

# DE ONTMANTELING VAN DE BR3-REAKTOR, EEN OPPORTUNITEIT VOOR ALARA – TOEPASSING EN ONDERZOEK

Th. Zeevaert, P. Govaerts  
SCK/CEN, B-2400 Mol

Tekst van de voordracht van 9 oktober 1993

## ABSTRAKT

In deze bijdrage worden algemene aspecten besproken die van speciaal belang zijn bij de toepassing van het ALARA principe op de ontmanteling van reactoren, evenals de praktische ondervinding, opgedaan bij de ontmanteling van BR3. Belangrijke algemene aspecten betreffen het gebrek aan ervaring, de grote hoeveelheden radioactief afval die gegenereerd worden en de tijdsduur tussen het stilleggen van de reactor en zijn ontmanteling.

De ontmanteling van BR3 is een goede leerschool gebleken om ervaring op te doen, niet alleen voor wat ontmantelingstechnieken betreft maar ook voor de toepassing van ALARA procedures en technieken aangaat. Hoewel een volledige radiologische optimaliseringstudie van bepaalde operaties nog niet is uitgevoerd werden toch belangrijke inzichten en conclusies bereikt.

## RESUME

Cet exposé traite des aspects généraux ayant une importance particulière par rapport à l'application du principe ALARA aux démantèlements de réacteurs, ainsi que l'expérience pratique acquise lors du démantèlement du réacteur BR3. Parmi les aspects généraux les plus importants figurent le manque d'expérience, les grandes quantités de déchets radioactifs produites et le temps entre l'arrêt définitif du réacteur et son démantèlement. Le démantèlement du BR3 peut être considéré comme une bonne école pour obtenir de l'expérience, non seulement concernant des techniques de démantèlement mais également concernant l'application des procédures et des techniques ALARA. D'intéressantes vues et conclusions ont été atteintes bien qu'une étude d'optimisation radiologique de certaines opérations n'ait pas encore été exécutée de façon complète.

## ABSTRACT

This paper deals with general aspects of a particular importance with regard to the application of the ALARA principle to the dismantling of reactors, as well as with the practical experience acquired when dismantling the BR3 reactor. Important general aspects concern the lack of experience, the large quantities of radioactive waste being produced and the time between the shutdown of the reactor and the dismantling. The dismantling of BR3 has been a good opportunity for gaining experience not only with respect to dismantling techniques but also with respect to the application of ALARA procedures and techniques. Significant insights and conclusions have been reached although a radiological optimisation study of certain operations has not yet been performed completely.

## 1. INLEIDING

Sinds verscheidene tientallen jaren vormt het radiologische optimaliseringsprincipe (ALARA) een van de drie basispijlers van de stralingsbescherming, zoals voorgesteld door de ICRP in haar aanbevelingen. Door de ICRP werd in 1973 reeds een publicatie volledig aan dit principe gewijd [1] en vrij recent, in 1988, verscheen een ICRP publicatie waarbij de structurele ALARA aanpak in ontwerp- en operationele fases van nucleaire installaties omstandig wordt uiteengezet en analysetechnieken worden voorgesteld [2]. Ook de KEG liet zich niet onbetuigd en publiceerde recent een praktische gids voor de toepassing van het AURA principe in stralingsbeschermingsprogramma's [3].

Radiologische optimalisering is, sinds haar opgang een twintigtal jaren geleden, gemeengoed geworden in tal van nucleaire bedrijfstakken en instellingen, waar vooral stereotype routineoperaties en onderhoudswerken het voorwerp ervan uitmaken. Bij nieuwe ontwikkelingen echter, zoals de ontmanteling van kerncentrales, vormt het gemis aan ondervinding en knowhow een belangrijke hinderpaal voor de implementatie van de ALARA procedure. Dit is ook het geval bij de ontmanteling van BR3, een kleine PWR reactor van 11 MWe van het SCK, die in dienst is geweest van 1962 tot 1987. De eerste fase van het ontmantelingsprogramma heeft het voorwerp uitgemaakt van een onderzoekscontract met de KEG, met medewerking van Siemens, Framatome en Belgatom. De overeenkomst met de KEG vermeldde uitdrukkelijk dat de radiologische optimalisering haar plaats moest krijgen in het programma. Omwille van het gebrek aan expertise op het domein van radiologische optimalisering werd door het SCK/CEN beroep gedaan op CEPN (Centre d'etude pour l'evaluation de la protection dans le domain nucleaire, Fontenay-aux-Roses), een van de pioniers en voorvechters van de radiologische optimalisering, die het SCK begeleid heeft in de eerste fasen van het project. Het objectief daarbij was ook niet de ganse ontmanteling in zijn geheel te optimaliseren maar slechts belangrijke operaties afzonderlijk.

