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 | info@laka.org | Ketelhuisplein 43, 1054 RD Amsterdam | 020-6168294

SPH-03-08

RAPPORTEN
HERBEZINNING
KERNENERGIE

Actieplan 'Veiligheid van Kerncentrales'
Veiligheidsstudies Borssele en Dodewaard

De gevoeligheid voor reactiviteitsongevallen

STUURGROEP PROJECT
HERBEZINNING

Collectie Stichting Laka
www.laka.org
Gedigitaliseerd 2022

SPH-03-08

RAPPORTEN
HERBEZINNING
KERNENERGIE

Actieplan 'Veiligheid van Kerncentrales'
Veiligheidsstudies Borssele en Dodewaard

De gevoeligheid voor reactiviteitsongevallen

DIRECTORAAT-GENERAAL
VAN DE ARBEID
Kernfysische Dienst

STUURGROEP PROJECT
HERBEZINNING

Documentbeschrijving

Rapport nr. SPH-03-08	ISBN nummer 90 34 61525 1
Titel rapport De gevoeligheid voor reactiviteitsongevallen van het actieplan 'Veiligheid van Kerncentrales'	Distributienummer Datum publicatie Maart 1988
Schrijver(s)/redacteur(s) ir. P. de Munk Uitvoerend instituut Kernfysische Dienst SZW en Energie Onderzoek Centrum Nederland	Rapport type en periode Hoofdrapport 1987-1988 Titel onderzoekproject Studies Project Herbezinning Kernenergie
Opdrachtgever(s)	

Samenvatting

Hoewel de reactorfysische kenmerken van de RBMK-reactor zeer aanzienlijk verschillen van die zelfde kenmerken in de centrale te Borssele en Dodewaard is voor deze centrales de veiligheid met betrekking tot reactiviteitsongevallen onderzocht.
Het onderzoek maakt deel uit van het project "Herbezinning Kernenergie" dat door de Nederlandse regering na het ongeval te Tsjernobyl werd gestart.
Het rapport concludeert dat het vanwege de inherente fysische eigenschappen praktisch uitgesloten is dat processtoringen leiden tot ernstige reactiviteitsongevallen. Daarnaast wordt vastgesteld dat voor de ontwerpbasis-ongevallen, waarbij een regelstaaf zeer snel de reactorkern verlaat, de gevolgen beperkt zijn omdat het reactorkoelsysteem niet zal falen.

Begeleidingscommissie	Bijbehorende rapporten SPH 01-00 Zie lijst achterin	
	Aantal blz. 24	Prijs ƒ 3,60

Rapporten uit de reeks Project Herbezinning Kernenergie zijn verkrijgbaar door vooruitbetaling op postgirorekening 751, t.n.v. het D.O.P. (Distributiecentrum voor Overheidspublicaties), postbus 20014, 2500 EA 's-Gravenhage, onder vermelding van het ISBN nummer en het gewenste aantal exemplaren.

* prijswijziging voorbehouden

INHOUD

		Blz.
	Samenvatting	5
	Summary	6
1.	Inleiding	7
2.	Veiligheidscriteria en ontwerpgrondslagen	8
3.	Reactiviteitsongevallen KCB	9
	3.1 Beschouwing van het staafuitworpongeval	10
	3.2 De koelmiddeltemperatuur-/koelmiddeldampbelcoëfficiënt	10
	3.3 Het regelstaafontwerp	11
	3.4 Overig onderzoek	11
4.	Reactiviteitsongevallen GKN	13
	4.1 Uit de kern vallende regelstaaf	13
	4.2 De regelstaafwaardebegrenzer	15
	4.3 Subkritikaliteitstesten	15
	4.4 Vergelijking met Tsjernobyl	15
5.	Betrouwbaarheid van het afschakelsysteem	17
6.	Complexe storingen	18
7.	Slotopmerkingen en Conclusies	19
8.	Referenties	20

SAMENVATTING

Dit studierapport maakt deel uit van het project "Herbezinning Kernenergie" dat door de Regering werd gestart na het reactorongeval te Tsjernobyl. In dat project werden voor wat betreft de veiligheid van kerncentrales onder andere de hoofdelementen uit het ongeval onderzocht voor de Nederlandse centrales te Dodewaard en Borssele voor zover overdraagbaar.

Het ongeval in de Russische RBMK-reactor in Tsjernobyl is terug te voeren op een nucleaire vermogensexcursie, een ongeval waarbij het reactorvermogen in zeer korte tijd tot vele malen het nominale vermogen stijgt. Hoewel de reactorfysische kenmerken van de RBMK-reactor zeer aanzienlijk verschillen van diezelfde kenmerken in de Nederlandse kerncentrales is toch voor deze centrales de veiligheid inzake reactiviteitsongevallen onderzocht. De studie werd gecoördineerd en ook gedeeltelijk uitgevoerd door de Kernfysische Dienst. Het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) verleende belangrijke ondersteuning bij de uitvoering van enige geavanceerde berekeningen. Het onderzoek heeft zich voornamelijk gericht op het mogelijke optreden van grote en snelle reactiviteitsverstoringen daar deze tot splijtstofbelastingen kunnen leiden welke in hun gevolgwerking tevens de integriteit (dichtheid) van het reactorkoelsysteem zouden kunnen bedreigen. Op die wijze zou een parallel kunnen bestaan met het ongeval te Tsjernobyl.
De voornaamste conclusies zijn de volgende:

1. Door de inherente fysische eigenschappen van reactorkern en koelsysteem is het praktisch uitgesloten te achten dat processtoringen kunnen leiden tot de hiervoor genoemde ernstige reactiviteitsstoringen.
2. Als overkoepeling van geringere reactiviteitsverstoringen zijn zeer onwaarschijnlijk te achten zogenoemde ontwerpbasisongevallen gekozen welke gekenmerkt worden door het zeer snel uit de kern verdwijnen van een regelstaaf. Bij deze ontwerpbasisongevallen waarbij de splijtstofbekleding wèl kan falen, is de integriteit van het reactorkoelsysteem op grond van het meestal toegepaste acceptatiecriterium gewaarborgd.
3. Voor de centrale te Dodewaard kan niet gesproken worden van reserve ten opzichte van het acceptatiecriterium. Gezien de laatste ontwikkelingen omtrent dit criterium is deze reserve wel aan te bevelen. Er zijn ook mogelijkheden om die reserve te bereiken.
4. Internationaal is in wisselende mate aandacht ontstaan voor zeer extreme ongevalscombinaties teneinde ook voor die gevallen de responsie van het reactorsysteem te onderzoeken. Het is aan te bevelen deze internationale ontwikkelingen te volgen en bijdragen daarin te leveren via nationaal onderzoek.

SUMMARY

Although from a reactorphysics point of view the RBMK-reactor differs remarkebly from the nuclear power plant in Borssele and Dodewaard, the safety with regard to reactivity transients was investigated for these plants.
The study contributes to the overall project "Future Nuclear Power" that was initiated by the Government of the Netherlands after the accident in Tsjernobyl.
The report states that due to the inherent physical characteristics severe reactivity transients as a consequence of operational occurences can practically be excluded.
The consequences of design basis accidents characterized by rapid withdrawal from the reactor core of a control rod, are limited because the reactor coolant system boundary will remain intact.

