

## **BEOORDELINGSRAPPORT**

van de Kernfysische dienst

Ministerie van VR0M →  
staat voor ruimte, wonen,  
milieu en rijksgebouwen.  
Beleid maken, uitvoeren  
en handhaven.  
Nederland is klein.  
Denk groot.



**BEOORDELINGSRAPPORT**

van de Kernfysische dienst

<b>Vergunninghouder</b>	Nuclear Research and consultancy Group v.o.f. (NRG)
<b>Naam installatie</b>	Hoge Flux Reactor (HFR)
<b>Vergunningnummer</b>	SAS/2004166322 d.d. 7 januari 2005, SAS/DVO/2007007892 d.d. 1 februari 2007 en SAS/2007066690 d.d. 11 juli 2007
<b>Vestigingsplaats</b>	Petten
<b>Reactortype</b>	Research reactor (tank in pool)
<b>Aan</b>	Directeur Kernfysische dienst (dKFD)
<b>Van</b>	ToR, WiL, PIY, VeM en BrG
<b>Datum</b>	7 april 2009
<b>Betreft</b>	Beoordeling van het verzoek van NRG om toestemming voor het opstarten en bedrijven van de HFR met een afwijking in het reactorsysteem ten opzichte van hetgeen vergund is in de Kernenergiewetvergunning van de HFR te Petten, kenmerk SAS/2004166322 d.d. 7 januari 2005
<b>KFD Projectnummer</b>	N&S 0.4 en 1B.2 (projectnr. oude stijl 507)
<b>Beoordeelde aspecten</b>	Beoordeeld zijn: - het voldoen aan Kernenergiewetvergunning en - de nucleaire veiligheid en stralingsbescherming voor het opstarten en bedrijven van de HFR zonder voorafgaande reparatie van het koelwatersysteem, maar met aanvullende veiligheidsverhogende maatregelen.
<b>Bijlage(n)</b>	I. Beoordelingsconclusies KFD n.a.v. NRG verzoek om herstart HFR toe te staan zonder voorafgaande reparatie, RT09-019.507, 9 februari 2009.



## **Standpuntbepaling KFD**

KFD oordeelt dat de HFR zonder definitieve reparatie niet aan de vigerende Kernenergiewetvergunning voldoet. Evenmin is sprake van een vergunbare situatie. De kans op kernschade bij in bedrijfname zonder reparatie is verhoogd, maar na uitvoering van de voorgestelde maatregelen acceptabel. Een onverhoopte situatie met lekkage uit een reducer is beheersbaar. De maximaal toelaatbare niveaus ten aanzien van de kans op kernschade en het individueel risico worden dan niet overschreden. Derhalve is er afwegingsruimte om de reactor tot 1 maart 2010 in bedrijf te nemen.

Gezien het voortschrijdend degradatieproces en de verhoogde kans op lekkage mag het bedienen van de HFR zonder reparatie niet langer duren dan strikt noodzakelijk. NRG moet zich hiervoor inspannen. Herstarten mag de beoogde reparatie niet vertragen of verhinderen.

Bij tijdelijke in bedrijfname van de HFR zonder reparatie worden de volgende aanvullende voorwaarden aanbevolen:

- de voorgestelde veiligheidsverhogende maatregelen dienen ter beoordeling aan de KFD te worden aangeboden. Alleen na geen bezwaar van de KFD mag herstart van de HFR plaatsvinden;
- voorafgaand aan herstart en vervolgens na elke 6 cycli dienen de vervormingen te worden geïnspecteerd;
- bij detectie van lekwater uit het primaire systeem wordt de reactor direct uit bedrijf genomen;
- NRG moet binnen drie maanden een definitief reparatieplan met daarin een beschrijving van de werkzaamheden en een tijdsplanning ter beoordeling aan KFD voorleggen;
- NRG dient maandelijks schriftelijk aan de KFD een voortgangsbericht te sturen waaruit blijkt dat het uiterste wordt gedaan om de reparatie zo spoedig mogelijk te doen plaatsvinden.
- De geplande modificatie aangeduid als het op slot zetten van de convectieafsluiters dient te worden opgeschort.

## **INHOUD**

- 1. Inleiding en achtergrond**
- 2. Ontvankelijkheid- en kwaliteitstoets**
- 3. Toetsing aan de Kernenergiewetvergunning**
- 4. KFD beoordeling documenten NRG-verzoek**
  - 4.1. Verzoek om uw toestemming voor het opstarten en bedrijven van...
  - 4.2. Verzoek om toestemming voor het opstarten en bedrijven van...
  - 4.3. President's Message "Nuclear Medicine in Economic Crisis"
  - 4.4. Report on Molybdenum 99 Production for Nuclear Medicine 2010-2020
  - 4.5. Brief met het advies van het Peer Review Team
  - 4.6. Safety Case reducers BPL, Interim Solution
  - 4.7. Safety Evaluation Reducers
  - 4.8. PSA Bottom Plug Reducer
  - 4.9. Stralingshygiënische consequenties lekkage HFR- primair
  - 4.10. Best estimate on corrosion rate based on NDT and wall thickness...
  - 4.11. HFR BPL Reducer Root Cause Analysis, Conclusions
  - 4.12. Mechanical Failure Mechanisms for the BPL Scenario
  - 4.13. Assessment of Gas and Water Leakage from the Reducer
  - 4.14. Wall Thickness Measurements of the Reducers in the HFR BPL, 2008...
  - 4.15. Definitieve reparatie van BPL-reducers, Haalbaarheidstudie "betonroute"
- 5. KFD bevindingen en overwegingen**
- 6. Externe beoordelingen**
  - 6.1. Lloyd's Register
  - 6.2. GRS
  - 6.3. Second opinion FANC
- 7. Conclusie en aanbevelingen**

**Figuren**

**Bijlage**



# 1. Inleiding en achtergrond

## *Achtergrond*

De Hoge Flux Reactor (HFR) in Petten is vanaf 1961 in bedrijf. Het is een reactor van het type "tank in pool", water gemodereerd en gekoeld, geforceerde koeling en een maximaal thermisch vermogen van 45 MW. De HFR is eigendom van de Europese Commissie en wordt bedreven en onderhouden door de vergunninghouder Nuclear Research and consultancy Group (NRG). Figuur 1 geeft een dwarsdoorsnede van het reactorgebouw met daarin het reactorvat en de subpileroom.

Tijdens visuele inspecties in 2005 zijn 4 naar binnen toe gerichte vervormingen met wanddikte afname waargenomen in de koelwater uitlaatleidingen van de reactor. Deze vervormingen bevinden zich in conische pijpstukken, de z.g. reducers: in de noordelijke reducer 3 vervormingen en in de zuidelijke reducer 1 vervorming, zie figuren 2, 3, 4 en 5. De reducers zijn onderdeel van het primaire koelsysteem en bevinden zich direct onder het reactorvat.

Het primaire koelsysteem vormt een gesloten kringloop waarin koelwater vanaf de reactor via de uitlaatleidingen naar warmtewisselaars wordt gevoerd en daarna weer wordt teruggepompt naar de reactor. Het primaire koelwater komt van boven af de bottom plug binnen en passeert daarna zijdelings de noordelijke en de zuidelijke reducer van het primaire koelsysteem. De diameter van de reducers is ongeveer 55 cm aan de inlaatzijde en ongeveer 40 cm aan de uitlaatzijde. Het materiaal is aluminium 5052-0. Uitwendig zijn beide reducers omwikkeld met polyetheen band. Elke reducer is enerzijds vastgelast aan de bottomplug en anderzijds aan de primaire leiding. Deze primaire leiding is omgeven door een koolstofstalen mantelpijp (jacket pipe) die bevestigd is met een flensverbinding, zie figuren 3, 4, 6 en 7. De ringruimte tussen de jacket pipe en de primaire leiding wordt doorstroomd met droge lucht om condensvorming tegen te gaan. Het geheel van bottom plug, reducers, primaire pijpen en jacket pipes is opgenomen in een beton constructie van ongeveer 2 meter dikte. Figuur 4 toont een foto van de noordelijke reducer voor het storten van het beton.