In wat volgt worden, naast een theoretische toelichting van aspecten die specifiek zijn voor de radiologische optimalisering van de ontmanteling van kernreactoren, interessante ervaringen opgedaan bij de ontmanteling van BR3, voorgesteld.

## 1. ALARA METHODOLOGIE BIJ ONTMANTELING

### 1.1. Belangrijke stappen in een ALARA proces

Een ALARA-benadering veronderstelt een gestructureerde, totale aanpak van het probleem, waarbij zowel voor, tijdens als na de uitvoering van de operatie(s) ter studie, specifieke deelobjectieven dienen te worden bereikt.

Voor de uitvoering dienen de optimale condities te worden bepaald. Dit veronderstelt dat tijdig:

- het onderwerp, de objectieven en de scope van de ALARA-studie worden gedefinieerd met eventuele vast te leggen grenzen (bv. qua doses, economische kosten) ;
- de mogelijke opties worden geïdentificeerd en de ermee gepaard gaande radiologische beschermingsfactoren (vnl. doses en beschermingskosten) gekwantificeerd;
- de analyse wordt uitgevoerd ter bepaling van de optimale oplossing, waarvan de robuustheid dient aangetoond te worden aan de hand van een sensitiviteitsanalyse.

De uiteindelijke beslissing die door de bevoegde hiërarchie betreffende de uitvoering van de operatie(s) wordt genomen kan echter ook nog door andere dan radiologische beschermingsfactoren worden beïnvloed.

Tijdens de uitvoering van de operatie(s) dienen de doses te worden opgevolgd (lees: gemeten), waarbij

- de gemeten doses dienen geëvalueerd te worden per "job" en vergeleken met de voorspelde waarden
- de afwijkingen dienen geanalyseerd en de optimaliseringsanalyse zo nodig aangepast

Eventueel ook bijkomende maatregelen, wijziging van procedures die tot een aanpassing van de optimaliseringsanalyse kunnen nopen.

Na de uitvoering dienen

- de besluiten getrokken te worden;
- nuttige lessen en ervaringsgegevens voor soortgelijke operaties in de toekomst bewaart.

## 1.2. Specifieke aspecten bij de radiologische optimalisering van ontmanteling van reactoren

- Een eerste zeer belangrijk aspect bij de ontmanteling van - PWR - reactoren is het gebrek aan ervaring. Dit gebrek aan ervaring betreft velerlei punten zoals: toe te passen technieken, probabiliteit van voorkomen van bepaalde incidenten etc... Dit gebrek aan ervaring heeft verscheidene implicaties in optimaliseringstudies.

Eenzijds zullen verscheidene radiologisch relevante factoren slechts zeer benaderend kunnen gekwantificeerd worden, waardoor de robuustheid van de resultaten van de optimaliseringstudies beperkt zal zijn en belangrijke variabiliteiten in de resultaten van een eventuele sensitiviteitsanalyse kunnen optreden.

Anderzijds duidt dit gebrek het belang aan van het trekken van de nodige lessen en het bewaren van ervaringsgegevens ter gelegenheid van de optimaliseringstudie (wat latere optimaliseringstudies ten goede kan komen). Dit verwerven van ervaring en know-how is dan ook een niet-radiologische maar niettemin relevante factor die in het beslissingsproces, na de radiologische optimalisering, aan bod dient te komen.

