

Analyse, inform and activate

# LAKA

Analyseren, informeren, en activeren

*Stichting Laka: Documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie*

## De Laka-bibliotheek

Dit is een pdf van één van de publicaties in de bibliotheek van Stichting Laka, het in Amsterdam gevestigde documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie.

Laka heeft een bibliotheek met ongeveer 8000 boeken (waarvan een gedeelte dus ook als pdf), duizenden kranten- en tijdschriften-artikelen, honderden tijdschriftentitels, posters, video's en ander beeldmateriaal. Laka digitaliseert (oude) tijdschriften en boeken uit de internationale antikernenergie-beweging.

De [catalogus](#) van de Laka-bibliotheek staat op onze site. De collectie bevat een grote verzameling gedigitaliseerde [tijdschriften](#) uit de Nederlandse antikernenergie-beweging en een verzameling [video's](#).

Laka speelt met oa. haar informatie-voorziening een belangrijke rol in de Nederlandse anti-kernenergiebeweging.

## The Laka-library

This is a PDF from one of the publications from the library of the Laka Foundation; the Amsterdam-based documentation and research centre on nuclear energy.

The Laka library consists of about 8,000 books (of which a part is available as PDF), thousands of newspaper clippings, hundreds of magazines, posters, video's and other material. Laka digitizes books and magazines from the international movement against nuclear power.

The [catalogue](#) of the Laka-library can be found at our website. The collection also contains a large number of digitized [magazines](#) from the Dutch anti-nuclear power movement and a [video-section](#).

Laka plays with, amongst others things, its information services, an important role in the Dutch anti-nuclear movement.

Appreciate our work? Feel free to make a small [donation](#). Thank you.



[www.laka.org](http://www.laka.org) | [info@laka.org](mailto:info@laka.org) | Ketelhuisplein 43, 1054 RD Amsterdam | 020-6168294

KONINKLIJK INSTITUUT VAN INGENIEURS  
AFDELING VOOR KERNTÉCHNIEK

DODEWAARD - 10 jaar

=====

Samenvatting van lezingen gehouden op  
woensdag 22 november 1978 te  
Arnhem en Dodewaard

*Collectie Stichting Laka*

www.laka.org  
Gedigitaliseerd 2020

I N H O U D

=====

|  | <u>pag.</u> |
|--|-------------|
| 10 JAAR BEDRIJFSERVARING DODEWAARD KERNENERGIE-<br>CENTRALE<br>door ir. S.H. Woldringh | 2           |
| FYSISCHE- EN MILIEU-ASPECTEN VAN 10 JAAR<br>REACTORBEDRIJF<br>door ir. P. Mostert      | 6           |
| PERIODIEKE INSPECTIES VAN HET PRIMAIRE SYSTEEM<br>door ir. L.B. Dufour                 | 22          |
| SPLIJTSTOFGEDRAG IN DODEWAARD<br>door E.B.M. Majoor                                    | 26          |
| BEHANDELING VAN RADIOACTIEF AFVAL<br>door ing. F. Geever                               | 31          |

## 10 JAAR BEDRIJFSERVARING DODEWAARD KERNENERGIECENTRALE

door ir. S.H. Woldringh

Reeds eerder werd in KIVI-verband informatie verstrekt over het GKN-project en wel inzake de volgende onderwerpen:

- ontwerp en bouw van de centrale
- uit te voeren beproevingen tijdens de in bedrijfstelling van de centrale
- het verloop van de in bedrijfstelling van de centrale
- ervaringen opgedaan tijdens de eerste 5 jaar bedrijf met onderhoud en inspecties van de centrale.

Inmiddels is de centrale 10 jaar in bedrijf, hetgeen een goede aanleiding leek opnieuw in KIVI-verband te rapporteren over opgedane ervaring.

Hoewel ons project was bedoeld om in algemene zin zoveel mogelijk ervaring op te doen met betrekking tot welk aspect ook maar dat specifiek zou kunnen zijn voor kernenergie, hebben degenen die de gedachte voor dit project hebben gelanceerd waarschijnlijk niet voorzien hoeveel ervaring door ons en door vele anderen (denk alleen al aan de publiciteit over dit onderwerp) inderdaad werd opgedaan.

Veel ervaring werd reeds verkregen bij het ontwerp, de bouw en de in bedrijfstelling van de centrale.

Velen zullen hebben gedacht dat de volgende fase een vervelende routine-aangelegenheid zou worden. Dat dit niet het geval is geweest moge uit het volgende blijken.

De bedoeling is dat na een heel globaal overzicht over 10 jaar bedrijf van de centrale enkele aspecten in aparte voordrachten meer in detail zullen worden belicht.

Op 26 oktober 1968 werd door onze centrale voor het eerst in Nederland "nucleaire elektrische energie" aan het koppelnet toegevoerd. Eind december van dat jaar werd de SEP bedrijfsvaardigheidsproef afgelegd en wij nemen 1 januari 1969 aan als begin van regelmatige industriële productie door de centrale.

Er waren de volgende belangrijke bedrijfszonderbrekingen:

- 1969 - 2 onderbrekingen voor verbeteringen aan de turbine ontwateringen
- 1970 - voortijdige verwijdering van tijdelijke absorptieplaten uit de reactorkern
  - verdere verbetering turbine installatie
- 1971 - eerste splijtstofwisseling en reactorvatinspectie

- 1972 - geplande splijtstofwisseling en ongeplande reparatie overgangsstuk
  - inspectie overgangsstukken, reparatie overgangsstukken en aanpassing kernconfiguratie
- 1973 - splijtstofwisseling, reparatie overgangsstuk
- 1974 - splijtstofwisseling met verwijdering regelbladvolgers en reparatie overgangsstukken
- 1975 - splijtstofwisseling
- 1976 - reparatie hogedruk turbine na binnendringen van losgespoelde lasrups
- 1977 - splijtstofwisseling, inspectie voedingwaterstomp, verbetering meting reactorvatniveau
- 1978 - splijtstofwisseling.

Het eerste lustrumjaar voor de GKN centrale, 1973, was tevens het jaar waarin de Dodewaard centrale niet meer de enige kernenergiecentrale in Nederland was. Met de Borssele centrale werd toen 7% van de elektriciteitsproduktie in Nederland door kernenergie gedekt.

De cumulatieve beschikbaarheid van de GKN centrale tot heden is 81%. Ter vergelijking het volgende:

|   | <u>Nederland</u>                         | <u>Ver.Staten</u>                           |
|---|--|---|
| - Equivalente beschikbaarheid conventionele centrales (incl. reserve beschikbaar) | 80<br>(gem. over 7 jaar,<br>90 eenheden) | 82<br>(gem. over 10 jaar,<br>1000 eenheden) |
| - Equivalente beschikbaarheid kernenergiecentrales                                | 80<br>(gem. over 10 jaar,<br>2 eenheden) | 67<br>(gem. over 10 jaar,<br>54 eenheden)   |

Een normale splijtstofwisseling zonder grote inspectie van het primaire systeem en zonder grote revisies betekent een bedrijfsonderbreking van ongeveer 3 weken.

In de afgelopen jaren is de centrale enige malen langer uit bedrijf geweest. Benadrukt zij dat de ondervonden moeilijkheden min of meer konden worden voorspeld doordat deze zich reeds bij andere centrales hadden voorgedaan.

Buiten de hierdoor veroorzaakte niet-beschikbaarheid is de geheel onvoorziene niet-beschikbaarheid zeer laag geweest, hetgeen dan ook duidelijk blijkt uit het toch nog goede cumulatieve beschikbaarheidspercentage; de beschikbaarheden tussen de grotere bedrijfsonderbrekingen liggen ten gevolge van slechts enkele zeer korte onderbrekingen tussen 95 en meer dan 99%.

De bedrijfsvoering sec van de kernenergiecentrale is probleemloos verlopen. De grootste moeilijkheden bij onderhoud en inspectie lagen rond het reactorvat en houden verband met de stralingsvelden en toegankelijkheid.

Zoals in het ontwerp aandacht is besteed aan een hoge beschikbaarheidsfactor tijdens bedrijf, een hoge veiligheid en een lage lozing van radioactiviteit naar buiten zal men ook reeds bij het ontwerp terdege rekening moeten gaan houden met alle opgedane ervaring bij de revisies en inspecties in hogere stralingsvelden en moet bij de fabricage meer aandacht aan kwaliteitscontrole worden gegeven, teneinde revisieduur en opgelopen stralingsdoses te beperken. We zouden naast de "engineered safeguards" ook over "engineered maintenance" moeten kunnen spreken. De eventuele - niet dikwijls zo hoge - extra kapitaalsinvesteringen moeten tijdens de exploitatie van de centrale "terugverdiend" kunnen worden.

Een goed voorbeeld hiervan is het gedrag van onze splijtstofelementen; door alle zorg aan ontwerp en kwaliteitscontrole besteed hebben de splijtstofelementen geen enkele restrictie op bedrijf of onderhoud gehad.

In verband met het bovenstaande moet het belang van preventief onderhoud, testen, inspecties en vooral werkvoorbereiding worden beklemtoond.

Goed preventief onderhoud en de juiste testen en inspecties verhogen de beschikbaarheid en de veiligheid. Het is mogelijk de centrale na een bedrijfsonderbreking gedurende welke aan bijna alle systemen is gewerkt, probleemloos op te starten. Het is ook mogelijk de centrale een jaar lang in bedrijf te houden zonder onderbrekingen die te wijten zijn aan onvoldoende onderhoud. De veiligheidssystemen dienen constant paraat te staan, dit wordt gecontroleerd door regelmatige testen tijdens bedrijf van de centrale; men moet hier oppassen dat deze testen hun doel niet voorbijschieten: het blijkt dat zeker de helft van turbine-trips en reactorscrams aan deze testen zijn toe te schrijven.

Een goede werkvoorbereiding is in een kernenergiecentrale van het allergrootste belang geworden. Om onnodige verkleedpartijen en lange routings door de toegangscontrole te voorkomen dient de werker direct al van alle materiaal, aangepaste gereedschappen en tekeningen te worden voorzien. Te voren moet zijn geëvalueerd hoe de werkplaats zo efficiënt mogelijk kan worden ingericht. De werker moet geoefend zijn en volkomen bekend met de te volgen procedures. Dit alles zowel om de op te lopen stralingsbelasting te beperken en de beste kwaliteit van het werk te verkrijgen alsook om de stilstandtijd van een kostbare installatie zo kort mogelijk te doen zijn.

Ook bij de behandeling van op onze centrale geproduceerd radioactief afval werd belangrijke ervaring opgedaan. Bij

het ontwerp van onze centrale is er van uitgegaan dat spoedig meerdere kernenergiecentrales zouden volgen en er dan ook gecentraliseerde diensten zouden komen voor transport en verwerking van het afval. Toch werd onze centrale reeds voorzien van beperkte opslag- en verwerkingsfaciliteiten. Toen na Borssele volgende centrales op zich lieten wachten werd besloten tot uitbreiding van onze eigen faciliteiten.

Ons project was mede bedoeld voor publieke informatie over kernenergie. Na onze voorlichting in het dorp Dodewaard en de vele open dagen en nog even bij de officiële opening door H.M. de Koningin op 26 maart 1969 was er - buiten georganiseerde bezoeken aan de centrale - echter nauwelijks belangstelling voor kernenergie. Totdat begin 1972 - na enige voorlopers vooral in de Verenigde Staten - ook in ons land heftige discussies losbarstten.

Wij zijn discussies nooit uit de weg gegaan maar hadden toch wel moeite met ongenueanceerde uitlatingen, misleidende krantekoppen, TV-uitzendingen over de kernenergie waarin met atoombommen werd gegooid, interviews waaruit zeer selectief werd geknipt, actiegroepen die ondanks indringende uitnodiging weigerden te komen kijken en praten etc.

Van onmeetbaar maar ontegenzeggelijk uitzonderlijk groot belang was onze centrale - als eerste grote kernenergieproject in Nederland - zowel voor velen buiten degenen die in GKN-verband direct bij het project betrokken zijn geweest, alsook om de veelzijdige spin-off naar andere technische projecten. Dat tegelijkertijd dankzij de inspanning van velen ook nog een goed bedrijfsresultaat kon worden verkregen mag verheugend genoemd worden.

## FYSISCHE- EN MILIEU-ASPECTEN VAN 10 JAAR REACTORBEDRIJF

---

door ir. P. Mostert

### Inleiding

Zoals bekend is in het contract met General Electric voor de bouw van de kernenergiecentrale te Dodewaard bedongen dat de know-how van de bouw van een dergelijke centrale zou worden overgedragen aan de N.V. KEMA.

Daartoe is een groep van 6 ingenieurs zeer intensief bij het ontwerp van de centrale betrokken geweest. Zo is o.a. de reactor kern en de fysische berekeningen daarvoor uitgevoerd door de Nederlandse groep in samenwerking met het personeel van General Electric.