De aangetroffen vervormingen duiden op degradatie van de uitlaatleidingen en leiden tot verzwakte plekken in het primaire systeem. Vanuit het standpunt van nucleaire veiligheid is de positie van de vervormingen zeer ongunstig gelegen. De vervormingen liggen namelijk op een laag punt onder de reactor, waardoor de reactor zou kunnen leeglopen. Als de operators in het theoretische geval van een groot lek nalaten extra koelwater toe te voeren, of nalaten om tijdig de kern in het zogeheten opslagbassin veilig te stellen, gaat de reactorcooling verloren. Er dreigt dan kernbeschadiging, mogelijk leidend tot een grote radioactieve belasting van de normale werkruimten in de reactorhal. De situatie vormt dus een potentiële bedreiging voor de reactorcooling en een potentieel verlies van een barrière tegen de verspreiding van radioactieve stoffen en straling.

Na de ontdekking in 2005 zijn de vervormingen intensief door NRG geïnspecteerd. Hierbij zijn de deformaties gekarakteriseerd (contour, locatie en wanddikte) en is de ontwikkeling van de deformaties gevolgd. Deze 'In Service Inspecties' zijn uitgevoerd in 2006 (2x), 2007 en 2008 en hebben aangetoond dat lokaal de wanddikte significant is afgenomen ten opzichte van de initiële ontwerpwaarde van 9,5 mm.

Tijdens inspecties in augustus 2008 werd een gasbellenstroom waargenomen die met zekere regelmaat het primaire koelsysteem in lekte. Het gas ontstond ter plaatse van een van de vervormingen in de noordelijke reducer en duidt op een klein gaatje in de reducerwand op die plek. Omdat het gaatje een breuk in de primaire drukhuid kan betekenen heeft NRG zelf besloten de reactor niet te herstarten en reparatie van beide reducers te onderzoeken.

De vervormingen in de reducers en het gaatje zijn waarschijnlijk het gevolg van uitwendige corrosie aan de betonzijde van de reducers op het grensvlak tussen het aluminium van de reducers en het beton waarin de uitlaatleidingen zijn opgenomen. De plaats en de wanddikteafname van de vervormingen alsmede de ontwikkeling daarvan in de tijd zijn karakteristiek voor een corrosieproces.

Inspecties van NRG worden beoordeeld door Lloyd's Register, een door de overheid erkende onafhankelijke keuringsinstantie voor nucleaire drukapparatuur. Lloyd's Register constateert dat "niet voldaan is aan de eis om het primaire systeem scheur- en lekvrij op te leveren voor ingebruikname", Lloyd's Register, beoordelingsrapport 308080600.q1 REV.1, 24-10-08.

Vanaf augustus 2008 wordt door NRG intensief gewerkt aan de ontwikkeling van plannen voor reparatie van de uitlaatleidingen. In oktober 2008 heeft de Kernfysische Dienst (KFD), de toezichthoudende

overheid, NRG om een reparatieplan verzocht en daarbij aangegeven slechts tot herstart van de HFR over te gaan nadat een goedgekeurde reparatie is uitgevoerd.

#### *Verzoek NRG*

NRG heeft met haar voorliggende verzoek de ministers van VROM, EZ, SZW en VWS, vanwege het belang van de HFR voor de productie van medische radio-isotopen, verzocht de HFR tot 1 maart 2010 in bedrijf te mogen nemen zonder voorafgaande reparatie, maar wel na het treffen van enkele veiligheidsverhogende maatregelen. Deze maatregelen betreffen onder meer het afdichten van mogelijke lekpaden, extra lekbewaking, training van personeel, het aanscherpen van limieten en condities waaronder de reactor bedreven mag worden en geïntensiveerde inspectie van de vervormingen.

NRG meldt in haar verzoek ook dat reparatie haalbaar is en dat de periode tot 1 maart 2010 nodig is voor de noodzakelijke voorbereiding daarvan. De reparatie zelf gaat vermoedelijk 3 maanden duren.

Het bedrijven van de HFR zonder voorafgaande reparatie is beoordeeld door de Reactor Veiligheid Commissie (interne commissie van NRG), en een aantal speciaal hiervoor door NRG gevraagde externe deskundigen (Het Peer Review Team bestaande uit: prof. T. v.d. Hagen, prof. H. v. Dam, J. Versteeg en A. Tiktak). Het Peer Review Team concludeert dat de degradatie geleidelijk zal plaatsvinden en dat bedrijfsvoering gedurende 1 tot maximaal 1,5 jaar verantwoord is ten aanzien van veiligheid, mits de voorgestelde maatregelen zijn geïmplementeerd.

#### *Proces*

Aanvankelijk wilde NRG de reducers eerst tijdelijk repareren en daarna definitief. Tijdens de ontwikkeling van de tijdelijke reparatie bleek deze niet haalbaar. NRG wenst nu toch tijdelijk in bedrijf te gaan zonder voorafgaande reparatie, maar wel na het treffen van een set veiligheidsverhogende maatregelen. Gedurende het tijdelijke bedrijf wordt de definitieve reparatie voorbereid.

Vanwege een op korte termijn dreigend medicijntekort is de beoordeling in relatief korte tijd tot stand gekomen. Om een vlotte beoordeling mogelijk te maken, is besloten tijdelijk parallel met NRG te werken. Dat betekent dat KFD inzage kreeg en commentaar leverde op concept documenten van NRG zonder dat dit een formele status kreeg. Pas aan het einde van het proces heeft de KFD een formele beoordeling van het NRG verzoek gemaakt (het onderhavige beoordelingsrapport) op basis van de bij het formele verzoek ontvangen documenten. De activiteiten in deze periode waren onder meer:

- becommentariëren van concept documenten;
- presentaties van NRG aan KFD en betrokken beleidsmedewerkers van de directie Risicobeleid;
- werkbezoeken van KFD aan NRG voor besprekingen en kennis nemen van de feitelijke situatie;
- veelvuldig e-mail contact voor vragen en antwoorden;
- diverse telefonische conferenties.

#### *Beoordelingsrapport*

Onderhavig beoordelingsrapport beoordeelt alleen het verzoek van NRG om toestemming voor het opstarten en bedrijven van de HFR zonder voorafgaande reparatie. Beoordeeld is in hoeverre het verzoek binnen de vergunning valt, de nucleaire veiligheid en de stralingsbescherming. Beoordeling van de uitwerking en implementatie van de aanbevolen aanvullende voorwaarden is in dit beoordelingsrapport niet opgenomen. Hierover wordt apart gerapporteerd.

Formeel leidt dit beoordelingsrapport tot een advies aan de directie Risicobeleid aangaande het verzoek van NRG om toestemming voor het tijdelijk bedrijven van de HFR in afwijking van de bestaande Kernenergiewetvergunning.