1. INLEIDING

Als deel van het Project Herbezinning Kernenergie, dat de mogelijkheid en de wenselijkheid van verdere toepassing van kernenergie voor de elektriciteitsopwekking onderzoekt, werd een actieplan "Veiligheid van Kerncentrales" opgesteld (Tweede Kamer, vergaderjaar 1986-1987, 18830, nr. 79). In dit actieplan werd voor de bestaande centrales te Borssele en Dodewaard een viertal veiligheidsstudies aangekondigd. Deze studie behandelt de storingsgevoeligheid van de beide kernenergiecentrales, meer in het bijzonder de gevoeligheid voor reactiviteitsongevallen daar het ongeval met de Russische RBMK als zodanig in te delen is.
Het ongeval in de Russische RBMK-reactor te Tsjernobyl is terug te voeren op een nucleaire vermogensexcursie. De reactor werd op zodanige manier bedreven dat, mede door de reactorfysische eigenschappen en andere ontwerpkenmerken, het vermogen in zeer korte tijd steeg tot het 470-voudige van het nominale vermogen.
Bij dergelijke grote vermogens treedt plaatselijk smelten en verdampen van splijtstof op. De gesmolten splijtstof kan door thermische expansie en splijtingsgasdruk in het koelmiddel (water) geïnjecteerd worden waardoor de splijtstof fijn verdeeld raakt (fragmentatie) en zeer snelle warmteoverdracht naar het koelmiddel water plaatsvindt. De snelle warmteoverdracht leidt tot een stoomexplosie die de insluiting van het koelmiddel doet falen. Vervolgens wordt het containment belast.
De instabiele conditie waarin de RBMK-reactor verkeerde vóór de vermogensexcursie had de volgende kenmerken:

- een grote positieve dampbelreactiviteitscoëfficiënt
- een langzaam reactorafschakelsysteem
- een zeer sterke gevoeligheid van het dampgehalte in de reactorkern voor veranderingen in druk en koelmiddeldebiet
- een reactorafschakelsysteem en regelstaafpatroon zodanig dat bij inbewegen van regelstaven eerst de reactiviteit toeneemt en daarna pas afneemt.

In deze studie wordt onderzocht in hoeverre grote en snelle reactiviteitsstoringen in de kerncentrales te Borssele (KCB) en Dodewaard (GKN) kunnen optreden.
De interesse gaat uit naar dusdanig grote verstoringen dat situaties benaderd worden die niet meer beheerst kunnen worden door het reactorafschakelsysteem, maar in hoofdzaak worden bepaald door de inherente reactorfysische eigenschappen van de kern zelf.
Voor die situaties is het zinvol de vermogens/transiënt te analyseren om te zien hoe groot de energiedepositie in de splijtstof is in relatie tot eerder genoemde splijtstoffragmentatie en snelle warmteoverdracht. De studie heeft voor een belangrijk deel het karakter van verificatie. Immers in het kader van de vergunningverlening is ook beoordeeld of voldoende veiligheid bestond ten aanzien van reactiviteitsstoringen en ongevallen. De benadering die in de OECD-landen wordt gevolgd, is dat reactiviteitsgeïnduceerde ongevallen die zouden kunnen leiden tot falen van de insluiting van het koelmiddel door ontwerpmaatregelen voorkomen dienen te worden. Diverse ontwerpvoorschriften en beoordelingscriteria zijn hierop toegesneden. Buiten het reactorkoelsysteem is het dus niet nodig ontwerpvoorzieningen te treffen ter beheersing van reactiviteitsongevallen. De veiligheidsomhulling, welke het reactorkoelsysteem geheel omsluit, is daarom geheel te zien als een extra beveiliging.

2. VEILIGHEIDSCRITERIA EN ONTWERPGRONDSLAGEN

Een Amerikaans veiligheidscriterium eist dat tijdens vermogensbedrijf de promptwerkende inherente nucleaire eigenschappen zodanig zijn dat zij er voor zorgen dat snelle reactiviteitsvariaties worden gecompenseerd.
Ook in het Duitse regelwerk bestaat een ongeveer gelijkluidend criterium. Daarin is wel de beperking 'tijdens vermogensbedrijf' van het Amerikaanse criterium weggebleven, hetgeen als een verbetering moet worden beschouwd. Voor toepassing in Nederland zijn de veiligheidsregels van het IAEA van belang.
De richtlijn SG-D14 stelt de volgende basiseisen voor het neutronenfysisch en thermohydraulisch ontwerp:
'The combination of inherent reactor neutronic characteristics, thermohydraulic characteristics and the control system capability shall be sufficient to provide adequate regulation of the reactor power for all operational states and accident conditions'.
Ten aanzien van ongevallen met grote reactiviteitsverstoringen stelt SG-D14:
'The arrangement, grouping, speed of withdrawal and withdrawal sequence of the reactivity devices, used together with an interlock system, shall be designed to ensure that any credible abnormal withdrawal of the devices does not cause the specified fuel conditions to be exceeded. The maximum reactivity worth of the reactivity control devices shall be limited, or interlock systems shall be provided, so that for an accident condition such as 'control rod ejection' in PWRs or 'control rod drop' in BWRs the resultant power transient does not exceed specified limits.
'These limits shall be chosen so as to ensure acceptably low levels of damage to fuel and cladding which could produce release of radioactive material into the coolant circuit.
An explosive molten fuel-coolant-interaction shall be avoided. For this reason the radially averaged peak fuel enthalpy at any axial location in any fuel rod shall be limited to 230 cal/g*.

The maximum reactivity worth of the control devices shall be evaluated for each refuelled core'.
For soluble absorber, the control system shall be designed so that any depletion of absorber concentration in the core does not cause the specified fuel conditions to be exceeded. All portions of systems that contain boric acid shall be designed to prevent precipitations, e.g. by heating of the components containing the boric acid solution (see IAEA Safety Series No.50-SG-D13, Section 4.5).

De hiervoor genoemde getalwaarde van 230 cal/g is een stringentere limietwaarde dan die welke formeel nog geldig is in de USA. Daar wordt nog 280 cal/g gehanteerd. In de praktijk blijken echter de Amerikaanse reactoren de waarden van 280 cal/g ruim te onderschrijden zodat ook de waarde 230 cal/g geen probleem zou betekenen.

* De oude eenheid cal/g is nog gebruikt omdat in de oorspronkelijke literatuur en betreffende NRC-eisen deze eenheid gebruikt wordt.