Door het bezit van deze know-how is in Dodewaard het splijtstofbeheer altijd in eigen hand geweest. Immers direct na terugkeer uit San José heeft de reactorfysische groep zijn eigen rekenprogramma's ontwikkeld voor de berekening van de kern, zodat reeds van de eerste lading het moment van herladen bepaald kon worden waarbij tevens het aantal nieuwe elementen berekend werd en de verrijkingsgraad werd vastgesteld.

Een groot voordeel van het zelfstandig uitvoeren van de berekeningen voor het splijtstofbeheer is dat men niet afhankelijk is van de splijtstofleverancier om te bepalen hoeveel nieuwe elementen men nodig heeft, verder geeft het de mogelijkheid om adequaat en snel te reageren bij ongewone situaties.

Het is de bedoeling om in het volgende met enige voorbeelden te illustreren hoe dit in het geval van de Dodewaard reactor verwezenlijkt is.

### Fysische aspecten

Ik zal daarbij gedwongen zijn om uit te gaan van enige voorkennis van de reactor fysica, maar mocht die bij u niet helemaal meer voor in uw geheugen liggen dan is het eerste plaatje dat ik u hier laat zien mogelijk voldoende om mijn verhaal verder te volgen (fig. 1).

In dit plaatje ziet u uitgezet de reactiviteit of de vermenigvuldigingsfactor zo u wilt, als functie van de water tot uraniumverhouding. Bij een stabiele reactor is deze  $k_{\infty} = 1$ , wordt hij groter dan 1, dan neemt het reactorvermogen toe, wordt hij kleiner dan 1 dan gaat de reactor uit.

De reactor wordt nu zo geladen dat aan het begin van de cyclus de  $k_{\infty}$  zonder regelstaven veel groter is dan 1. De overreactiviteit wordt dan gecompenseerd door regelstaven, die de reactor vermenigvuldigingsfactor gelijk aan 1 maken bij volvermogen. Naarmate het uranium opbrandt zullen de regelstaven dus verder uit de kern bewogen moeten worden, zodat aan het eind van de cyclus de vermenigvuldigingsfactor precies gelijk aan 1 is.



De water tot uraniumverhouding in een lichtwaterreactor wordt nu altijd zo gekozen dat men in de getekende curve op een punt zit links van het maximum. Dit brengt met zich mee dat, als er water uit de kern verdwijnt de reactiviteit afneemt, hetgeen een veiligheidsfactor betekent.

Dit uit zich verder ook in een negatieve temperatuurscoëfficiënt door de uitzetting van het water en een negatieve dampelcoëfficiënt.

Als men voor de reactor de duur van een cyclus bepaald heeft, hetgeen meestal op grond van bedrijfs-economische gronden gebeurt, wordt het aantal benodigde elementen alleen nog bepaald door de verrijkingsgraad, het herladingspatroon en het regelstaafprogramma.

Het aantal nieuw te laden elementen wordt beperkt door de mogelijkheid om de nieuw toe te voegen reactiviteit met de regelbladen te compenseren.

Men streeft daar nu verder naar om het aantal te herladen elementen bij voorkeur klein te houden. Dit hangt samen met het feit dat de vermogensverdeling in de reactor verre van vlak is. Door zo weinig mogelijk elementen te herladen kan men zich beperken tot de meest gebruikte elementen, zodat de gemiddelde opbrand van de gebruikte elementen maximaal wordt. Het blijkt echter al spoedig dat men de verrijkingsgraad van de nieuwe elementen en daarmee het aantal ook weer niet willekeurig kan kiezen, immers een zeer hoge verrijkingsgraad van nieuwe elementen zou in deze elementen een te hoge vermogenspiek geven, wat op grond van thermo-hydraulische overwegingen verboden is.

Uiteraard kan men de vermogenspiek in de nieuwe elementen nog beïnvloeden door de plaatsing in de reactor, of door het regelblad bewegingspatroon. Dat het herladingspatroon bovendien nog invloed heeft op de duur van de cyclus kan men zien als men de twee extreme situaties beschouwt. Men zou bijvoorbeeld alle nieuwe splijtstofelementen alleen in de periferie van de kern kunnen plaatsen, dit zou als gunstig resultaat hebben dat de vermogensverdeling in de kern vlak wordt, een nadeel is echter dat een groot aantal neutronen uit de reactor lekt, hetgeen aanleiding zou geven tot een kortere cyclus of bij een vaststaande cyclusduur tot een groter aantal elementen.

Anderzijds is het natuurlijk ook niet mogelijk om alle nieuwe splijtstofelementen in het centrum van de kern te plaatsen, omdat dan de vermogenspiek in het centrum te hoog wordt. Het is duidelijk dat tussen deze twee uitersten een compromis gezocht moet worden, waarbij men zo zuinig mogelijk is met de neutronen, terwijl men anders anderzijds de begrenzingen gesteld door de thermo-hydraulica goed in de gaten houdt.

Zoals zoëven al opgemerkt kan men de vermogensverdeling ook nog beïnvloeden door het regelstaafprogramma. Vooral als de kern nog veel verse splijtstof bevat zullen er veel regelbladen in de kern moeten zijn om de overreactiviteit te compenseren. In die fase van de cyclus is men dus in staat om de vermogensverdeling zeer gunstig te beïnvloeden.

Doordat de reactiviteit van de splijtstof door versplijting afneemt worden de regelbladen echter gedurende de cyclus langzaam naar buiten bewogen. Dit betekent dat men verder op in de cyclus veel minder invloed op de vermogensverdeling kan uitoefenen. Men moet er dus voor zorgen dat de plaatsen die verse splijtstof bevatten ver genoeg opgebrand zijn tegen de tijd dat men de regelstaven uit hun buurt moet wegtrekken.

Al deze overwegingen tezamen moeten betrokken worden in de optimalisatie van de splijtstofcyclus. Deze optimalisaties zijn vele jaren lang door de afdeling Reactor Fysica met erg veel inspanning uitgevoerd en altijd tot een goed einde gebracht.

Daarnaast is op deze afdeling echter gewerkt aan verbetering van de gereedschappen en tegenwoordig worden deze herladingsprogramma's en regelstaafbewegingsprogramma's automatisch door de computer geoptimaliseerd.

Voor zover ons bekend zijn wij in dit opzicht de enige ter wereld. Enige resultaten van deze studies wil ik nu verder met u bespreken.

In figuur 2 zijn schematisch de verschillende splijtstofcycli aangegeven die inmiddels met de Dodewaard reactor zijn doorlopen.

In verticale richting is weer de reactiviteit weergegeven, in horizontale richting loopt de tijd.

In cyclus 1 was de gehele kern geladen met verse splijtstofelementen. Daar de maximale overreactiviteit die men in de kern kan aanbrengen beperkt wordt door de regelstaafwaarde, zou men dus over moeten gaan tot lage verrijking voor de eerste kern. Een lage verrijking zou echter een lage gemiddelde versplijting van de elementen betekenen, hetgeen niet erg economisch is. Om daarom toch nog met een vrij redelijke verrijkingsgraad te kunnen werken heeft men gekozen voor de oplossing waarbij de gehele kern met 2,5% verrijkte elementen was geladen, maar waarbij de overreactiviteit behalve door de regelstaven ook mede gecompenseerd werd door absorptieplaten, die u in figuur 3 schematisch ziet aangegeven.

De bedoeling daarvan was om als de reactiviteit van de kern zonder regelstaven tot 1 genaderd zou zijn de absorptieplaten uit de kern te verwijderen en de splijtstofelementen alsnog enige tijd verder te versplijten. Op deze manier zijn de cycli 1a en 1b ontstaan.

Als merkwaardigheid ziet u echter dat de overreactiviteit bij 1a niet geheel tot 0 was gereduceerd voordat begonnen werd met het uithalen van de absorptieplaten.

De reden hiervan moet gezocht worden in het kapotgaan van de absorptieplaten. Deze absorptieplaten bestonden namelijk uit een roestvrijstalen plaat waaraan ongeveer 0,5% borium was toegevoegd. Ter versteviging waren deze absorptieplaten nog voorzien van een roestvrijstalen balk in het midden van deze platen.

Nu ontstaat echter bij absorptie van een neutron door borium-10 lithium-7 plus een  $\alpha$ -deeltje. Deze  $\alpha$ -deeltjes vinden in het staal snel enige elektronen en vormen dus een helium-atoom. Het is duidelijk dat na enige tijd de absorptieplaten min of meer gaan opzetten door de vorming van het helium binnen de roosters van het metaal. Daar echter de verstevigingsbalk geen borium bevatte zette deze niet uit, met het gevolg dat de absorptieplaten gingen rimpelen. Deze rimpelende platen drukten tegen de splijtstofelementen aan en daardoor kon het gebeuren dat één van de regelstaven op een gegeven moment niet meer bewogen kon worden. Dit op zichzelf was nog geen reden tot paniek daar het overschot aan reactiviteit zo klein was dat de reactor met één of twee regelstaven reeds onderkritisch gemaakt kon worden.

Toen echter een tweede regelstaaf ook bleek vast te zitten, terwijl men nog steeds de oorzaak niet kon weten, werd besloten om uit bedrijf te gaan.

De absorptieplaten zijn toen verwijderd uit de kern en de cyclus 1b is aangevangen.

In de figuur zien we dat deze cyclus aan het eind een negatieve overreactiviteit vertoont. Zoals bekend zal bij een vermenigvuldigingsfactor kleiner dan 1 het vermogen van de reactor afnemen. Dit is in de periode dan ook inderdaad gebeurt maar door het afnemen van het reactorvermogen nam ook de dampbelfractie in de kern af, waardoor de vermenigvuldigingsfactor weer op één kwam.

Men bereikt op die manier dat men een vrij lange periode heeft waarin het reactorvermogen slechts zeer langzaam afneemt, in deze eerste periodes was dat van de orde van 10% per maand.

Wij noemen deze periode waarbij het reactorvermogen langzaam afneemt de z.g. "uitlooperperiode".

U kunt zien dat wij bij de meeste cycli een dergelijke uitlooperperiode hebben toegepast. Dit lijkt op het eerste gezicht een beetje vreemd, omdat dan toch de reactor niet tot zijn volle capaciteit benut wordt. Toch valt gemakkelijk in te zien dat dit economisch zeer goed verantwoord is. Immers in de stopperiode die nodig is na elke cyclus om weer nieuwe splijtstof in de reactor te plaatsen, produceert de reactor in het geheel geen vermogen. Het is dus zinvol de frequentie van deze stopperiodes zoveel mogelijk te verkleinen. Daar door de uitlooperperiode het gemiddeld vermogen in de cyclus afneemt is er uiteraard een optimum hiervoor te vinden.

Zoals u verder ziet zijn de tweede, de vierde en tot op zekere hoogte de vijfde cyclus ongeveer met elkaar gelijk, namelijk ongeveer 270 dagen. Deze tijd wordt bereikt, door de reactor zo ver vol te laden als wordt toegelaten door de mogelijkheden om de reactiviteit met de regelbladen te beheersen. Dat de derde cyclus slechts 94 dagen duurde hangt samen met een reparatie die na deze 94 dagen geëist werd.

Het zal u echter niet ontgaan zijn dat de cycli na de vijfde cyclus belangrijk langer geworden zijn dan de genoemde 270 dagen. Dit hangt samen met de mogelijkheid die in die tijd ontstond door de toepassing van slijtend gif in splijtstof. Dit slijtend gif is een stof die men in de splijtstof aanbrengt en die door absorptie van neutronen de reactiviteit laag houdt. Door deze zelfde absorptie echter verdwijnen de atomen met hoge absorptie werkzame doorsneden, en worden vervangen door atomen met lage werkzame doorsneden.

In figuur 4 zien we het verloop van de reactiviteit van een dergelijk element als functie van de versplijting.

Op deze manier is het thans mogelijk om splijtstofcycli te krijgen van een jaar en zoals u aan cyclus 7 ziet, zelfs veel langer.

Inmiddels valt u in figuur 2 ook op dat het aantal elementen in de kern is toegenomen van 156 tot 164. Dit is gedaan door de lege posities in de periferie van de kern op te vullen met splijtstofelementen.

Als we nu eens nagaan welke splijtstofelementen er gedurende de cyclus gebruikt zijn, dan zien we in figuur 5 en 6 een aantal elementen gegeven, die inmiddels in gebruik geweest zijn in de reactor. Behalve de verrijgingsgraden zijn in deze figuur door getallen tevens aangegeven de relatieve vermogens die in een staafje geproduceerd worden.

Het is daarbij uiteraard belangrijk dat de vermogensverdeling binnen het element zo vlak mogelijk is.

