedet har været tilsluttet en monitor i kontrolrummet. Oprindeligt har det været tilsluttet et Ekco Ratemeter, men dette er forsvundet.

Neutronhovedet indeholder et ionkammer (se funktionsbeskrivelse andetsteds).

Gammahoveder

Museumsnr. 254.541

Endnu ikke hjemtaget



Figur 71. Gammahoveder.

Gammahovederne er leveret af Ekco Electronics Ltd. sammen med reaktoren omkring 1958-59. Serie nr. er S132. Gammahovederne er ca. 75 cm lange og har en diameter på ca. 20 cm.

Gammahovederne har siddet rundt omkring i reaktorhallen. I dag er der omkring 20. De har målt niveauet af gammastråling i reaktorhallen. Ved forhøjet aktivitet gav de advarselssignal (lampen lyste). Gammahovederne var tilkøbet monitorer i kontrolrummet. Signal fra gammamonitorerne på reaktortoppen var en af otte de kritiske betingelser, der udløste "emergency shut-down", hvilket indebærer en automatisk udløsning af sikkerhedsstængerne og forsegling af reaktorbygningen.

Inde i den cylinderformede indkapsling, som er lavet af et plastmateriale, sidder der et ionkammer eller et Geigerrør.

Effektvisning

Museumsnr. 254.542

Endnu ikke hjemtaget



Figur 72. Effektvisning.

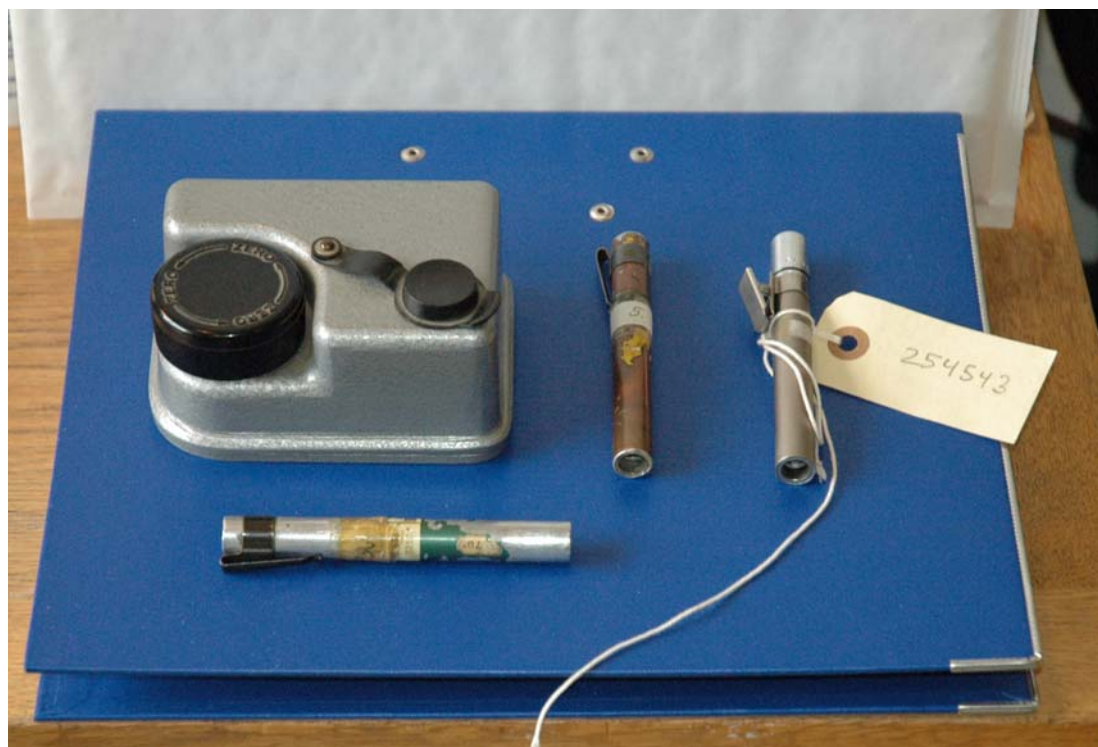
Effektvisning fra det engelske instrumentfirma Record (serie nr. D5354). Ca. 35 cm i diameter. Leveret sammen med reaktoren i 1958-60.

Viser reaktorens aktuelle effekt og dermed også om reaktoren er i drift. Visningen er baseret på samme signal som effektskriveren i kontrolrummet (se denne). Dette apparat har siddet enten i selve reaktorhallen eller på gangen i bygning 214. Der sad effektvisere disse to steder.

Dosimetre, inklusive apparat til aflæsning og nulstilling

Museumsnr. 254.543

Hjemtaget 31.08-2006



Figur 73. Dosimetre.

Gamle dosimetre af pen-typen. Der er to slags, nemlig:

- Længst til højre (med lap): Gammadosimeter til måling af den modtagne dosis gammastråling, i millirøntgen. Ukendt producent.
- De to øvrige: Dosimetre til måling af den modtagne dosis termiske (langsomme) neutroner, dosis måles i millirem. Skala fra 0-120 millirem. Producent: Bendix Aviation Corporation (model nr. 609).

Model 609 fra Bendix var på markedet allerede 1951 og prisen opgives dette år til at være 39,50 \$. Helsefysiker Bente Lauridsen ved Dansk Dekommissionering vurderer, at disse dosimetre er blevet brugt et godt stykke op i 1960'erne.

Dosimetrene er 11-11,5 cm. lange. Gennem et glasvindue i enden kan man kigge ind på en skala og aflæse dosis. Der medfølger et batteridrevet apparat til aflæsning og nulstilling af dosimetrene. Det kan stadig lade sig gøre, at udlæse og nulstille dosimetrene.

Disse dosimetre er blevet båret uden på tøjet eller i lommen på personalet ved DR3. Dosimetrene måler den akkumulerede dosis. For termiske neutroner opererede den amerikanske atomenergikommission AEC med en maximal dosis på 60 millirem for en otte timers arbejdsdag, hvorfor fuld visning i dette dosimeter svarer til to gange

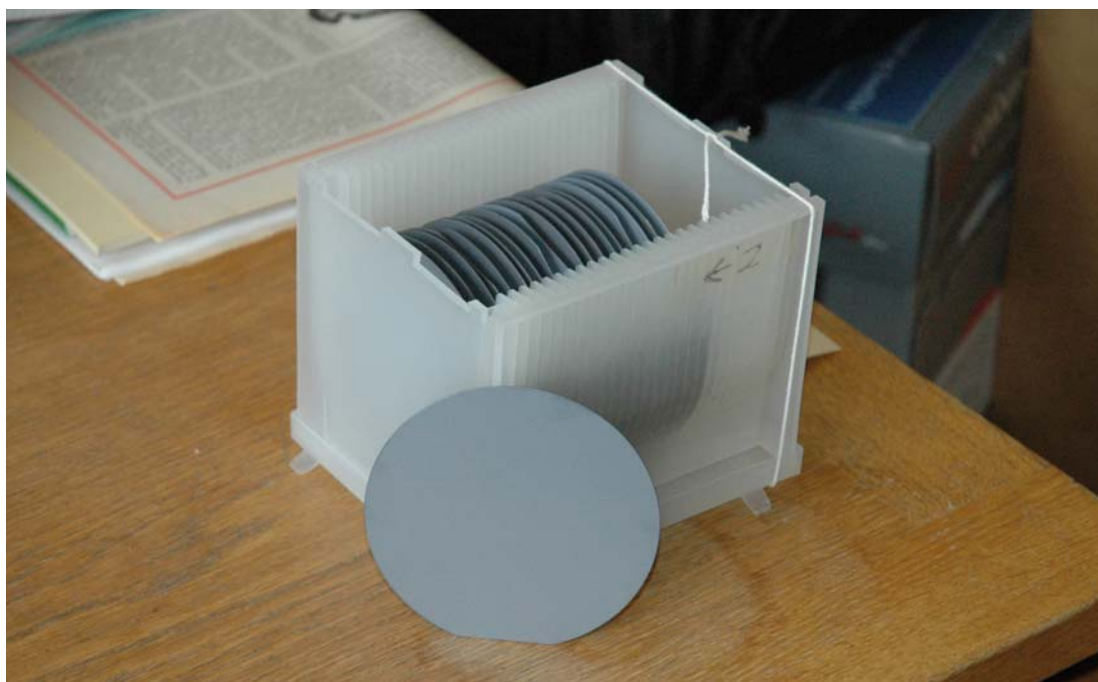
den maximalt tilladte dosis. Alle havde sit personlige sæt af dosimetre, som blev udlæst og nulstillet af helsepersonalet hver aften efter fyraften. Operationen foregik ved hjælp af det medfølgende apparat, hvor der bag kappen sad en lille lampe og en elektrode. Ved hjælp af hjulet kan man regulere spændingen i dosimetret (d.v.s. lade eller aflade) og derved nulstille det. Stregen inde i dosimetret har en tendens til at flyde, så det kræver en vis øvelse at nulstille det.

I neutrondosimetret sidder et ionkammer, som indvendigt er dækket af bor for at få kammeret til at reagere på termiske neutroner. Dosimetret reagerer dog også på gammastråling. Den streg, som man ser i vinduet, er spidsen af dosimetrets isolerede elektrode.

NTD-Siliciumskiver

Museumsnr. 254.544

Hjemtaget 31.08-2006



Figur 74. Kasette med 20 stk. NTD-Siliciumskiver.

Kassetten rummer 20 stk. 4 tommer neutrondoteret siliciumskiver – såkaldt NTD-Silicium. (NTD er en forkortelse for ”neutron transmutation doping”). Skiverne er ca. 0,5 mm tykke. Skiverne er ikke polerede.

Hele krystaller af Silicium i tykkelser fra 2-5 tommer blev leveret af diverse producenter til bestråling i DR3, hvorefter de blev sendt retur for at blive opskåret og viderebearbejdet. Den NTD-Silicium, som er blevet produceret ved DR3, blev hovedsageligt benyttet i krafttyristorer og kraftdioder, som anvendes i ensrettere f.eks. i højspændingsanlæg og elektriske tog.

Den spæde start for produktionen af NTD-Silicium-produktionen skete ved DR2 i 1974. Det startede som et partnerskab mellem Risø og det danske halvlederfirma Topsil A/S. Produktionen stoppede i 2000, da DR3 blev lukket ned. Ud over Topsil havde Risø kunder i Tyskland og Japan. DR3 bestrålede i 1990’erne helt op til 30% af verdens samlede forbrug af NTD-Silicium. Danmark havde på den måde, som man sagde på Risø, en eksport af neutroner.

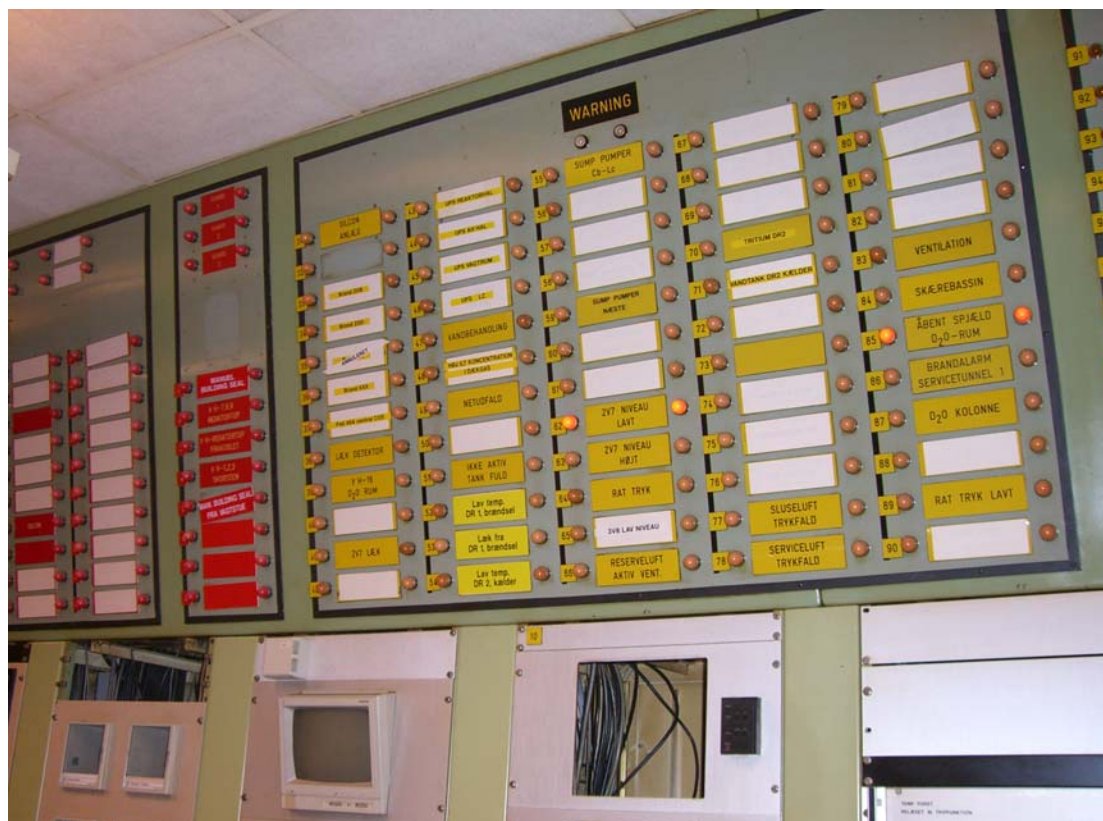
Se i øvrigt også afsnit 2.3.3. og 5.5. for yderligere detaljer om produktionen af NDT-Silicium.

Relaterede genstande: Silicium-rig styringspanel og tæller samt NTD-Silicium udstilling

Alarmpaneler

Museumsnr. 254.545

Endnu ikke hjemtaget.



Figur 75. Alarmtavler.

Alarmtavler af ukendt engelsk fabrikat, 1959-60. Pladen og lamperne er originale, mens skiltene er blevet udskiftet løbende undervejs. Enkelte af skiltene er originale (det er dem, der sidder fast med fire skruer). De nedtagne oprindelige skilte er bortkommet. Panelerne sidder stadig i kontrolrummet i DR3.