3. REACTIVITEITSONGEVALLEN KCB

De reactiviteitsregeling wordt uitgevoerd door middel van regelstaven en in de moderator opgelost borium. Thermohydraulische storingen met terugwerking op de kern kunnen dus twee reactiviteitsvariaties teweeg brengen:
één tengevolge van dichtheidsverandering van de moderator en een andere ten gevolge van dichtheidsverandering van het borium. Het teken van beide veranderingen is tegengesteld. De regelstaven zijn vooral bestemd om snelle reactiviteitsverandering te kompenseren dan wel teweeg te brengen (afschakeling). Een gedeelte van het totaal aantal regelstaven, de Dopplerbank (D-Bank), kompenseert het reactiviteitseffekt verbonden met de splijtstoftemperatuur. Bij ca. 50% deellast is één Dopplerbank in de kern gestoken.
Bij vol vermogen echter wordt de situatie gekenmerkt door het vrijwel geheel uitbewogen zijn van alle regelstaven. Voor het kompenseren van langzame reactiviteitseffekten, bijvoorbeeld tijdens opstarten en ook ten gevolge van versplijting van het U-235, wordt het borium gebruikt. Bij de aanvang van een bedrijfscyclus is dus de concentratie hoog, bij het einde van de cyclus in principe gelijk nul.

Gegeven de voornoemde reactiviteitsregelende elementen dient in de ongevalsanalyse aandacht geschonken te worden aan de volgende storingen:
a. met de regelstaven
b. storingen in het primaire of secundaire koelsysteem die de thermohydraulische condities in de reactorkern beïnvloeden
c. storingen in de borering van het koelmiddel.

ad a.
In deze categorie vallen de volgende storingen:
1. Abusievelijk uitbewegen van de sterkste regelstaaf (staven) in verschillende omstandigheden zoals koud en heet onderkritisch, koud en heet kritisch, vollast en deellast vermogenstoestand, begin en eind van de bedrijfscyclus.
2. Uitworp van een regelstaaf uit de kern onder ongunstige bedrijfscondities (vgl. a.1).
   De uitworp van een regelstaaf is slechts denkbaar als gevolg van breuk van de doorvoering op het reactorvatdeksel, waardoorheen de regelstaaf wordt aangedreven. Door de hoge primaire druk wordt de regelstaaf met grote snelheid uit de kern gedreven waardoor een vrijwel stapvormige reactiviteitstoename plaatsvindt.

ad b.
Door de negatieve temperatuurscoëfficiënt en positieve dichtheidscoëfficiënt van het koelmiddel betekent een plotselinge afkoeling of drukverhoging een stijging van de reactiviteit. De vermogenstoename wordt echter onmiddellijk tegengewerkt door het negatieve reactiviteitseffect van de stijgende splijtstoftemperatuur (Doppler effect).
De volgende storingen zijn hieronder te beschouwen:
1. Na deellastbedrijf met één koelkringloop starten van de pomp in de andere kringloop.
2. Toevoeren aan het reactorkoelsysteem van koud water uit het volumeregelsysteem. Ook uit andere systemen kan wel koud water gesuppleerd worden. Daar gaat het echter om hoog-geboreerd water dat het temperatuureffekt ruimschoots kompenseert.
3. Koudwatertransiënt ten gevolge van een storing aan secundaire zijde.
   Door grote breuken aan secundaire zijde kan het primaire circuit sterk afkoelen, zodanig dat ondanks funktionerende reactorafschakeling daarna toch weer kritikaliteit bereikt kan worden. Het reactiviteitseffect is het grootst aan het eind van de bedrijfscyclus, bij ongeboreerd koelmiddel.
   Voor deze condities wordt steeds geëist, d.w.z. bij iedere kernherlading, dat het snelafschakelsysteem steeds voldoende negatieve reactiviteit bezit om tijdens de transiënt de reactor onderkritisch te kunnen houden. Bij het ontwerp van het oorspronkelijk niet aanwezige reserve suppletiesysteem zijn ongevalssituaties met nog grotere afkoeling onderzocht. Hierbij kon de reactor weer kritisch worden. Er is daarbij in analyses aangetoond dat de vermogenstransiënt beperkt is en dat splijtstofschade niet optreedt.

4. Falende drukregeling.
   Een komplexe storing in de drukregeling zou in principe een aanzienlijke drukstijging teweeg kunnen brengen. Door de geringe kompressibiliteit van het onverzadigde water is het reactiviteitseffect beperkt.

ad c.
Storingen in de borering van het koelmiddel kunnen zijn:
1. Plotseling loslaten van op splijtstofstaven afgezette boriumhoudende corrosieprodukten. Door een juiste chemie van het koelmiddel kunnen deze afzettingen verwaarloosbaar worden gehouden, hetgeen ook bevestigd wordt door de bedrijfservaring.
2. Vermindering van het boriumgehalte door suppletie van koelmiddel uit het volumenregelsysteem dat tengevolge van een storing niet geboreerd is.

Gegeven het perspectief dat de aandacht gericht dient te zijn op ernstige reactiviteitstransiënten zijn de hiervoor genoemde storingen en ongevallen onderling vergeleken op de twee aspecten die de ernst van de transiënt bepalen: de grootte van het reactiviteitseffect en de snelheid waarmee het aan de kern wordt aangeboden. Uit de vergelijking volgt dat in dit opzicht het ongeval 'uitworp van de sterkste regelstaaf' de meeste aandacht verdient. Verder onderzoek heeft zich in eerste instantie dan ook hierop geconcentreerd. De maximale reactiviteitsadditie dient allereerst opnieuw vastgesteld te worden.

3.1 Beschouwing van het staafuitworpongeval

Van belang voor de specificatie van het staafuitworpongeval zijn de initiële bedrijfscondities alsmede de in aanmerking te nemen regelstaafpatronen.
Ten aanzien van de regelstaafpatronen is van grote betekenis dat tijdens vermogensbedrijf maar ook tijdens kritisch maken van de reactor alle regelstaven vrijwel geheel uit de kern bewogen zijn. Kritikaliteit wordt bereikt door aanpassen van de boriumconcentratie. Uitworp van een regelstaaf tijdens bedrijf op vol vermogen veroorzaakt daarom zeker geen grote reactiviteitsadditie. Het veiligheidsrapport van de KCB geeft hiervoor een waarde van slechts 0,01% $\Delta k/k$. Een grotere reactiviteitsbijdrage is wel te verwachten tijdens bedrijf op deellast. Bij ca. 50% vermogen is één D-bank (vier staven) geheel in de kern gewogen. In dit geval is een reactiviteitsstijging van 0,37% $\Delta k/k$ te verwachten bij uitworp van een regelstaaf (opnieuw conform het veiligheidsrapport KCB). Het veiligheidsrapport verschaft echter niet het vertrouwen dat deze situatie een conservatieve bovengrens geeft.
Diverse andere situaties met andere regelstaafpatronen zijn denkbaar, waarbij grotere regelstaafwaarden zouden kunnen optreden.
Het veiligheidsrapport behandelt bijvoorbeeld niet de situatie welke kortstondig kan bestaan als na reactorafschakeling weer opgeregeld wordt maar waarbij aanvankelijk nog geen significant splijtingsvermogen opgewekt wordt.
Ondanks het kortstondige karakter van de situatie is toch aangedrongen op analyse ervan. In een viertal variaties, twee regelstaafpatronen aan begin en eind van de bedrijfscyclus, werden reactiviteitswaarden van de meest werkzame regelstaaf bepaald [1].
Het limiterende geval levert een reactiviteitsadditie van 0,47% $\Delta k/k$ bij een waarde van β van 0,55% (eind van de bedrijfscyclus). β staat hierbij voor het reactiviteitseffect dat verbonden is met de fractie nakomende neutronen.
Hoewel de reactiviteitsadditie aanzienlijk is, ook groter dan de maximumwaarde waarmee in het veiligheidsrapport rekening werd gehouden, zal een promptkritische vermogensexcursie niet optreden.