- Ontmantelingsprocedures bestaan voor een belangrijk deel uit eenmalig uit te voeren operaties. Dit werkt niet alleen het verwerven van ervaring met de toepasbare technieken niet in de hand, maar heeft ook een economisch aspect. Het feit dat werktuigen over slechts enkele taken i.p.v. over vele activiteiten (over lange periodes) dienen te worden afgeschreven, maakt het gebruik van deze werktuigen duurder en dus de economische kost ervan belangrijker in de optimaliseringanalyse.
- Een ander belangrijk kenmerk van ontmanteling van reactoren is het genereren van grote hoeveelheden radioactief afval. Dit stelt zowel een belangrijke economische kost (van verwerken, stockeren) voor als een bron van blootstelling van de mens. Een potentiële verspreiding van de afval binnen de installaties zal vooral een blootstelling van de arbeiders tot gevolg hebben. Bij een evacuatie van de afval naar buiten, gewild of ongewild, zal de bevolking blootgesteld worden. Hoe dan ook, de gegenereerde hoeveelheden radioactief afval zullen steeds een zeer belangrijke factor zijn bij zulke optimaliseringanalyses. Ze kunnen eventueel het voorwerp uitmaken van een afzonderlijke optimaliseringstudie, waarbij de opportuniteiten van vrijstelling ("exemption") van bepaalde afvaltypes kunnen worden aangetoond.

Zoals hiervoor al aangeraakt kunnen zich bij een ontmanteling belangrijke verschuivingen voordoen van blootstelling (dosis) van arbeiders naar blootstelling (doses) van de bevolking, bvb. bij het evacueren van grote hoeveelheden radioactief afval naar een definitieve stockageplaats. De blootstelling van de arbeiders doet zich normaal voor onder de vorm van hoge individuele doses voor een beperkt aantal individuen en over een beperkte tijd. Deze van de bevolking zal zich voordoen onder de vorm van beperkte individuele doses voor een - eventueel - groot aantal personen en over langere perioden (wat een belangrijke collectieve dosis kan meebrengen). De distributie van de totale dosis over individuen, groepen en in de tijd zal aldus een belangrijke invloed kunnen hebben bij zulke optimaliseringstudie.

Bij de ontmanteling dient eveneens een keuze gemaakt betreffende het eindpunt en het tijdstip van ontmanteling. Over beide ligt een breed gebied van mogelijkheden open.

Wat het eindpunt van de ontmanteling betreft kan aan de ene kant het "greenfield" concept beschouwd worden, waarbij residuele besmettingen en overblijfselen tot verwaarloosbare hoeveelheden zijn teruggebracht en het publiek volledige, onbegrensde toegang tot de vroegere nucleaire site kan gegeven worden. Aan de andere kant kan een concept beschouwd worden waarbij de achtergebleven besmettingen (installaties) zodanig zijn dat het publiek slechts na een zekere controleperiode en mits zekere beperkingen tot de site kan toegelaten worden. In dat verband wordt momenteel door het SCK een studiecontract van de KEG uitgevoerd betreffende algemene richtlijnen voor een radiologische optimalisering van het

herstel van oude nucleaire sites.

Wat het tijdstip van ontmantelen betreft (tijdsduur tussen definitieve stopzetting en ontmanteling) spelen bepaalde factoren in het voordeel van een vroege ontmanteling, andere in het nadeel ervan. In annex 1 wordt een eenvoudige voorbeeldberekening getoond van een mogelijk verloop in de tijd van twee belangrijke factoren: economische kosten en collectieve doses voor een hypothetische reactor van hetzelfde type als BR3.

Hieruit blijkt dat de economische kosten van een hogere orde zijn dan de dosiskosten en dat ook de variabiliteit ervan veel belangrijker kan zijn. Nog uit de voorbeeldberekening zou men kunnen afleiden dat vanuit radiologisch optimaliseringsstandpunt een vroege ontmanteling te verkiezen is boven een late; maar dit besluit is sterk afhankelijk van de gemaakte premissen en zeker niet te veralgemenen.

Hoewel niet specifiek geldend voor een ontmanteling, is het toch belangrijk te vermelden dat met de radiologische optimalisering tijdig dient gestart te worden, d.w.z. vanaf de eerste brainstorming betreffende het project, zodanig dat het nemen van de eerste beslissingen (bv. het elimineren van opties) reeds op een ALARA basis zou gebeuren. Ook zeer belangrijk voor een radiologische optimalisering van een belangrijk project is de actieve medewerking van gans het personeel.

## 2. TOEPASSING BR3

In de ontmantelingwerkzaamheden van BR3 zijn tot hiertoe 3 fasen te onderkennen

- Fase 1: dekcontaminatie van de primaire kring en versnijding van het thermisch schild
- Fase 2: versnijding van de interne delen en van de kraag van het reactorvat
- Fase 3: (onder voorbehoud): ontmanteling van de primaire kring en versnijding van het reactorvat.