## 2. Ontvankelijkheid- en kwaliteitstoets

Opgave van Vergunninghouder/Aanvrager		Akkoord KFD	
Vereiste inhoud aanvraag	Opgave	Acc.	Toelichting
Opstellers zijn gekwalificeerd	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Voldoet aan het goedgekeurde Projectplan-Uitvoeringsplan	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Er is geen PUP, maar de aanvraag is voorzien van een pakket documenten, die alle aspecten voor een tijdelijke oplossing adresseert.
Opgave wettelijk kader	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	NRG stelt dat met bedrijf zonder reparatie, niet aan de vergunning wordt voldaan, ook bij aanvullende maatregelen. In deze beoordelingsnotitie wordt dat nader onderbouwd. Toestemming van de minister is vereist en het OM dient hiervan in kennis te worden gesteld.
Geen invloed op Vergunning VR	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Naast de bestaande vergunningen is een tijdelijke beschikking vereist.
Beschrijving huidige situatie	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Motivering voor wijziging	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Ontwerp/veiligheidsconcept	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Zie Safety Case en PSA
Tijdschema	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	De beschikking is tijdelijk. Controle intervallen 6 cycli. Einddatum beschikking 1 maart 2010
Vergelijking met andere installaties	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ja, zie HFR BPL Root Cause Analysis
Regels, richtlijnen en standaards	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	O.a. IAEA Safety Series no. 35-S1 speelt een rol bij de uitwerking in wijzigingsvoorstellen.
Opgave regels, richtlijnen, standaards	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Zie ref. lijst in wijz.vorstel.
Uitgevoerde analyse. Evaluaties			
# invloed op nucleaire veiligheid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Risicoverhoging geschat in PSA van NRG. TCDF verhoging van 4.2E-6 per jaar met 5% naar ong. 4.4E-6 per jaar.
# milieu	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Extra uitstoot bij een reducer LOCA is gekwantificeerd. Valt binnen de vergunningslimieten.
# stralingsbescherming/dosis	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Het reducer LOCA valt binnen de aan de vergunning gekoppelde PIE analyses. Geen noemenswaardige dosis "aan het hek". Bij een reducer LOCA zijn de operators in staat om de reactorhal te betreden en de kern te evacueren. Intensieve controle tijdens normaal bedrijf levert voor KFD een ALARA vraag op.
# arbeidsveiligheid	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
# invloed op VR	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ja, maar wordt afgedekt door tijdelijke beschikking.
# invloed op MER	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nvt.
# invloed op TS (VTS en bedrijfsproc.'s)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ja. Aanvulling OLC's voor primaire lekverliezen. Beoordeling niet in dit rapport.
# invloed op TIP	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nvt.
# invloed op PSA	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Ja, BPL LOCA is in PSA opgenomen.
# te gebruiken rekencodes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nvt. Reducer LOCA valt binnen vergunde PIE analyses
# kosten/baten analyse (ALARA/SAHARA)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Let op stralingsdosis bij controle 3x p dg van subpileroom
# inspectie en beproevingen	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Nader aangegeven in NRG-outline 25179/09.93202
# opleiding en training bedieningspersoneel	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Bedrijfsvoorschrift B23 aangepast. Instructie loopt in week 5 en 6 van 2009
# kwaliteitsborging	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Conform NRG
# aardbevingsvastheid	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Niet kritisch

### *Toelichting op bovenstaande condities*

Het verzoek van NRG om "toestemming voor het opstarten en bedienen van de Hoge Flux Reactor in afwijking van hetgeen vergund is" wordt ondersteund met een pakket van 10 documenten, die gericht zijn op de volgende onderwerpen.

1. Safety Case Reducers. Dit is een topdocument met daarin de beschrijving van het probleem en de bevindingen, de veiligheidsfilosofie met het barrièreconcept dat hier is aangetast, de te postuleren reducerlekken en lekpaden, de handelingen die de operator met name in de reactorhal moet uitvoeren om de kern veilig te stellen, de radiologische consequenties, de invloed op de PSA, de mate van degradatie en de degradatiesnelheid, grondoorzaak en conclusies aangaande het bellenspoor.
2. Safety Evaluation. Hierin zijn de lekpaden en lekdebieten van een gepostuleerd lek in een reducer geanalyseerd met betrekking tot het verloop van de kernbedekking in de tijd, de belasting van de afwateringssystemen en de radiologische belastingen, met name in de reactorhal. Vergelijking vindt plaats met de PIE- analyses, behorend bij de vergunning van 2005. De bestaande analyse van een bottom plug LOCA blijkt omhullend te zijn voor het reducer LOCA.
3. PSA Bottom Plug Reducer gaat uit van de huidige staat van maatregelen, die vanuit de 10eva zijn geïmplementeerd. Er wordt een conservatieve schatting gedaan naar de kans van een beginnende en detecteerbare reducer lekkage. Het ingrijpen van de wacht en de faalkans daarvan, alsmede de automatische reactorafschakeling is conservatief ingeschat. In het verdere ongevalverloop speelt het menselijk handelen een belangrijke rol. Als het lek uitgroeit naar een intermediate LOCA, zal de kern moeten worden geëvacueerd, dwz vanuit de reactortank in het opslagbassin veilig worden gesteld. De probabilistische studie over dit verloop vormt een belangrijk aspect in de argumentatie van de vergunninghouder.
4. Stralingshygiënische consequenties lekkage HFR-primair. Dit document beschrijft de stralingsbelasting in de reactorhal t.g.v. een reducer LOCA, waarmee gecontroleerd wordt of de arbeidsveiligheid bij het evacueren van de kern wel gewaarborgd kan worden. Daarnaast is nagegaan of de lekdebieten wel milieuveilig en binnen de grenzen van de bestaande vergunning kunnen worden behandeld en af- of teruggevoerd. Tezamen met de bovengenoemde documenten vormt dit rapport de ruggengraat van de documenten, waarmee de vergunning technisch wordt onderbouwd.
5. Best estimate on corrosion rate based on NDT and wall thickness development in time. Dit document berekent de corrosiesnelheid, en maakt extrapolaties voor de wanddikteafname en de hoogtegroeï van de vervormingen.
6. In de HFR BPL Root Cause Analysis conclusions worden opties van mogelijke grondoorzaken van de vervormingen en de verdere degradatie behandeld.
7. Mechanical Failure mechanisms for the BPL scenario onderzoekt de wijze en de snelheid van het falen van de vervormingen. Hierbij is gebruik gemaakt van een "fitness for service" beschouwing.
8. Assessment of gas and water leakage from the reducer gaat in op het in zomerstop 2008 geconstateerde bellenspoor.
9. Wall thickness measurements of the reducers of the BPL. Dit document levert meetgegevens over de resterende wanddikte van de reducers zowel ter plaatse van de deformaties als wel de niet-vervormde delen. Aangevoerd wordt dat de flens in de noordelijke reducer niet meer verbonden is aan de primaire leiding. Dit betekent dat er een potentieel lekpad bestaat tussen het primair systeem en de mantelpijp van de noordelijke reducer.
10. Definitieve reparatie van de BPL-reducers; Haalbaarheidsstudie. Het tijdelijke bedrijf is mogelijk slechts toe te staan als er zicht is op een reparatie, waarmee de HFR wat langer vooruit kan. Een definitieve reparatie, waarbij beton wordt weggenomen en de reducers geheel of gedeeltelijk worden vervangen, wordt door NRG haalbaar geacht. Hierin is de stralingsbescherming van werknemers een kritieke factor.

### *Ontvankelijkheid*

De documenten dekken in principe alle aspecten af, die voor een tijdelijke beschikking moeten zijn getoetst tegen de vigerende vergunning en de betreffende wet- en regelgeving. De documenten 1 t/m 9 hebben tevens de NRG kwaliteitsborging succesvol doorlopen. De aanvraag is derhalve ontvankelijk voor een beoordeling, leidend tot een advies van KFD aan de vergunningverlenende instantie(s) (i.c. VROM/DGM/RB).

Een beschikking zal leiden tot extra vergunningsvoorwaarden, waarop KFD zal moeten handhaven. Daarmee samenhangend dient de vergunninghouder in het vervolgtraject één of

meerdere wijzigingsvoorstellen, operating limits & conditions (aanvullende VTS voorwaarden) en bedrijfsprocedures aan KFD ter beoordeling voor te leggen.

### 3. Toetsing aan de Kernenergiewetvergunning

Om te bepalen of het bedrijven van de HFR in de huidige toestand (zonder reparatie en zonder aanvullende maatregelen) voldoet aan de vergunning zijn twee artikelen uit de Kernenergiewetvergunning van belang:

- artikel A.1. vereist dat de HFR aan het Veiligheidsrapport (VR) voldoet. Het VR beschrijft in hoofdstuk 2 het defence in depth concept, en
  - artikel A.14. verwijst naar IAEA Safety Series no. 35- S1: "Code on the Safety of Nuclear Research Reactors: Design", die in hoofdstuk 5 het defence in depth vereist.
1. In het HFR Veiligheidsrapport zijn verschillende statements te vinden over defence in depth. Op pagina 2.6 bovenaan worden vereisten opgesomd waaraan de eerste line of defence moet voldoen: "hoge betrouwbaarheid van systemen en componenten". Dit is in conflict met de degradatie van de primaire koelwaterleidingen van de HFR. Pagina 2.6 onderaan: "invulling van het 'defence in depth' principe is de toepassing van opeenvolgende barrières die de radioactieve materialen insluiten". Pagina 2.7 bovenaan: "het primair koelwatersysteem dient als extra omhulling van het radioactief materiaal in de reactorkern". Ten gevolge van de voortdurende degradatie is het primair systeem niet langer een betrouwbare omhulling van het radioactief materiaal in de reactorkern. Er wordt dan ook niet voldaan aan de eisen van defence in depth.
  2. Vergunningsartikel 1.7.A.14. verlangt dat de HFR voldoet aan de IAEA Safety Series no. 35- S1: "Code on the Safety of nuclear research reactors: Design". In hoofdstuk 5 General design requirements staat in artikel 505 het nodige over "Defence in depth". Defence in depth is een veiligheidsconcept dat voorziet in meervoudige lagen van bescherming tegen de verspreiding van radioactiviteit. De implementatie van dit concept geldt als noodzakelijke voorwaarde voor het realiseren van een staat van nucleaire veiligheid bij een kernreactor.
  3. In dit document zijn diverse "shall statements" opgenomen: dit zijn vereisten waaraan de reactor moet voldoen.
  4. Art. 505 begint met: "the design process shall incorporate defence in depth features".
  5. Art 505 b. schrijft een serie physical barriers met als derde barrière het "primary heat transport system". Dit systeem is bij de HFR gefaald of staat op het punt van falen. Of in andere woorden: de integriteit van het primaire systeem wordt ernstig bedreigd door de degradatie.
  6. Zoals in art 505 c. wordt aangegeven, dient het defence in depth concept voor het zekerstellen van de drie basis veiligheidsfuncties van een kernreactor. Deze functies zijn:
    - 1) de beheersing van de reactiviteit,
    - 2) het zekerstellen van de kernkoeling in verband met vervalwarmte en
    - 3) het insluiten van radioactiviteit.
  7. De basis veiligheidsfuncties koelen en insluiten zijn bedreigd door de degradatie van de reducers en de ongunstige plaats ervan. Falen van een reducer zou kunnen leiden tot het ontstaan van een niet afsluitbaar lek onder de kern, waardoor de reactor zou kunnen leeglopen in de reactorhal.
  8. De KFD is daarom van oordeel dat de invulling van het defence in depth concept bij de HFR niet meer voldoet aan de eisen van de vergunning t.g.v. het integriteitsverlies van het primaire koelwatersysteem.
  9. Deze situatie verhoogt de kans op kernschade. Het feit dat de KFD het verhoogde risico toch aanvaardbaar vindt, is het gevolg van het feit dat de reducers zijn ingestort in het beton van het biologisch schild. De kans op een groot lek wordt daardoor sterk verkleind. Het beton is echter niet ontworpen als insluitsysteem van het primaire koelwater. Het beton kan ook niet meer gekwalificeerd worden voor deze functie, zodat alsnog vergunnen van de situatie niet mogelijk is.
  10. De extra maatregelen, die de HFR nu introduceert, verhogen weliswaar de veiligheid maar zijn niet acceptabel als vergunbare oplossing. Het bezwaar is dat de lines of defence in het veiligheidsconcept onafhankelijk dienen te zijn, d.w.z. een zwakte in een line of defence kan niet worden gecompenseerd met maatregelen in een andere line. Een herstel van de integriteit van het primaire koelsysteem is noodzakelijk om aan de vergunning te voldoen (INSAG-12).

#### *Conclusie*

De HFR voldoet in de huidige toestand (dus zonder reparatie of maatregelen) niet aan de vigerende Kernenergiewetvergunning, omdat de integriteit van het primaire systeem wordt bedreigd door een voortdurend degradatieproces.

Hoewel het treffen van maatregelen de veiligheid verbetert, wordt ook dan niet voldaan aan de vigerende Kernenergiewetvergunning.

#### 4. KFD beoordeling documenten NRG-verzoek

De volgende documenten zijn bij het formele verzoek tot herstart van NRG ontvangen. In het navolgende zijn deze documenten beoordeeld op nucleaire veiligheid en stralingsbescherming.

ID	Doc. nr.	Rev. / d.d.	Titel
1	K5004/09/09.93207 QSE/FSD/TV	- / 21-01-2009	Verzoek om uw toestemming voor het opstarten en bedienen van de Hoge Flux Reactor in afwijking van hetgeen vergund is
2	K5004/09.9317 QSE/FSD/TV	- / 21-01-2009	Verzoek om toestemming voor het opstarten en bedienen van de Hoge Flux Reactor met een afwijking in het reactorsysteem ten opzichte van hetgeen vergund is in de Kernenergiewetvergunning van de HFR te Petten, kenmerk SAS/2004166322 d.d. 7 januari 2005
3	-	- / -	President's Message "Nuclear Medicine in Economic Crisis"; Wolfram H. Knapp; EANM President 2009-2010
4	-	- / nov. 2008	Report on Molybdenum 99 Production for Nuclear Medicine 2010-2020; state of the Art; AIPES
5	-	- / 21-01-2009	Brief met het advies van het Peer Review Team; T.H.J.J. van der Hagen
6	NRG-25068/08.92807	E / 20-01-2009	Safety Case reducers BPL, Interim Solution
7	25180/08.90960	4 / 19-01-2009	Safety Evaluation Reducers
8	NRG-25179/08.92646	D / 19-1-2009	PSA Bottom Plug Reducer
9	NRG-25179/08.92569	E / 21-01-2009	Stralingshygiënische consequenties lekkage HFR- primair
10	NRG-25179/08.92640	D / 21-01-2009	Best estimate on corrosion rate based on NDT and wall thickness development in time
11	NRG-25179/08.92584	D / 6-01-2009	HFR BPL Reducer Root Cause Analysis, Conclusions
12	NRG-25179/08.92655	C / 20-01-2009	Mechanical Failure Mechanisms for the BPL Scenario
13	NRG-25179/08.92671	E / 20-01-2009	Assessment of Gas and Water Leakage from the Reducer
14	NRG-25079/08.92647	D / 15-01-2009	Wall Thickness Measurements of the Reducers in the HFR BPL, 2008 Measurements
15	NRG-25079/08.92828	B / 9-01-2009	Definitieve reparatie van BPL-reducers, Haalbaarheidsstudie "betonroute"

Document 1 betreft de aanbiedingsbrief. Document 2 formuleert het eigenlijke verzoek van NRG. De documenten 3 en 4 leveren achtergrondinformatie betreffende medische isotopenproductie. Document 5 is het advies van het Peer Review Team. De documenten 6 tot en met 15 leveren de technische onderbouwing van het verzoek.

De documenten 6 tot en met 14 zijn beoordeeld en geaccepteerd door de HSC (HFR Safety Committee) en de RSC (Reactor Safety Committee). Deze documenten zijn tevens beschouwd door het Peer Review Team bij het tot stand komen van haar advies.

Document 15 is niet beoordeeld door HSC, RSC of het Peer Review Team.

##### 4.1. Verzoek om uw toestemming voor het opstarten en bedienen van de Hoge Flux Reactor in afwijking van hetgeen vergund is

**doc.nr. K5004/09/09.93207 QSE/FSD/TV, 21-01-2009**

Betreft de aanbiedingsbrief waarmee het verzoek wordt aangeboden.

Conclusie: In het kader van onderhavige beoordeling is dit document niet van belang.

##### 4.2. Verzoek om toestemming voor het opstarten en bedienen van de Hoge Flux Reactor met een afwijking in het reactorsysteem ten opzichte van hetgeen vergund is in de Kernenergiewetvergunning van de HFR te Petten, kenmerk SAS/2004166322 d.d. 7 januari 2005

**doc.nr. K5004/09.9317 QSE/FSD/TV, 21-01-2009**

Betreft het formele verzoek om toestemming voor het opstarten en bedienen van de HFR gericht aan de ministers van VROM, EZ, SZW en VWS. Het verzoek wordt geformuleerd, de aanleiding, de rechtvaardiging alsmede een pakket met aanvullende veiligheidsverhogende maatregelen. Voor verdere onderbouwing is een set technische documenten bijgevoegd.

###### *Bevindingen*

###### *Vorbereidingstijd 12 maanden*

NRG vraagt 12 maanden voorbereidingstijd voor reparatie van de HFR. Ter overweging van de redelijkheid van de verzochte 12 maanden is het volgende overwogen.