De hoogste piek die in het veiligheidsrapport genoemd werd was daarbij 1,33. U ziet dat in alle volgende ontwerpen deze piek belangrijk lager is geworden.

Het kruisvormige gedeelte waarvan hier  $\frac{1}{4}$  deel is getekend, is in dit geval niet de regelstaaf, maar de regelstaafvolger, van zircaloy. Deze zircaloy volger heeft tot taak het water te verdringen wat normaal de plaats van de regelstaaf zou innemen. Dit werd noodzakelijk geacht omdat dit water aanleiding zou geven tot een zeer grote moderatie, en dus een sterke vermogenspiek in de staafjes die aan de regelstaaf grenzen.

In het tweede aangegeven ontwerp is de verlaging op een wel zeer eenvoudige wijze bereikt, men heeft er namelijk het centrale staafje dat in het eerste ontwerp geladen was met uranium nu verder leeggelaten en van gaatjes voorzien zodat daar water in staat. Dit verhoogd in het centrum van het element de water tot splijtstofverhouding, en zoals u aan figuur 1 kunt zien leidt dat tot een betere moderatie daar ter plaatse zodat het vermogen ook in het centrum eerst opgehaald wordt.

Uiteraard gaat dit ten koste van de hoeveelheid uranium die in het splijtstofelement zit.

Als alle staafjes hetzelfde vermogen zouden hebben zou dit een reductie in vermogen betekenen van 3%, aangezien echter de vermogenspiek meer dan deze 3% gedaald is kunnen de overige staafjes gemakkelijk nu meer vermogen leveren. Verder is bij dit ontwerp het slijtende gif gadolinium in twee staafjes aangebracht.

De gadoliniumstaafjes zijn daarbij geplaatst dicht in de hoeken waar normaal het grootste vermogen in een staafje optreedt, omdat daar ter plaatse de moderatie het grootst is.

Nu bleek echter na een inspectie die na de vijfde cyclus werd ingesteld dat de regelstaafvolgers niet meer stevig genoeg aan de regelstaven verbonden waren, zodat op dat moment besloten werd deze regelstaafvolgers te verwijderen. Het bleek dat als gevolg daarvan in een nieuw splijtstof-element de piekfactor van 1,32 zou stijgen naar de waarde van 1,40, hetgeen ontoelaatbaar is.

Om deze elementen daarna toch nog te kunnen gebruiken is het nodig om het reactorvermogen te verlagen. In de gadolinium-elementen die ook reeds voor de zesde cyclus besteld waren kon een lichte verbetering van het piekprobleem gevonden worden. Door de splijtstofstaafjes gezamenlijk over 90 graden te draaien komt een van de gadoliniumstaafjes nu direct achter de plaats waar de moderatie het hoogst wordt. Zoals u ziet uit figuur 7 kan de piekfactor daarom op die plaats nog enigszins beheerst worden. Om echter bij een volgende cycli deze moeilijkheden niet meer te hebben, werd besloten om naar een nieuw ontwerp splijtstof over te gaan en dit nieuwe ontwerp is gegeven in figuur 8.

U ziet dat daar behalve gebruik te maken van gadolinium ook de toevlucht is genomen tot het gebruik van meerdere verrijgingsgraden, om zodoende de vermogenspiek in het element zo laag mogelijk te houden.

Het resultaat van al deze berekeningen en van de telkens gekozen nieuwe ontwerpen is een heel bevredigend splijtstofgedrag in de reactor.

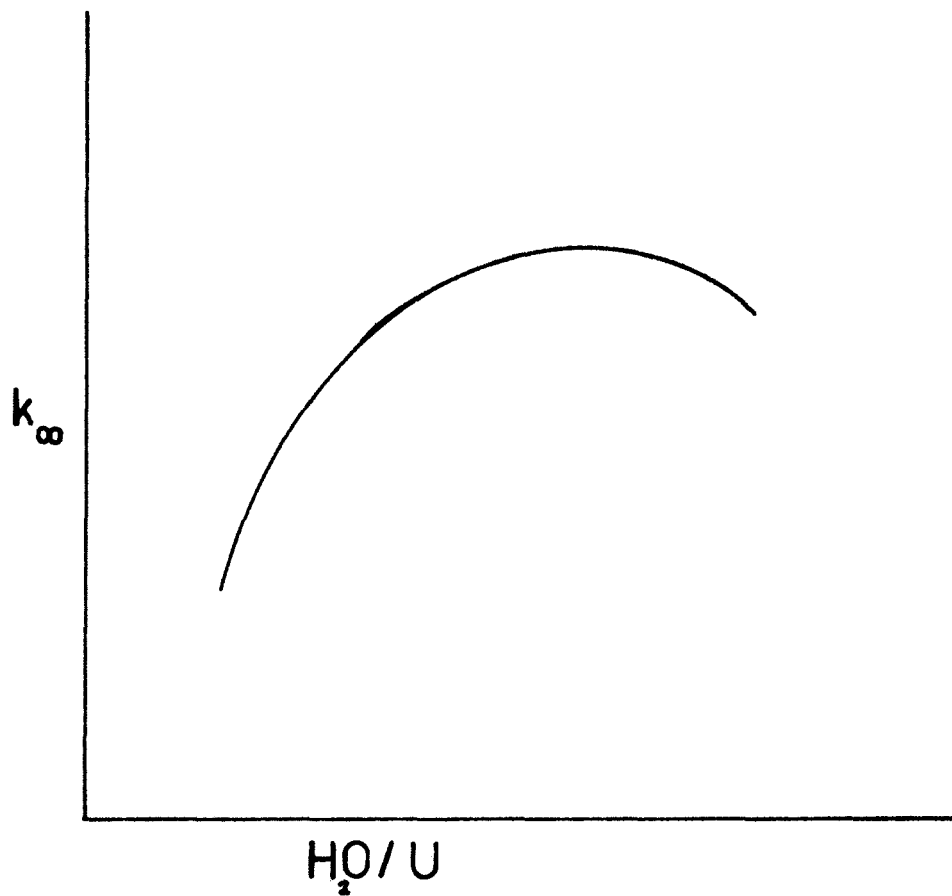
### Milieu-aspecten

Of men het splijtstofbeheer goed heeft uitgevoerd blijkt onder meer uit de mate waarin in de splijtstofelementen lek geworden zijn. Nu kan men zich voorstellen dat van de 5000 splijtstofstaafjes die zich tijdens normaal bedrijf in de reactor bevinden en die dus gezamenlijk van 10.000 lasjes zijn voorzien er wel eens een of twee gaan lekken. In het ontwerp is zelfs rekening gehouden met 1% van de staafjes die zouden lekken. In werkelijkheid is deze 1% nooit gehaald. Echter een aantal lekke staafjes heeft gedurende het bedrijf telkens weer aanleiding gegeven tot enige vrijkomen van radioactieve edelgassen, die met de stoom meegaan naar de turbine, en daar afgezogen worden om met de ventilatielucht via de schoorsteen in de omgeving verspreid te worden.

De lozing van afvalwater bevat voornamelijk corrosieproducten en heeft dus geen directe relatie met de splijtstof, vandaar dat we ons daarmee niet verder zullen bezighouden. De gasvormige lozing wordt nauwkeurig gemeten in de schoorsteen.

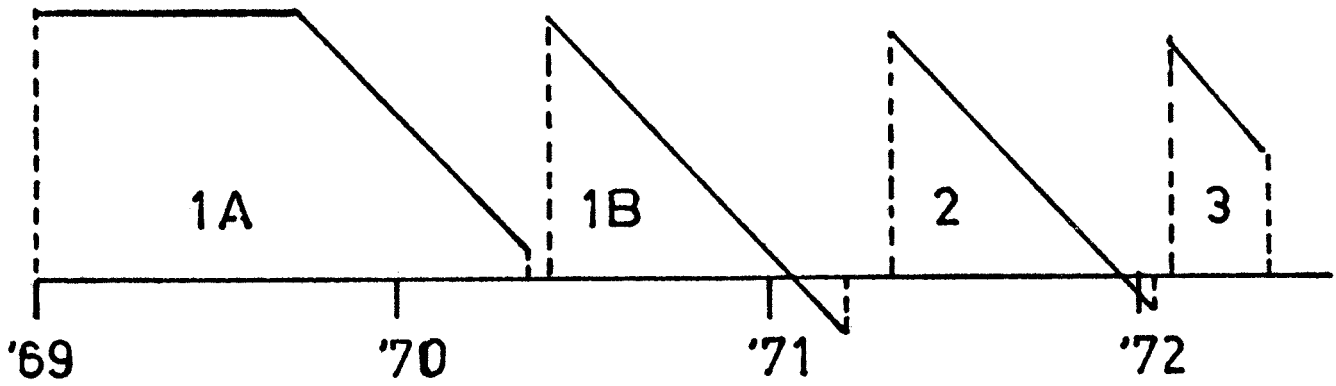
Verder worden op vele plaatsen in de omgeving metingen ge-



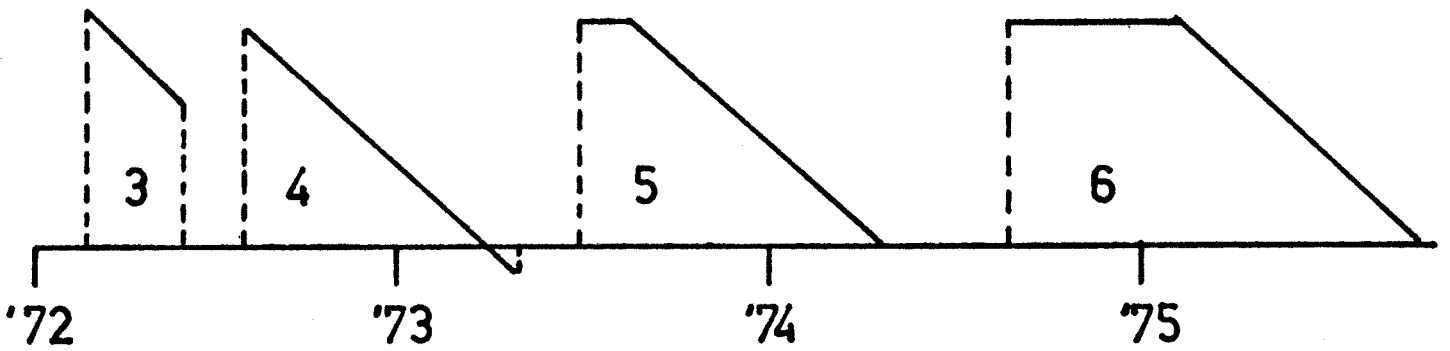


FIGUUR 1

De vermenigvuldigingsfactor  $k_\infty$  als functie van de water-splijstofverhouding