Panelernes funktion var at give vagtpersonalet besked om fejl og dysfunktioner i reaktoren og de tilhørende anlæg. For at få en drift, der samtidig var både *sikker* og *stabil* fungerede reaktorens sikkerhedssystem efter den såkaldte ”2 ud af 3” logik. Der var altid tre sensorer på hvert apparat, som via tre uafhængige kanaler gav signal til kontrolrummet. En enkelt fejlmelding udløste generelt kun en alarm, mens to fejlmeldinger helt automatisk udløste et ”trip” – altså nedlukning af reaktoren. På den måde undgik man, at reaktoren blev lukket ned på grund af almindeligt forekommende og helt uundgåelige elektronikfejl.

Der var fem kontrolpaneler:

1: Et rødt panel for ”emergency shut-down” (det midterste panel på billedet): Dette var de mest alvorlige uheld, som fik reaktoren til at lukke ned med det samme. Lukningen skete ved, at sikkerhedsstængerne blev udløst, samtidig med at reaktorbygningen blev forsegleet (”building seal”). Der var i alt otte betingelser, der kunne udløse

”emergency shut-down”, f.eks. gammastråling på reaktortoppen eller i ventilationsluften. Fejlmelding i en kanal udløste en alarm (alarmtavlen lyste og der lød en alarm), mens to fejlmeldinger automatisk udløste et indgreb, dvs. nedlukning af reaktoren.

2: Et rødt panel for almindelige ”trips” (panelet helt til venstre): Dette var ligeledes alvorlige fejl, som udløste en automatisk nedlukning af reaktoren, altså et reaktortrip. Men i modsætning til ”emergency shut-down” skete nedlukningen blot på normal vis, ved at kontrolarmene faldt ned i position 0 og bygningen blev *ikke* forseglet. Men også her gjaldt det, at en enkelt fejlmelding udløste en alarm (alarmtavlen lyste og der lød en alarm), mens to fejlmeldinger automatisk udløste et indgreb. Forskellen mellem ”emergency shut-down” og almindelige ”trips” lå således også i indgrebets karakter.

3: Desuden var der tre gule tavler med ”warnings”: dette var almindelige signaler om, at noget ikke helt fungerede, som det burde, eller at der foregik en eller anden aktivitet, der krævede opmærksomhed. To af disse tavler sad til højre for midten og en enkelt sad til venstre.

Fhv. reaktorchef Heinz Floto anslår, at man ved DR3 i gennemsnit havde et trip pr. driftsperiode, mens ”emergency shut-down” kun indtraf ”ekstremt sjældent”. Efter en alarm skulle systemet ”resættes” og kun hvis alarmerne forsvandt, kunne man gå videre. Normalt ville et trip udløse en række forskellige fejlmeldinger i hele systemet i løbet af ganske kort tid. For at finde tilbage til den oprindelige trip-årsag, var det derfor nødvendigt at gennemgå den elektroniske log, hvor man kunne se hvilken fejl, der kom først. Men før man havde edb-overvågning af systemet, var man afhængig af, at der var nogen, der havde set, hvilken fejl der kom først.

Alarmtavlerne kan desuden ses på figurerne 27 og 29, hvor man bedre kan se deres placering i kontrolrummet. Flere informationer om alarmtavlen og dens funktion findes i interviewet med Heinz Floto (afsnit 5.3.).

Mekanisk niveaumåler og skilte på beholder (2V7) til heliumgas

Museumsnr. 254.546

Endnu ikke hjemtaget



Figur 76. Mekanisk niveaumåler og skilt på Heliumbeholder (2V7).

Beholderen 2V7 er placeret i reaktorrummets kælderplan og fungerer som reservoir for den Heliumgas, der dækker tungtvandsoverfladen inde i reaktortanken. Beholderen er produceret i 1958 og leveret sammen med reaktoren. Producenten var det hæderkronede engelske firma Ashmore Benson Pease & Company Ltd., som på den tid var en af verdens førende leverandører af tryktanke og gasbeholdere.

Tanken er en almindelig ”gammeldags” gasbeholder af typen ”Wiggins Gasholder”: Inde i tanken sidder en stor gummibælg med et ”klokkelåg” af jern, som er fastgjort til tanken med rulleskørter, der tillader låget at bevæge sig op og ned. Låget er via et kæde-træk forbundet med den udvendige mekaniske niveaumåler. Hvis He-niveauet når under 15% udløses en tripkontakt og reaktoren lukkes automatisk. Ved 27% udløses en ”warning” og det samme er tilfældet ved overfyldning (76%). Begge typer advarsler kan ses på alarmpanelerne i kontrolrummet. Gassen i beholderen findes ved almindelig temperatur og atmosfærisk tryk.

Placeringen af He-gas beholderen (2V7) fremgår i øvrigt af figur 30.

Eberline håndholdt strålingsmonitor

Museumsnr. 254.547

Hjemtaget 31.08-2006



Figur 77. Eberline håndholdt strålingsmonitor

Håndholdt batteridrevet strålingsmonitor (eller ”Ion Chamber”), model RO-2W fra engelske/amerikanske Eberline Instrument Company. Modellen var i handlen indtil for få år siden og kostede for 6-8 år siden ca. 90.00 – 100.00 £. Apparater af denne type er stadig i brug ved DR3. Forskningstekniker Søren Roed vurderer, at denne model er taget i brug omkring 1980.

Måleområderne er henholdsvis 0-500 $\mu\text{Sv/h}$ og 0-50 mSv/h . Apparatet kan løbende nulstilles og måler den akkumulerede strålingsdosis. Apparatet måler β og γ -stråler (α -stråler har en stærkt begrænset rækkevidde). Der kan skydes en aluminiumplade ind foran vinduet, der sidder i bunden af apparatet, således at apparatet kun måler γ -stråling.

Anvendelse: Apparatet blev anvendt af helsepersonalet ved DR3 til at kontrollere strålingsniveauet, når der blev arbejdet ved reaktorerne. Under brændselskift blev der hele tiden kontrolleret hvor megen stråling, der slap ud fra rektorens åbninger og i bunden af transportflaskerne. Helsepersonalet kunne under arbejdsprocessen give instrukser om, hvordan arbejdsfolkene skulle stille sig for at nedbringe den modtagne dosis. Stråling fra et forsøgsrør bevæger sig i rette linjer, således at man ved at flytte sig bare en halv meter kan nedbringe sin dosis markant. Dette instrument blev f.eks. også brugt til at kontrollere personalets tøj ved udgangen.

Silicium-rig styringspanel og tæller

Museumsnr. 254.548

Endnu ikke hjemtaget



Figur 78. Silicium-rig styringspanel og tæller.

Panel som rummer kontrol og styringsudstyr til produktionen af 3 tommer NTD-Si. Apparatet har stået på reaktortoppen lige til højre for trappen, hvor man kommer op til toppen. Elektronikken er produceret på Risø. Noget af udstyret går tilbage til 1975, hvor produktionen af 3 tommer Si startede ved DR3. Udstyret er blevet benyttet indtil år 2000.

Panelet rummer bl.a. tæller til dosiskontrol. Tælleren blev indstillet på et vist tal og talte så tilbage. På dåsen, hvori Si-krytallen var anbragt i riggen, sad der desuden et lille stykke kobolt, som blev brugt til at kontrollere, at krytallen havde modtaget den korrekte strålingsdosis. På styringspanelet var der også en motormonitor, som indikerede hastigheden hvormed Si-riggen roterede nede i prøvehullet. På højre side af panelet hænger en stang, som blev anvendt til at skubbe den aluminiumdåse, som siliciumkrytallen var anbragt i, ned i riggen.

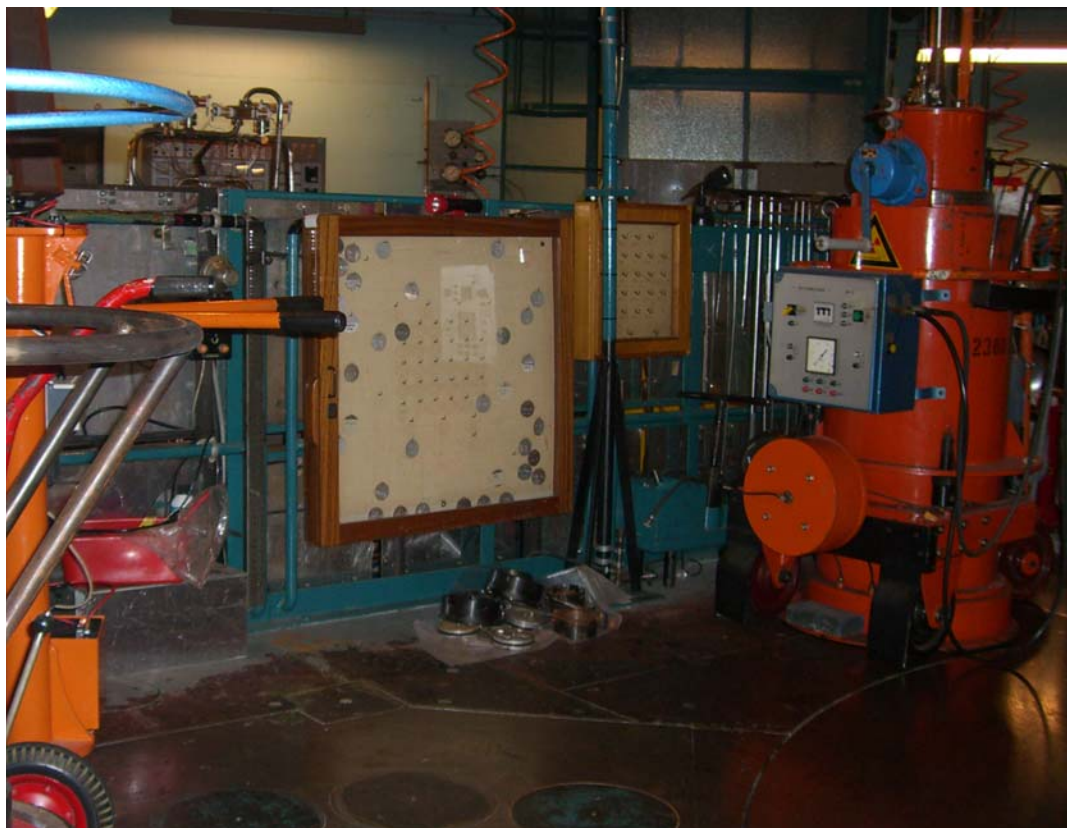
Se også samtalen med civilingeniør Kirsten Andresen (afsnit 5.5.) for flere detaljer.

Relaterede genstande: NTD-Silicium udstilling og NTD-Siliciumskiver

Tavle, der viser indholdet i reaktorkernen/brændselsbestykningen

Museumsnr. 254.549

Endnu ikke hjemtaget



Figur 79. Reaktortoppen med tavle og orange transportflaske til Si-rig

Tavle i træ og glas. Snedkerarbejde fra Risøs værksted eller en lokal håndværker, 1959-60.

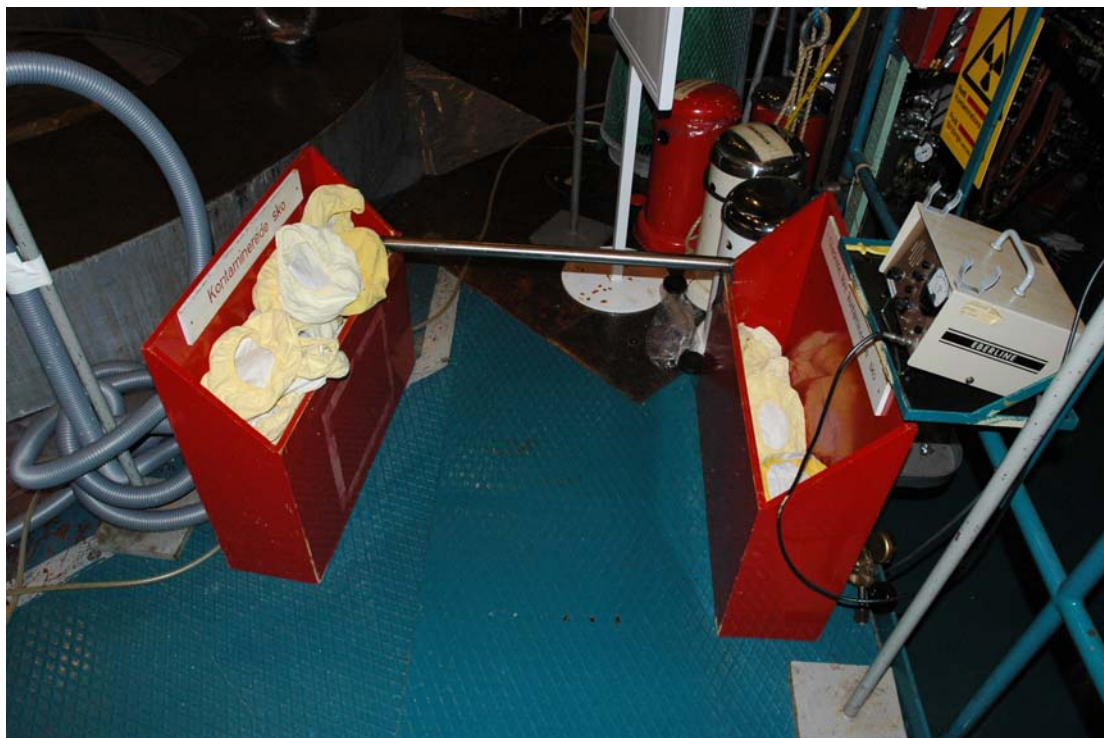
Tavlen viser alt indholdet i reaktorkernen, herunder de 26 brændselselementer, sikkerhedsstænger og eventuelt indhold i prøverørene. Skiltene var delt i to. Hele skilte illustrerede, at prøvehullet eller pladsen til brændselselementer var fyldt og lukket med en plug. Halve skilte illustrerede et tomt hul med plug. Tavlen fungerede som reaktorpersonalets hukommelse og gav overblik over f.eks. brændselsudskiftningsprocessen.

Tavlen sidder på reaktortoppen umiddelbart ved siden af det arbejdsområde, hvorfra brændselselementer m.v. udskiftes. Den store ring i gulvet i højre hjørne viser periferien af reaktorkernen nede under gulvet. Tavlen er p.t. stadig i brug. Det fremgår f.eks., at de to sikkerhedsstænger stadig sidder i reaktoren og at alle brændselselementerne er væk.