Thans is fase 1 volledig uitgevoerd en bevindt men zich in het beginstadium van fase 2.

De radiologische optimalisering is bij de ontmanteling van BR3 in feite te laat op het toneel verschenen, t.t.z. op het moment dat de grote opties al vastlagen en dat met fase 1 al daadwerkelijk begonnen was.

Dit laattijdig van wal steken met de ALARA benadering was voor een groot deel te wijten aan gebrek aan kennis en ervaring met de ALARA aanpak. De ontmanteling van BR3 was in feite de eerste grootschalige operatie op het SCK waarbij zulk een aanpak werd voorzien en zoals al vermeld werd in de beginfase dan ook beroep gedaan op CEPN om dit gebrek aan ervaring op te vangen. Fase 1 werd ook vnl. bekeken als leerschool om zich in bepaalde eigenheden van de ALARA benadering en analysetechnieken in te werken. Hierbij kon gebruik gemaakt worden van het programma DOSIANA dat door CEPN ontwikkeld werd en dat toeliet een gestructureerde dosisschatting en -analyse uit te voeren. Het uiteindelijke doel was om tot een volledige geïntegreerde optimaliseringsstudie te komen in fase 3. In fase 2 zou men dit ook al trachten te bereiken voor enkele beperkte deeltaken.

De resultaten tot hiertoe bekomen worden besproken in wat volgt.

### ***Fase 1 - Decontaminatie van de primaire kring***

Gedetailleerde gegevens betreffende de decontaminatie-operatie zijn te vinden in [4].

Aan CEPN werd de opdracht gegeven het optimale decontaminatieprocedé te bepalen; LOMI (Low State Transition Metal ion reagents) of CORD (Chemical Oxidizing Reducing Decontamination). Beide procédés waren voorafgaandelijk geselecteerd op basis van technische vereisten. De studie van CEPN gaf aan dat beide procédés gelijkwaardig waren vanuit radiologisch oogpunt en op gebied van rendement, maar dat CORD de voorkeur genoot wegens de kleinere afvalvolumes die werden geproduceerd.

Voor wat de verdere decontaminatie-werkzaamheden betrof werden geen opties onder elkaar vergeleken. Voor de te volgen procedure voor de voorbereidende taken werd uitgegaan van de ervaringsgegevens van vroegere decontaminatieoperaties. De te volgen procedure voor de eigenlijke dekcontaminatie werd vastgelegd aan de hand van technische criteria.

In het kader van de ontwikkeling van ALARA technieken werden berekeningen en analyses (voorspellingen) van de doses uitgevoerd, gebruik makend van het programma DOSIANA van CEPN. Er werd tewerkgegaan als volgt: de operaties werden onderverdeeld in elementaire taken, elk gekenmerkt door een geografische zone, een dosisdebiet en een werkvolume (in man-h). De personen vereist voor het uitvoeren van een elementaire taak werden gekenmerkt door hun vereiste kwalificatie, hun werkcondities en een eventuele exposiekoefficient (de verhouding tussen het dosisdebiet voor de persoon en deze kenmerkend voor de ganse zone). De ganse decontaminatie-operatie werd aldus onderverdeeld in een 100-tal elementaire taken, waarvan een 90-tal behoorden tot voorbereidende werkzaamheden. Een eerste dosisvoorspelling leidde tot een collectieve dosis van 0.20 man Sv waarvan 97 % toegeschreven werd aan de voorbereidende fase (zie Fig. 1). Een eerste analyse leverde enkele belangrijke conclusies op.