3.2 De koelmiddeltemperatuur-/koelmiddeldampbelcoëfficiënt

Zoals beschreven in diverse analyses van het Tsjernobylongeval was een van de belangrijkste inherente oorzaken van het ongeval te Tsjernobyl de grote positieve koelmiddeldampbelcoëfficiënt. Door de bijzondere bedrijfscondities van laag vermogen en lage dampfractie kon bij de

inzettende thermohydraulische transiënt de dampfractie snel toenemen en in korte tijd een groot reactiviteitseffect teweeg brengen.
De koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt bij de KCB varieert tijdens vermogensbedrijf van ca. -1 tot -4.10^{-4} $\Delta k/k$ per K.
De mogelijkheden voor een vermogensexcursie door een vermindering van de dichtheid van het koelmiddel zijn dus niet aanwezig.
Omgekeerd is ook een vergroting van de dichtheid (door een overkoelingstransiënt) niet aan te merken als een ernstige vermogensexcursie. Allereerst zijn temperatuurdalingen met enige tientallen K op sekonde schaal uiterst onwaarschijnlijk, daarnaast wordt een beginnende vermogensstijging prompt tegengewerkt door het Dopplereffect van de splijtstof.
Bovengenoemde waarden voor de koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt hebben betrekking op de evenwichtskern bij vollast. Echter door het ongeval te Tsjernobyl werd ook nog weer eens onderstreept dat ook minder frequente situaties zeker niet verwaarloosd mogen worden.
Ter verificatie van eerdere metingen werden bij de KCB dan ook bij het begin van de bedrijfscyclus '87-'88 opnieuw metingen van de koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt uitgevoerd. De gemeten waarden hebben betrekking op een. niet-vergiftigde kern bij nullast waarbij de boriumconcentratie zich op een aanzienlijk hoger niveau bevindt dan tijdens vermogensbedrijf (ca. 1500 resp. ca. 1050 ppm). In overeenstemming met de verwachting werden kleine juist positieve waarden gemeten (1 à 2.10^{-5} $\Delta k/k$ per K).
Uit het voorgaande is duidelijk dat deze waarden kortstondig kunnen bestaan. Veel belangrijker is echter dat een dergelijke kleine positieve waarde geen aanleiding kan zijn voor ernstige vermogenstransiënten. Bovendien werkt ook hier het Dopplereffect prompt tegen.

3.3 Het regelstaafontwerp

Volgens diverse westerse analyses van het ongeval te Tsjernobyl zijn ook tekortkomingen in het regelstaafontwerp voor de RBMK-reactor debet geweest aan de vermogensexcursie. De regelstaven zijn voorzien van een 5m lange regelstaafvolger van grafiet die het water verdringt als de regelstaaf uit de kern getrokken wordt. De parasitaire neutronenabsorptie in het koelmiddel wordt daarmee onderdrukt.
Aangezien de kernhoogte 7 m bedraagt, verdringt een vóór reactorafschakeling geheel uitbewogen regelstaaf bij inbewegen eerst een hoeveelheid neutronen absorberend water onder in de kern waar juist een hoge neutronenflux heerste. Het netto gevolg is een reactiviteitsadditie.
In de bedrijfsprocedures bij de RBMK is hier kennelijk rekening mee gehouden. De procedures schreven voor dat een zeker minimum aantal regelstaven een minimale insteekdiepte moest hebben. Bovendien moet volgens de procedures een reactorafschakeling teweeg gebracht worden met slechts een deel van het totale aantal regelstaven. Het bedieningspersoneel in Tsjernobyl overtrad de procedures door zowel minder staven op minimale insteekdiepte te houden als, en dat met de beste bedoelingen, door de reactor af te schakelen met alle regeltaken tegelijk.

Er kan ten aanzien van de KCB snel vastgesteld worden dat dergelijke zwakheden niet voorkomen in het regelstaafontwerp. Regelstaafvolgers zijn niet aanwezig. Zodra de regelstaven de kern in bewegen wordt de reactiviteit kleiner.

3.4 Overig onderzoek

Naast de analyse van de maximaal te verwachten reactiviteitsaddities als gevolg van een uitschietende regelstaaf is de PZEM gevraagd te verifiëren of beschrijvingen en bepalingen in het Veiligheidsrapport. en de Technische Specificaties nog geheel van toepassing zijn. Het betreft beschrijvingen en bepalingen ten aanzien van het gehele nucleaire ontwerp en de daarmee verbonden bedrijfsvoering. De PZEM heeft hierover gerapporteerd in de notitie 'Vergelijking van passages uit het Veiligheidsrapport en Technische Specificaties terzake van de reactorkern en splijtstofhantering met de huidige praktijk [2].
Belangrijke verschillen zijn niet geconstateerd. Enkele getalwaarden kunnen op grond van in

het verleden verrichte metingen worden bijgesteld (bijv. koelmiddeltemperatuurcoëfficiënt, D-bank waarden).
Ook veranderde het kernbeladingsschema. Vanaf de aanvang werd gedurende vele jaren verse splijtstof aan de rand van de kern geladen. Enige jaren terug werd overgegaan naar zogenoemde low leakage kernen waarbij verse splijtstof in de eerste bedrijfscyclus meer naar binnen geplaatst wordt.
Vermeldenswaard in verband met de bijzondere betekenis die de minimale insteekdiepte van regelstaven in de RBMK-reactorkern heeft, is de vermelding in het veiligheidsrapport van 'Mindesteintauchtiefen'. Hier had KWU echter de vermogensregeling op het oog, terwijl in de RBMK-reactor de effectiviteit van het afschakelsysteem aan de orde is. Overigens is de praktijk in de KCB dat bij stationair vollastbedrijf in het geheel geen regelreserve noodzakelijk is.