1. Het NRG-verzoek, par. 4. beargumenteert de gevraagde tijd. Als aanvulling op het verzoek, kondigt NRG nog een stappenplan aan met een tijdsplan voor het opstellen van een gedetailleerd reparatieplan. Dit stappenplan is ontvangen in concept (Definitieve reparatie van de reducers HFR; Stappenplan; NRG-25079/09.93389; rev. A; 28 januari 2009). Het

- stappenplan geeft een tijdplanning en verschaft meer inzicht in de activiteiten die gedurende de 12 maanden moeten gebeuren.
2. De haalbaarheid van een definitieve reparatie via het beton is door NRG onderzocht en gerapporteerd in "Definitieve reparatie BPL-reducers", Haalbaarheidsstudie betonroute. Eindconclusie is dat de reparatie van de reducers uitvoerbaar is, d.w.z. qua werkomstandigheden voor mensen. De technische uitvoerbaarheid is niet in de haalbaarheidsstudie betrokken. Problemen die daar nog uit voortkomen dienen tijdens de voorbereidingsfase opgelost te worden.
  3. Uit de haalbaarheidsstudie blijkt ook dat er voor reparatie erg veel moet gebeuren. Zo moet de bassinbodem en de bodemplug apart ondersteund worden omdat deze verzwakt wordt door het wegnemen van beton; de reactor moet gefixeerd worden; uitgebreide afschermingmaatregelen; etc. Al dit uitvoerende werk moet voorbereid worden.
  4. De beoogde reparatie is nog niet eerder elders uitgevoerd: het probleem, de installatie en de omstandigheden zijn uniek te noemen. Een reparatie moet in één keer goed uitgevoerd worden. Dat betekent aantonen dat de werkwijze succesvol zal zijn (kwalificeren) en mogelijke problemen vooraf inventariseren waarbij ook herstelmogelijkheden bedacht zijn. Mogelijk wordt er een prototype gebouwd om de reparatie te testen en te oefenen. Bij deze activiteiten behoort ook de uitvoerende aannemer betrokken te worden.
  5. Definitieve reparatie is een complexe operatie die zorgvuldig moet worden voorbereid. Er zijn onzekerheden die nu in de voorbereidingsfase opgelost moeten worden. Vooral bij het werken aan bestaande installaties zijn verrassingen mogelijk die voorkomen moeten worden, dat kost tijd.

Het geheel overziend is het verzoek voor 12 maanden voorbereidingstijd niet onredelijk.

#### *Inspectie na 6 cycli*

Een van de aanvullende maatregelen betreft het na elke 6 cycli uitvoeren van een uitgebreide tussentijdse inspectie van de "reducers" (contour, locatie en wanddikte).

N.a.v. de laatste inspectie van de vervormingen (januari 2009) lijkt de hoogte van de vervormingen meer dan evenredig toegenomen. Dit vormt aanleiding de inspectie na elke 6 cycli te heroverwegen: is eerdere inspectie bijv. na 3 of 4 cycli zinvol? Aspecten die daarbij een rol spelen zijn:

1. ten gevolge van de grote meeton nauwkeurigheid is de interpretatie van de meetresultaten van januari 2009 discutabel;
2. het zoveel mogelijk beperken van de stralingsbelasting van inspectie medewerkers (ALARA);
3. i.v.m de beperkte beschikbaarheid van het inspectiebedrijf zal een inspectie na 3 of 4 cycli van beperkte omvang zijn (visueel en contour), na 6 cycli is een uitgebreide inspectie mogelijk (visueel, contour en wanddikte). Gezien het trage verloop van het degradatieproces, is voor een goede bewaking van het verloop van de degradatie, 1 uitgebreide inspectie meer zinvol dan 2 beperkte inspecties;
4. gedurende een inspectie kan de reactor niet worden bedreven. Bij een beperkte inspectie betreft dit ca. 4 dagen en bij een uitgebreide inspectie ca. 14 dagen;
5. inspectie na 6 cycli kan gecombineerd worden met een reguliere grote stop van de reactor;
6. in het licht van de beschikbaarheid van reactoren wereldwijd komt een inspectie na 4 cycli erg ongelukkig uit (HFR is dan wereldwijd als enige in bedrijf).

Overwegende het voorgaande is er voor gekozen de voorgestelde inspectie na elke 6 cycli te handhaven.

#### *Conclusie*

In het kader van onderhavige beoordeling is er geen bezwaar tegen dit document.

#### **4.3. President's Message "Nuclear Medicine in Economic Crisis"; Wolfram H. Knapp; EANM President 2009-2010**

Betreft een document uit de medische wereld waaruit het dreigende tekort aan medische isotopen blijkt, zowel op korte als op lange termijn.

Conclusie: In het kader van onderhavige beoordeling is dit document niet van belang.

#### **4.4. Report on Molybdenum 99 Production for Nuclear Medicine 2010-2020; state of the Art; AIPES, November 2008**

Betreft een document uit de medische wereld waaruit het dreigende tekort aan medische isotopen blijkt, zowel op korte als op lange termijn.

Conclusie: In het kader van onderhavige beoordeling is dit document niet van belang.

#### **4.5. Brief met het advies van het Peer Review Team; T.H.J.J. van der Hagen 21-01-2009**

Betreft het advies van het Peer Review Team van vier experts op het gebied van kerninstallaties (prof. T. v.d. Hagen, prof. H. v. Dam, J. Versteeg en A. Tiktak). Het team heeft in opdracht van NRG een onafhankelijke beoordeling uitgevoerd op de bij de aanvraag behorende "Safety Case reducers BPL" en de onderliggende documenten.

Het Peer Review Team concludeert het volgende.

- Degradatie van de reducer zal geleidelijk plaatsvinden en zal niet leiden tot een instantaan en grootschalig falen.
- De voorgestelde tijdelijke bedrijfsvoering van de HFR gedurende een beperkte periode is verantwoord ten aanzien van veiligheid mits de voorgestelde maatregelen zijn geïmplementeerd. Hierbij wordt gedacht aan een tijdelijk bedrijf gedurende een periode van 1 tot maximaal 1,5 jaar.

Het team meent dat bij lekkage van primair koelmiddel het bedrijf van de HFR gestaakt dient te worden. Daarnaast dient de ontwikkeling en de uitvoering van de permanente reparatie met hoge prioriteit te worden uitgevoerd om de periode van tijdelijk bedrijf zo kort mogelijk te houden.

Het Peer Review Team heeft de vervormingen niet getypeerd als een afwijking van de Kernenergiewetvergunning.

Conclusie: In het kader van onderhavige beoordeling is het advies van het Peer Review Team voor kennisgeving aangenomen.

#### **4.6 Safety Case reducers BPL, Interim Solution doc.nr. NRG-25068/08.92807, rev. E, 20-01-2009**

Dit document beschrijft het veiligheidsonderzoek naar het tijdelijk opstarten en bedrijven van de HFR zonder voorafgaande reparatie, maar na het implementeren van een set veiligheidsverhogende maatregelen. De Safety Case is het overkoepelende document dat de conclusies uit de onderliggende documenten verzamelt. Het beperkt zich tot de technische aspecten voor het bepalen van de noodzakelijke maatregelen en het aantonen van een het veilig reactorbedrijf. Het document concludeert:

- in afwachting van definitieve reparatie is veilig bedrijf van de HFR mogelijk, mits een set van maatregelen is geïmplementeerd;
- met deze maatregelen zijn de 3 veiligheidsfuncties van de HFR (reactiviteitsbeheersing, kernkoeling en opsluiting van radioactiviteit) gedurende alle bedrijfstoestanden gegarandeerd;
- na 6 maanden dienen de reducers geïnspecteerd te worden.

##### *Bevindingen*

1. In Par. 1.2 ontbreekt een complete probleemstelling. Zo ontbreekt de melding van de defecte mantelflens. De degradatie van de reducers is wel aangegeven (4 naar binnen gerichte vervormingen met wanddikte vermindering tot 70%) maar het ontbreekt aan duidelijkheid over de betekenis van de degradaties d.w.z. de functies van het z.g. primaire koelwatersysteem waar de reducers onderdeel van zijn en de gevolgen van reducer falen. De reducers zijn conische pijpstukken in het primaire koelsysteem. Dit systeem moet de (verval)warmte van de kern afvoeren en vormt tevens de voorlaatste barrière tegen de verspreiding van radioactiviteit in het milieu (de laatste barrière is de reactorhal). Dit betreft twee van de drie basis veiligheidsfuncties van kernreactoren en zijn daarom van groot belang voor de nucleaire veiligheid van de reactor.