Skoskranke på reaktortoppen

Museumsnr. 254.550

Endnu ikke hjemtaget



Figur 80. Skoskranke ved overgangszone til rødt strålings og kontaminations område på reaktortoppen.

Skoskranke af træ produceret på Risø eller af en lokal snedker. Ukendt år. Genstandene er p.t. stadig i brug.

Arbejdsområderne ved de nukleare anlæg er opdelt i hvide, blå og røde strålings- og kontaminationsområder. Overgangszoner er markeret dels med den fysiske barriere (stangen) og dels med det velkendte radioaktivitetsmærke, det sorte trekantsymbol på den gule baggrund. Skiltene betyder i praksis ”Adgang forbudt for uvedkommende”.

Risø har hvide, blå og røde strålingsområder og hvide, blå og røde kontaminationsområder (forureningsområder).

Hvide: Almindelige områder. Her er der ingen adgangsrestriktioner

Blå: Områder hvor der kan foregå arbejde med radioaktive stoffer og stråling. Blå områder har en øvre og nedre grænse for dosishastighed.

Røde: Områder hvor der kan foregå arbejde med radioaktive stoffer og stråling. Røde områder har ikke en øvre grænse for dosishastighed.

Udtrykt i grænseværdier er strålings- og kontaminationsområderne ifølge helsefysiker Bente Lauridsen helt præcist opdelt på følgende måde:

Hvidt strålingsområde: dosishastighed $< 2,5$ mikrosievert/h

Blåt strålingsområde: $2,5$ mikrosievert/h \leq dosistastigheden ≤ 25 mikrosievert/h

Rødt strålingsområde: dosishastighed > 25 mikrosievert/h

Hvidt kontaminationsområde:

kontaminationsniveauet $< 10^4$ Bq/m² alfa-aktivitet

$< 10^5$ Bq/m² beta-aktivitet

Blåt kontaminationsområde:

10^4 Bq/m² \leq kontaminationsniveauet $\leq 10^5$ Bq/m² alfa-aktivitet

10^5 Bq/m² \leq kontaminationsniveauet $\leq 10^6$ Bq/m² beta-aktivitet

Rødt kontaminationsområde:

kontaminationsniveauet $> 10^5$ Bq/m² alfa-aktivitet

$> 10^6$ Bq/m² beta-aktivitet

Inddelingen betyder ikke, at hvis man går ind i f.eks. et rødt strålingsområde, vil dosishastigheden altid være større end 25 mikrosievert/h; det betyder, at dosishastigheden kan være større end 25 mikrosievert/h; det kan godt være at lige præcis nu er dosishastigheden kun 1 mikrosievert/h.

(\leq betyder mindre end eller lig med).

Overgangszonen rummer:

1. Kasse til nye sko
2. Kasse til kontaminede sko (går til vask). I starten sorteredes ikke-kontaminede sko fra og blev genbrugt. I de seneste år er man gået over til rutinemæssig vask af alle sko.
3. Strålingsmonitor til kontaminationstjek
4. Skraldespande til handsker (hvide)
5. Skraldespande til brændbart og ikke-brændbart affald

Adgangsrestriktioner og sikkerhedsprocedurer:

For gæster skal der særlige tilladelser til for at udføre opgaver i ”blå” og ”røde” områder. Gæster og eksterne arbejdstagere skal i visse tilfælde ligeledes have ”strålepass” for at arbejde i blå og/eller røde områder. Strålepasset udstedes ved henvendelse til Statens Institut for Strålehygiejne (SIS).

Alle, der arbejder i ”blå” og ”røde” områder, skal bære dosimetre, hvide kitler og overtrækssko.

Når blå områder forlades skal overtrækssko, arbejdstøj og hænderne kontrolleres. Alle arbejdsredskaber, der bringes ud af området, skal desuden kontrolleres af en helseassistent. Går man fra et blåt til rødt område, skal man iføre sig endnu et par overtrækssko.

For at træne personalet i korrekt håndtering af overtrækssko m.v. har man benyttet øvelser med hvid maling, hvor personalet skulle lære at gennemføre diverse rutiner uden at få maling på fingrene.

Heldragt med frisklufttilførsel

Museumsnr. 254.551

Endnu ikke hjemtaget



Figur 81. Heldragter af gummi med frisklufttilførsler.

Heldækkende dragt af tykt gummi til arbejde med radioaktive emner. Leveret af Pedi AG, ca. 1986-1990.

Dragten er oprindeligt blevet leveret til Hot Cell anlægget, men blev overført til DR3 da cellerne blev lukket. Dragterne er forsynet med frisklufttilførsel. I lufttilførslen er der desuden en strubemikrofon med ledning, som blev benyttet til kommunikation. Dragten pustes op under brug og luften udskiftes løbende, for at undgå at der dannes kondensvand i dragten og for at udskifte aktiverede atomer i luften.

Dragterne blev benyttet, når der ved arbejde med stærkt radioaktive emner krævedes den højst mulige grad af personlig strålingsbeskyttelse. Dragten ser stor ud, fordi der skal være plads til luft hele vejen rundt om personen. I lokal jargon blev dragterne kaldt "frømandsdragter" (jf. i øvrigt figur 39, der viser en person iført en gummidragt af lidt ældre dato).

Tang til aktive emner

Museumsnr. 254.552

Endnu ikke hjemtaget



Figur 82. Tang til aktive emner. Billedet viser den ende, hvor fingergrebet sidder.

Aluminiumtang til manipulation af aktive emner, fra CeeVee Engineering Ltd. (England). Nogle af disse tænger er meget gamle og kan stamme helt tilbage til 1957-58. Tængerne er p.t. stadig i brug.

Tænger som disse er blevet brugt overalt på Risøs reaktoranlæg. Billedet viser den ende, hvor fingergrebet sidder. I den anden ende kunne der være en tang eller et specialværktøj, der f.eks. passede ned i et brændselement. De findes i forskellige længder fra de korte på ca. 1 meter til de længste på 4-5 meter. De lange er f.eks. blevet brugt som såkaldte ”fiskestænger”, når der skulle skiftes brændselementer i DR2. Dem, der kan frigives til Steno Museet, vil sikkert komme fra AH-Hallen og vil være af den korte slags (1 m).

Model af DR3-reaktoren

Museumsnr. 254.560

Endnu ikke hjemtaget



Figur 83. Model af reaktor DR3.

Modellen er lavet af ingeniørfirmaet Head Wrightson Processes, der også leverede selve DR3 reaktoren. Den kom ifølge fhv. driftsingeniør Karsten Haack til Risø i 1959.

Fra toppen af modellen kan man udskifte små modeller af brændselselementer. Modellen har siden starten stået i vestibulen ved indgangen til bygning 214 – og det gør den stadig. Den har været brugt til at informere gæster om reaktoren. Den har også været brugt ved en tv-udsendelse i Danmarks Radio i 1970'erne, hvor den blev placeret oven på reaktortoppen, mens en medarbejder demonstrerede udskiftningen af brændselselementer.

Til modellen hører også en terning (ikke vist), der illustrerer det samlede netto forbrug af ^{235}U i reaktorens levetid sammenlignet med den energimængde, der er produceret.

Udstilling af brændselement og forsøgsrør

Museumsnr. 254.561

Endnu ikke hjemtaget



Figur 84. Udstilling, der viser brændselement og forsøgsrør fra DR3.

Udstillingen er lavet på Risø og indeholder (fra venstre mod højre):

1. Overskåret dummy brændselement af typen MK IV. Man kan her se den indre opbygning af elementerne. Uranbrændslet sidder i fire ringe. På et ægte element ville de fire inderste aluminiumringe være af uran. Mellem ringene er der et mellemrum, hvor det tunge vand passerer op gennem elementet. I toppen af elementet løber vandet ud i reaktortanken gennem udløbshullerne.
2. Helt dummy brændselement af MK IV typen. DR3 kørte med 26 brændselementer.
3. 2 tomme forsøgsrør, der passer ned i midten af MK IV brændselementet.

Brændselementer af MK IV typen blev fremstillet af et privat firma i tilknytning til metallurgiafdelingen på Risø.

DR3 har gennem tiden brugt forskellige elementtyper. MK IV elementet blev taget i brug i 1988. MK IV er beregnet til lavt beriget uran med 19,75 % ^{235}U .

Det tog Risø 10 år at udvikle MK IV. Udviklingsarbejdet blev påbegyndt i slutningen af 1970'erne, da USA (og USSR) i 1978 besluttede at begrænse leverancen af højt beriget uran til forsøgsreaktorer. Før den tid benyttede de fleste forsøgsreaktorer rundt omkring i verden højt beriget uran med op til 90 % ^{235}U . Højt beriget uran ("highly enriched uranium", forkortet HEU) indeholder mindst 20 % ^{235}U . HEU med indhold af ^{235}U på 90 % kan imidlertid relativt let benyttes til fabrikation af a-våben. Supermagterne frygtede simpelthen, at højtberiget uran skulle falde i hænderne på slyngelstater og terrorister. I dag bruger de fleste forsøgsreaktorer uden for de lande, der som f.eks. USA, Rusland og Kina selv producerer beriget uran, lavt beriget uran (forkortet LEU).

Flowpanel

Museumsnr. 254.562

Endnu ikke hjemtaget



Figur 85. Oprindeligt flowpanel fra DR3.

Ukendt engelsk fabrikat. Flowpanelet har været i anvendelse fra 1960 til omkring 1980, hvor det blev udskiftet. Flowpanelet har siddet i kontrolrummet, øverst oppe mod loftet på højre side.

Flowpanelet viser cirkulationen og strømmen af væsker og gasser gennem reaktoren og de tilhørende anlæg. Lamper viser de forskellige apparaters driftsstatus – altså om de kører. Panelet giver et glimrende overblik over de processer, der foregår i reaktoren, og de forskellige apparaters funktion.

Man kan se, at der undervejs er foretaget ændringer i systemet.

Til forklaring af flowpanelet skal følgende anføres:

Gule streger = Tungtvandskredsløbet

Blå streger = Letvandskredsløbet

Mørkeblå streger = Shild kølesystemet (kølesystemet i selve reaktorblokken)

Grønne streger = Helium-dækgassens kredsløb

Lamperne viser om apparaterne kører eller ikke

P er en forkortning for pumpe

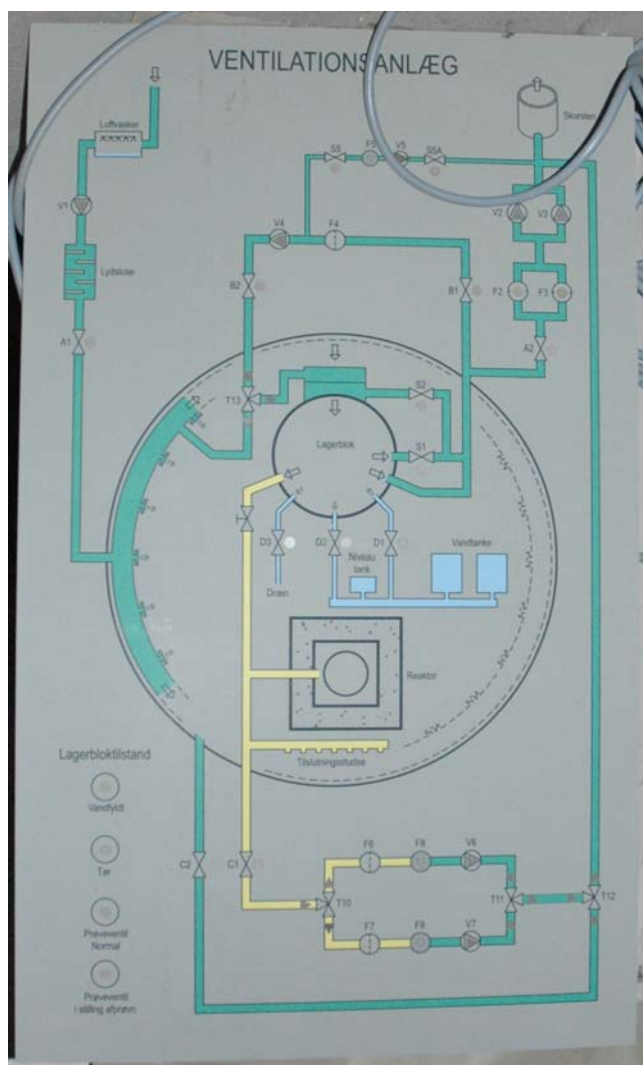
V er en forkortning for "vessel" (beholder)

▷◁ er en ventil

Ventilationsanlægspanel

Museumsnr. 254.563

Endnu ikke hjemtaget



Figur 86. Ventilationsanlægspanel fra DR3

Fabrikeret på Risø af forskningstekniker Søren Roed i 1995-98. Et panel magen til dette sidder stadig i kontrolrummet, venstre side, oppe under loftet.

Panelet viser ventilationsluftens gang gennem reaktoren og reaktorhallen.

Grøn streg = almindelig luft

Gul streg = forurenede luft til rensning

Lamperne angiver driftsstatus og de virker stadig.

Ventilationsanlægspanelet er omtalt interviewet med Heinz Floto (afsnit 5.3.)

Relæsæt med kviksølvrelæer

Museumsnr. 254.564

Endnu ikke hjemtaget



Figur 87. Relæsæt med kviksølvrelæer.

Original – d.v.s. fra 1958-60 - relæboks af ukendt engelsk fabrikat. Et relæsæt magen til dette er stadig i drift ved DR3. Har siddet i hovedrelæskabet længst til venstre i kontrolrummet.

Relæsystemet hører til reaktorens sikkerhedskredsløb, som skal sikre, at der træffes forberedelser til at bringe reaktoren i en sikker tilstand, såfremt der opstår fejl. Det var kun de mest kritiske af reaktorens funktioner, der havde kviksølvrelæer, nemlig de otte forskellige ”emergency shut-downs”, hvor reaktorens sikkerhedsstænger automatisk skulle udløses og bygningen forsegles. Kviksølvrelæet regnes for det mest pålidelige relæ (fordi det ikke kan svejse fast) og anvendes derfor i systemer, der kræver en særlig grad af driftsikkerhed. Relæet er opbygget omkring en række små glasbeholdere, der indeholder kviksølv og har en kontakt i hver ende. Når der er strøm i relæet, bliver de små glasbeholdere holdt i vandret position af elektromagneter. Hvis strømmen brydes vipper kontakten og strømmen over relæet brydes. Relæet er dæmpet, således at kviksølvet i beholderen ikke skvulper.