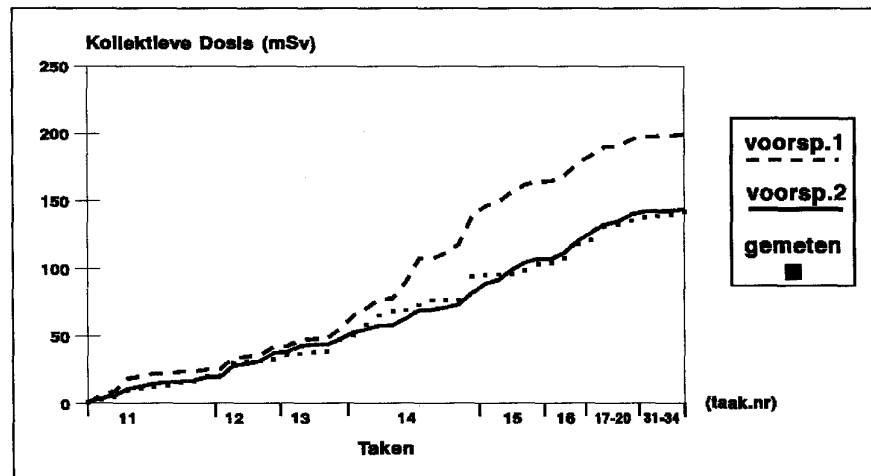


Fig. 1 : Vergelijking van gemeten en voorspelde kollektieve doses - decontaminatie primaire kring.

Aangetoond werd dat, uitgaande van de individuele dosislimiet van 20 mSv/y en de kwalificaties vereist voor de taken, minimum 14 techniekers vereist zouden zijn voor het uitvoeren van de decontaminatie-werkzaamheden, waarvan 9 personen hun jaarlimiet binnen een periode van 3 tot 4 maand zouden kunnen bereiken. Daarbij zou het maandelijkse referentieniveau van 2 mSv/persoon overschreden worden voor 20 elementaire taken.

In het licht van deze resultaten werden maatregelen genomen om de doses te beperken zo o.a. het toepassen van bijkomende afschermingen (loodmatten) op het reactordeksel, het vullen van componenten van de primaire kring met water en het verminderen van het aantal te manipuleren bouten op het reactordeksel. Geschat werd dat de doses aldus met 25 % zouden verminderd worden.

Voor het opvolgen van de doses van de elementaire taken tijdens de uitvoeringsfase werd overgestapt van de traditionele stylo dosimeters naar meer precieze elektronische toestellen, waarvan de resultaten rechtstreeks met processor en PC kunnen behandeld worden en ook rechtstreeks in te lezen zullen zijn in het programma DOSISUIV van CEPN. Dit is een versie van het programma DOSIANA waarmee vergelijkende analyses kunnen uitgevoerd worden tussen geschatte en gemeten dosiswaarden.

De opvolging van de doses tijdens de uitvoering van de eerste taken gaf nog een kleine overschatting te zien (5 %) die in feite het resultaat was van twee elkaar compenserende fouten. Voor mobiele taken op de bodem van het reactorbassin werd de invloed van de nabije bronnen en dus ook de dosis overschat. De fout in de dosisvoorspelling werd echter gedeeltelijk gecompenseerd door de onderschatting van de dosis voor taken op vaste plaatsen op het werkplatform.

Een 2e dosisschatting (zie Fig. 1) werd dan uitgevoerd, rekening houdend met de resultaten van de

dosisbeperkende maatregelen en met de correcties voor de fouten in de 1e dosisschatting. De nieuwe geschatte collectieve dosis bedroeg 0.14 man Sv, wat praktisch overeenkomt met de dosis gemeten tijdens de uitvoering.

### **Versnijden van het thermisch schild**

Gedetailleerde gegevens betreffende de versnijdingoperaties zijn te vinden in [4].

Om reden van het vergaren van kennis en ervaring voor latere versnijdingoperaties werd beslist drie technieken aan te wenden : elektro-erosie (in situ), mechanisch zagen (in situ) en snijden met plasma toorts (in speciale kamer). Koude testen werden uitgevoerd op een blanco model van het thermisch schild. Het doel was het bepalen van de optimale instelling van de werkingsparameters voor het uitvoeren van de sneden. Een ander model werd ook gebruikt voor het trainen van het personeel. Beide toepassingen passen in het kader van een radiologische optimalisering alhoewel een eigenlijke radiologische optimalisering niet werd uitgevoerd.