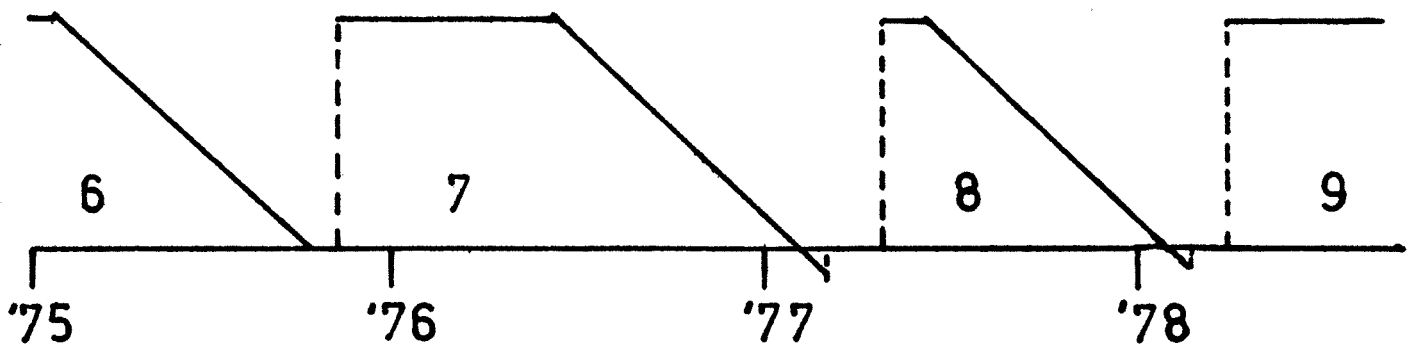
156 elementen



156 elementen

162 elementen

164 elementen

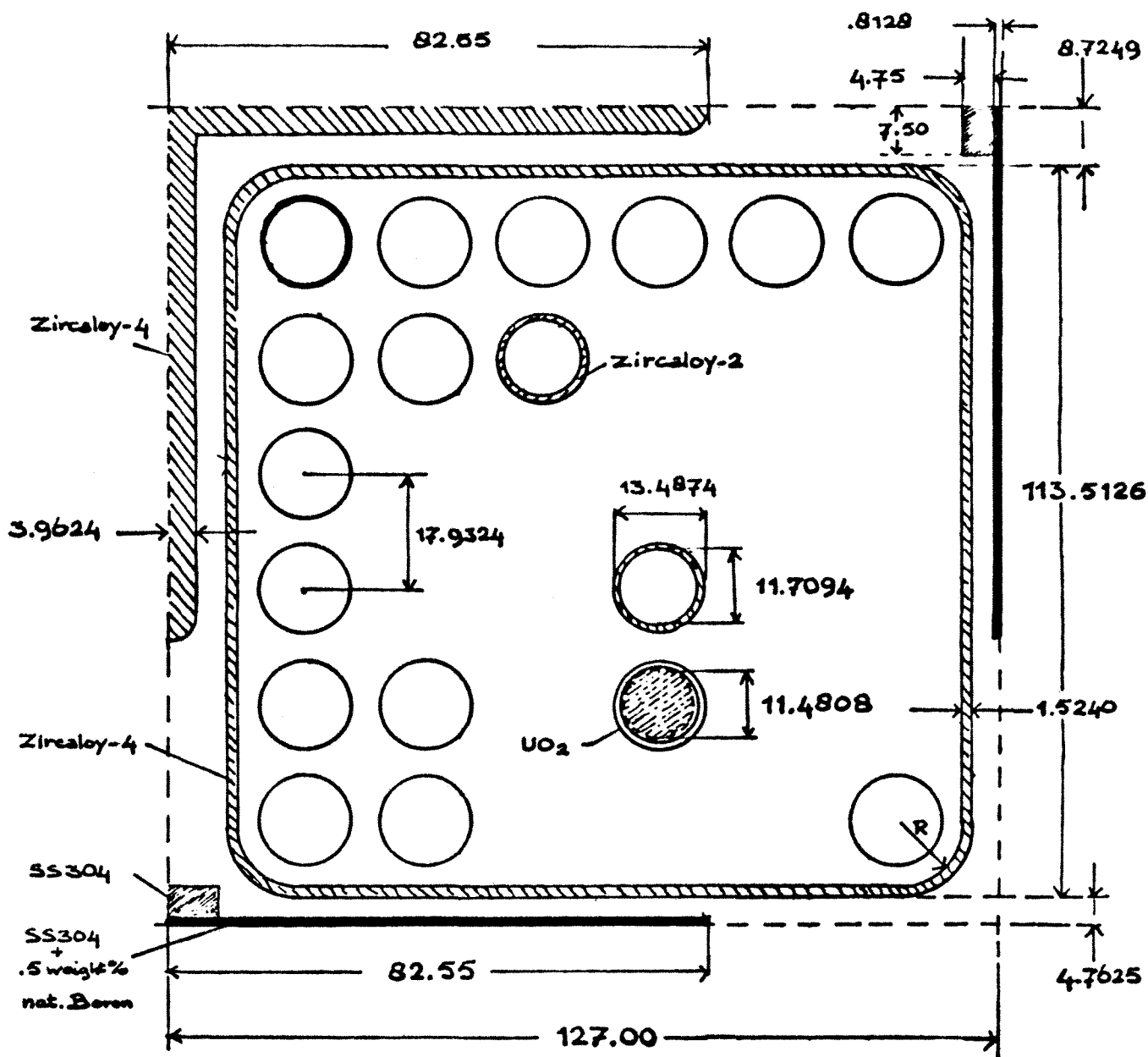


164 elementen

**FIGUUR 2**

Schematische voorstelling van het reactiviteitsverloop in de verschillende splijtstofcycli te Dodewaard



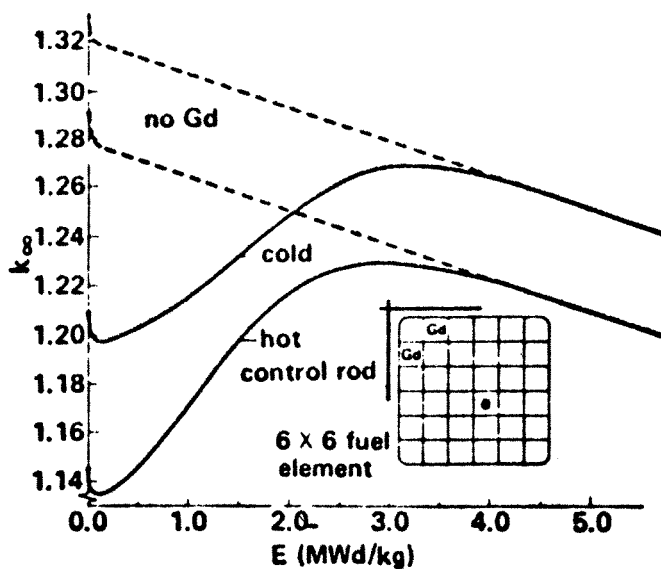


R = inside radius (=9.525)

Note: dimensions in mm.

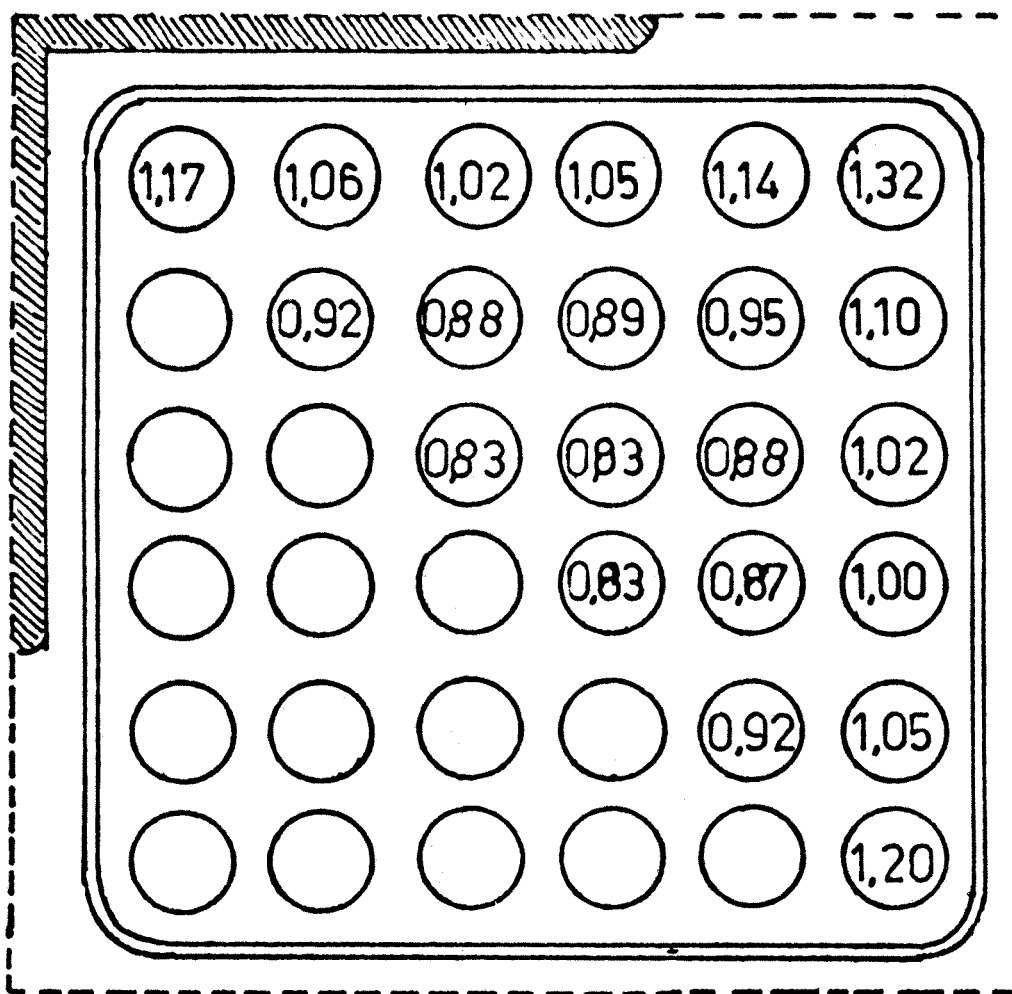
**FIGUUR 3**

Schematische doorsnede van een splijtstof-element met absorptieplaten en regelstaafvolgers