Sikkerhedssystemet kører efter ”2 ud af 3” princippet. Hver parameter overvåges af tre kanaler, hvoraf to skal give signal for at iværksætte indgreb. Dette system benyttes for, at en enkelt fejlmelding ikke skal få reaktoren til at ”trippe”. Relæsystemets opgave er at sammenkoble de tre signaler. Systemet kører desuden efter det såkaldte ”fail safe” princip, som betyder, at et svigt i en målekanal virker som et fejlsignal fra den overvågede parameter. En fejlmelding er således identisk med en afbrudt strøm.

Fhv. reaktorchef Heinz Floto beskriver vagtpersonalets opgave som en slags kamp: Reaktoren var bygget til at lukke ned automatisk ved den mindste fejl eller ustabilitet, mens reaktorpersonalets interesse lå i at holde reaktoren kørende.

Instrumenteringen blev i sin tid leveret med et komplet sæt af reserveenheder. Disse blev opbevaret ude i reaktorhallen, ikke langt fra kontrolrummets ”bagdør”. Skulle et relæ svigte, kunne man hurtigt hente et reserverelæ.

Advarsel: Relæørene indeholder det giftige tungmetal kviksølv.

Se i øvrigt interviewet med Heinz Floto (afsnit 5.3.) for flere detaljer.

Hånd & Tøj Monitor

Museumsnr. 254.565

Endnu ikke hjemtaget



Figur 88. Hånd og tøj monitor

Hånd og tøj monitor, produceret af helsefysikafdelingen på Risø i første halvdel af 1980'erne. Der er på Risø fremstillet i alt seks styk af denne type. De sidste gik ud af drift i 2004, hvor Dansk Dekommissionering gik på verdensmarkedet for at købe nye apparater.

Hænderne kontrolleres ved at stikke dem ind i de to huller på apparatets front. I hvert hul sidder to proportionaltællere (en til forsiden og en til bagsiden af hånden), som ved hjælp af en fjeder trækkes sammen omkring hånden.

Sko, tøj og resten af kroppen kontrolleres ved hjælp af den løsthængende probe, der ligeledes rummer en proportionaltæller. Proben aktiveres, når den tages ud af øjet, hvori den hænger.

Apparatet kan måle og differentiere alfa- og betastråling, idet der er separate displays til hver type. Dette gælder både for målingerne i proben og for hver hånd, der også kan aflæses separat. Apparatet reagerer desuden på ændringer i baggrundsaktiviteten. Hvis en person går forbi monitoren med f.eks. en gammakilde, fortæller en alarm (lys og lyd), at der er et forhøjet niveau af baggrundsaktivitet i rummet.

Apparaterne har stået ved udgangen fra blå kontaminationsområder. Det apparat, som Steno Museet er blevet stillet i udsigt, har været opstillet ved udgangen af DR3.

For flere detaljer om brug af apparatet henvises der til interviewet med funktionsleder og helsefysiker João Silva i afsnit 5.4.

Advarsel: Apparatet kan lække olie, hvis det ligger ned.

Skraldespande til aktivt materiale

Museumsnr. 254.566

Endnu ikke hjemtaget



Figur 89. Skraldespande til aktivt materiale.

Reaktoranlæggenes skraldespande lignede til forveksling almindelige barberspande. Disse to står på DR3 første dæk. Spandene er formentlig ret gamle, måske endog fra 1950'erne, og benyttes endnu.

Alt affald fra "røde" og "blå" områder blev tjekket af helsefolk, før det forlod reaktoranlæggenes. Der var hvide spande til handsker og røde spande til andet affald. Affaldet blev delt i brændbart og ikke brændbart materiale. Det brændbare materiale blev afbrændt under kontrollerede forhold på Risøs eget forbrændingsanlæg.

Tilknyttede genstande: Skoskranke på reaktortoppen (figur 80)

Kontrolblad til Coarse Control Arm (CCA)

Museumsnr. 254.567

Endnu ikke hjemtaget



Figur 90. Kontrolblad til coarse control arm fra DR3.

Kontrolblad til coarse control arm (CCA) fra DR3, produceret af Risøs eget værksted. Arme af denne type har været anvendt i hele reaktorens levetid (1960-2000).

Kontrolarmen består af en 2 mm tyk Cadmiumpulade (Cd), som på begge sider er indkapslet i 0,9 rustfrit stål. Armen vejer 16,4 kg og er 140 cm lang. I den ene ende er armen forsynet med to glidelejer af anodiseret aluminium. Lejerne blev under drift smurt af det tunge vand i tanken. Risø har ifølge forskningstekniker Søren Roed lavet en del udviklingsarbejde i forbindelse med disse lejer.

Der var syv kontrolarme i DR3, hvoraf de fem var placeret mellem de seks rækker af brændselselementer og de to var placeret tæt op af brændselselementernes yderside. Kontrolarmene kunne kun bevæge sig i det to-dimensionelle plan mellem brændselselementerne.

Armene kunne under drift bevæge sig i en vinkel på 60°. Positionen ”helt ude” var vandret, hvor kontrolbladet stod parallelt med tungtvandsoverfladen. I denne position absorberede kontrolbladene næsten ingen neutroner. Positionen ”helt inde” var 60°, hvilket blev kaldt position 0. Ved denne vinkel absorberede kontrolbladene flest neutroner. Skal man være helt præcis, er det dette dog strengt taget forkert, fordi det er en lidt lavere position, der giver den højeste absorption. Når man ikke benyttede denne position som udgangspunkt, var det fordi man var interesseret i at få en nogenlunde lineær sammenhæng mellem position og neutronabsorption i driftsområdet, hvilket

man ikke kan få nær maksimum, da absorptionskurven flader ud omkring dette punkt. I position 0 kan reaktoren ikke køre, da der absorberes et overskud af neutroner.

Ved driftsstart hævedes armene 22° fra denne nedre position og den kontrollerede fission begyndte. Reaktoren kunne stoppes igen ved at sænke kontrolarmene. Det tidligere omtalte misalignment kontrolpanel kontrollerede, at kontrolarmene kørte synkront. Når reaktoren i forbindelse med uheld "trippede" afbrød sikkerhedssystemets relæer strømmen i de elektromagneter, som holdt kontrolbladet i position og bladet faldt i løbet af mindre end 0,5 sek. ned i position 0.

Armene var desuden i stand til at stå lodret, men denne position blev kun udnyttet, når armene skulle tages ud til reparation og eftersyn.

Kontrolbladene blev ifølge fhv. reaktorchef Kirsten Hjerrild Nielsen alt afhængigt af deres position i reaktoren udskiftet omtrent hvert 3-4 år. Cadmiumlaget "slides" nemlig tyndt, efterhånden som det absorberer neutroner. Ingeniørerne omtalte denne tilstand på den måde, at bladet var "brændt ud". Bladet virker dog så længe, at der er et lag cadmiumatomer tilbage.

Ved siden af disse syv kontrolarme var DR3 forsynet med en finreguleringsstang og to lodrette sikkerhedstænger.



Figur 91. Coarse control arm i position 0 (se omtale i teksten)

Tilknyttede genstande: Misalignment kontrolpanel (figur 69) og relæpanelet (figur 87)

Advarsel: CCA-bladet indeholder tungmetallet Cadmium, der dog er indkapslet i stål.

NTD-Silicium udstilling

Museumsnr. 254.569

Endnu ikke hjemtaget



Figur 92. NTD-Silicium udstilling

NTD-Silicium udstillingen er lavet af civilingeniør Kirsten Andresen til en udstilling på Teknisk Museum i 1985. Udstillingen har siden stået i vestibulen ved DR3.

Den viser faserne i fremstillingen af thyristorer fra strandsand til færdig komponent.

I montren (billedet) findes:

1: Råmateriale til fremstilling af silicium - SiO_2 - er hovedbestanddelen i almindeligt strandsand.

2: 4 tommer Siliciumkrystal fremstillet ved *float zone* (FZ) teknikken. I spidsen sidder den kimkrystal, hvorfra krystalvæksten starter. Topsil A/S er en blandt en lille håndfuld fabrikker i verden, der fremstiller FZ-Silicium.

3: 2 tommer opskåret Si-krystal, som de ser ud, når de skal bestråles.

4: Polerede og upolerede skiver af bestrålet silicium. $\frac{3}{4}$ af krystallen går til spildevand under opskæring og polering.

5: Guldbelagte skiver af NTD-Silicium. Guld er blandt de absolut bedste ledere og bruges derfor som kontakt, hvor prisen spiller en mindre rolle.

6: En færdig kraft-thyristor fra ABB. Kraft-thyristorer bruges i kraftensrettere og i store jævnstrømsforbindelser.

På væggen i indgangen til bygning 214 (ikke vist på billedet) findes desuden:

1: En stang af ren råsilicium der er udgangsmaterialet ved FZ-silicium krystalproduktionen.

2: 4 tommer Si-krystal indkapslet i aluminium ved hjælp af tynde titantråde. I enden er der placeret en mikroskopisk nål af kobolt, som blev brugt til dosiskontrol.

3: Aluminiumdåse, som Si-krystallen var i, når den blev bestrålet.

NTD-Silicium er kostbart og benyttes kun til kraftdioder, kraftthyristorer og krafttransistorer, hvor prisen spiller en underordnet rolle, som f.eks. ved store kraftensrettere. Blandt anvendelsesområderne kan nævnes, at den store højspændings jævnstrømsforbindelse mellem Europa og Skandinavien - "Kontiskan II" (der går tværs over Læsø) – benytter kraftthyristorer, hvis silicium er bestrålet i DR3. Kraftensrettere benyttes også i det elektriske system til togdrift.

Relaterede genstande: NTD-Siliciumskiver og Silicium-rig styringspanel og tæller

5. Udvalgte interviewklips

Under dette projekt er der blevet ført samtaler med en række nuværende medarbejdere ved Dansk Dekommissionering og tidligere medarbejdere ved Risøs reaktorfaciliteter. De fleste er lavet som *in situ* samtaler, der fandt sted under rundture på reaktor anlæget og de handler som oftest om specifikke genstande eller typiske arbejdssituationer. I dette afsnit er en lille del af dette interviewmateriale udskrevet og samlet, dels fordi det giver et indblik i hverdagen og almindelige arbejdssituationer ved reaktorerne, og dels fordi det illustrerer, hvordan de enkelte genstande er blevet brugt. Interviewene er kun let redigerede; så vidt muligt er jargonen søgt beholdt, så tæt på originalen, som det af hensyn til læsbarheden lader sig gøre.

5.1. Preben Skanborg om driftsproblemer ved DR2's opstart

Fhv. reaktorchef ved DR2, civilingeniør Preben Skanborg (PS) fortæller om nogle af de mange driftsproblemer, man stødte på ved DR2 i de første måneder og et højt mærkværdigt sted, der hed "kødbyen". Foruden PS og undertegnede deltager også projektleder Kurt Lauridsen (KL) i samtalen, som fandt sted onsdag den 30/8-2006 i driftskælderen under DR2.

Omtalte genstande: Brændselselementer og kontrolstænger.

PS: Kom lige med herover, hvis I vil have historien med. Vi står i driftskælderen, ved enden af de to varmevekslere. Til højre derovre er indgangskølerøret og udgangskølerøret til den forsinkelsestank, der står inde bag ved. Det var her, vi fik høj stråling, første gang vi startede reaktoren, fordi forsinkelsestanken ikke virkede. Jeg kan huske - fordi jeg var med til det - at vi byggede en opstilling op for at kunne bevise, at det var ^{16}N kvælstof, der kom ud og gav den høje stråling.

Det er den termiske effekt, man styrede efter, når man kalibrerede reaktoren. Derovre gik der to rør op. De var simpelthen beregnet til, at vi kunne sætte to kviksølvstermometre ned og måle temperaturdifferencen meget nøjagtig. Der har også siddet en klods lige der, hvor jeg helt sikkert har haft termoelementer siddende, så jeg kunne måle differencen meget nøjagtigt. Så sidder der to motordrevne ventiler lige der. Man blev nemlig klar over, at hvis nogle af alle disse rør hernede sprang læk, så havde vi ikke nogen mulighed for at holde vand i reaktoren. Og hvis der stod en fuldt radioaktiv reaktorkerne, så var det for alt i verden om at få sat vand på. Så derfor blev kølesystemet forsynet med de to motordrevne ventiler, som er tilsluttet vandstandsalarmer [i reaktortanken]. Når vi forlod reaktoren, kunne den selv lukke for kølevandet, hvis den tabte tilpas meget af vandet. Men ellers var reaktoren altså beregnet til manuel betjening ved hjælp af paneler oppe i kontrolrummet. Da vi skulle sætte disse ventiler ind, har det sikkert været sidste gang, at vi har haft alt vandet af reaktoren. Det var man nemlig nødt til. Det vil sige, at alle brændselselementerne blev flyttet over i et stort kar, som vi havde ovre i... hvad pokker er det nu den bygning med badekarret derover hedder...

KL: Ja den hedder 203, eller også hedder den kødbyen...

PS: Ja, jo. Den hedder kødbyen. Der var et stort bassin med vand i, hvor man kunne flytte hvert element over. Lige meget hvor radioaktivt det end var, så kunne vi flytte det derover og havde det stående.

HK: Det var et lager eller et reservelager?

PS: Ja, det var et reservelager, hvor man kunne deponere radioaktive elementer. Jeg har været med til - enten to eller tre gange - at flytte hele kernen over i kødbyen.

KL: Det må have taget tid, for I havde kun en transportbeholder. I kunne derfor kun flytte et element af gangen.

PS: Ja.

HK: Jeg er bange for, at det hele blev lidt indforstået i starten. Vil du være så venlig at fortælle lidt flere detaljer om det problem, som I stødte på, lige da I startede? Du fortalte oppe i hallen, at den amerikanske ingeniørs første respons var, at man simpelthen bare skulle lukke kælderens og køre videre.