Enkele belangrijke kenmerken van de technieken zoals ze tijdens de koude testen op het blanco model (ss 76 mm dik) werden opgetekend

	tijdsduur voor versnijden van 1m	breedte van de snede	Geproduceerde afval per m versnijding
elektro-erosie	30 h	7 mm	4,2 kg
mechanisch zagen	2.2 h	4 mm	2,4 kg
plasma toorts	3.3 min	11 mm	6,5 kg

In het kader van een radiologische optimalisering kunnen hierbij volgende interessante vaststellingen gedaan worden

het mechanisch zagen is een zuivere methode van versnijding. Het besmettingsniveau van de uitrusting en het water blijft laag en de blootstelling van het personeel beperkt;

de elektro-erosie is een trage methode die beperkte hoeveelheden secundaire afval oplevert. Deze afval doet zich echter vooral voor onder de vorm van fijne deeltjes. Dit noodzaakt een gepast afzuig- en filteringsysteem om de besmetting van water en uitrusting op een laag niveau te houden en de blootstelling van het personeel te beperken ;

de plasma toorts maakt snelle versnijdingen mogelijk, echter met grote hoeveelheden secundaire afval. Om de verspreiding van de besmetting tegen te gaan, dient in een afgesloten kamer gewerkt te worden. Bij deze methode worden gesmolten deeltjes geprojecteerd, o.a. tegen de wanden van de kamer, wat leidt tot bijkomende problemen van bestraling (blootstelling) en reiniging.

Zoals bij de dekcontaminatie van de primaire kring werden dosisvoorspellingen uitgevoerd en de middelen voor een automatische dosisopvolging met processor en PC verder uitgebouwd. De voorspelde doses werden vergeleken met de gemeten waarden en deze P/O verhoudingen werden samengebracht met deze van de decontaminatie-operaties in Fig. 2. Hieruit konden volgende vaststellingen gedaan worden.

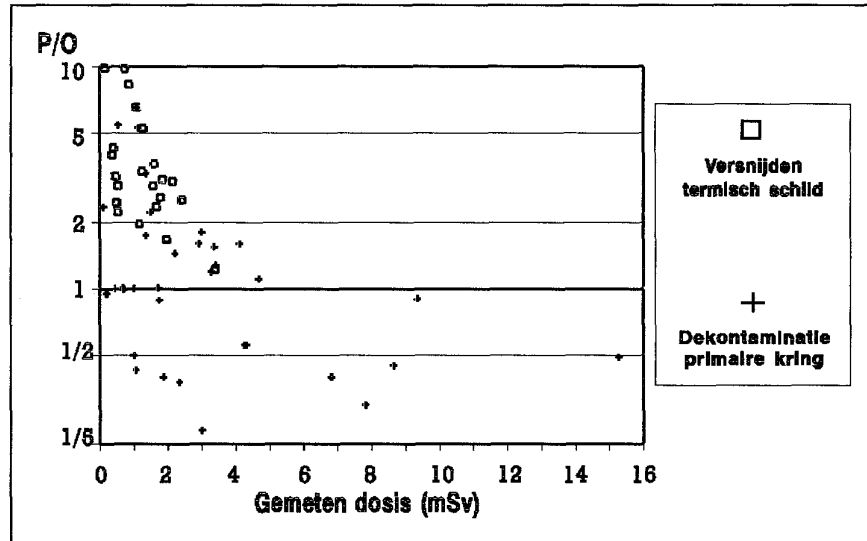


Fig. 2 : Verhouding voorspelde/gemeten dosis tijdens fase 1.

De voorspelde doses weken belangrijk meer of van de gemeten waarden bij de versnijdingen dan bij de dekontaminatie. Dit heeft natuurlijk te maken met het feit dat voor de dekontaminatie van de primaire kring beroep kon gedaan worden op vroegere ervaringsgegevens daar waar dit voor de versnijdingen niet mogelijk was.

De voorspelde doses van de versnijdingoperaties laten een systematische overschatting zien. Dit heeft te maken met een traditionele conservatieve reflex (in stralingsbescherming) bij her beschouwen van nieuwe operaties en her niet in rekening brengen van tijdwinst die optreedt bij het herhaald uitvoeren van een nieuwe handeling t.g.v. het opdoen van ervaring. Bepaalde overschattingen zouden nog hoger zijn uitgevallen, waren ze niet afgezwakt door bepaalde ook niet voorziene incidenten die een gedeeltelijke compensatie van de dosiswinst veroorzaakten. Uit de figuur blijkt ook een algemene trend van hogere relatieve afwijkingen tussen dosisschatting en -meting bij lagere dosisdebieten. Dit heeft waarschijnlijk te maken met de kleinere relatieve nauwkeurigheid waarmee lagere dosisdebieten kunnen bepaald/gemeten worden.