De plaats van de reducers is zeer ongunstig gelegen namelijk direct onder de reactorkern. Een lekkage op deze plaats kan bovendien niet worden afgesloten. Dit leidt in principe tot leeglopen van het koelwater in de reactor naar de kelders van de reactorhal. De kern wordt



dan niet meer gekoeld en er ontstaat een opening voor verspreiding van radioactiviteit uit de kern naar de reactorhal. Door falen van een reducer kunnen dus twee basis veiligheidsfuncties van de kernreactor in gevaar komen. Deze situatie zou beheerst moeten worden door operators, die een verbinding maken tussen het primaire koelsysteem en het bassin (openen van de convectieafsluiters) en het ontladen van de kern in een later stadium.

2. Par 3. "Safety Philosophy". Dit hoofdstuk is een goede weergave van het veiligheidsconcept, waaraan de HFR volgens de KEW vergunning moet voldoen. NRG gaat niet in op de vraag of de installatie nog aan de vergunning voldoet. Dat zijn twee zaken. Ten eerste voldoet het bijna falen van de reducers niet aan par. 3.1 bovenaan pag. 14: de eerste line of defence van het defence in depth concept vereist "prevention of system failures". NRG had deze situatie van vergevorderde degradatie moeten voorkomen door passende inspecties, onderhoud of andere maatregelen. NRG schrijft bovenaan pag. 18 terecht dat de reducers niet meer aan de eerste line of defence voldoen. Het tweede punt betreft het multi barrier concept genoemd in par. 3.2.2.: de radioactiviteit in de kern moet geïsoleerd worden van het milieu door een serie barrières, die moeten werken bij normaal bedrijf, storingen en ongevallen. Falen van een reducer is het doorbreken van de derde barrière en daarom in strijd met de vergunning. Hoewel de voorgestelde maatregelen gunstig zijn voor de nucleaire veiligheid van de installatie, voldoet de reactor na implementatie van de maatregelen niet aan de vergunning. Het concept verlangt dat alle lines of defence beschikbaar zijn, dat een zwakte moet worden hersteld en niet kan worden gecompenseerd met maatregelen in een ander line of defence.
3. Par. 3.3 "Trespassing the level of defence of barrier concept" gaat in op de betekenis van een mogelijke reducerlekkage. De stelling wordt verdedigd dat reducerlekkage geen probleem is omdat het primaire systeem van zichzelf lek is. Dat is correct voor enkele verbindingen tussen de reactortank en het bassin en afdichtingen van afsluiters en pompassen. Deze lekken zijn bekend en in grootte beheerst. Maar het primaire koelsysteem heeft verder overeenkomstig het ontwerp een barrièrefunctie rond de reactorkern. Volgens het Veiligheidsrapport hebben de mantelpijpen rond de primaire leidingen in het biologisch schild dan ook een functie in verband met lekdetectie. Lekkage door de wand van de reducers of leidingdelen in de pijpencorridor is daarom niet acceptabel.
4. Par. 4.2. "Thermal Hydraulic Analysis" kan in samenhang met 4.4 "Probabilistic Assessment" duidelijker zijn over het verloop van de mate van kernbedekking bij een intermediate reducer LOCA, de rol van de operator en de mogelijkheid van een falend menselijk handelen.
5. Par. 4.3 "Radiological consequences" is vooral gericht op de radiologische belastingen bij het afvoeren van lekwater en de vraag of de met de reducer LOCA samenhangende lozingen naar lucht en water binnen de bestaande vergunning blijven. Het moet echter ook duidelijk blijken dat de radiologische belasting en met name die boven het bassin voldoende gering is om de kern op de gebruikelijke wijze te evacueren.
6. Par. 4.4 onder "Boundary conditions" wordt gesuggereerd dat er één orifice per mantel is. Lek wordt echter aan beide zijden van een mantel door een orifice begrens.
7. De getallen betreffende de kans op kernschade genoemd in par. 4.4 moeten alleen in de context van de NRG berekening gezien worden. Gezien de onzekerheden kunnen deze getallen hooguit als indicatief worden bestempeld (zie ook beoordeling PSA). Om vergelijking te vergemakkelijken kan vermeld worden dat voor aanvang van het 10eva-modificatieproject in 2003 de kernbeschadigingsfrequentie ongeveer 15 keer hoger lag.
8. Par. 5.4. NRG stelt zonder beperkingen dat "Leakage is acceptable" voor het primaire koelsysteem. Dit berust volgens NRG op het feit dat het systeem open is in de expansietank (aangesloten op het nucleair ventilatiesysteem) en de lekkages van afdichtingen, pompen en afsluiters. Deze lekkages zijn bekend, bewaakt en beheerst. Maar lekkages van leidingen en andere passieve delen van het primaire systeem zijn daarentegen niet acceptabel, omdat die in strijd zijn met het veiligheidsconcept zoals beschreven onder 2.
9. Par. 5.4. NRG maakt hier gebruik van een "fitness for service" beschouwing. Dit zijn niet nucleaire analyse technieken om de toelaatbaarheid van afwijkingen als scheurvorming te beoordelen. Ook in een nucleaire situaties kan hiermee inzicht verkregen worden, maar het criterium structural functionality is niet voldoende voor een kernreactor. Het primaire koelsysteem van een kernreactor moet aan structural integrity voldoen.

10. Een maatregel in hoofdstuk 6 is "sealing of the jacket pipes". Daartoe zijn dubbel uitgevoerde isolatieafsluiters aangebracht. Bij de implementatie van maatregelen is echter geen lektheid gespecificeerd voor de EPDM- afdichtingen van de mantels. Een controle is nodig op de haalbaarheid van het gestelde in de safety case met een verantwoording van mogelijke afwijkingen van het oorspronkelijke concept.
11. Par. 5.4 NRG vindt dat de "fitness for service" van het primaire systeem het uitgangspunt is, ook na verdere degradatie. Verdere degradatie van de vervormingen zal leiden tot openscheuren. Er zijn dan twee gevolgen. Het eerste is een kleine tot middelgrote lekkage van koelmiddel uit het primaire systeem. Een grote lekkage lijkt niet waarschijnlijk, omdat de reducers zijn ingestort in beton, waardoor vrije uitstroming waarschijnlijk wordt beperkt. Ten tweede kunnen bij openscheuren aluminium delen, corrosieproducten, polyetheen folieresten en beton in het primaire koelsysteem terecht komen, zoals in onderstaand punt aangegeven.
12. Gruis inlek  
De Safety Case richt zich vrijwel alleen op het detecteren en beheersen van lekkage vanuit het primair systeem naar buiten. Bij het openen van een vervorming kan ook materiaal het primair systeem inleken, bijvoorbeeld betongruis, corrosieproducten, polyetheen, aluminium deeltjes. Dit kan a. koeling van de kern verhinderen door verstopping, b. regelstaven blokkeren en c. criticiteit van de reactor beïnvloeden. Hierover zijn vragen gesteld aan NRG, waaruit blijkt (NRG doc.nr. 25168/08.90461 HFR-IS/RKM/JEB; Interactie-effecten tussen PIE's en mogelijk falen van de vervormingen in de reducer van de BPL; 14-08-2008):
  - a. vreemde materialen die vrijkomen bij het falen van de vervormingen worden meegevoerd met het primaire koelmiddel. In eerste instantie worden grotere componenten opgevangen in de decaytank. Vervolgens zorgen de filters in het primaire koelsysteem (doorlaat kleiner dan 2 mm) dat er geen blokkade van koelkanalen van regelstaven (2,33 mm) of splijtstofstaven kan optreden (2,46 mm);
  - b. het blokkeren van regelstaven door vervuiling is niet in genoemde notitie onderzocht. Bij Bij blokkeren van 1 of 2 regelstaven kan de reactor nog steeds afgeschakeld worden;
  - c. aangetoond is dat vervuiling van het koelmiddel met  $AL(OH)_3$  of met beton niet leidt tot een significant reactiviteitseffect;
 Uit de antwoorden van NRG blijkt dat de gevolgen van gruis inlek afdoende zijn onderzocht.
13. De waargenomen degradatie valt totaal buiten het ontwerp van dit soort leidingen: bedrijfsbelastingen behoren alleen tot elastische vervormingen te leiden en nooit tot plastische vervorming met een gaslek.