PS: Jo. Da man havde kørt for fuld effekt for første gang – vi havde i nogen tid kørt med lav effekt - konstaterede man, at der var høj radioaktiv stråling i driftskælderens. Der sidder en forsinkelsestank i kælderen, som skulle sørge for, at strålingen fra den kortlivede kvælstofisotop ^{16}N ikke er til stede, men netop var henfaldet. Så fik man mistanke om, at henfaldstanken ikke virkede. Men det endelige bevis ville være, hvis man kunne måle på selve strålingen og bestemme dens gammaspektrum. Vi fik så sat en opstilling op hernede, hvor vi kunne lave målingerne, ved hjælp af en forsøgsopstilling med guldfolie, som jeg allerede havde til fluxmåling i reaktoren. Vi måtte afskærme den med en passende mængde bly, fordi detektoren var beregnet til en meget lav strålingsintensitet. Opstillingen blev bygget op på et døgn. Reaktoren kørte kun en periode med 5 MW i opstartsperioden. Så snart man havde fået bevist, at det var ^{16}N , så lukkede man ned. Senere, da vi regnede på alle vores målinger, fandt vi ud af, at vi faktisk havde kørt reaktoren fra 5 MW og op til 5,5 MW, fordi neutronmålekanalerne i reaktoren ændrede følsomhed, når kontrolstængerne i reaktoren blev trukket ud for at modvirke xenonforgiftningen. Det var først senere, at vi lærte, hvordan vi skulle magte det problem.

HK: Der var noget du kaldte kødbyen?

PS: Kødbyen var et stort vandfyldt kar, der vel målte fire meter på den ene led og fem-seks meter på den anden led og var lige så dyb som DR2's reaktortank. Der var altså meget langt ned. Den var beregnet til, at man kunne sætte reaktorkernen derover, hvis man fik brug for at flytte de radioaktive elementer. Jeg har været med til to eller tre gange over flere dage at flytte brændselselementerne enkeltvis i en blycontainer fra DR2 tanken og over til kødbyen. Stedets navn kom af, at der var anvendt hvide fliser, der lignede en kødby, altså et sterilt lokale. Det var ret imponerende. Vi holdt liv i den, så længe vi måtte have den, som en sikkerhedsforanstaltning, når vi kørte med høj effekt.

5.2. Gert Stærkind om udskiftning af brændselementer ved DR2

Samtale med fhv. operatør og vagtholdsleder ved DR2 Gert Stærkind (GS) om udskiftningen af brændselementer i DR2. Samtalen fandt sted onsdag den 30/8-2006 i reaktorhallen ved DR2.

Omtalte genstande: Brændselementer, grafitreflektorelementer og "fiskestænger".

HK: Hvor tit skiftede man brændselementer ved DR2 og hvordan foregik det?

GS: Det gjorde man sådan ca. hver 3-4 måned, men vi arbejdede i kernen ret ofte, idet elementerne blev roteret rundt, således at det ikke var de samme, som sad i den højeste flux under hele deres levetid. Selvfølgelig var brændselsskiftet meget udramatisk. Vi havde et regnskab. Man kan nemlig ikke se på et brændselement, hvornår det er udbrændt. Så der blev ført et regnskab med elementernes udbrænding. Grundlaget for regnskabet var, at man en gang om året satte nogle aluminium strimler ned i reaktorkernen på hvert element, hvorpå der var nogle små koboltnåle, som - så vidt jeg husker - var 0,5 mm i diameter og 4 mm lange. Strålingen fra disse var udtryk for fluxen det pågældende sted. Det vil sige, at man for hvert element havde et mål for fluxen - altså hvor mange neutroner, der var i hvert element. Man havde kortlagt det på den måde, at ham, der førte dette regnskab, kunne sige, at *det* element har været udsat for den flux i det antal timer. På grundlag heraf udregnede man, hvor langt udbrændingen var på netop *det* element.

HK: Det var før man havde computere og digitale regnemaskiner, så det var vel en ordentlig opgave?

GS: Ja. Den flux, man havde, blev plottet ind på et stykke A3 millimeterpapir som en kurve.

HK: Tværs igennem kernen?

GS: Ja, og for hvert element. Så havde man et planimeter, som man simpelthen kørte hen over kurven. På den måde fandt man gennemsnitsfluxen på det pågældende element. Det var selvfølgelig meget primitivt og det tog en helvedes masse tid, men det fungerede. Man kunne, når et element var blevet bedømt til at være udbrændt, senere i processen også konstatere, om det nu også var rigtigt. Det målte de der, hvor elementet kom hen til oparbejdning.

HK: Hvor blev elementerne opbevaret? Og hvordan tog man dem i det hele taget ud?

GS: Elementerne som skulle ud af kernen? Ja, det gjorde man ved, at man tog en sikkerhedsvest på - nøjagtig lige som dem man bruger, når man skal ud at sejle. Så trådte man inden for gelænderet og stod så og balancerede på de par jernkanter, der var derinde. Og der var så syv meter vand mellem lille mig og kernen, hvor der var en hel masse stråling. Der sad en tværpind øverst på elementet, som man kunne gribe fat i. Man havde simpelthen en stang, som man huggede an med.

HK: Fiskestænger?

GS: Fiskestænger, præcist. Så tog man elementet op. Et par meter over kernen var der en række, som man parkerede elementet i. I den række sad de brugte brændselementer i x-antal måneder, indtil de blev kørt over i et bassin, som man havde ovre på DR3 og som egentlig var deres lagerfacilitet. Det gjorde man ved hjælp af en blycontainer. Det var en blycontainer på ca. 50 cm i diameter og ca. 2 meter høj. Den blev sænket ned under vandet og så blev indladingen foretaget under vand. Der blev sat en prop på hullet i containeren og så kom den ned på en blokvogn og blev kørt over på bassinet derovre. De kunne så stå der i flere år, indtil der blev samlet et passende antal sammen som kunne køres til Frankrig eller England. Altså der hvor man oparbejdede brændslet.

HK: Hvorfor blev de opbevaret et stykke tid under vand i reaktoren?

GS: Det var på grund af strålingen. Når elementerne lige var blevet taget ud af kernen, var strålingen så utrolig høj, at blycontaineren ikke kunne klare at begrænse strålingen tilstrækkeligt. Der er jo nogle kortlivede isotoper, som relativt hurtigt henfalder. Så er der desuden dem, der tager flere tusinde år. Men det var altså i to tempi, at man borttog brændselselementerne.

HK: Hvordan var det at stå og balancere deroppe?

GS: Det giver sig selv. Det var fuldstændig rutine, ikke sandt. I starten havde vi ikke noget sikkerhedsudstyr, men så var der en, der kom til at tænke på, hvad der ville ske, hvis der var en, der faldt ned. Så skulle han jo helst ikke synke alt for langt ned, for så bliver man jo bestrålet... Men altså for lige og falde i vandet - det er jo ikke tungt vand, men bare ganske almindeligt blødt vand - så ville man jo kunne tage et brusebad og formentlig slippe fra det, med mindre man altså slog hovedet.

HK: Vandet giver trods alt en god skærmende effekt...

GS: Ja, ja. Man skulle jo ned omkring en 3-4 meter under overfladen før strålingen blev rigtig høj. Med mindre det var lige i det øjeblik, hvor man havde taget elementet ud. For det er jo klart, at lige i det øjeblik var det jo voldsomt radioaktivt. For slet ikke at snakke om, hvor meget radioaktivitet der var, når reaktoren kørte.

HK: Det foregik således delvist manuelt, når man skiftede brændsel på DR2?

GS: Det var ikke bare delvist, men fuldstændigt manuelt...

HK: Gælder det også inddragningen i blycontaineren?

GS: Ja.

HK: Der var intet drev eller lignende, der klarede sagen...

GS: Overhovedet ikke. Vi sænkede blycontaineren ned ved hjælp af ringkranen, således at hele krankrogen kom med ned også. Nej, vent nu lidt. Stroppen var vist så lang, at selve krogen ikke skulle med ned. Derefter tog man simpelthen elementet nede fra lagerrækken. På elementet var der en tværpind og fiskestangen havde en pal, som låste elementet fast til stangen. Denne pal blev betjent af operatøren. Og så løftede man det op, og derefter ned i et firkantet hul i containeren. Forinden havde man parkeret proppen på en speciel holder. Den tog man så på samme måde og satte på, hvorefter man trak det hele op. Så var det bal forbi, kan man sige. Der var ikke noget mystisk i det. Og det fungerede mægtig godt. Det der med mekaniske lademaskiner og alt det der, det var såmænd ikke nødvendigt.

...

HK: Da vi kom ind nævnte du, at brændselselementerne i starten blev opbevaret ved noget der hed kødbyen.

GS: Ja, da anlægget blev planlagt havde man en idé om, at man kunne bestråle kød, så det kunne holde sig noget længere. Men med det hysteri, der var omkring bestråling, blev det aldrig til noget. Men navnet hængte ved, således at når vi ved DR2 havde brugte brændselselementer, kørte vi dem til *kødbyen*. Men det blev så for meget af det gode, når DR3 også havde et sted, hvor de kunne lagres. Nemlig i vandbassinet ude i AH-hallen på DR3.

...

HK: Og det her er?

GS: Det er en tavle over elementer i reaktorkernen. Da reaktoren blev leveret fra USA, var de to yderste rækker i kernen grafit-elementer. Det var hylstre fyldt med grafitklodser. Så fandt man ud af, at hvis de blev erstattet med berylliumelementer, kunne man spare temmelig meget uran og få reaktoren til at køre med betydeligt mindre uran. Derved blev der plads til nogle

flere forsøg på de pladser, hvor man ikke behøvede at have uranelementer. Reaktoren kunne simpelthen blive kritisk med færre elementer.

HK: Der var altså en reel fordel ved, at gå over til berylliumelementerne. Det var ikke kun fordi de var utætte?

GS: Nej. Der var en stor fordel. Det var en dyr operation, men man kunne altså modtage flere af de forsøg, som trods alt dengang blev regnet for ret væsentlige, bl.a. forsøgene med brændselementstave til kraftreaktorer.

HK: Viser tavlen også placeringen af forsøgene?

GS: Ja. Og her er så den lagerrække, som vi talte om før, hvor man holdt styr på hvilke elementnumre, man havde dernede. Elementerne havde numre og på den måde havde man hele tiden styr på, hvor de stod.

HK: Hvor havde I tavlen siddende?

GS: Inde i kontrolrummet. Når man lavede noget nede i reaktoren, så stod lågen åben [tavlen har en glaslåge]. Så sagde de, "nu flytter vi element nr. nn, fra position nr. x til position nr. y". Så holdt vi regnskab på den måde. Det fungerede egentlig udmærket. Selvfølgelig blev det også skrevet ned og afrapporteret.

HK: Det er et noget trivielt spørgsmål, men hvor er sådan en tavle fabrikeret? Er det lokalt snedkerarbejde her fra Risø?

GS: Det må det vel være. Jeg vil tro, at det er lavet oppe på værkstedet her på Risø. Ja, det vil jeg tro.

HK: Og den yderste ring her... Forstod jeg ret, at det var selve lagerrækken oppe i tanken?

GS: Ja.

HK: Hvor mange elementer var der plads til oppe i lagerrækken?

GS: Der var plads til... 48. 48 elementer kunne der altså være, så du kan jo godt se, at vi kunne vente længe med at køre dem over til DR3.

HK: Der er nøgle på. Var der nogen procedurer for hvem der måtte åbne skabet?

GS: Vi havde et nøgleskab, med nøgler til diverse ting. Der var jo nøgler til mange ting: Først og fremmest nøglen til at starte reaktoren med. Det kan godt være, at nøglen til dette skab også har været der. Det har den uden tvivl været, så der ikke var nogen, der bragte rod i tingene. Vi var tre mestre, som havde nøgle til nøgleskabet og stod til ansvar for, hvad der skete med nøglerne.

5.3. Heinz Floto om funktionerne i DR3's kontrolrum

Fhv. reaktorchef civilingeniør Heinz Floto (HF) viser rundt og fortæller om de vigtigste instrumenter, sikkerhedssystemet og arbejdsrutiner i kontrolrummet på DR3. Foruden HF og undertegnede deltager også fhv. reaktorchef civilingeniør Kirsten Hjerrild Nielsen (KHN) i samtalen, der er optaget i DR3's kontrolrum tirsdag den 29/8-2006.

Omtalte genstande: alarmpanelet, CCA-bladene, kviksvølvrelæer, tavle over ventilationssystemet.

HK: Vi kan vel passende starte inde i kontrolrummet.

HF: Ja, det står jo som det altid har gjort... og det passer alligevel ikke helt, for der er jo generelt tale om anden generations instrumentering. Reaktoren er jo så gammel, at alle de originale instrumenter var baseret på rørforstærkere.

HK: Ja vi har set på dem, der står oppe på loftet.

HF: Det her vi ser på nu, er så anden generations instrumentering. Men layoutet er det samme. Princippet er det, at vi har "emergency shut down" i feltet her i midten [af alarmtavlen]. Det er de alvorligste fejl.

HK: Det er de røde her?

HF: Ja. Vi har f.eks. manuel nedlukning. Det udløses af trykknapper, der sidder rundt omkring. Jeg tror aldrig, at det har været brugt for alvor. Men man kunne altså udløse "emergency shut down" ved hjælp af trykknapper. Så er der gammaniveau på toppen; et eller andet oppe på reaktortoppen er åbent, således at der kommer stråling op.

HK: Hvad er så de tre øverste deroppe? Der hvor der står "guard"?

HF: Guard. Det er selve systemet. Hver enkelt alarm går ind i tre guardlinjer. Det er det system, som vi kalder "to ud af tre": En fejl udløser kun en alarm. To fejl giver et trip. Guardlinjerne er selve det relæsystem, der samler linjerne sammen og kombinerer de tre signaler to og to sammen. Det der kan udløse trippet, er så den stribe, der står nedenunder.

HK: De otte nummererede plader?

HF: Ja. Hvoraf kun de fem er aktive i dag. Det var "manuel building seal", altså de manuelle trykknapper, gamma på reaktortoppen og så en alarm, der hedder, at gamma på toppen er "frakoblet". Hvis man laver noget på reaktortoppen, programmeret, som man ved vil give meget høj gammastråling, kan man koble dem fra. Så får man en rød alarm op, men den griber ikke ind. Der sker ikke noget. Men det står altså oppe på tavlen, at nu er sikkerhedssystemet på det punkt delvist koblet ud af drift.

HK: Det kunne være, hvis man skiftede en prøve oppe på reaktortoppen?

HF: Ja. Hvis man hiver en eller anden prøve op og man ved, at den er meget hot, således at den vil udløse alarmer. Så kan man altså koble systemet fra. Så er der gamma i skorstenen, hvilket betyder, at der pludselig er radioaktivitet, der er på vej ud af bygningen. Så er der også nogle nye som er kommet til, siden man lukkede reaktoren ned.