4. REACTIVITEITSONGEVALLEN

In tegenstelling tot de drukwaterreactor gebruikt de kokend-waterreactor in feite slechts één reactiviteitsregelsysteem, een systeem van boriumhoudende regelstaven. Dit systeem, dat in de GKN 37 regelstaven kent, komt in actie zowel voor snelle als voor langzame reactiviteitseffecten.
Het neutronengifsysteem, dat een oplossing van natriumpentaboraat in het koelwater kan brengen, is alleen te zien als een langzaam back-up systeem voor het regelstavensysteem om onderkritikaliteit te bereiken. Het systeem behoefde nog nooit in actie te komen.
De taak van het regelstavensysteem om ook langzame reactiviteitscorrecties te weeg te brengen wordt voor een niet-onbelangrijk deel ook inherent verzorgd door slijtend gif (gadoliniumoxide) dat in een geoptimaliseerde verdeling aanwezig is in de splijtstof.
Voor een beschouwing over ernstige reactiviteitstransiënten zijn het vloeibaar gifsysteem en het slijtend gif van geen betekenis.
Storingen en ongevallen komen dus voort uit manipulaties met de regelstaven of uit transiënten in het primaire systeem die via de reactiviteitscoëfficiënten van het koelmiddel de kernreactiviteit kunnen beinvloeden.

Afgezien van de storingen die verband hielden met de aanwezigheid van borium in het koelmiddel, kan eenzelfde lijst van storingscategoriën worden opgezet als voor de KCB:
- abusievelijk uitbewegen van een regelstaaf
- koudwatertransiënten
- druktransiënten met eventueel falende drukregeling
- uit de kern vallende regelstaaf.

Het verschil met de KCB is wèl dat reeds in het Final Safeguards Summary Report, het FSSR [3], een duidelijk onderscheid werd aangebracht tussen de laatste categorie en de overige categorieën. De vermogenstransiënten in deze categorieën zijn aanzienlijk minder ernstig dan die van de laatste categorie en zijn daarom in het kader van ernstige reactiviteitstransiënten met de mogelijkheid tot het primair systeem bedreigende belastingen van ondergeschikte betekenis. De uit de kern vallende regelstaaf geeft echter door de grote regelstaafwaarde een ongeval van veel ernstiger aard; reactiviteitsongevallen met ernstiger gevolgen worden niet denkbaar geacht. Het is daarom in [3] reeds aangemerkt als ontwerpbasisongeval. In het hierna volgende worden de resultaten weergegeven van een hernieuwde beschouwing van dit ongeval.

4.1 Uit de kern vallende regelstaaf

Het is theoretisch mogelijk dat een regelstaaf losraakt van zijn aandrijving en boven in de kern blijft hangen als de aandrijving wordt teruggetrokken. Vervolgens zou de regelstaaf in praktisch vrije val uit de kern kunnen vallen.
Het hypothetische karakter van het ongeval kan geïllustreerd worden door er op te wijzen dat:
- de koppeling tussen regelstaaf en aandrijving in duizenden testruns, ook onder verzwaarde condities, met positief resultaat beproefd zijn
- in-service beproevingen en de normale bedrijfsvoering nooit een ontkoppeling te zien hebben gegeven
- bedrijfsprocedures erop gericht zijn om door middel van bewaking van de responsie van de regelstaafbeweging op fluxmeetkanalen, de koppeling te verifiëren.

In [3] zijn de analyses beschreven voor twee ongunstige situaties t.w. koud en heet onderkritisch (resp. 20 en 286°C). De uitkomsten van de analyses laten de regelstaafreactiviteitswaarden zien welke nog voldoen aan een acceptatiekriterium inzake de maximale splijtstofenthalpie.
Het FSSR [3] vermeldt maximale toelaatbare regelstaafwaarden van 1,9 (koud onderkritisch) en 2.4% $\Delta k/k$ (warm onderkritisch). In de koude kern komt tijdens de vermogensexcursie de Doppler-terugkoppeling op de reactiviteit later tot werking en wordt de excursie later omge-

bogen dan in de warme uitgangssituatie. Zoals ook in [4] is beschreven geldt de koude kern als conservatieve uitgangssituatie.
Ten aanzien van de analyses in het veiligheidsrapport zijn vooral de volgende twee aspecten in het kader van deze studie van betekenis.

a. Het acceptatiekriterium voor de maximale splijtstofenthalpie werd gelegd bij 350 cal/g, hetgeen zonder meer hoger is dan het nog van kracht zijnde NRC-kriterium dat 280 cal/g, als bovengrens aangeeft. Ten opzichte van de wenselijke bovengrens naar laatste inzichten, 230 cal/g (geamendeerde IAEA-richtlijn), bestaat wel een zeer grote overschrijding.
b. De huidige mogelijkheden om 3D-neutronenkineticaberekeningen uit te voeren zijn superieur aan die ten tijde van de vergunningverlening voor de GKN. Een belangrijk facet is ook de koppeling van het thermohydraulische gebeuren aan het reactorfysische, hetgeen belangrijke tegenkoppeleffecten teweeg brengt.

De aspecten a. en b. tezamen hebben ertoe geleid dat een herberekening van de vermogensexcursie uit koude situatie (d.w.z. met een regelstaafwaarde van 1,9% $\Delta k/k$) als nodig werd ervaren. Hiertoe werd een opdracht verstrekt aan het ECN te Petten. ECN stelde het gegevensbestand voor de berekening op waarbij uitgegaan werd van conservatieve bedrijfscondities. Tevens werden ten opzichte van de referentieberekening enkele belangrijke parameters gevarieerd. Het ECN begeleide tevens het eigenlijke rekenwerk dat uitgevoerd werd door de Noorse firma SCANDPOWER. De opdracht heeft geresulteerd in de rapporten ECN-87-79, 'Analyse van hypothetisch reactiviteitsongeval in de kerncentrale te Dodewaard', augustus 1987 [4] en Scandpower TR1/6.35.84, 'Control Rod Drop Analysis of the Dodewaard Reactor using the RAMONA-3B Code', June 1987, [5].
Kort samengevat zijn de volgende uitkomsten te vermelden:
De referentierun, betrekking hebbend op meebeschouwen van de thermohydraulische terugkoppeling, Doppler-coëfficiënt berekend met de rekencode PHOENIX, directe verwarming van het koelmiddel ter grootte van 2% van het opgewekte vermogen, kerncondities aan het begin van de cyclus en valversnelling van de regelstaaf 8,0 m.s.$^{-2}$, geeft een maximale splijtstofenthalpie van 238 cal/g.
In de gevoeligheidsanalyse blijkt een verandering van de Doppler-coëfficiënt de grootste invloed te hebben. In [4] wordt gesteld dat rekening moet worden gehouden met een onzekerheid van ca. 10% in de Doppler-coëfficiënt; dit resulteert in een maximale enthalpiewaarde van 274 cal/g.
Indien de Doppler-coëfficiënt berekend wordt met de code RECORD, dan resulteert een nog grotere afwijking: dan wordt de maximale enthalpie 412 cal/g. In [4] worden echter redenen aangegeven om zeker te kunnen stellen dat RECORD een te conservatieve waarde berekent.
Een significante variatie zou ook nog de versplijtingssituatie, ofwel het moment in de bedrijfscyclus kunnen zijn. Doppler-coëfficiënt en vertraagde neutronenfractie veranderen beide, echter voornamelijk in tegengestelde zin. De berekeningen geven geen uitsluitsel omtrent dit aspect. Het effect is echter aanzienlijk geringer dan dat van de hiervoor genoemde onzekerheid in de Doppler-coëfficiënt.
Concluderend kan gesteld worden dat 274 cal/g een conservatief berekende waarde is bij eveneens conservatieve bedrijfscondities.
De referentiewaarde van 238 cal/g blijft ruimschoots onder het NRC-acceptatiecriterium van 280 cal/g en ligt 3% boven de waarde van 230 cal/g welke vastgelegd is in de geamendeerde IAEA-richtlijn. De conservatieve uitkomst van 274 cal/g voldoet nog juist aan het NRC-criterium maar ligt beduidend boven de limiet uit de geamendeerde IAEA-richtlijn.
Gegeven het hypothetische karakter van het ongeval, gegeven ook de conservatieve uitgangspunten voor de berekening, kan worden gesteld dat met de verkregen uitkomsten in eerste instantie in voldoende mate is aangetoond dat de GKN aanzienlijke veiligheidsmarge bezit inzake een ernstig reactiviteitsongeval.
Gegeven echter ook de tendens om het acceptatie criterium stringenter te stellen zijn maatregelen ter optimalisatie toch gerechtvaardigd en ook mogelijk.