### 3. BESLUIT

De ontmanteling van de BR3 reactor is een belangrijke leerschool (geweest) voor de implementatie van een radiologische optimalisering. Hoewel een optimalisering a la lettre tijdens de eerste fase van de ontmanteling niet werd uitgevoerd werden toch belangrijke inzichten en conclusies bereikt. Ze betreffen o.a. :

- de invloed van het gebrek aan ervaring, dat werd geïllustreerd door de afwijking van de voorspelde tot de gemeten dosis bij de versnijdingoperaties van het thermisch schild, en dat de noodzaak van een sensitiviteitsanalyse voor het aantonen van de robuustheid van het resultaat van een optimaliseringstudie met zich meebrengt;

- het belang van de maatregelen voor dosisreductie, zoals ze tijdens de dekontaminatie van de primaire kring werden toegepast;

- de implicaties van de productie van afval bij de keuze van het decontaminatieprocede van de primaire kring (CORD) en bij de keuze van een versnijdingstechniek. Problemen stellen zich op het gebied van het verzamelen, vervoeren en stockeren van de afval, waarbij rekening dient gehouden to worden met de potentialiteit van accidentele verspreiding. Deze afvalproblematiek zou het voorwerp van een aparte optimaliseringstudie kunnen uitmaken.

Wat de tijdsduur tussen stopzetting en ontmanteling aangaat toont een voorbeeldberekening bij een hypothetische reactor (van het type van BR3) aan dat, vanuit het standpunt van een radiologische optimalisering, een vroege ontmanteling to verkiezen is t.g.v. de belangrijkheid

van de economische kosten tijdens de "waakfaze".

#### 4. ANNEX – VOORBEELDBEREKENING EVOLUTIE EKONOMISCHE KOSTEN EN DOSES

Een eenvoudige voorbeeldberekening werd uitgevoerd van de evolutie van economische kosten en doses in de tijd, tussen de definitieve stopzetting en de ontmanteling van een hypothetische reactor, die van hetzelfde type zou kunnen zijn als de BR3 reactor. De definitieve stockage van de geproduceerde afval werd buiten beschouwing gelaten evenals de invloed van mogelijke vormen van discontering en provisionering van economische lasten.

Beschouwen we als belangrijke componenten voor de berekening van economische kosten en doses:

1. de opleiding van personeel, nodig om de erosie van know-how in de tijd tegen to gaan
2. het in goede toestand houden van de infrastructuur, die nodig is voor de ontmanteling
3. de controle van de installatie (tot de ontmanteling) : onderhouden van waaktoestand
4. de ontmanteling zelf.

De hypothesen omtrent de berekening van economische kosten en collectieve doses zijn in Tabel 1 aangegeven. Voor de doses werd met een vervalconstante van  $0,13 \text{ j}^{-1}$  (-> Co-60) gerekend.

Wat de economische kosten betreft kunnen we opmerken dat deze van 1 en 2 stijgen met de tijd tot een zeker maximum deze van 3 blijven stijgen met de tijd

deze van 4 eventueel licht dalen met de tijd (minder bescherming nodig voor zelfde doses en vooruitgang van de technologie).

Wat de collectieve doses betreft zijn deze van 1 onbestaand of verwaarloosbaar deze van 2 beperkt en afnemend in de tijd

deze van 3 eveneens beperkt en toenemend met de tijd tot evenwicht deze van 4 meest betekenend, afnemend met de tijd.

Dosiskosten werden berekend met een a-waarde van 2 MBF/man Sv (zie o.a. [3]). De economische kosten en dosiskosten zijn samengebracht in Fig. 3. Hieruit blijkt dat de economische kosten veel belangrijker zijn dan de dosiskosten onder de economische kosten, deze voor controle en toezicht op de installatie snel toenemen met de tijd (lineair) en na enkele tientallen jaren hoger zijn dan de ontmantelingskosten de totale kost minimaal is bij een vroege ontmanteling en snel stijgt (onder de gemaakte premissen!) indien geen controle en toezicht nodig zou zijn, het tijdstip van ontmanteling veel minder invloed zou hebben op de totale kost (bij gelijkblijvende andere omstandigheden !), zoals aangegeven door de curve "Totaal-Waak" in Fig. 3.