HK: Der var altså oprindeligt i alt otte "emergency shut downs".

HF: Ja, der har været nogle flere end de fem, der er her nu. Så er der også dem, der hedder "trip". Det er alle de andre. De er efterhånden væk alle sammen, men der var jo f.eks. sådan noget som for høj temperatur, manglende flow et eller andet sted osv. Altså en lang række af ting, der var unormale. Det kunne også være, hvis CCA-bladene ikke fulgtes ad, af den grund at en af dem f.eks. blev hængende eller sad fast, så den ikke ville køre og derfor ikke var på linje med de andre – det vi kaldte misalignet – så fik vi et trip. På den måde var der en lang

række betingelser, der skulle opfyldes. Så har vi så de gule. Det er rene "warnings", der bare er oplysninger om, at der er noget galt.

HK: Noget som er mindre kritisk?

HF: Ja. Der var som regel en enkelt eller to lamper, der lyste, ligesom der også er nu. Det var så et eller andet, som man måtte være opmærksom på, at det skulle man have kigget på, eller som man skulle have rettet. Altså et eller andet, der var galt, som man af den ene eller anden grund godt ved og hvor man siger: "nå ja, sådan er det". Det er ikke nødvendigvis noget, der behøver at gribe ind i driften.

HK: Det kan være, at vi lige skal runde instrumenterne på kontrolbordet. Vi har udvalgt nogle af de gamle instrumenter bl.a. en gammel effektskriver. Var det her over bordet den sad?

HF: Ja, ja. Der er sket en udskiftning efterhånden. Oprindeligt var alle skriversne de her store sorte kasser. De var meget tidskrævende. Vi havde en mand, der stort set ikke lavede andet end at vedligeholde skriversne!

HK: Okay!

HF: Herovre er hele det gamle relæsystem. Det er faktisk bevaret og har været aktivt. Det er ikke skiftet ud. Her sidder alle relæerne, der er koblet sammen i det her to ud af tre logik system. Du kan se, at der er gule og røde. Hernede i bunden sidder så dem, der giver "emergency shut down". Det er kviksølvrelæer, altså magnetdrevne kviksølvrelæer. I hvert af dem sidder der tre kviksølvkontakter. De er lavet sådan, fordi man har villet være helt sikker på, at det var kontakter, der ikke kunne svejse og derved blive hængende inde. I almindelighed er systemet sådant, at alle alarmer udløser en afbrydelse af en strømkreds, men hvis en kontakt svejser, så kan den jo ikke afbryde. Hvis der af en eller anden grund har gået for stor en strøm, vil de to kontakter svejse og så kan den ikke afbryde. Men kviksølvrelæer har altså ikke den svaghed. Så her har vi altså haft kviksølvrelæer. Ellers har vi konsekvent undgået kviksølv herinde i reaktorthallen, fordi reaktortanken er af aluminium. Hvis der kommer kviksølv ned i reaktortanken, så går der ikke mere end...

HK: Så korroderer det?

HF: Ja, det korroderer med lynets hast! Få dage - så er det tæret igennem. Så kviksølv har været strengt forbudt. Hvad er der så? Ja, så er der "frig-panelet". Det er noget af det her halvforbudte, som slet ikke burde findes. Der kan man sætte en hel masse af tripfunktionerne ud af funktion. Det er man ind imellem nødt til, bl.a. for at kunne køre balancer under nedlukning uden at pumper og alt sådan noget er i drift. Så kunne man koble en række betingelser ud af drift. Det var selvfølgelig helt afgørende, at man havde respekt for dette system, for man må ikke, mens reaktoren kører, begynde at koble nogle af dem ud. Derfor var de låst inde, og den nøgle, der kunne åbne skabet, det er hovednøglen. Det er den, der sidder herhenne [over kontrolbordet]. Hvis man tager den ud, får man en alarm. Der er altså ikke en, der diskret kan gå op og slukke for en af tripfunktionerne. Det var sådan noget, som den vagthavende ingeniør havde som sin fornemste opgave, nemlig at sørge for, at når reaktoren blev startet op, så var alle alarmer aktive og frig-panelet var låst. Så sagde vi: "nu kører det hele, nu er tavlen ren, alle alarmer er aktive, nu kører vi!"

HK: En alarm er ikke bare lys, det er også lyd?

HF: Ja. Når en alarm kommer, giver den lyd. Så resætter man klokken, eller som det hedder "warning resæt". Men lamperne slukker ikke selv. Ellers ved man jo ikke, hvad det var for en, og så spørger man: "Hvad var det for en? Er der nogen der så, hvad det var for en? Nej det var der ikke!" Det dur jo ikke. Derfor bliver lampen ved med at lyse, indtil man trykker på resæt. Så slukker den, hvis fejlen er væk. Og på samme måde for "trip resæt" - det er de røde. Klokkens funktion er så at vække operatøren: "Hov nu er der en ny alarm". Op at kigge: "Hvad er det for en? Nå det var den der, og ikke andet? Nej." Så slukker vi klokken og prøver at resætte. Er den der stadig? Ja. Nå, så er man mødt til at gå ud for at finde ud af, hvad fejlen er.

HK: Men hvad er forskellen mellem trips og "emergency shut down"? Selv de otte alvorlige alarmer udløser vel ikke helt automatisk en nedlukning af reaktoren?

KHN: Jo, jo!

HF: Jo. Alle de røde udløser automatisk nedlukning. Ved "emergency shut down" falder sikkerhedstængerne og bygningen forsegles, hvilket vil sige, at de store luftventiler lukker. Det gør de ikke ved et trip. Der stopper reaktoren bare. Ved "emergency shut down" får man altså en ekstra udløsning af sikkerhedsstængerne plus forsegling af bygningen.

HK: Hvor tit skete det, at der kom en "emergency shut down"?

HF: Det har jeg ikke tal på. Men de kom sjældent. Trip havde vi vel sådan cirka en af i hver driftsperiode, mens "emergency shut down" var ekstremt sjældne.

HK: Man skal altså ikke forestille sig en normal arbejdsdag herinde, hvor en håndfuld lamper stod og lyste?

HF: Nej, nej. Alle de røde lamper ville normalt være slukkede. Ja, altså en lampe kan godt tænde, uden at give trip, hvis det kun er *en* kanal ud af de tre, der giver signal. Så får vi den røde lampe, men vi får ikke trippet, før to kanaler siger, at den er gal. Men der er ikke forskel; lampen lyser altså i begge tilfælde. Men man kan man jo se, om reaktoren er trippet eller ej og det opdager man hurtigt.

KHN: Når vi tripper, er der mange alarmer der går ind på en gang og så er det ikke til at se, hvad der var for en, der kom først. Så kom de op på den skærm der i rækkefølge [i computer-systemet], hvor man så kunne se, hvad for en der kom først. Det hjalp os i fejlsøgningen.

HK: Det er altså en slags logbog, den her?

KHN: Det er en log. Ja.

HF: Ja, en automatisk log.

KHN: Den er installeret her for nyligt. Jeg ved ikke rigtig hvornår.

HF: Nej, den har ikke været der alle dage. I gamle dage var man altså afhængig af, at der var en der så, hvilken alarm der kom først.

KHN: Ja. Hvad for en kom først? Men man skal jo sidde og kigge hele tiden. Det hele sker jo inden for brøkdeler af sekunder.

HF: Men... normalt vidste trænede vagthold ret hurtigt, hvad der var sket. Et blik op på tavlen ville som regel hurtigt afsløre, hvilke alarmer der egentlig betød noget og hvad det var for en alarm, der udløste det hele.

HK: Hvad var det for mennesker, der var på et vagthold?

HF: Det var en maskinmester og to operatører, som var håndværkere. De var oplært her. Uden for var der så en helseassistent, der gik rundt og kun havde det til opgave. Men vagtholdet bestod altså af en vagthavende ingeniør, som var på anlægget, og så selve vagtholdet, hvoraf mindst en skulle være i kontrolrummet og mindst to i hallen. Der skulle sidde en her ved bordet og yderligere være en inde i hallen. Vi kunne ikke lide, at der var en mand alene herinde.

KHN: Man skulle også kunne gå op på toppen.

HF: Ja. Man kan jo ingen ting, hvis man er bundet af, at skulle være herinde...

HK: Var det *det*, som man havde assistenten til?

HF: Nej, assistentens opgave var først og fremmest at gå rundt i alle bygningerne for at se, om tingene kørte og at der ikke var noget, der lugtede varmt og at der ikke var noget, der pludselig væltede ud på gulvet. Så kom han naturligvis også her ind en gang imellem.

HK: Det var under normal drift. Men var der også folk herinde, når reaktoren var ude af drift?

HF: Der var altid bemanning, altså altid et vagthold. Der har været bemanning på reaktoren fra engang i begyndelsen af 1960 og til den lukkede.

KHN: Har der altid siddet nogen herinde?

HF: Ja! Jeg har siddet herinde helt alene engang, da lyset gik ud. Det var en sjov oplevelse. Der blev så stille, at man kunne høre sit eget hjerte. Hæ hæ!

HK: Okay. Og helt mørkt?

HF: Det var fuldstændig mørkt. Total mørkt. Lige meget hvor meget jeg anstrengte øjnene, kunne jeg ikke se andet end noget flimrer og jeg kunne ikke høre andet end et sus i ørene. Det var en meget sjov oplevelse.

HK: Men var der så ikke noget nødstrøm, der gik i gang?

HF: Jo, jo. Men det var i forbindelse med en øvelse eller sådan et eller andet. Men så var der jo selvfølgelig nogen derude, der gik i gang med at starte nødstrømmen op. Det var af en eller anden grund faldet ud. Normalt er der jo garanteret strømforsyning til instrumentering og til nødbelysning. Så er der desuden nogle reserverede kanaler til andre vigtige ting. Endelig er der også den almindelige forbrugsstrøm. Den garanterede strømforsyning kommer fra en inverter, som laver jævnstrøm fra nogle kæmpe ubådsbatterier om til vekselstrøm.

HK: Men det var vel kun til nødkøling og sådan noget?

HF: Ja til instrumenteringen, til nødkøling og til nødbelysning.

HK: Jeg forstår også, at der er et nødkontrolrum.

HF: Som ikke er til megen nytte. Men hvis man kom i den situation, at der var sluppet radioaktivitet ud i hallen, så kunne man ikke være herinde, fordi kontrolrummet ligger i hallen. Man kunne derfor risikere, at man var nødt til at forlade kontrolrummet. Derfor var der et nødkontrolrum. Men det var meget meget begrænset, hvad man kunne foretage sig derfra. Man kunne stort set kun operere med ventilationssystemet. Man kunne ikke gøre noget ved reaktoren. Den var jo automatisk lukket ned. Men man kunne åbne og lukke for ventilationen. Det var sådan et lidt bunkeragtigt center.

HK: Ligger det stadig derude?

HF: Ja, det må det gøre.

KHN: Ja, det gør det da også.

HF: Men det er ikke særligt spændende. Det er ikke sådan, at der er et helt kontrolrum udenfor. Det er lidt specielt. Der er mange reaktorer, hvor kontrolrummet ligger udenfor hallen. Det har både fordele og ulemper, at have kontrolrummet inde i hallen. Det ene er, at man både kan høre og lugte, når der er noget, der er ved at brænde på. Man kan jo lugte hernede, hvis der er en transformator i instrumenteringen helt oppe på toppen, der er ved at brænde af. Så kan man lugte, at et eller andet må være sket, fordi der lugter af brændt transformator. Eller man kan høre, hvis der er noget, der vælter og det giver et mægtigt brag. Til gengæld kan det så være problematisk at slippe ud under uheldssituationer.

HK: Hvordan var nødproceduren egentlig for de folk, som eventuelt skulle ud?

HF: Det er jo klart, at det er galt, hvis alle de røde lamper lyser. Der er jo også en strålingsmonitor herinde, så man straks kan gå op og se, hvor høj stråling, der er herinde. Hvis den var langt oppe ville man jo sige: Uha! Lad os komme ud.

KHN: I den situation kunne man råbe i højtaleren, at man skulle evakuere hallen. Der kunne sidde en masse fysikere oppe ved instrumenterne, som også skulle ud, hvis det var.

HF: Man skulle så holde styr på, at alle var kommet ud. Der sad en tavle ude ved indgangen, hvor man – når man havde forladt hallen - kunne se om, der var flere derinde og hvem det var, der ikke er kommet ud. Så kunne det jo være, at vedkommende havde glemt at melde ud. Men man kunne så efterlyse ham og få at vide, at han var kommet ud. Og så ville man sige; "Er du kommet ud? Din lampe lyser altså stadig væk!" Og han kunne så måske svare: "nå undskyld, jeg glemte at tjekke ud", "jeg kravlede ud under skranken" eller "jeg løb ud af den forkerte sluse". Der er jo tre sluser. Der er den, som vi kom ind ad, der er den store vognport og endelig er der nødudgangen oppe på første sal.

HK: Er det den der går ud i det fri ovre bag ved?

HF: Ja, ja. Det er en regulær nødudgang, mens vognporten ikke er beregnet til persontransport, men er forbeholdt gods.

HK: Vognporten kunne altså godt bruges, selvom reaktoren var i gang?

HF: Ja, det kunne den godt. Den er lavet med to porte, hvoraf kun en kan åbnes ad gangen. Det er en sluse. Nødudgangen er også en sluse.

HK: Når jeg spørger, er det fordi, at indgangen til køretøjer på DR2 kun kunne bruges, når reaktoren var ude af drift.

HF: Ja, det er bare en port. Men her kunne man mens reaktoren kørte f.eks. tage brugte brændselementer ud i AH-Hallen og nye elementer kunne tages ind. Så der var trafik med tungt gods ind og ud, mens reaktoren kørte.

HK: Er vi ved at have været rundt herinde? Eller er der mere interessant...

HF: Jeg vil lige sige, at vi herovre har en tavle over ventilationsanlægget i reaktorbygningen, hvor man kan se, hvordan reaktorbygningen er ventileret med filtre osv. Luften tages ind gennem filtre og lydsluser og bliver blæst ind i hallen. Så er der et afkastningssystem med filtre ud til skorstenen, og der er mulighed for recirkulation, således at man kan tage luft fra reaktorblokken og lagerblokken og lede den ned igennem specielle kulfibre og så enten smide den tilbage i hallen igen eller helt ud, afhængig af omstændighederne.