Deze maatregelen kunnen zijn (zie ook [4]):
- Het primair systeem niet nucleair maar electrisch opwarmen tot bij de verzadigingstemperatuur. Een aanzienlijke vergroting van thermohydraulische tegenkoppeling tengevolge van het dampbeleffect zou worden bereikt (dit effekt is overigens juist tegengesteld bij de RBMK reactorkern).
- Ervoor zorgen dat gedurende de opstartperiode altijd een aantal regelstaven half in de kern steekt. Als in die situatie wordt gescramd wordt sneller een compenserend reactiviteitseffect verkregen.
- Verminderen van de reactiviteitswaarde van regelstaven welke in aanmerking komen voor de control rod drop accident analyse, door middel van wijziging van de trekvolgorde.

4.2 De regelstaafwaardebegrenzer

In het voorgaande is uitgegaan van een maximale regelstaaf waarde van 1,9% $\Delta k/k$ in de koude kern. Het is de waarde die in het FSSR [3] juist de maximaal toelaatbare splijtstofenthalpie veroorzaakt. Deze waarde is ook vastgelegd in de bedrijfsvoorschriften evenals de overeenkomstige waarde voor de hete kern.
Dienovereenkomstig wordt van de vergunninghouder bij elke kernherlading ook verlangd dat aangetoond wordt dat bij de voorgestelde kernherlading, regelstaaftrekvolgorden en bedrijfsvoering voornoemde vergunningslimieten niet worden overschreden. Naast de analytische aantoonplicht is er ook een materiële beveiliging. De zogenoemde regelstaafwaardebegrenzer (RWM— rod worth minimizer) dient er voor te zorgen dat afwijkingen van de correcte regelstaaftrekvolgorde worden gedetecteerd en leiden tot blokkering van de verkeerd getrokken regelstaaf. Het is deze RWM die ook in het kader van deze studie bijzondere aandacht heeft gehad. In samenhang met de studie inzake 'Menselijk handelen' is de aandacht vooral gericht geweest op het juiste handhaven of aanscherpen van de bedrijfsprocedures voor de RWM. Overbruggingen van de RWM zijn aan strikte goedkeuring van de verantwoordelijke reactorfysicus gebonden. Voor het programmeren van de RWM met de regelstaaftrekvolgorde gelden verscherpte procedures.

4.3 Subkritikaliteitstesten

Een bedrijfsvoorschrift schrijft voor dat onder alle aanvangscondities en met de sterkste regelstaaf niet functionerend de reactor subkritisch gemaakt moet kunnen worden met een marge van 0,2% $\Delta k/k$. Vanaf de ingebruikneming van de centrale worden daarom na de kernherlading en voor de reactorherstart zogenoemde subkritiektesten uitgevoerd teneinde te verifiëren of deze marge inderdaad bestaat.

Bij deze testen, die in principe bij geopend reactorvat worden uitgevoerd, wordt om meettechnische redenen kritikaliteit juist benaderd.
In het licht van reactiviteitsveiligheid en gegeven de aanzienlijk toegenomen mogelijkheden om kritikaliteit vooraf zeer nauwkeurig te berekenen, is de uitvoering van deze testen nu anders te beoordelen dan ten tijde van de ingebruikneming van de centrale. Niettegenstaande de zorgvuldigheid van de reactorfysici die bij de uitvoering van deze testen steeds aanwezig dienen te zijn is het geboden dat afgezien wordt van de huidige uitvoeringswijze. Een alternatieve evenwel gelijkwaardige wijze van aantonen van voldoende subkritikaliteitsmarge zal voorbereid moeten worden.

4.4 Vergelijking met Tsjernobyl

Een vergelijking van de kenmerkende reactorfysische aspecten met die van de centrale te Tsjernobyl kan kort zijn:
- Tegenover het grote positieve dampbeleffect van de RBMK-reactorkern, oplopend tot ca. 2% $\Delta k/k$ ofwel ruim 3β, staat een altijd sterk negatieve dampbelcoëfficiënt bij de GKN. Het veiligheidsrapport [3] geeft alleen een waarde voor de eerste kern: -23×10^{-4} $\Delta k/k$ per procent dampgehalte.

In de bedrijfsvoorschriften komt wel de volgende bepaling voor:
'De maximale positieve reactiviteit die geïntroduceerd kan worden door een positieve temperatuurscoëfficiënt mag niet meer bedragen dan 0,5% $\Delta k/k$'.
De bepaling heeft volgens de toelichting betrekking op het opwarmen van 20°C naar 280°C. Naar de huidige stand van zaken, die ook reeds lang bestaat, moet een dergelijke bepaling als verouderd beschouwd worden. Zowel splijtstofopwarming als opwarming van het koelmiddel zorgen voor een negatieve reactiviteitsbijdrage. De bepaling heeft in wezen dus geen regulerende betekenis en dient dus gewijzigd te worden.

- Zodra regelstaven in de kern komen daalt de reactiviteit in tegenstelling tot die in de RBMK-reactorkern. Daar was het nodig dat altijd een zeker aantal regelstaven een zekere minimumlengte in de kern staken.
- De snelheid waarmee regelstaven in de kern gaan bij scrammen bedraagt bij de RBMK-reactor 0,4 m/s. Bij een kernhoogte van 7 m duurt het dus ca. 17 s. voordat de regelstaven geheel inbewogen zijn.

Voor GKN is de snelheid van de regelstaven gemiddeld 0,75 m/s en totaal benodigde tijd voor inbewegen (kernhoogte 1,8 m) slechts 2.4 sec.
Hoewel bij de promptkritische vermogensexcursie in eerste instantie het vermogen begrensd wordt door Dopplertegen. koppeling is het effect van de reactorafschakeling door inbrengen van de regelstaven nog significant. Zoals uit [4] af te leiden is, wordt in het tijdsinterval tussen maximaal vermogen en reactorafschakeling nog ca. 20% stijging van de maximale splijtstofenthalpie bereikt (referentieberekening). Een snelle reactorafschakeling draagt dus wezenlijk bij in het beperken van de maximale splijtstofenthalpie.