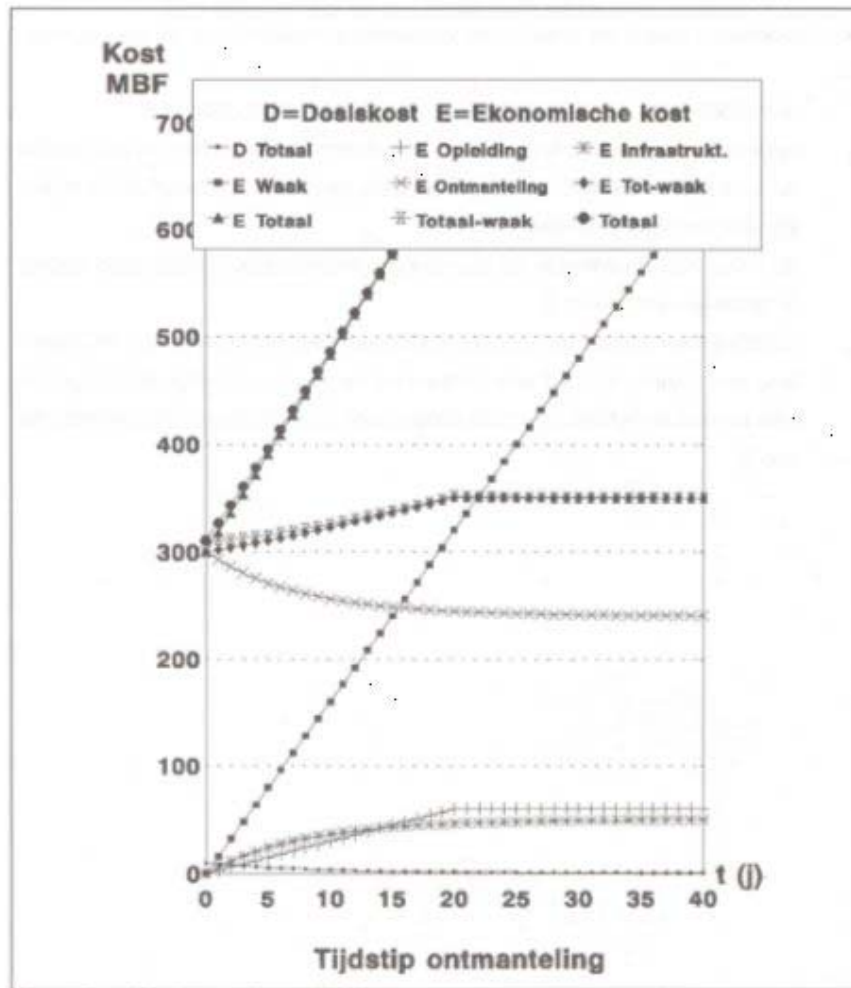


Fig. 3 : Kosten ontmanteling

Hypothesen	Economische kost	Dosis
<b>1. Mensen (opleiding)</b> Na 20j. 20 personen te vervangen Vervat: lineair Opleiding: t		<b>0</b>
<b>2. Infrastructuur (v. ontmanteling)</b> Na 30j. volledig te vervangen Vervat: exponentieel vervalconstante: ongeveer lambda D: 0.5 manSv op t=0 voor volledige vervanging		
<b>3. Controle (waak)</b> Continu: 2 personen x 5 ploegen + 1MBFj. uitrusting D: 3 manSvj. p op t=0.		
<b>4. Ontmanteling</b> 20 personen x 5 jaar 20% kost ongeveer D D: 5 mSv over 5 jaar Bij ontmanteling op t=0		

Tab. 1 : Hypothesen- Economische kosten en doses

## 5. Referenties

- [I.] ICRP Publication N° 22 (1973).  
Implications of Commission Recommendations that Doses be kept as Low as Readily Achievable.
- [II.] ICRP Publication N° 55 (1988).  
Optimization and Decision-Making in Radiological Protection.
- [III.] P J. Stokell, J.R. Croft, J. Lochard, J. Lombard (1991).  
ALARA. From theory towards practice. EUR 13796.
- [IV.] The BR3 Pressurized Water Reactor pilot dismantling project. Contract N° F12D-0003-B(TT) with the European Community. Second progress report (01.07.90-31.12.90) Third progress report (01.01.91-30.06.91) Fourth progress report (01.07.91-31.12.91).