HK: Hvad er så det her? Hvorfor sidder der et kort over Risø her?

HF: Ahh jo... Ha ha! Schyyy, schyyy! Det er fordi, at der inde bag ved pladen sidder et fjernsyn. Nå, det er der ikke mere. Men der sad fjernsynet. Det stod her, fordi der ikke rigtig skete noget på de lange kedelige aftener. Så kunne man kigge fjernsyn. Men det havde direktøren godt nok noget ondt af og han sagde: "De laver ikke en skid. De sidder bare der og ser fjernsyn!" Men han glemte jo, at de sad og holdt vagt. Så snart klokken ringede, gik der jo en ud og tog affære. De var på vagt. Men altså nej, nej. Jeg tror også, at de har fjernsyn på elværkerne og alle andre steder, hvor der er nogen der sidder på vagt. På brandstationerne sidder de jo også og ser fjernsyn. De er jo på arbejde og er, hvor de skal være.

HK: Det var så fjernsynet!

HF: Ja, og for at det skulle se ordentlig ud, fandt man på at sætte sådan en plade for. Det er jo også meget praktisk, at man kan se bygningsnumre og sådan noget, ikke?

5.4. João Silva om hånd og tøj monitoren.

Interview med funktionsleder, helsefysiker João Silva (JS) om Hånd og tøj monitoren

Samtalen fandt sted fredag den 21/9-2006 på loftet i bygning 214.

Omtalte genstande: Hånd og tøj monitoren (museumsnr. 254.565).

HK: Hvad er dette for et instrument?

JS: Instrumentet her er blevet produceret og designet her på Risø af instrumentgruppen under den daværende Helsefysikafdeling. Det er et instrument, som vi i den daværende Anlægshelsefysik bestilte hos instrumentgruppen. De havde nemlig både tid, lyst og kompetence til at udvikle sådan nogle. Vi fik fremstillet seks styk.

HK: Så instrumentet er fra din tid på Risø?

JS: Fra før min tid. Det er fra omkring 1980-1983, eller i hvert fald fra første halvdel af 1980'erne. Det er en såkaldt proportionaltæller, hvilket vil sige, at apparatets detektorer – de to til hver hånd, der er inde i apparatet, og den til tøj, der sidder uden på apparatet – alle er gasfyldte. Proportionaltællere er detektorer, hvor det elektriske felt er så stort, at de frie elektroner, som den ioniserende stråling skaber i detektoren, bliver accelereret så meget, at de kan skabe nye ionpar. Til måling af lave kontaminationsniveauer af α - og β -aktiviteter, der kun skaber få primære ioner i detektoren, er en proportionaldetektor velegnet. Proportionaltælleren kan faktisk separere impulserne efter højde og man kan derfor skelne mellem α - og β -aktivitet. Skalaen på hånd&tøj monitoren er i Bq/m^2 . Foruden proportionaltællere er der ionkamre, GM-rør [Geiger-Müller rør], halvlederdetektorer, scintillationstællere osv. Alle disse detektorer arbejder bedst inden for nogle givne energiområder.

HK: Det vil sige, at der er gas inde i detektorerne?

JS: Ja, når den virker, er der gas i proben og ligeledes inde i hånddetektorerne. Apparatet har selvfølgelig sine negative sider. Det f.eks. afhængigt af, at der er gas i systemet. Hvis der er for lidt gas i systemet, altså for lavt gasflow, så undervurderer du med dine tællinger den faktiske stråling. Der kan også være for højt gasflow, hvilket vil få detektorerne til at gå i stykker. Der skal altså være det rigtige gasflow..

Apparatet er konstrueret på den måde, at man både havde mulighed for at måle hænder og med en løst hængende detektor [proben] at måle sko, tøj osv. Der er to detektorer indvendigt i hvert hul: en til bagsiden af hånden og en til forsiden af hånden. Med spidsen af hånden aktiveres en fjeder, der presser de to detektorer sammen omkring hånden. Og så er der ikke mindst proben, som blev brugt til at måle på sine sko eller resten af kroppen. Det er apparatets grundlæggende funktion.

Proportionaltælleren kan måle på og differentiere mellem α - og β -partikler. Det kan hverken et GM-rør eller et ionkammer. Et scintillationskammer kan derimod godt. I apparatets displays havde brugeren mulighed for ved proben at se, om det var henholdsvis α -eller β -tællinger, der blev målt, eller om det var både/og. Og når du stak dine hænder ind i hånd-detektorerne, kunne du se det samme for hver hånd. Du kunne få en alarm ved for høj aktivitet og apparatet ville lyse rødt. Hvis du gik forbi med en gammakilde, så ville en anden lampe lyse [høj baggrund], fordi detektorerne også er følsom overfor gamma.

HK: Den kan altså godt måle gammastråling, selvom det ikke står på den...

JS: Det kan den godt, ja. Men det er egentlig forkert at sige, at den kan måle gammastråling. Den reagerer overfor gammastråling og den er så følsom, at den reagerer, hvis du går forbi, eller hvis du håndterer noget, der er så aktivt, at "baggrunden" forøges, der hvor du har monitoren. I sådanne tilfælde vil lampen lyse, uden at du får udslag i viserne, fordi det hverken er α - og β -aktivitet, men bare gamma. Hvis man har apparatet stående et sted, hvor der er høj baggrund, eller hvis en kilde går forbi, så vil apparatet gå fuldstændigt amok, allerede før du har

taget proben ud af "øjet" [som den hænger i og som fungerer som afbryder]. Alarmen kommer både i form af lys og lyd.

Det var prima, *state of the art*, monitorer inden for sin type. Men der har selvfølgelig altid været problemer med utætheder og ting, der knækker. Der har været masser af den slags ting.

Monitorerne blev lavet således, at de kunne hænges på en væg og de stod ved udgangen af blå kontaminationsområder. De stod her ved DR3, ved DR2, ved Hot Cell, da det var i gang, og ved isotoplaboratoriet.

HK: Hvornår er de gået ud af brug?

JS: De er gået ud af brug i 2004. Vi har haft en udfasningsperiode: De første blev fjernet fra det daværende isotoplaboratorium, da det blev lukket, og siden er turen kommet til Risøs reaktorer. Da vi [Dansk Dekommissionering] så skulle købe nogle nye, købte vi først to og siden igen fire mere. I dag har vi udfaset de gamle alle steder og har i dag 6 monitorer ved udgangen af de nukleare områder.

HK: Så I har købt dem udefra?

JS: Den gruppe på Risø, der lavede de gamle, kunne ikke, eller havde ikke ressourcer til at bruge tid på udvikling af nye instrumenter. Vi var derfor nødt til at gå ud på det store verdensmarked, for at finde ud af, hvem der kunne levere sådan noget. Der var faktisk kun nogle få leverandører, der havde sådan noget.

HK: Nå!

JS: Ja, der er ikke ret mange, der leverer sådan noget. Vi var nødt til at købe proportional-tællere. Hvis de skal kunne måle både α og β og fungere på den måde, som vi bruger dem på til persontjek, så skulle det være gasdrevne proportionaltællere. Det nye ved de instrumenter, der sælges i dag i Canada, USA, Tyskland og Frankrig, det er, at de gamle brugte en speciel gasblanding, der bestod af 98 % argon og 2 % metan, mens de nye bruger en standard gasblanding, der består af 90% argon og 10% metan. Det er lige på vippen, idet metan er brandbart, men det var vi nødt til at acceptere. Når du vil måle både α og β , så skal du have gasdrevne monitorer. Men vi købte altså de nye i stedet for dem *der* [JS peger på det gamle apparat]. Hvad er forskellen så egentlig, ud over, at de nye er computerstyrede, kan kobles på et netværk, har flere andre funktioner og ser anderledes ud, har vi nu også muligheden for at tjekke fodtøj samtidig. En anden forskel er, at de nu er centralt koblede. I gamle dage havde hver monitor sin egen gasbeholder i form af en seks liters gasflaske. I dag har vi en 50 liters flaske stående her og på behandlingsstationen samt på DR2. På de nye apparater er gasflasken – når man lige ser bort fra opstillingen på DR2 - koblet til to monitorer.

HK: Hvorfor er der både argon og metan i gassen?

JS: Jeg kan ikke på stående fod give dig alle detaljerne, men den rigtige blanding gør, at detektorens følsomhed over for ioniseringen fra både α - og β -partikler er den rette. Der er dog også andre instrumenter, der benytter andre blandinger.

Jeg har altid været utrolig glad for de gamle monitorer. De var nemme at fejlsøge, måske fordi de mennesker, der har været med til bygge dem, stadig er her, og fordi de samme mennesker også har haft vedligeholdelsen af dem. Det eneste, som var kompliceret til slut, det var, at de ikke kunne få reservedele til erstatning af de komponenter, som monitorerne brugte. Det var problematisk, og det var det, der bragte os til den konklusion, at nu måtte det være slut.

HK: Var det billigere at gå ud på verdensmarkedet?

JS: Ja... det kan man godt sige, hvis man laver en cost/benefit kalkule. Det vil altid tage flere timer, hvis vi selv skulle lave dem. Men de nye er bestemt ikke billige! De leverandører, der opererer på verdensplan, ved godt, hvad de skal tage for sådan noget. Sådan er det.

5.5. Kirsten Andresen om arbejdsgangen ved Si-produktionen

Kirsten Andresen er civilingeniør (kemi) og fhv. leder af siliciumafdelingen ved Isotoplaboratoriet på Risø. Samtalen fandt sted den 22/9-2006.

Omtalte genstande: Silicium-Rig styringspanel.

HK: Det styringspanel til 3 tommer Silicium-rigs, der står oppe på toppen af DR3, er det produceret her på Risø?

KA: Ja, det er udviklet her på Risø.

HK: Hvordan var produktionsgangen egentlig deroppe?

KA: Siliciummet kom fra Isotoplaboratoriet – eller mere præcist fra Silicium-afdelingen under Isotoplaboratoriet – med et stykke papir med bestrålingsdata på. På papiret stod der, hvilken rig det skulle i og hvor lang tid, det skulle have. Emnerne var indpakket i aluminiumdåser. Man satte først dåsen ned i et lager i et bestemt hul, som man benyttede inden emnet skulle bestråles. Så kørte man flasken hen over og halede dåsen op i flasken. Derefter kørte man flasken hen over riggen og så satte man dåsen ned over den vandsøjle, der var nedenunder, fordi man pumpede vandet op, så der stod vand næsten helt op til kanten. Ja det gjorde der ikke helt, men et stykke op.

HK: Tungt vand?

KA: Ja, det var enten tungt vand, eller let vand, for der var let vand i 5 tommer faciliteten. Så satte man dåsen ned på vandsøjlen og slap griberen, hvorefter man kørte flasken væk og lukkede hullet. Man gik så over for at stille counts'ene [tællerne] på styringspanelet. Man trykkede derefter på start, hvorefter pumpen stoppede nede i forsøgshullet og dåsen faldt ned på plads. Når dåsen først er kommet ned på plads, vil den berøre en indikation, eller rettere sagt trykket vil stige på indikationen. Dette får tælleren til at starte nedtællingen indtil den når nul. Så starter pumpen igen og kører Si-dåsen op med vandsøjlen. Når den havde siddet der en halv time, kunne man køre flasken hen over hullet og tage dåsen op, køre den hen over et lagerhul og sætte dåsen ned i hullet. Det var dog ikke det samme lagerhul, som det den kom fra, men et man bruger til de dåser, der er blevet bestrålet. Så satte man brikkerne. Man havde nemlig nogle brikker, som man flyttede rundt med, så man kunne se hvad, der var hvor. Dåsen skulle så stå i dette lager i en uge, hvorefter man i praksis kunne tage den ud med hånden, eller rettere med en grab og overførte dem til nogle kasser. Og så var de klar til at blive sendt retur til isotoplaboratoriet.

HK: Er der andre ting, man kunne styre oppe fra reaktortoppen?

KA: Ja, man styrede jo den tæller, der talte ned. Men man havde samtidig også en anden tæller, der talte nede fra og op. Det tal skrev man også ned, når man var færdig. Det gjorde man for at have en kontrol af, om det var i orden. Derudover havde man også en rotationskontrol – dåsen kørte jo rundt om sin egen akse nede i hullet. Der er sikkert også andre ting der kunne styres, men det må du spørge reaktorfolkene om. Men jeg fik alle tallene tilbage. Der sad på dåserne noget, vi kaldte betaemittere, som var noget vanadium, der gik ned i nogle elektroder, som var placeret nede i riggen. De målte neutronfluxen. Resultatet kom ud i millivolt, fordi det var en spændingsforskel, man målte. Desuden målte man temperaturen og om vandet var rent osv. Det havde jeg ikke noget med at gøre, men det ordnede reaktorfolkene. De rensede jo bl.a. vandet med ionbyttere og meget andet. Men vi endte med til sidst at have et computersystem, der hver dag skrev en liste ud over, hvilke bestrålinger vi skulle have tilbage fra reaktoren. Og vi havde også en liste over hvad, der skulle sendes og på hvilket tidspunkt.

Det var måske lidt gammeldags, men vi kørte med planlægningstavler med små legoklodser. Når vi gjorde sådan, var det fordi, at alle kunne se og forstå det. Hvis du så på en computer, kunne du slet ikke overskue sådan en stor tavle og du kunne ikke læse det. Med legoklodserne var det sådan, at hvis de vendte den ene vej var emnerne pakket, hvis de vendte den

anden vej var de på reaktoren. Vi havde på den måde mange muligheder for hurtigt at finde ud af det. Vi havde således et system, der var overskueligt for os alle sammen. Vi kunne alle sammen gå ind og kigge på det. Det var også det, som jeg personligt brugte til planlægning. På tavlen kunne jeg se, f.eks. hvornår jeg kunne regne med den næste dåse kom og jeg kunne til kunderne give besked om, at jeg regnede med, at der skulle sendes den og den dato. Og jeg kunne give besked til personalet, men vi snakkede jo sammen hver dag.