5. BETROUWBAARHEID VAN HET AFSCHAKELSYSTEEM

De IAEA Code of Practice Design for Safety of Nuclear Power Plants stelt ten aanzien van de betrouwbaarheid van de afschakelfunktie: 'The means for shutting down the reactor shall consist of two diverse systems. Each system shall perform its function assuming a single failure'. En ten aanzien van de snelle afschakeling: 'At least one of the two systems shall be, on its own, capable of quickly rendering the nuclear reactor subcritical by an adequate margin from operating and accident conditions'.
De Safety Guide SG-DI4 specificeert verder:
'Means shall be provided to ensure that the reactor can be rendered subcritical and held in this state, assuming the most reactive core conditions when one of the shutdown devices that have the maximum effect on core reactivity cannot be inserted into the core (one rod stuck)'. De richtlijn geeft daarna diverse middelen aan om hoge betrouwbaarheid te bereiken.

Met betrekking tot zowel KCB als GKN kan worden gesteld dat het stuck rod criterium bij iedere kernherlading wordt toegepast. Uit analyses moet blijken dat in de meest reactieve kernconfiguratie en met de zwaarste regelstaaf niet functionerend, onderkritikaliteit bereikt kan worden, ook in ongevalssituaties. Bij die GKN wordt ook door middel van aparte subkritiektesten aangetoond dat voldoende subkritikaliteitsmarge aanwezig is. Daar blijkt overigens ook uit dat de marge zo groot is dat bij deze kerncondities (koude schone kern, dus grotere reactiviteit) wel drie zware regelstaven uit de kern getrokken moeten worden om kritikaliteit te bereiken.

Om de betrouwbaarheid van het afschakelsysteem te bewaken is voor beide centrales een programma van regelmatige beproevingen vastgelegd. Uit dit programma is een zeer groot aantal gegevens over het functioneren beschikbaar gekomen.

KCB
De periodieke beproevingen betreffen regelstaafvaltijdmetingen (minimaal 1x per jaar, maximaal 1 x per 2 maanden) en regelstaafbeweegbaarheidstesten (eenmaal per maand).
De regelstaafvaltijd dient kleiner dan of gelijk aan 3,2 sec. te zijn. Ook als de reactor meerdere uren buiten bedrijf is geweest dienen alvorens opnieuw kritisch maken van de reactor begint, regelstaafvaltesten te worden uitgevoerd.
Er heeft zich in het bestaan van de KCB slechts eenmaal, tijdens de inbedrijfstelling na een splijtstofwisseling een afwijking voorgedaan. Het betrof een klemmende regelstaaf. De storing werd verholpen alvorens met inbedrijfstelling werd doorgegaan.

GKN
Verschillende testen worden uitgevoerd. Tijdens bedrijf op vermogen worden dagelijkse, wekelijkse en driemaandelijkse bewegingstesten uitgevoerd, waarmee de koppeling tussen regelstaaf en aandrijfmotor, gangbaarheid tussen splijtstofelementen en tijd benodigd voor inbewegen worden gecontroleerd. Relevant voor het ontwerpbasisongeval 'uit de kern vallen van een regelstaaf' is de koppelingsbetrouwbaarheid. De zeer vele koppelingstesten hebben niet éénmaal een falen te zien gegeven. Bij de GKN zijn twee gevallen bekend van afwijkend functioneren van het afschakelsysteem. Eenmaal was er een klemmende regelstaaf en meer recent werd tijdens een scramtest geconstateerd dat de aandrijving van één regelstaaf niet funktioneerde.

6. COMPLEXE STORINGEN

Voor de westerse reactoren en dus ook voor de KCB en GKN is uitgegaan van zeer conservatief te achten ontwerpbasisongevallen namelijk, uitschieten c.q. uitvallen uit de kern van de meest reactieve regelstaaf. Deze ongevallen worden beheerst op zodanige wijze dat, rekening houdend met de geringe waarschijnlijkheid van optreden, geen ontoelaatbare belastingen optreden voor het primaire systeem. Splijtstofschade is niet uit te sluiten. Andere denkbare storingen en ongevallen zijn van geringere ernst (qua grootte van reactiviteitseffect en/of snelheid van teweegbrengen) en worden dus afgedekt.
Onder invloed van het gebeuren in Tsjernobyl is internationaal wèl een onderzoek gestart om ook meer complexe ongevallen te analyseren, in eerste instantie met volledig voorbijgaan aan de waarschijnlijkheid of zelfs mogelijkheid van optreden. Men veronderstelt daarbij het optreden van meerdere fouten tegelijk en wil op die manier vaststellen hoeveel veiligheidsmarge in het systeem aanwezig is.
Indien het bij deze analyse tot overschrijding van veiligheidslimieten komt dient men zich rekenschap te gaan geven van de waarschijnlijkheid van optreden om tot een afweging te komen met betrekking tot eventuele maatregelen.
Voorbeelden van deze complexe ongevallen zijn:

- uitschieten (uitvallen) van meerdere regelstaven tegelijk
- LOCA of hoofdstoomleidingbreuk gecombineerd met injectie van ongeboreerd water (PWR)
- meervoudig falen van veiligheidsafsluiters (BWR)
- ATWS met falende recirculatiepomptrip (BWR, echter niet GKN vanwege afwezigheid van recirculatiepomp).

Veelal verlangen deze scenario's gedetailleerde thermohydraulische berekeningen teneinde de dynamische temperatuurverdeling in de reactorkern te bepalen welke immers direct van invloed is op het reactorfysisch gedrag. Inmiddels heeft de NEA (Nuclear Energy Agency van de OECD) al wel een aantal relevante conclusies geformuleerd in het rapport 'Chernobyl and the Safety of Nuclear reactors in OECD countries' [6]. Ten aanzien van de ernstige reactiviteitsongevallen luidt een conclusie:
'Within standard review areas, water cooled reactors in OECD countries are far removed from potentially destructive energy levels as a result of reactivity excursions. Further examinations of very low probability beyond design basis events is recommended where applicable'.
Met betrekking tot minder frequente uitgangssituaties:
'Although no specific safety problems have been identified, a systematic reevaluation of accident initiators at low power and during shut-down should be initiated. While administrative requirements could result, no design changes are expected'.
Gegeven de zeer geringe waarschijnlijkheid of zelfs het hypothetische karakter van de scenario's is hierbij sprake van een restrisico waarvoor in internationaal verband en dus ook in Nederland een langere onderzoektermijn te rechtvaardigen is. Met de betrokken vergunninghouders is ook gesproken over de mogelijkheden om meer complexe scenario's te analyseren. Een aanzet zal gedaan worden om scenario's op te sporen die potentieel tot grote reactiviteitsverstoringen kunnen leiden. Het is in deze echter duidelijk dat, waar eigen middelen beperkt zijn, input vanuit het buitenland belangrijk is.
Naast eigen inspanningen is daarom het volgen van de internationale ontwikkelingen van relatief groot belang.