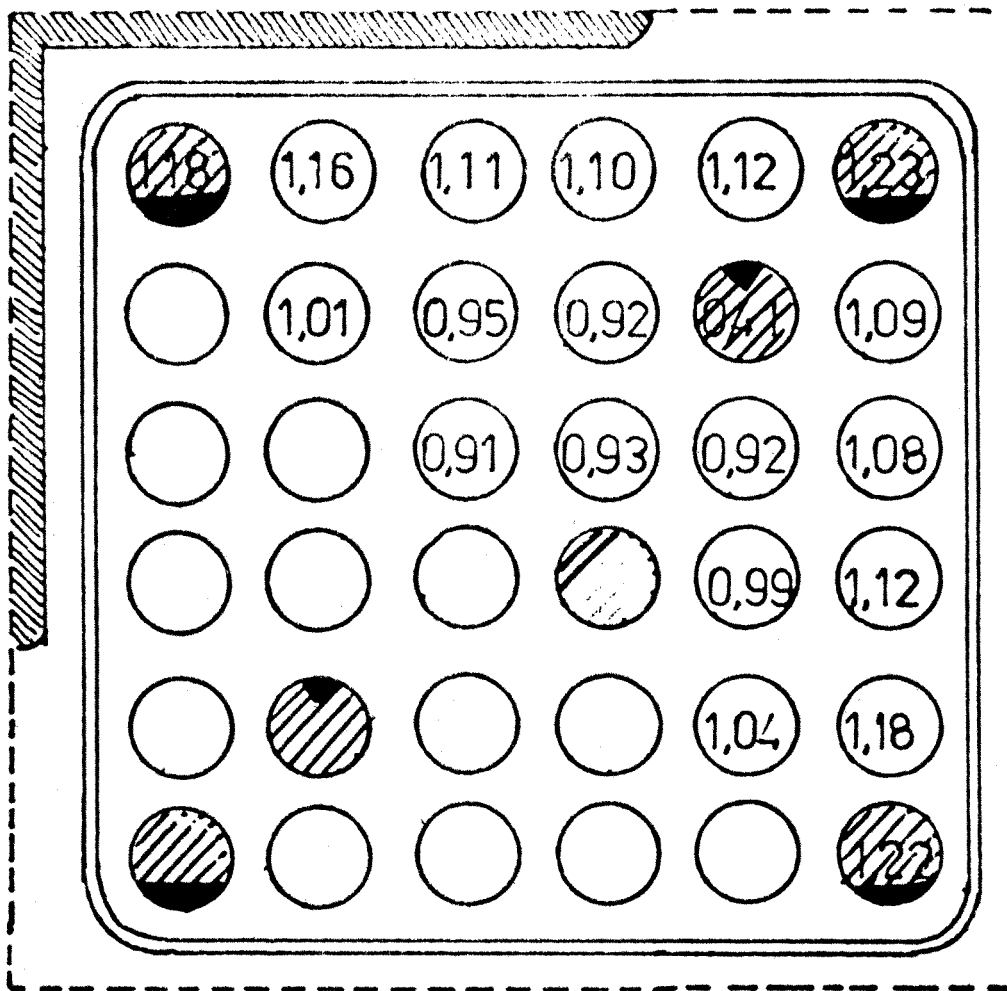
**FIGUUR 4**

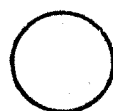



De vermenigvuldigingsfactor van een Gd element als functie van de versplijting



**FIGUUR 5**

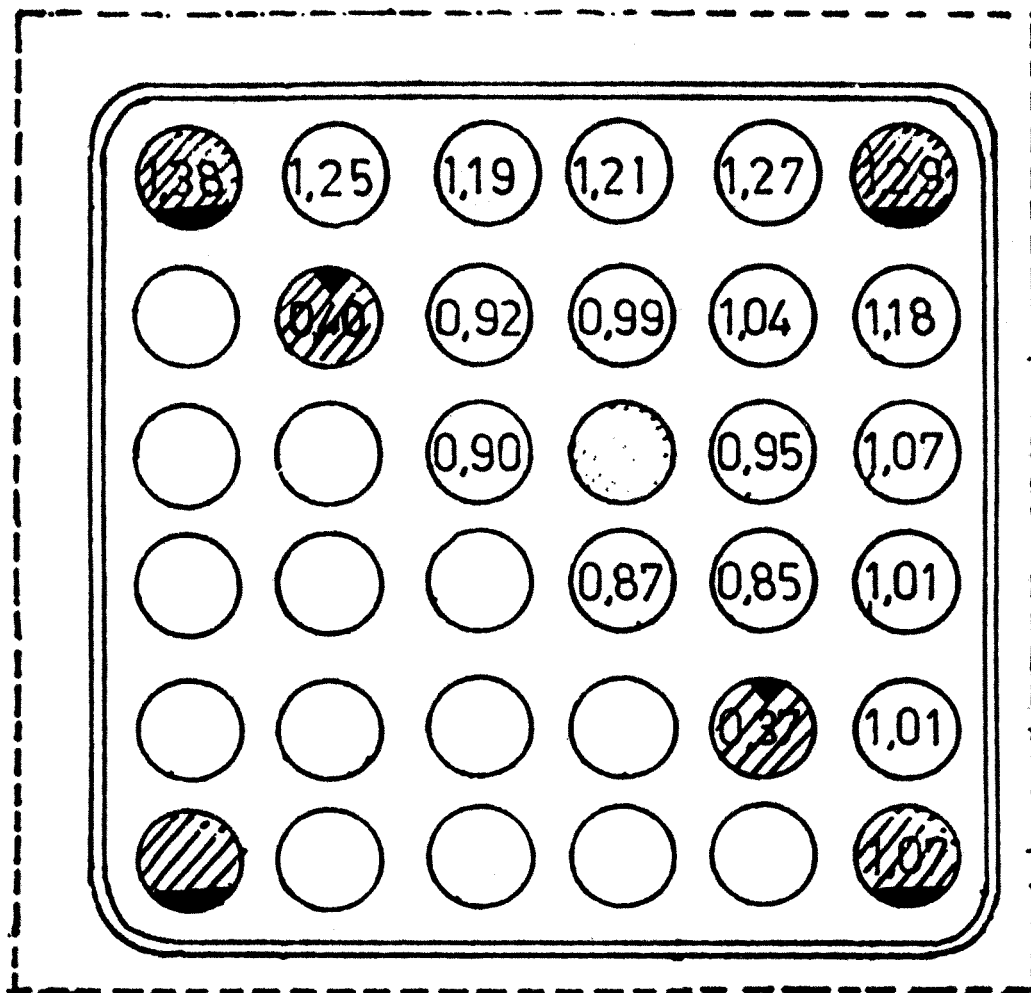
Splijstofelement met 2,5% verrijking met regelstaafvolger



-  2,8% U-235
-  2,8% U-235 + 1%Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>
-  2,5% U-235
-  H<sub>2</sub>O staaf

**FIGUUR 6**

Splijststofelement met 2,8% verrijking, lagere verrijking in de hoekstaafjes en Gd staafjes, met regelstaafvolger



2,8% U-235



2,8% U-235 + 1%Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>



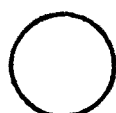
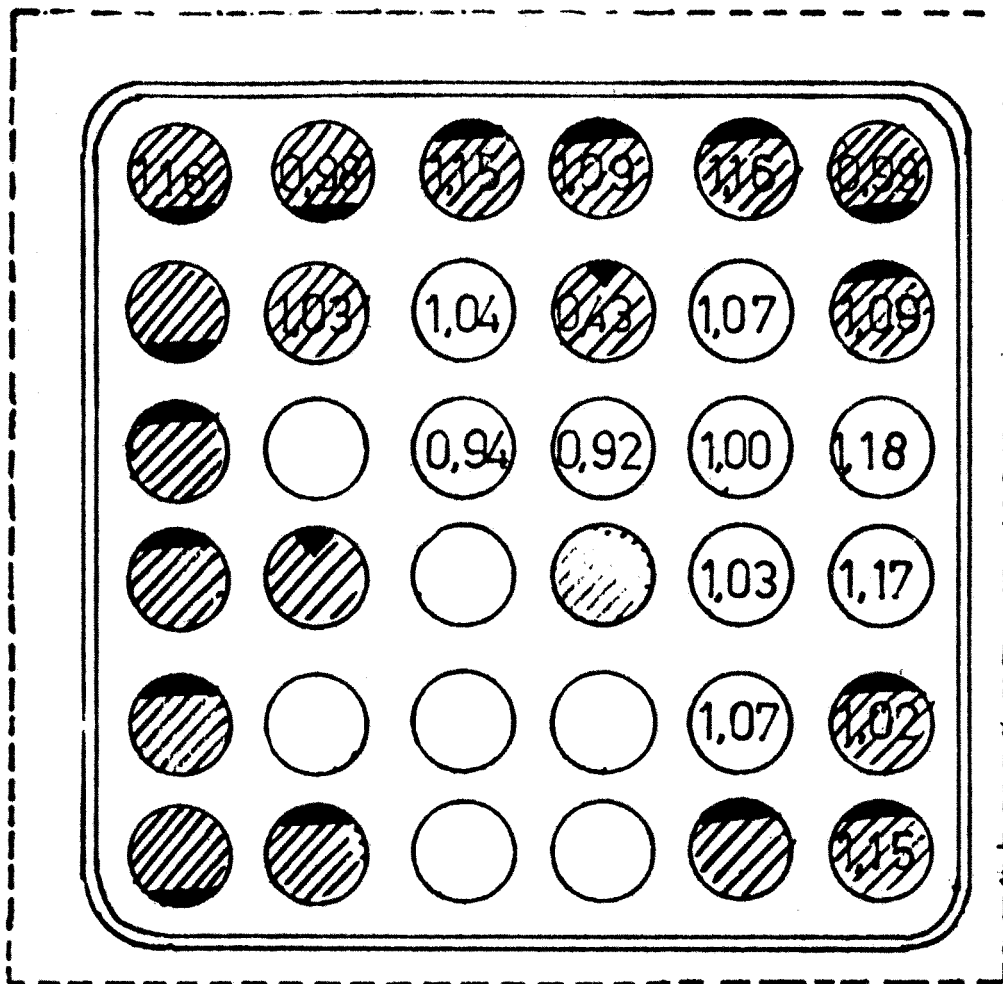
2,5% U-235



H<sub>2</sub>O staaf

**FIGUUR 7**

Het splijtstofelement van fig. 6 90%,  
zonder regelstaafvolger



3,2%U-235



2,6%U-235



1,8 % U-235



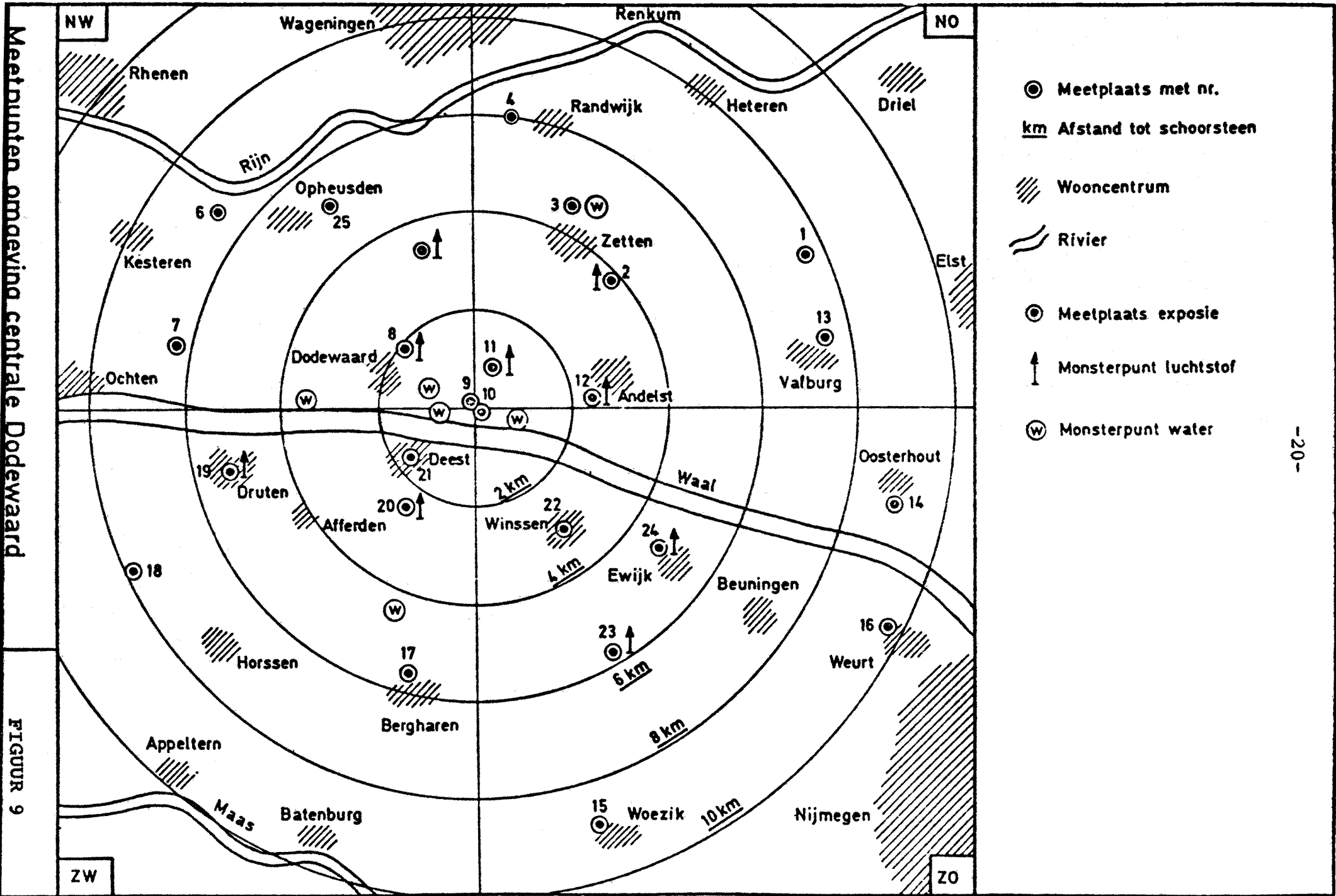
3,2 % + 1% Gd



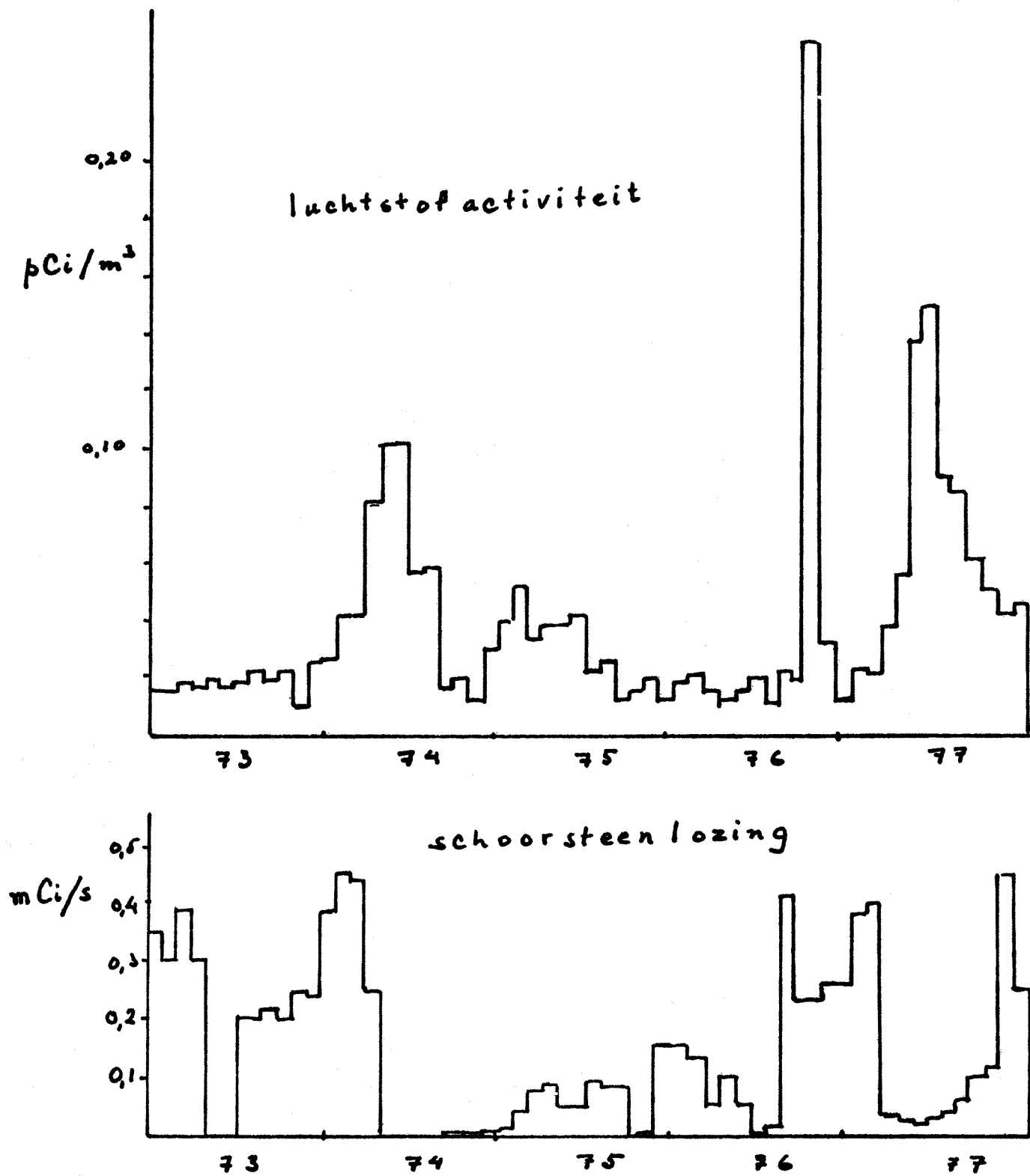
H<sub>2</sub>O staaf

**FIGUUR 8**

Het nieuwe splijtstofontwerp.  
Gemiddelde verrijking 2,8%



FIGUUR 9



**FIGUUR 10**

Luchtstofactiviteit en schoorsteenlozing

## PERIODIEKE INSPECTIES VAN HET PRIMAIRE SYSTEEM

door ir. L.B. Dufour

### 1 Inleiding

In dit kader gaat het erom de betrouwbaarheid van het primaire nucleaire systeem te handhaven, zoals dit bij ontwerp en bouw gerealiseerd werd.