6. Perspektiver for fremtidige undersøgelser

Nærværende undersøgelse har haft tre hovedmålsætninger. Det første mål har været at hjemtage, registrere og dokumentere en række konkrete genstande. For at forstå deres funktion og betydning, har det for det andet vist sig nødvendigt med en vis detaljeringsgrad at beskrive, hvad det egentlig var for forsøgsreaktorer, der stod på Risø, hvordan de fungerede rent fysisk og teknisk samt rekapitulere hvilke forskningsmæssige, undervisningsmæssige og produktive anvendelser, reaktoranlæggene gennem tiden har haft. Reaktorernes driftshistorie er derfor i et vist omfang behandlet, ligesom enkelte af de mange tekniske ændringer, der er sket gennem driftsperioden, også er omtalt. Til støtte for disse målsætninger er der foretaget en begrænset mængde interviews, hvoraf nogle i uddrag er udskrevet og inkluderet i denne rapport. Det tredje formål har været at registrere de bygninger, der har huset reaktoranlæggene.

Det er vigtigt at understrege, at indsamlingsarbejdet på Risø ikke hermed er færdiggjort. De fleste genstande mangler stadig at blive hjemtaget rent fysisk. Endvidere vil der, som konsekvens af den enorme interesse, som Dansk Dekommissionering og mange tidligere ansatte på Risø har vist dette arbejde, ganske givet i de næste år dukke mange flere genstande op fra Risø. Men der forestår derudover en helt essentiel kognitiv hjemtagnings-, accessions- og tilegnelsesproces, der vil kræve yderligere praktisk og teoretisk arbejde på de implicerede institutioner. Hvis ikke dette sker, vil det potentiale, som disse genstande rummer, næppe kunne udfoldes på hensigtsmæssig måde. Fremtidige undersøgelser vedrørende de nedlagte reaktoranlæg på Risø behøver naturligvis ikke tage afsæt i, hvad der her er udrettet. Men det er naturligt i forlængelse af dette projekt, at pege på nogle perspektiver for fremtidige undersøgelser.

Det er klart, at denne undersøgelse kun i meget grove træk har kunnet skitsere, hvilke forskningsmæssige, undervisningsmæssige og produktive sammenhænge reaktorfaciliteterne har indgået i. Den negative og afvisende holdning til atomenergi, der siden 1970'erne har præget den danske offentlighed, har helt klart skygget for en forståelse af, hvilken gavn det danske samfund egentlig har haft af reaktorfaciliteterne på Risø og den betydning, som faciliteterne i kraft af at have været landets første egentlige *big-science* center, lige fra starten har haft for Danmark. Hermed mener jeg ikke bare de økonomiske og forskningsmæssige sider af sagen, men også reaktorernes betydning for Danmarks nationale og kulturelle identitet. Hvis vi for alvor skal forstå reaktorfaciliteternes betydning for det danske samfund, er det nødvendigt at fortsætte dette arbejde ad noget andre veje end de, der her er fulgt. Det er nemlig nødvendigt også at beskæftige sig med, hvordan reaktorerne er blevet opfattet uden for Risø og omvendt, hvilket billede Risø-folkene gennem tiden har arbejdet på at skabe af reaktoranlæggene.

Det indsamlingsarbejde, der hermed er skudt i gang, vil med tiden komme til at indgå i en eller anden form for udstillingsopbygning, enten som en selvstændig udstilling, eller, hvilket er mere sandsynligt, som del af en større sammenhængende udstillingsaktivitet. Under alle omstændigheder vil det i den sammenhæng blive nødvendigt at beskæftige sig mere generelt med de interessante og samtidigt meget komplekse teoretiske og museologiske spørgsmål, der uomgængeligt rejser sig, når man vil udstille helt moderne videnskab og teknologi. Det er nemlig langt fra en given sag, hvorledes man skal udstille og illustrere, hvordan resultaterne af moderne tekno-videnskab fremkommer som produkter af uhyre komplekse, kollektive, transnationale, netværksbaserede

kognitive og teknologiske processer. Genstandene fra Risø kunne i denne sammenhæng indgå som case i en teoretisk anlagt undersøgelse af hele dette problemkompleks.

7. Ordforklaringer

Afskærmning: konstruktionsdel, i reglen beton eller bly, beregnet til at reducere intensiteten af strålingen fra en reaktor.

Aktivitet: antallet af radioaktive henfald pr. sekund.

Alfastråler: stråle af alfapartikler, dvs. heliumkerner.

Beriget uran: uran, hvor andelen af den spaltbare isotop ^{235}U er forøget i forhold til de 0,7%, der findes i naturligt forekommende uran.

Betastråler: stråler af betapartikler, dvs. elektroner.

Brændselement: brændselenhed der kan indsættes i en atomreaktor.

Dosimeter: instrument til måling af strålingsmængder.

Fissilt materiale: stof der rummer spaltbare atomkerner.

Fission: spaltning af en atomkerne i to næsten lige store dele under samtidig udsendelse af neutroner.

Fissionsprodukter: de atomkerner der opstår som følge af spaltning af tunge atomkerner.

Fissionsgas: gasformige fissionsprodukter.

Flux: strålingsintensitet, dvs. antallet af partikler der passerer en kvadrantcentimeter vinkelret på strålingens retning pr. sekund.

Forsøgsreaktor: reaktor beregnet til forsøgsformål.

Forsøgsrør: åbning i en reaktor, der går ind til området omkring kernen.

Gammastråler: energirig elektromagnetisk stråling

Halveringstid: den tid, der går, inden halvdelen af en given mængde identiske radioaktive isotoper er henfaldet.

Henfald: spontan omdannelse af en radioaktiv kerne eller elementarpartikel.

Hurtige neutroner: neutroner med energier over ca. 0,1 MeV. De fleste fissionsneutroner er hurtige neutroner.

In-pile forsøg: forsøg, hvor emnet føres ind til reaktorkernen på en kørende reaktor.

Ioniserende stråling: stråling der er i stand til at løsrive elektroner fra et atom.

Ionkammer: Instrument der bruges til detektering af ioniserende stråling, primært beta og gammastråling. Kan ved hjælp af et tyndt lag bor også konstrueres, så det kan måle termiske neutroner.

Isotoper: atomkerner med samme antal protoner men forskellig antal neutroner.

Kontrolstang: stang, der indeholder et neutronabsorberende materiale (f.eks. bor eller cadmium).

Kritisk: tilstand i en reaktor, hvor der lige netop kan foregå en kædereaktion.

Kædereaktion: reaktion der er karakteriseret ved at dens produkter er i stand til at skabe helt identiske reaktioner.

Kølemiddel: væske eller gas, der bortleder den varme, som skabes i en reaktor under drift.

Langsomme neutroner: neutroner der er gjort langsomme ved sammenstød med atomkerner i en moderator.

Materialetestreaktor: Forsøgsreaktor konstrueret med høj neutronflux, således at den egner sig specielt til materiale bestrålinger.

MeV: millioner elektronvolt, mål for bevægelsesenergien i f.eks. strålingspartikler.

Moderator: stof, der nedbremser hurtige neutroner og gør dem langsomme, hvorved chancen forøges for at neutronerne kan skabe nye fissioner.

MW/MWd: millioner watt/ millioner wattdøgn. Mål for den energi der produceres i f.eks. en reaktor.

Neutronabsorption: indfangning af neutron i atomkerne.

Neutronaktiveringsanalyse: målingsmetode til bestemmelse og identifikation af små mængder grundstoffer. N. bygger på stoffers forskellige tilbøjelighed til ved neutronbestråling at danne radioaktive isotoper.

Neutronbeam: En fokuseret stråle af neutroner, der har omtrent samme hastighed.

Neutrontværnsnit: totalt mål for et givet materiales evne til ved spredning eller absorption at interagere med neutroner.

Planimeter: teknisk instrument, der anvendes til mekanisk integration, d.v.s. at måle arealet under en given kurve.

Plutonium: grundstof nr. 93, forekommer ikke i naturen.

Polariserede neutroner: neutroner har ligesom elektroner et magnetisk moment, kaldet spin. I et beam af polariserede neutroner er neutronernes spin orienteret ens.

Radioaktivitet: omdannelse af atomkerne under udsendelse af partikler og elektromagnetisk stråling.

Reflektor: stof, der kan tilbagekaste neutroner, som ellers er på vej ud af reaktorkernen.

Rig: Anordning, der sidder i et forsøgsrør, og tilpasser røret til et givet forsøgsformål.

Termiske neutroner: langsomme neutroner.

Tungt vand: vand, hvor den sædvanlige brint er erstattet med brintisotopen deuterium (^2H).

Uran: grundstof med atomnummer 92.

8. Litteratur og billedkilder

Litteratur:

- Atomenergikommissionen (1968) *Risø 1968* (København: Atomenergikommissionen)
- Dansk Dekommissionering (ingen år) *Decommissioning in Denmark*,
http://www.ddcom.dk/publikationer_en/Decommissioning_in_Denmark/
(accessed 15/8 2006)
- Dansk Dekommissionering (2004) *Projektbeskrivelse for dekommissionering af Reaktor DR 1*
(Roskilde: Dansk Dekommissionering)
- Lauridsen, Kurt (red.) (2001) *Decommissioning of the nuclear facilities at Risø National Laboratory. Description and cost assessment* (Roskilde: Risø National Laboratory)
- Nielsen, Henry (red.), Keld Nielsen, Flemming Petersen, Hans Siggaard Jensen (1998) *Til samfundets tarv – Forskningscenter Risøs historie* (Roskilde: Forskningscenter Risø)
- Nielsen, Henry, Keld Nielsen, Flemming Petersen, Hans Siggaard Jensen (1999) "Risø and the Attempts to introduce Nuclear Power into Denmark", i *Centaurus*, nr. 41, s. 64-92.
- Forsøgsanlæg Risø (1982) "Eksport af neutroner. Bestrålet silicium fra Risø sælges over hele verden", i *Forsøgsanlæg Risø: Årsberetning*, 1982, s. 12-13.
- Petersen, Flemming (1996) *Atomalder uden Kernekraft. Forsøget på at indføre atomkraft i Danmark 1954-1985 set i et internationalt perspektiv* (Århus: Klim)
- Risø National Laboratory (1993) *Reaktor DR3* (Roskilde: Risø National Laboratory)
- Skanborg, Preben (1976) "Farvel til en reaktor", i *Ingeniøren*, nr. 6, 6/2.
- Skanborg, Preben (1997) *Reaktor DR2 1958-1975*. (Roskilde: Forsøgsanlæg Risø)
- Winstrøm, P. (red.) (1995) *En teknisk beskrivelse af DR3* (Risø, Internt Memo nr. 20b)
- Ølgaard, Povl L. (2003) *The DR2 Project* (Roskilde: Risø National Laboratory)
http://www.ddcom.dk/enkelte_anlaeg/ (accessed 18/8 2006)

Webkilder:

- <http://steen.toft.joergensen.person.emu.dk/fysik/19971998/RISO-DR1.htm>
<http://www.ddcom.dk/>
<http://www.iaea.org/worldatom/rrdb/>
<http://www.wikipedia.org>

Film:

- Registreringsfilm om DR1 og DR3 optaget på Risø af Steno Museet i april 2003. Beror på Steno Museet
- NTD-Silicium. Fra forsøg til produktion*. Forskningscenter Risø, Isotoplaboratoriet 1994.

Billedfortegnelse og billedkilder:

- Forside: Fotograf Lars Kruse, AU-foto
- Figur 1 (s. 2): <http://da.wikipedia.org/wiki/Ris%C3%B8>
- Figur 2 (s. 3): Lauridsen (red.) (2001), s. 11
- Figur 3 (s. 4): Dansk Dekommissionering
- Figur 4 (s. 5): Atomenergikommissionen (1968) s. 33
- Figur 5 (s. 6): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv
- Figur 6 (s. 7): Dansk Dekommissionering
- Figur 7 (s. 8): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv

- Figur 8 (s. 8): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv
Figur 9 (s. 9): Dansk Dekommissionering
Figur 10 (s. 9): Dansk Dekommissionering
Figur 11 (s. 10): Fotograf Lars Kruse, AU-foto
Figur 12 (s. 10): Dansk Dekommissionering
Figur 13 (s. 11): Fotograf Lars Kruse, AU-foto
Figur 14 (s. 12): Dansk Dekommissionering
Figur 15 (s. 13): Atomenergikommissionen (1968) s. 34
Figur 16 (s. 14): Dansk Dekommissionering
Figur 17 (s. 18): Preben Skanborg (privat samling)
Figur 18 (s. 19): Preben Skanborg (privat samling)
Figur 19 (s. 20): Preben Skanborg (privat samling)
Figur 20 (s. 20): Preben Skanborg (privat samling)
Figur 21 (s. 21): Preben Skanborg (privat samling)
Figur 22 (s. 21): Preben Skanborg (privat samling)
Figur 23 (s. 22): Preben Skanborg (privat samling)
Figur 24 (s. 22): Preben Skanborg (privat samling)
Figur 25 (s. 23): Preben Skanborg (privat samling)
Figur 26 (s. 23): Preben Skanborg (privat samling)
Figur 27 (s. 24): Fotograf Lars Kruse, AU-foto
Figur 28 (s. 25): Atomenergikommissionen (1968) s. 38
Figur 29 (s. 26): *Decommissioning in Denmark*, s. 6
Figur 30 (s. 27): Lauridsen (red.) (2001), s. 31
Figur 31 (s. 29): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv
Figur 32 (s. 30): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv
Figur 33 (s. 32): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv
Figur 34 (s. 33): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv
Figur 35 (s. 34): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv
Figur 36 (s. 35): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv
Figur 37 (s. 36): Atomenergikommissionen (1968) s. 38
Figur 38 (s. 36): Lauridsen (red.) (2001), s. 43
Figur 39 (s. 37): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv
Figur 40 (s. 38): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv
Figur 41 (s. 38): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv
Figur 42 (s. 39): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv
Figur 43 (s. 40): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv
Figur 44 (s. 41): Dansk Dekommissionering
Figur 45 (s. 42): Dansk Dekommissionering
Figur 46 (s. 42): Dansk Dekommissionering
Figur 47 (s. 43): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv
Figur 48 (s. 43): Henrik Knudsen
Figur 49 (s. 44): Henrik Knudsen
Figur 50 (s. 44): Lauridsen (red.) (2001), s. 28
Figur 51 (s. 46): Fotograf Preben Nielsen, Risøs Billedarkiv
Figur 52 (s. 46): Fotograf Lars Kruse, AU-foto
Figur 53-92 (s. 47-95): Henrik Knudsen, dog med undtagelse af
Figur 59 (s. 54): Dansk Dekommissionering