#### *Conclusie*

1. De KFD deelt de conclusies van NRG dat de reactor voldoende veilig is voor bedrijf als alle veiligheid verhogende maatregelen zijn getroffen. Dit betreft de afsluiting van een lekpad, extra lekbewaking, training van personeel, het aanscherpen van limieten en condities en extra inspectie van de vervormingen.
2. In tegenstelling tot het standpunt van NRG is de KFD van oordeel dat de reducer degradatie een inbreuk vormt op de integriteit van het primaire koelsysteem, waardoor de invulling van het defence in depth concept niet meer voldoet aan de eisen van de Kernenergiewetvergunning.
3. Het rapport laat zien dat het probleem vanuit een integrale benadering met benoeming van alle relevante aspecten is aangepakt. Op enkele onderdelen is een scherpere formulering gewenst. Ook is een controle nodig op de haalbaarheid van het gestelde in de safety case met een verantwoording van mogelijke afwijkingen van het oorspronkelijke concept.

#### **4.7. Safety Evaluation Reducers doc.nr. 25180/08.90960, rev. 4, 19-01-2009**

Dit rapport beschrijft uitvoerig de delen van het primaire koelsysteem en de bijbehorende constructies, die van belang zijn in de veiligheidsevaluatie. Degradatie van de reducers wordt afgezet tegen het defence in depth concept. Niet alle uitspraken worden gedeeld (zie bevindingen). Falen van een reducer (openscheuren van een vervorming) wordt terecht behandeld als een Loss Of Coolant Accident (LOCA) met daarbij de opmerking dat de kernkoeling in gevaar kan komen omdat het lek zich onder het niveau van de kern bevindt. Het bottom plug LOCA heeft van alle reeds geanalyseerde Postulated Initiating Events (PIE's) de meeste overeenkomst met het reducer LOCA. Vervolgens worden de mogelijke lekpaden

besproken. Vastgesteld wordt dat er drie paden nader bekeken moeten worden. Het zijn lekkages naar: de mantelpijp, langs de reducer naar de bassinbodem of de subpileroom en tenslotte door scheuren in het beton eveneens naar de bassinbodem of de subpileroom.

#### *Bevindingen*

1. De systeembeschrijving is uitvoerig en informatief. Constructieve problemen worden open genoemd. Polyetheen folie rond de bottomplug en reducers moet bescherming bieden tegen chemische aantasting door beton. De huidige conditie van de folie is niet goed bekend. In de primaire leiding zijn vaste punten gemaakt m.b.v. roestvast stalen platen tussen flenzen van de mantelpijp. Dit zijn potentiële plaatsen voor galvanische corrosie. De aluminium flens bij de reducers is gedeeltelijk los van de pijp en vormt daarom een belangrijk lekpad in de analyse.
2. Het rapport vermeldt terecht dat een lekke reducer kan leiden tot een gevaarlijk situatie, omdat een lekopening zou ontstaan onder het niveau van kern. Onvermeld is dat bij reducerlekkage vrije uitstroming uit het primaire koelsysteem kan optreden door toestroom van lucht via vacuüm breakers op het hoogste punt van de U-bochten. Een reducer lekkage vormt dus een niet afsluitbaar lek van het primaire systeem. De degradatie van de reducers is in feite het verlies van de integriteit van het primaire systeem.
3. Op pag. 20 staat "the structural functionality is evaluated in [36] with positive result". [36] is het rapport over Mechanical Failure etc. In de beoordeling daarvan (zie par. 4.12.) is naar voren gekomen dat structural functionality niet voldoende is voor een nucleaire installatie; daarvoor geldt de eis van structural integrity. Zoals de betrouwbaarheid van actieve systemen wordt verzekerd door redundantie en diversiteit, zo wordt de betrouwbaarheid van passieve systemen verzekerd door structural integrity.
4. In de behandeling van het defence in depth concept wordt onderaan pag. 19 gesteld dat de reducerproblemen geen rol spelen in de beheersing van de reactiviteit. Dit is in principe niet juist: openscheuren van een vervorming kan materiaal in het primaire systeem brengen zoals corrosieproducten, polyetheen folie resten en betongruis. Deze stoffen kunnen mogelijk de val van regelstaven verhinderen en de stroming door splijstofelementen blokkeren. De installatie is redelijk beschermd tegen deze problemen. De filters voor de primaire pompen en de decay tank kunnen plastic folie en gruis afvangen zodat het niet in de reactorkern komt.
5. Hoofdstuk 3 begint met het defence in depth concept. Terecht wordt opgemerkt dat reducer falen kan leiden tot problemen met de afvoer van warmte uit de kern. Het probleem met de verspreiding van radioactiviteit wordt afgedaan met de opmerking dat de verspreiding beperkt zal blijven tot de reactorhal. NRG maakt hier een belangrijke fout door niet de conclusie te trekken dat reducer falen een serieuze bedreiging kan vormen voor de drie basis veiligheidsfuncties en dat daarmee de invulling van het defence in depth concept onvoldoende is geworden.
6. In de bepaling van het maximale lek langs de reducer is alleen uitgegaan van thermische (uitzettings)verschillen tussen pijp en beton (blz. 23/24). Daarbij is geen rekening gehouden met mogelijke degradatie van polyetheen folie. Het rapport schrijft dat degradatie van polyetheen folie door zware gamma bestraling mogelijk is. Zonder folie is het lekpad langs reducer en langs bodemplug beduidend groter, waardoor de beschikbare tijd voor operator handelingen korter wordt, wat de kans op menselijke fouten vergroot. Dit draagt bij tot de grootte van de onzekerheidsmarge in de PSA.  
Naar aanleiding van vragen heeft NRG een beknopte (literatuur)studie verricht, die een positiever beeld oplevert van de polyetheen degradatie.
7. De thermische analyses met RELAP5/Mod3.2 zien er gedegen uit.

#### *Conclusie*

Het is een technisch gedegen rapport, dat gebaseerd is op voor de HFR gevalideerde analysemethoden. De betekenis van reducer falen (niet afsluitbaar primair lek, verlies van structural integrity, grote invloed van menselijk handelen en invulling van het defence in depth concept) wordt echter niet sterk benadrukt.

#### **4.8. PSA Bottom Plug Reducer doc.nr. NRG-25179/08.92646, rev. D, 19-1-2009**

Bij de beoordeling als achtergrond informatie gebruikte documenten:

- Risk Scoping Study HFR: HEU; december 2003;
- Risk Scoping Study HFR: LEU; december 2003;

### *Proces*

In de eerste instantie werd het concept document "PSA Bottom Plug Reducer", rev. C door de KFD sec beoordeeld. De opmerkingen en vragen werden aan NRG doorgegeven en op 13 januari 2009 met NRG besproken. Het commentaar van de KFD was in hoofdlijnen:

1. Frequentie begingebourtenis is veel te optimistisch, mede in het licht dat er al een pinhole is.
2. Kansen op menselijke fouten hielden geen rekening met de lange tijden.
3. Er is geen rekening gehouden met mogelijke herstelacties in latere fasen van het ongevalverloop
4. Een verdere differentiatie van lekgrootte als functie van de tijd is gewenst om betere responstijden af te schatten. Dit om de factor beschikbare tijd in kans op menselijk falen mee te wegen.
5. Een gevoeligheidsanalyse is noodzakelijk om een beter gevoel te krijgen van welke parameters in het risicomodel bepalend zijn voor het eindantwoord.

Ook had de KFD vragen over de lekgrootte en de invloed van eventuele degradatie van het polyethyleen tape waardoor de spleet tussen reducer en beton groter zou worden.

NRG heeft deze opmerkingen ter harte genomen en alle KFD opmerkingen zijn in revisie D verwerkt.