Het ligt hierbij niet in de bedoeling om in detail in te gaan op de wijze en de resultaten van de daarvoor benodigde activiteiten.

Getracht zal worden evenwel een overzicht te geven van de achtergronden en mogelijkheden om het gestelde doel te bereiken. Op enkele voorbeelden zal iets dieper worden ingegaan.

### 2 Inspectie-omvang

Het onderzoek naar de betrouwbaarheid van het primaire systeem middels periodiek onderzoek vindt plaats door de daarvoor het meest in aanmerking komende delen te inspecteren.

De voor periodiek onderzoek meest in aanmerking komende component in het primaire systeem van een kokendwaterreactor is het reactorvat.

De hoofdreden tot onderzoek is duidelijk aangezien het gaat om een apparaat, dat bij eventueel bezwijken gevaar op zou kunnen leveren voor binnen de uitwerkingsfeer aanwezig leven.

Van overheidswege uit kennen we dan ook de eisen van de Dienst voor het Stoomwezen.

De nucleaire ASME-Code verschaft additionele richtlijnen ten behoeve van wijze en omvang van periodieke inspecties. Uitgangspunt is alle relevante tot het moment van inspectie bekende niet-destructieve onderzoekstechnieken toe te passen. De onzekerheden, die een eventueel bezwijken ten gevolge zouden kunnen hebben, zijn voor nucleaire apparaten minimaal gezien de extra aandacht die bij ontwerp en bouw aan dergelijke apparaten wordt geschonken.

Indien aangetoond zou kunnen worden dat bij de start van het reactorbedrijf een 100% zekerheid bestaat dat de apparatuur gedurende de ontwerplevensduur niet zal kunnen bezwijken, dan zullen uit het oogpunt van veiligheid geen periodieke inspecties benodigd zijn.

Bij ontwerp en bouw zijn echter een aantal aannames, onzekerheden zo men wil, ingebouwd. Dit betreft aannames in de op zich verfijnde spanningsberekeningen en in het materiaalgedrag onder diverse condities gedurende langere tijd.



Eén van de middelen om meer zekerheid te verkrijgen, is het uitvoeren van periodieke inspecties gedurende het reactorbedrijf. De gebieden welke hierbij de aandacht vragen worden bepaald door de aanwezigheid van spanningsconcentraties (stompen aan het reactorvat), van niet-homogene materiaalovergangen (lassen in de reactorvatwand en in de primaire leidingen) en van een intensieve ioniserende straling (de reactorvatwand ter hoogte van de reactorkern).

Uiteraard wordt tevens aandacht geschonken aan gebieden, welke naar aanleiding van elders opgedane ervaringen problemen zouden kunnen opleveren.

### 3 Inspectie-technieken

De inspectie-technieken welke zijn toegepast, zijn de conventionele technieken, zoals o.a. ultrasonoor- en röntgenonderzoek. Een aantal onderzoeken zijn en worden onder water uitgevoerd.

Voor penetrant-, replica- en fotografisch onderzoek diende het waterniveau in het reactorvat te worden verlaagd. De meeste onderzoeken worden tijdens brandstofwisselstops vanaf een draaibaar inspectiebordes verricht, welke op de flens van het geopende reactorvat wordt geplaatst.

Alvorens de diverse technieken en bijbehorende manipulaties (op afstand) daadwerkelijk toe te passen wordt terdege geoefend, vaak in 1 : 1 modellen. Behalve dat door een dergelijke belangrijke voorbereiding de onderzoeker ter plaatse niet voor verrassingen komt te staan, wordt hij in staat gesteld snel het onderzoek uit te voeren, waardoor de op te lopen hoeveelheid ioniserende straling gering kan blijven. Het werken met manipulatoren bevordert dit bovendien.

### 4 Voorbeelden

- 4.1 Tijdens begin 1971 is met een replica de toestand van een roestvaststalen overgangsstuk aan een stomp onderzocht naar aanleiding van elders in het buitenland opgetreden scheurvorming. Hoewel scheuren niet geconstateerd werden, bleek dat de materiaalstructuur van dit overgangsstuk en derhalve naar verwachting ook van de overige overgangsstukken, in principe gevoelig zou kunnen zijn voor een bepaald type (spannings)corrosie.

Tijdens persen van het reactorvat trad in begin 1972 lekkage op ter plaatse van één overgangsstuk, zodat hier toch van scheurvorming sprake was.

De conditie van de overige overgangsstukken is vervolgens vanaf de ruimte rondom het reactorvat ultrasonoor onderzocht. Eén overgangsstuk bleek scheurvorming te vertonen.

Na verwijdering van deze overgangsstukken toonde het uitgevoerde metallografisch onderzoek aan dat hier sprake was van een vorm van interkristallijne (spannings)corrosie. Intussen zijn in totaal 6 overgangsstukken op ultrasonore indicaties verwijderd en vervangen door voor (spannings) corrosie beter resistent materiaal.

Niet in alle verwijderde overgangsstukken waren scheuren ontstaan. De gevoeligheid van de ultrasonore onderzoekstechniek (inhomogeniteiten van nauwelijks 1 mm lengte bleken aantoonbaar) was hier debet aan.

Het materiaal van de verwijderde overgangsstukken was bijzonder taai, zodat met nadruk gesteld en mede gezien de ervaring met het lekkende overgangsstuk, de theorie lek-voor-brek blijft opgaan.

Eén overgangsstuk is niet vanaf de ruimte rondom het reactorvat bereikbaar. Derhalve is voor het onderzoek hiervan een onderwatermanipulator gebouwd, die het mogelijk maakt dit overgangsstuk vanaf de binnenzijde van het reactorvat te onderzoeken.

Herhaalde inspecties hebben geen relevante indicaties opgeleverd.

- 4.2 Als tweede voorbeeld moge dienen de elders in het buitenland opgetreden scheurvorming in de afrondingsstraal van de voedingwaterstomp naar de reactorvatwand, mede naar aanleiding van het door de stomp gepompte relatief koude voedingwater.

Omdat het hier direct om de reactorvatwand zelf gaat en reparaties veel moeilijkheden met zich mee zullen brengen is in eerste instantie geanticipeerd op eventuele scheurvorming.

Hiermede wordt bedoeld dat een analyse is gemaakt van het scheurgroegedrag van een op deze plaats veronderstelde scheur. Het gereedschap hiertoe wordt gegeven door de breukmechanica. Richtlijnen voor het uitvoeren van deze breukmechanica worden gegeven in de ASME-Code.

Uit de analyse volgt dat ook hier eventueel eerder lekkage dan breuk van het reactorvat zal optreden.

Teneinde de toestand van de overgang te onderzoeken zijn drie onafhankelijke inspectietechnieken toegepast, t.w. vanaf de buitenzijde van het reactorvat gemechaniseerd ultrasonoor onderzoek, vanuit het reactorvat onder water televisie-onderzoek en kleurendia-opnamen met verlaagd waterniveau. De toelaatbaarheid van de minimale scheurdiepte welke juist nog detecteerbaar was met het ultrasonore systeem is aan de breukmechanica getoetst. Scheurvormige gebreken zijn bij het daadwerkelijke onderzoek niet geconstateerd.

4.3 Tot slot een wensdroom welke alle inspectie-inspanningen, de hiermee gepaard gaande hoge kosten, en de door onderzoekers op te lopen ioniserende straling zouden kunnen beperken.

Gedoeld wordt op het "beluisteren" van mogelijk groeiende scheuren in het in bedrijf zijnde primaire systeem, nadat overal op dit systeem opnemers (piëzo-elektrische kristallen) zijn aangebracht.

Het zou mooi zijn indien een computer aangesloten op de opnemers tijdig zou kunnen aangeven waar en met welke snelheid zich een significant defect ontwikkelt.

Laboratoriumonderzoek en daadwerkelijk onderzoek aan het reactorvat hebben aangetoond dat bij scheurgroei in het taaiere reactorvatmateriaal te weinig "geluid" vrijkomt om dit uit de aanzienlijke hoeveelheid achtergrondgeluid, afkomstig uit het reactorvat, te lichten.

In het voorafgaande is getracht een indruk te geven van de inspectie-technieken, -voorbereidingen en -achtergronden voor periodiek onderzoek van het primaire systeem gedurende 10 jaar bedrijf.

Betrouwbare integrale inspectie-technieken, zoals het momentaan "beluisteren" van eventueel groeiende defecten zijn nog niet ter beschikking.

Intussen gaan we door met het bedenken van voortdurend verschillende methoden om op afstand, vaak onder water en met ruimte-gebrek, en onder ioniserende straling, inspecties te kunnen uitvoeren.

.-.-.-.-.-.-.-.-.-.-.

## SPLIJTSTOFGEDRAG IN DODEWAARD

door E.B.M. Majoor

Evenals voor de centrale in zijn geheel spelen op het gebied van de splijtstofelementen-voorziening twee doeleinden een rol. De splijtstof moet een betrouwbare schakel in het productieproces zijn, terwijl daarnaast ervaring en know-how opgedaan wordt binnen het kader van een vermogensreactor op het gebied van vervaardiging, kwaliteitsbewaking en gedrag in de reactorkern.

De kwaliteitsbewaking geschiedt zowel met het doel een kwalitatief goed en op reproduceerbare wijze vervaardigd produkt te verkrijgen als om de beginsituatie te karakteriseren. Op deze wijze wordt het mogelijk geldige conclusies te trekken uit ervaring verkregen tijdens bedrijf, uit metingen na afloop van de bedrijfsperiode en via verificatie met behulp van berekeningen. De som van deze zaken leiden dan tot conclusies dat specificaties, ontwerp en wijze van bedrijfsvoering aanpassing behoeven of hier en daar nodeloos beperkend zijn.

In tabel I is een overzicht van de in Dodewaard gebruikte splijtstofelementen gegeven. Na 10 jaar bedrijf hebben alle A-elementen en nagenoeg alle B-elementen de reactor doorlopen. Bijna alle C-elementen zijn geladen terwijl de eerste paar dozijn D-elementen dit jaar in de kern zijn geplaatst.

Belangrijke ontwerpverschillen tussen de verschillende typen zijn de overgang van A naar B-elementen van tabletten met vlakke einden naar tabletten met een kleine uitsparing in het centrale deel van de tableteinden de z.g. "schotel". De schotel wordt toegepast om de uitzetting van de tablettenkolom in de hoogte te beperken. De temperatuur is op het hart van de tabletten het hoogst.

De C- en D-elementen op hun beurt hebben tabletten met een geringere hoogte een ontwerp wijziging welke radiale uitzetting op de tableteinden (richels) moet beperken.

Aan de fysische ontwerpkant is een belangrijke wijziging de overgang naar slijtend gif en de toepassing van een z.g. waterstaaf vanaf de C-elementen en de overgang naar meer verrijkingen een hogere gemiddelde verrijkingsgraad van 2,5% naar 2,8% in de C- en D-elementen en de verlaging van de verrijkingsgraad eerst op de hoeken van de C-elementen en op meer verfijnde wijze door toepassing van drie verrijkingsgraden aflopend naar de elementhoeken en de regelstaafzijden voor de D-elementen.

Deze laatste wijziging werd noodzakelijk nadat na de vijfde bedrijfscyclus de regelstaafvolgers verwijderd moesten worden, waardoor de vermogensproductie in de splijtstofelementen aan de regelstaafzijde ongewenst hoog zou kunnen worden. Een overzicht van deze wijzigingen is in tabel II weergegeven.