7. SLOTOPMERKINGEN EN CONCLUSIES

In 1961 vond in de militaire experimentele reactor SL-1 (Idaho (VS)) een reactorongeval plaats, waarbij door onzorgvuldig trekken van een regelstaaf een nucleaire vermogensexcursie plaats vond. Er waren drie slachtoffers te betreuren onder het bedieningspersoneel en een aanzienlijke hoeveelheid radioactieve stoffen kwam vrij.
Mede ten gevolge van dit ongeval werd de veiligheid ten aanzien van reactiviteitsongevallen in de westerse landen reeds lang geleden als een belangrijk thema in de reactorveiligheid gezien. Ontwerpvoorzieningen en bedrijfsprocedures zijn er op gericht om ernstige reactiviteitsstoringen uit te sluiten.
Tevens hebben SPERT (Special Power Excursion Reactor Test), TREAT (Transient Reactor Test Facility Laboratory) en PBF (Power Burst Facility), experimenten waarbij doelbewust vermogensexcursies werden opgewekt, reeds lang geleden de grenswaarden aangeduid voor de belasting van splijtstof teneinde explosieve interacties tussen splijtstof en koelmiddel te voorkomen.
Zoals ook neergelegd in dienovereenkomstige ontwerp-eisen wordt het ontwerp van de reactorkern in westerse reactoren gekenmerkt door nucleaire eigenschappen die inherente veiligheid verschaffen d.w.z. veiligheid die niet tot stand komt door in werking treden van systemen of die afhankelijk is van ingrijpen door het bedieningspersoneel.
Het ongeval in Tsjernobyl is mogelijk geworden doordat dit type reactor dergelijke inherent veilige eigenschappen niet bezat alsmede. door onzorgvuldige bedrijfsvoering. Op beide gebieden mag van een wezenlijk onderscheid worden gesproken tussen de RBMK-1000 reactor en westerse reactoren in het algemeen.
Over een relatief lange tijd bezien zijn inzake reactiviteitsveiligheid in westerse centrales geen belangrijke nieuwe inzichten ontstaan noch zijn er wijzigingen opgetreden. Het ziet er, internationaal bezien, ook niet naar uit dat als gevolg van het ongeval te Tsjernobyl onmiddellijke wijgigingen of regulerende acties nodig zijn voor reactoren in het OECD-gebied. Gegeven de toegenomen analysekracht van probabilistische analysemethoden is wèl de conclusie dat in een probabilistische beoordeling nog eens naar zeer onwaarschijnlijk geachte reactiviteitsgeïnduceerde ongevallen gekeken dient te worden.
Ter vergroting van de veiligheid inzake reactiviteitsongevallen komen voor de GKN de volgende aspecten naar voren:

1. Aanpassen van procedures voor de omgang met de RWM alsmede procedures voor opstarten en voor het gebruik van veiligheidsinstrumentatie hierbij (deels geschied). Zorgdragen voor opvolgen van procedures.
2. Herzien van de uitvoering van de subkritiektesten.
3. Maatregelen om de reactiviteitsadditie bij uitvallen van een regelstaaf uit de kern, te verkleinen.

Voor beide reactoren GKN en KCB is het tenslotte conform de aanpak in diverse landen aan te bevelen onderzoek voort te zetten en buitenlands onderzoek te blijven volgen inzake meer complexe storingen en ongevallen. Het is belangrijk in deze om deel te nemen aan internationale ervaringsuitwisseling.

8. REFERENTIES

[1] KWU, KCB 14. Zyklus. Stabauswurf bei stationären Reaktorbedingungen, september 1987.

[2] PZEM notitie nr. 187.87.36, Vergelijking van passages uit het. Veiligheidsrapport en Technische Specificaties terzake van reactorkern en splijtstofhantering met de huidige praktijk, april 1987.

[3] GKN, Final Safeguards summary report on the Dodewaard nuclear power plant, maart 1967.

[4] Een-87-19, Analyse van hypothetisch reactiviteitsongeval in de kerncentrale te Dodewaard. Het 'Control rod drop accident', augustus 1987.

[5] Scandpower, Control rod drop analysis of the Dodewaard reactor using the Ramona-3B Code, juni 1987.

[6] NEA, Chernobyl and the safety of nucaler reactors in the OECD countries, 1987.

RAPPORTEN PROJECT HERBEZINNING KERNENERGIE

SPH-01-00	SAMENVATTING PROJECT HERBEZINNING KERNENERGIE
SPH-03-01	Ernstige reactorongevallen opnieuw bezien: de Bronterm
SPH-03-02	Bijlagen Ernstige reactorongevallen opnieuw bezien: de Bronterm
SPH-02-03	Tsjernobyl, reacties en ontwikkelingen
SPH-03-04	OSART-rapporten inclusief post-OSART-werkplan Kerncentrale Borssele
SPH-03-05	OSART-rapport inclusief post-OSART-werkplan Kerncentrale Dodewaard
SPH-03-06	Studie Brandveiligheid van het actieplan Veiligheid van Kerncentrales
SPH-03-07	Studie Menselijk handelen van het actieplan Veiligheid van Kerncentrales
SPH-03-08	Studie De gevoeligheid voor reactiviteitsongevallen van het actieplan Veiligheid van Kerncentrales
SPH-03-09	Beratungstudie zu Accident Management Massnahmen für die KKw Borssele und Dodewaard van het actieplan Veiligheid van Kerncentrales (GRS)
SPH-03-10	Post Tsjernobyl Rapportage inzake Veiligheidsregels (Dit rapport is als bijlage opgenomen in het rapport SPH-01-00)
SPH-04-11	Overzicht van de gehanteerde interventiewerkwaarden
SPH-05-12	Uitvoerbaarheid van Evacuatie
SPH-06-13	Hoofdrapport Economische schade van een ongeval met een kerncentrale
SPH-06-14	Economische schade van een ongeval met een kerncentrale: Mobiliteit van radionucliden in de bodem
SPH-06-15	Economische schade van een ongeval met een kerncentrale: Gevolgen van radioaktieve besmetting van oppervlaktewater
SPH-06-16	Economische schade van een ongeval met een kerncentrale: Landbouw-economische gevolgen
SPH-07-17	Analyse van de praktische consequenties van het waarborgingsbeleid voor de lokatie Moerdijk
SPH-08-18	Ernstige reactorongevallen opnieuw bezien: Gevolgen voor de omgeving
SPH-08-19	Bijlagen Ernstige reactorongevallen opnieuw bezien: Gevolgen voor de omgeving
SPH-06-20	Economische schade van een ongeval met een kerncentrale in Nederland: Beschrijving economische analyse

Collectie Stichting Laka
www.laka.org
Gedigitaliseerd 2022

Collectie Stichting Laka
www.laka.org
Gedigitaliseerd 2022