Een overzicht van de bedrijfservaring met de splijtstofelementen is gegeven in tabel III waar per cyclus het aantal geladen elementen, defecte elementen en de condensorafgasactiviteit als globale maat voor splijtstoflekkage is weergegeven. Het aantal elementen dat op lekkage getest ("gesipt") is na iedere cyclus is voor de volledigheid tevens vermeld. Er zijn in totaal 496 elementen geladen en 332 elementen ontladen. Van deze 332 elementen waren er 16 met één of meer lekke splijtstofstaven. Een daarvan is na vervanging van de defecte staaf weer geladen en bevindt zich tezamen met twee licht defecte elementen, gevonden na cyclus 8, weer in de kern.

Van de in totaal 18 defecte elementen zijn twee elementen ontladen voordat zij hun ontwerp opbrand (= energieproductie) hadden bereikt.

Als kanttekening bij tabel III kan opgemerkt worden dat de faalfrequentie van ca. 2 elementen per cyclus vrij constant lijkt, de hoge waarden na cyclus 4 en 5 kunnen verklaard worden door overloop uit eerdere cycli waar lekdetectie nog niet mogelijk was. De afgasactiviteitscijfers zijn een indicatie dat ook in de eerste drie cycli reeds splijtstofdefecten zijn ontstaan en vermoedelijk ook ontladen zijn.

Na bestralingsonderzoek naast het sippen is uitgevoerd in het splijtstofopslagbassin. Het doel is naast het vaststellen van aard en aantal van de defecten ook het onderzoek aan niet defecte elementen en splijtstofpennen.

De inspectie in het opslagbassin houdt in visuele inspectie, fotografie, wervelstroommetingen voor defect indicatie, lengtemetingen aan splijtstofkolom en splijtstofstaaf en  $\gamma$ -spectrometrie voor opbrand en vermogensverdeling.

Het is vooral de zich vermeerderende hoeveelheid en kwaliteit van deze gegevens tezamen met de uiteraard bekende bedrijfscondities die langzamerhand waardevolle conclusies mogelijk maken.

- Het corrosiegedrag van de zircaloy-2 bekleding in het kokend water milieu is geen probleem.
- Het tussenroostergedrag is goed.
- Het aantal defecte staven in defecte elementen heeft de tendentie te dalen (Na de laatste cycli slechts één staaf per element).
- De faalkans concentreert zich in hoogvermogen staven in hoogvermogen elementen.
- De verlaagde verrijking in de hoekstaven van de C-elementen lijkt effectief. De hoekstaven in de C-elementen blijven heel, terwijl deze in de helft van de onderzochte B-elementen lek was.
- De kwaliteitsbewaking lijkt voldoende. Fabricagefouten en kwaliteitsafwijkingen zouden zich over het algemeen reeds in het begin van de bedrijfstijd moeten vertonen. Er zijn geen defecten geconstateerd in de eerste 400 vollastdagen.

Tenslotte een korte blik in de toekomst.

In de Dodewaard reactor zijn geen splijtstofproblemen door te hoge vochtgehaltenes, tijdens bedrijf verder sinterende tabletten (z.g. splijtstofverdichting) en vibratie van splijtstofstaven en andere kerndelen welke in vele reactoren wel tot problemen hebben geleid. De overblijvende faalfrequentie wordt - ook in Dodewaard - voor een groot deel veroorzaakt door spanningscorrosie geassisteerd falen tijdens grote vermogensverhogingen bij hogere opbrand.

Er lopen enige proefelementen mee met mogelijke remedies als chroom of niobuim toevoeging aan  $UO_2$  welke splijtingsproduktafgifte moeten verkleinen.

Een groot aantal elementen heeft een volledig ontladen bekleding welke iets minder kruipt en mogelijk ook tijdens bestraling iets meer rek toelaat. Dit is een variant die in meer kokendwatereactoren wordt toegepast.

Door deze elementen paarsgewijs met normale elementen te bestralen is het mogelijk een betere waardering te krijgen van voor- en nadelen van het ene bekledingstype ten opzichte van het andere. Dit wordt als een belangrijk aspect gezien daar ons inziens de tendentie bij splijtstofleveranciers bestaat om op grond van statistisch relatief geringe ervaring tot ontwerpwijzigingen te besluiten.

.....

Tabel I Dodewaard Splijtstofelementen

| Omschrijving          | Type nummer | Aantal | Fabriikaat | Verrijking w/o U-235                                 |
|-----------------------|-------------|--------|------------|--|
| Eerste kern elementen | A-serie     | 165    | Philips    | 2.5 36 staafjes                                      |
| Nalevering 1 t/m 3    | B-serie     | 125    | UKAEA/MMN  | 2.5 36 staafjes                                      |
| Nalevering 4 t/m 6    | C-serie     | 158    | BNFL       | 2.5 4 staafjes<br>2.8 31 staafjes                    |
| Nalevering 7 t/m 10   | D-serie     | 198    | BNFL       | 1.8 5 staafjes<br>2.6 12 staafjes<br>3.2 18 staafjes |

Tabel II Voornaamste ontwerpverschillen tussen Dodewaard elementtypes

| Type    | Splijtstofstaven per element | Tablet type             | slijtend gif        |                               |
|---------|------------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------------|
| A-serie | 36                           | vlakke einden 1<13 mm   | geen                |                               |
| B-serie | 36                           | schotel einde 1:15 mm   | geen                |                               |
| C-serie | 35(+1 waterstaaf)            | schotel einde 1:11,5 mm | 2 staafjes<br>1% Gd | hoekstaafjes<br>laag verrijkt |
| D-serie | 35(+1 waterstaaf)            | schotel einde 1:11,5 mm | 2 staafjes<br>1% Gd | drie verrijkingen             |

Tabel III Faalgedrag Dodewaard Elementen

| Cyclus | Vollast-dagen | Aantal elementen geladen | Aantal elementen ontladen | Aantal gesipt | Aantal defect | EOC offgas $\mu\text{Ci}/\text{sec.}$ |
|--------|---------------|--------------------------|---------------------------|---------------|---------------|---------------------------------------|
| 1      | 646           | 156                      | 52                        | 0             | -             | 3100                                  |
| 2      | 263           | 52                       | 42                        | 0             | -             | 3200                                  |
| 3      | 94            | 42                       | 16                        | 0             | -             | 5200                                  |
| 4      | 270           | 16                       | 40                        | 8             | 3             | 4500                                  |
| 5      | 294           | 46                       | 47                        | 84            | 8             | 4100                                  |
| 6      | 393           | 49                       | 59                        | 103           | 2             | 2500                                  |
| 7      | 453           | 59                       | 33                        | 86            | 2             | 4000                                  |
| 8      | 292           | 33                       | 50                        | 164           | 3             | 1800                                  |
| 9      | (226)*        | 50                       | -                         | -             |               | 500*                                  |

\*gegevens 26 oktober 1978



## BEHANDELING VAN RADIOACTIEF AFVAL

door ing. F. Geevers

Dit hoofdstuk is in twee delen gesplitst t.w.:

- 1 Afvalverwerking gedurende de afgelopen 10 jaar
- 2 Afvalverwerking vanaf heden

### 1 Afvalverwerking gedurende de afgelopen 10 jaar

Toen in 1968 de centrale in bedrijf werd genomen was de montage van de afvalverwerkingsinstallatie nog in volle gang. Enerzijds werd dit veroorzaakt doordat het zwaartepunt van de werkzaamheden op de inbedrijfstelling van de centrale lag, anderzijds werd de afvalverwerking doelbewust naar achter geschoven om zoveel mogelijk tijd ter beschikking te krijgen om praktijkervaring van elders in de installatie toe te passen.

Immers de ervaring met het verwerken van radioactief afval van kernenergiecentrales was toendertijd summier.

Toen in 1969 de afvalverwerkingsinstallatie dan ook gerealiseerd werd bestond deze uit zes opslagtanks, waarin het vloeibare afval uit de centrale verzameld werd. Vanuit deze tanks werd het afval via een mengtank over een precoat platenfilter gevoerd, waar de vaste stoffen van het water werden afgescheiden.

Na verzadiging van het filter werden de vaste stoffen van het filter verwijderd en via een vultrechter direct in het afvalvat gevoerd. Vervolgens werd cement en water toegevoegd en in het afvalvat gemengd.

De afvalvaten bestonden uit voorgestorte 200 l vaten, waarin een 90 l vat geplaatst was.

In 1972 werden volgens dit procédé ca. 750 stuks vaten geproduceerd en afgevoerd.

Na evaluatie van deze campagne kwamen de volgende tekortkomingen naar voren:

- de buitenvaten konden tijdens het vulproces gemakkelijk gecontamineerd worden
- een grote hoeveelheid afvalwater moest via de indampdamper extra behandeld worden
- niet optimale menging van afval met cement
- hoge stralingsdosis voor het personeel
- variaties in de oppervlaktestraling van de vaten
- het proces was niet beheersbaar.

Besloten werd om aan de hand van deze ervaring de volgende modificaties uit te voeren:

- het afval niet meer in het afvalvat te mengen, maar in de reeds aanwezige cementmenger, zodat een goede menging wordt verkregen
- het afval niet meer in een filter te concentreren, maar rechtstreeks in de cementmengter te voeren, zodat het concentraat van de indamper zowel dienst kan doen als transportwater, alswel als proceswater voor het binden met cement.

In 1975 werden na het uitvoeren van bovengenoemde modificaties ca. 500 stuks vaten geproduceerd en afgevoerd. De volgende bezwaren bleven echter bestaan:

- hoge stralingsdosis voor het personeel
- het grote aantal vaten t.o.v. de verpakte hoeveelheid radioactiviteit
- het proces was nog niet goed beheersbaar.

Na evaluatie van deze campagne werd begin 1976 besloten om de gehele afvalverwerking te wijzigen en te moderniseren op basis van de volgende uitgangspunten:

- minimale stralingsbelasting voor het personeel
- het creëren van voldoende opslagruimte om het afval selectief op te slaan, waardoor geprofiteerd kan worden van het natuurlijke verval
- het proces moet duidelijk beheersbaar zijn
- een verwerkingsinstallatie voor het vervaardigen van een voor definitieve opslag geschikte verpakking.

In januari 1976 werd door de KEMA gestart met de engineering van deze wijziging. Medio juli 1976 werden de vergunningen bij de betrokken instanties aangevraagd.

Parallel met de engineering werd gezocht naar een andere verpakking van het afval dan tot dusver in Dodewaard werd toegepast, hetgeen resulteerde in betonnen containers van 1000 l. Hierdoor kon het aantal te prepareren verpakkingen met een factor 10 gereduceerd worden. Tevens werd de vloeibare afvalverwerking van Na-J detectors voorzien, zodat nauwkeurig een van te voren bepaalde specifieke activiteit verkregen kon worden door menging van harsen, pre-coat en concentraat.

Hierdoor konden de 1000 l containers optimaal gevuld worden. In 1976 werden 600 betonnen containers van 1000 l geproduceerd en afgevoerd.

De ervaring hiermee opgedaan is verwerkt in de nieuwe installatie en wordt in het tweede gedeelte van dit hoofdstuk beschreven.

De volgende data geven in hoofdlijnen de realisatie van het nieuwe afvalgebouw weer:

|                |      |   |  |
|----------------|------|---|--|
| 1 april        | 1977 | : | heien van de eerste paal                                       |
| 15 oktober     | 1977 | : | inbrengen van de opslagtanks                                   |
| 10 maart       | 1978 | : | oplevering van het civiel-technische gedeelte                  |
| 10 maart       | 1978 | : | aanvang van de elektrische en werktuigbouwkundige installaties |
| 10 oktober     | 1978 | : | start van de inbedrijfstelling                                 |
| ca.15 december | 1978 | : | overname door GKN.   |

## 2 Afvalverwerking vanaf heden

### 2.1 Opslag van vloeibaar afval

Het vloeibaar afval uit de centrale kan langdurig in opslagtanks worden opgeslagen. Het gaat hier voornamelijk om precoat en harsen.

Het voordeel van een ruime opslag is de onafhankelijkheid van het centrale bedrijf van de afvoer van het afval door derden, terwijl bovendien door selectieve opslag gebruik te maken is van het radioactief verval waardoor het aantal afvalvaten aanmerkelijk gereduceerd kan worden.

Enkele kenmerkende punten van de opslagtanks (zie doorsneden van bijlage II) zijn:

- opslag voor lange tijd (10 tot 15 jaar) is mogelijk, zonder manipulaties en onderhoud, zoals bijvoorbeeld rondpompen van de inhoud mede doordat geen onderhouds-behoefte onderdelen bij de tanks gemonteerd zijn en geen enkele pijp aansluiting zich onder het vloeistof-niveau bevindt
- de tanks kunnen tot 80% van het bruto-volume met vaste stof gevuld worden. De methode om de afvalstoffen uit de tanks te verwijderen is afhankelijk van het soort afval.

### 2.2 Afvalverwerkingsinstallatie

#### Algemeen

Op het schema van bijlage I is de afvalbehandelingsroute van de kernenergiecentrale Dodewaard weergegeven, deze zou ook voor elke andere kernenergiecentrale kunnen gelden. Het afval uit de centrale is gesplitst in vloeibaar en niet-vloeibaar afval.

Het vloeibare afval kan na opslag in tanks verwerkt en geconditioneerd worden met cement.

Afhankelijk van de toegestane oppervlaktestraling op de eindverpakking wordt de benodigde specifieke activiteit samengesteld uit de beschikbare vloeibare afvalstoffen.

Deze zijn voor Dodewaard:

|   |                              |                          |
|---|------------------------------|--------------------------|
| a | indamperconcentraat gem.act. | ~1 Ci/m <sup>3</sup>     |
| b | precoat                      | ~5 Ci/m <sup>3</sup>     |
| c | harsen                       | ~25-50 Ci/m <sup>3</sup> |

Het te verwerken mengsel wordt in een dagvoorraadtank aangemaakt en door continue menging homogeen gehouden.

Door gebruik te maken van een Ge-Li detector kan de activiteit van een groot aantal nucliden gelijktijdig gemeten worden. Vanuit deze tanks wordt een hoeveelheid, voldoende voor één verpakkingseenheid naar de cementmenger gedoseerd, alwaar het met cement vermengd wordt.

Vervolgens wordt dit mengsel in een 90 l of 200 l afvalvat (binnenvat) gedumpt waarin het na 24 uur uitgehard is.

Door middel van een controlemeting met een Na-J detector wordt de juiste dosering per vat gecontroleerd.

Na het uitharden wordt het binnenvat in een buitenvat geplaatst, aangestort, deksel geplaatst, buitenwapening aangebracht, volgestort, verdicht, geregistreerd (stralings- en gewichtsmeting) en tenslotte naar de opslagruimte getransporteerd, vanwaar na uitharding afvoer naar elders plaats kan vinden.

Alle bovengenoemde handelingen worden van achter een afschermmuur bestuurd en gevolgd.

Behalve vloeibaar afval kan ook niet-vloeibaar afval geconditioneerd worden, waarbij onderscheid gemaakt kan worden tussen brandbaar en niet brandbaar afval.

Het brandbare afval kan dan naar een verbrandingsoven afgevoerd worden.

#### Uitvoering (zie lay-out op bijlage II)

Het transport van vaten gebeurt door aangedreven rollenbanen. Op baan nr. 1 worden de lege binnenvaten met de hand opgezet. Na het vullen vindt transport en uitharden op baan 4 plaats.

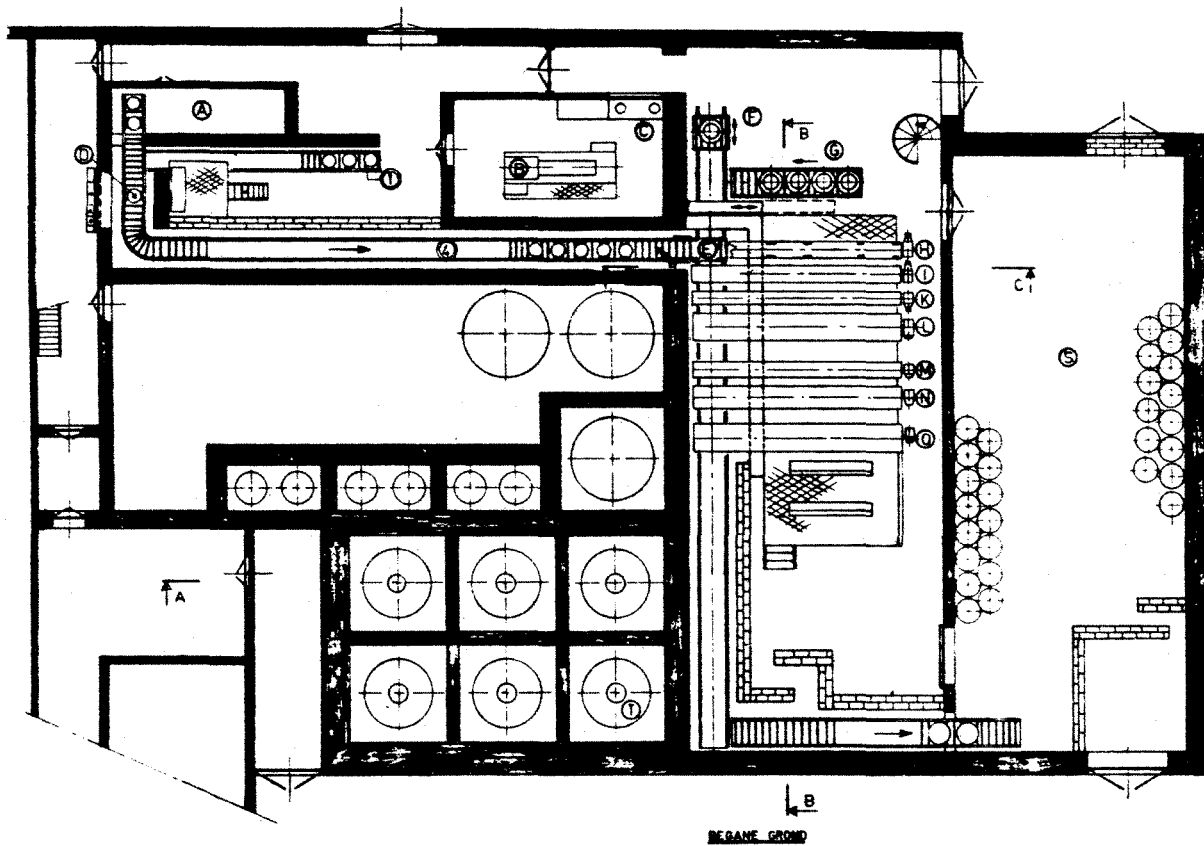
Om te voorkomen dat de buitenvaten gecontamineerd worden is er een strikte scheiding aangehouden tussen mogelijk besmet gebied en niet-besmet gebied.

Om deze barrière ook bij de toevoer van binnenvaten te garanderen is een opklapbare rollenbaan geïnstalleerd, die alleen uitgeklapt wordt, wanneer een binnenvat doorgelaten moet worden. Boven dit aanslagpunt wordt het binnenvat met behulp van een grijper gehesen, waarna de opklapbare rollenbaan weer ingeklapt wordt.

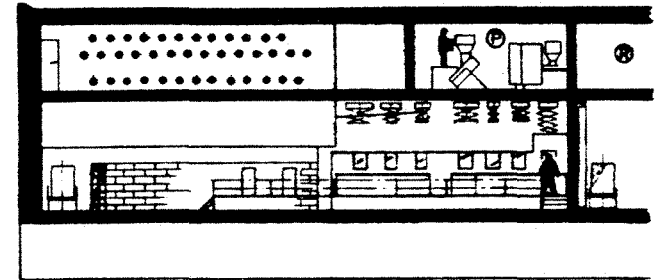
Het zich in gehesen positie bevindende binnenvat wordt pas weer gelost, nadat er zich een buitenvat onder bevindt.

Ten behoeve van de nodige flexibiliteit is voor het transport langs de verschillende behandlungsstations voor een traverseerwagen gekozen, welke behalve kan rijden ook voorzien is van een zich op een draaiplateau bevindende aangedreven rollenbaan.

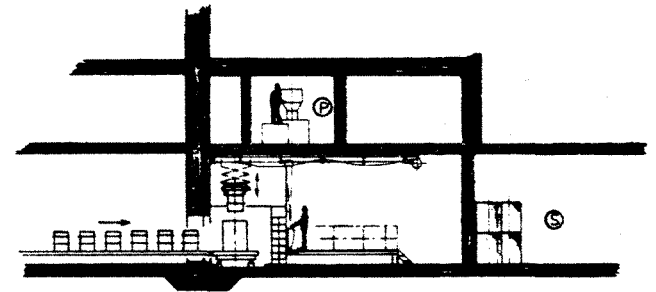




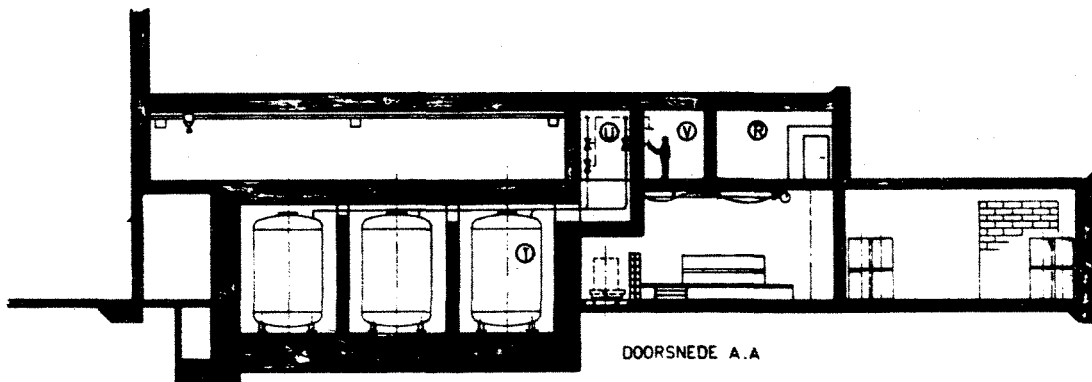
BEGANE GROND



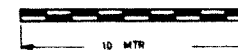
DOORSNEDE B.B



DOORSNEDE C.C



DOORSNEDE A.A



10 MTR

- A — TIJDELIJKE OPSLAG
- B — SCHROOTPERS
- C — SELECTEERTAFEL
- D — VULSTATION
- E — OPKLAPBAAR ROLLENBAAN
- F — TRAVERGEERWAGEN
- G — AANVOER VAN TRANSPORTVATEN
- H — WAT-INBRENGSTATION
- I — BROUW VULSTATION
- K — DEKSEL PLAATS- EN SLUITSTATION
- L — WAPENING INBRENGSTATION
- M — BETON VULSTATION
- N — BETON TRILSTATION
- O — REGISTRATIESTATION
- P — BETON- GROUTAANMAAKSTATION
- R — OPSLAG VAN LEBE VATEN
- S — OPSLAG TRANSPORTVATEN
- T — TANKRUIMTE
- U — AFSLUITERRUIMTE
- V — BEDENINGSRUIMTE

AFVALVERWERKINGS-INSTALLATIE

ICMMA - ARNHEM

BIJLAGE II

AFVAL UIT DE CENTRALE

VLOEIBAAR

VAST

TIJDELIJKE  
OPSLAG

LANGDURIGE  
OPSLAG

TIJDELIJKE  
OPSLAG

SELECTIE

DAG-OPSLAGTANK

NIET-BRANDBAAR

BRANDBAAR

CEMENT  
OPSLAG

CEMENT  
MENGER

IN 90 L OF  
200 L VAT

90 L VAT  
SCHROOTPERS

VERPAKKEN  
IN 200 L  
TRANSPORTVAT

ROLLENBAAN

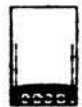
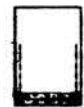
STRALINGS  
CONTROLE

MOGELIJK BESMET  
GEBIED

NIET-BESMET  
GEBIED

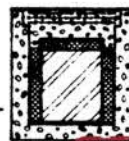
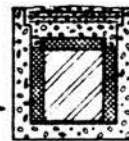
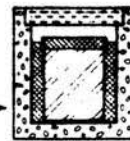
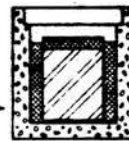
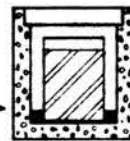
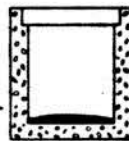
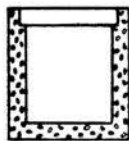
OPSLAG

OPSLAG



200 L VAT

AANVOER VAN TRANSPORTVATEN



1000 L VAT

AANBRENGEN VAN  
LAAGJE GROUT

PLAATSEN VAN  
BINNENVAT IN  
TRANSPORTVAT

AANBRENGEN VAN  
GROUT

AANBRENGEN VAN  
DEKSEL OP  
BINNENVAT

AANBRENGEN VAN  
WAPENING

STORTEN VAN  
BETON

BETON TRILLEN

REGISTRATIE VAN  
GEWICHT EN  
STRALINGSNIVEAU

Collectie Stichting Laka

www.laka.org  
AFVAL VERWERKINGS-INSTALLATIE  
Gedrenthuissestraat 2020  
KEMPA - ARNHEM BIJLAGE I