### *Bevindingen*

#### *Algemeen*

1. Aangezien de oorspronkelijke Risk Scoping Study qua doelstelling, scope en diepgang minder uitgebreid is als een state-of-the-art PSA van een kerncentrale, zijn de specifieke numerieke uitkomsten met de nodige terughoudendheid te beschouwen. Primair was de doelstelling van de Risk Scoping Study om na te gaan of er geen belangrijke risicobijdragen door de verzameling deterministische analyses over het hoofd waren gezien, welke in het kader van de 10-jaarlijkse evaluatie waren uitgevoerd. De numerieke uitkomsten moeten dan ook meer indicatief gezien worden dan als een exacte en betrouwbare numerieke weergave van de kans op kernschade of individueel risico. Uiteindelijk is de studie veel uitgebreider geworden dan oorspronkelijk voorzien was. Hierdoor verdient de Risk Scoping Study de kwalificatie van "mini-PSA". Op grond van een tweetal IAEA Peer Reviews en deze beoordeling moet geconcludeerd worden dat zowel de Risk Scoping Study als deze PSA Bottom Plug LOCA van voldoende kwaliteit is om betrouwbare uitspraken te kunnen doen omtrent de "orde van grootte" van het risico (bijvoorbeeld dat de kans per jaar op kernschade kleiner is dan 1 op de 100.000). Evenzo kunnen gefundeerde kwalitatieve uitspraken worden gedaan omtrent de betrouwbaarheidsintervallen rond deze "orde van grootte" (bijv. met grote zekerheid). De KFD doet daarom bewust geen uitspraken over de numerieke waarden zoals die door NRG in het rapport zijn vermeld en neemt dan ook in feite daarvan afstand.
2. De methodiek (met name de foutenbomen en gebeurtenisbomen) zijn geheel volgens stand der techniek uitgevoerd. Ook de methodiek om de bijdrage van gemeenschappelijk falen te bepalen, is gegeven de geringe redundantiegraad in de veiligheidssystemen bij de HFR van voldoende diepgang.
3. De opmerkingen die door KFD t.a.v. revisie C gemaakt zijn, zijn in revisie D verwerkt.

#### *Specifiek*

1. Gemeenschappelijk scramfalen t.g.v. betongruis dat bij falen van de reducer in het primaire systeem terecht kan komen en uiteindelijk in de regelstaaf geleidebuizen terecht kan komen is door NRG buiten beschouwing gelaten om reden van:
  - er zit een zeef in het primaire systeem;
  - de praktijk heeft geleerd dat kleine deeltjes, bijv. t.g.v. een gefaald experiment altijd in de vervalvank neerslaan.KFD heeft z'n vraagtekens bij deze stelling, maar is het met NRG eens dat in ieder geval de kans heel klein is. Mede door de alternatieve afschakelmethode draagt het bijbehorend ongevalverloop nauwelijks bij tot de totale kans op kernschade.
2. De beschouwing van de lekgrootte is realistisch.
3. De gehanteerde kansen op de beide begingebourtenissen (klein lek en gemiddeld lek) lijken qua orde van grootte redelijk. Ondanks het feit dat NRG geen echt wegingsproces

van de expertmening heeft uitgevoerd, lijken de gehanteerde kansen een redelijke zgn. beste schatting te zijn.

4. De afhankelijkheid tussen de diverse menselijke handelingen, zoals 'mindset' (doorgaan op de eenmaal ingeslagen weg) is niet meegenomen.
5. Ondanks het feit dat er geen niveau-3 analyse (effecten voor de omgeving) is uitgevoerd, kunnen de resultaten van de Risk Scoping Study LEU geëxtrapoleerd worden naar deze studie, daarbij rekening houdend met:
  - de lozing vindt plaats binnen het containment;
  - er vindt geen gelijktijdig falen van het containment plaats.

Dit betekent dat in het geval van kernschade er alleen een lozing plaatsvindt indien de containment isolatie ook faalt. Dit houdt in dat de kans per jaar op een significante lozing met grote zekerheid kleiner is dan 1 op de 10.000.000. Het individuele risico per jaar ligt derhalve eveneens ruimschoots onder de 1 op de 100.000.

#### *Conclusie*

Het risico van een kernreactor kan op verschillende manieren worden uitgedrukt:

- de kans op kernschade (ruwweg de kans dat een groot gedeelte van de reactorkern smelt);
- de kans op overlijden van omwonenden t.g.v. het ongeval. Dit laatste wordt "individueel risico" genoemd;
- de kans op overlijden van meerdere personen tegelijkertijd als gevolg van een ongeval. Dit wordt "groepsrisico" genoemd. Aangezien de hoeveelheid splijttingsproducten die vrij kunnen komen ingeval van de HFR beperkt is, is er géén sprake van direct overlijden van omwonenden en personeel op de Onderzoekslokatie Petten. Dat betekent dat er ook geen sprake is van een groepsrisico.

Om te bepalen of een activiteit al dan niet onaanvaardbaar is, bestaan er criteria. Voor wat betreft de kans op kernschade wordt internationaal een kans per jaar van 1 op de 10.000 voor bestaande reactoren als limiet gehanteerd; grotere kansen worden als onaanvaardbaar bestempeld. Voor wat betreft het individuele risico wordt in Artikel 18 van het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen van de Kernenergiewet een kans per jaar van 1 op de 1.000.000 als limiet genoemd. Aan deze op Nederlandse wetgeving gebaseerde limiet dient altijd voldaan te worden. Is dit niet het geval dan mag een kernreactor niet opgestart worden.

Op grond van de door NRG uitgevoerde risicoanalyse voor het bedrijven van de HFR zonder voorafgaande reparatie concludeert de KFD dat op grond van deze analyse is aangetoond dat de kans op kernschade niet onaanvaardbaar wordt. Dat wil zeggen dat die kans per jaar met grote zekerheid ruimschoots kleiner wordt geacht dan de internationaal daarvoor gehanteerde grenswaarde van 1 op de 10.000 voor oude en 1 op de 100.000 voor nieuwere installaties.

Na afweging van enerzijds de bestaande onzekerheden in de risicoanalyse ten aanzien van de gebruikte numerieke gegevens in de modellering van de huidige degradatie en anderzijds de mate van conservatisme ingebouwd in deze analyse, kan met grote zekerheid gesteld worden dat de kans per jaar op kernschade in ieder geval niet groter zal zijn dan een waarde in de orde van grootte van 1 op de 100.000. Nadat de reactor gerepareerd is, wordt het risico weer lager. De beste schatting is dan een kans per jaar in de orde van grootte van 1 op de 200.000.

Op grond van eerdere analyses en de analyse van de huidige degradatie kan met grote zekerheid gesteld worden dat het individuele risico per jaar ruimschoots kleiner is dan 1 op de 1.000.000 en daarmee voldoet aan de in de Nederlandse wetgeving opgenomen limiet voor de op overlijden van omwonenden ten gevolge van een ongeval.

Alhoewel het risico door de degradatie van de leidingen verhoogd is, kan concluderend gesteld worden dat het bedrijven van de HFR zonder voorafgaande reparatie binnen de context van de risicoanalyse als acceptabel bestempeld kan worden.

#### **4.9. Stralingshygiënische consequenties lekkage HFR- primair doc. nr. NRG-25179/08.92569, rev. E, 21-01-2009**

Deze beoordeling is voorafgegaan door een eerdere beoordeling op 15 januari 2009 van versie D d.d. 06-01-2009.

Na de beoordeling op 15 januari 2009 is er een telefonisch overleg geweest met NRG, waarbij KFD vragen heeft gesteld aan NRG. Dit heeft geleid tot aanpassing van het rapport door NRG. Dit is een nieuwe beoordeling waarbij gebruik wordt gemaakt van de kennis die tijdens overleggen is verkregen.

#### *Bevindingen*

1. Het rapport is geschreven in het licht van het scenario dat er tijdens reactorbedrijf een lekkage optreedt van primair water via één of meer van de drie gepostuleerde lekpaden van de Bottom Plug Reducers. Er zijn twee scenario's beschreven: een langdurige lekkage van 500 liter per etmaal en een lekkage van 15.000 liter per etmaal die maximaal 3 etmalen aanhoudt. Beschouwd worden de gevolgen van lozing van radioactieve stoffen in zee en in de lucht en de dosisconsequenties voor personeel in ruimtes van HFR en DWT (Decontamination and Waste Treatment).
2. Lozing van radioactieve stoffen in water verloopt via de normale weg van HFR naar DWT en vervolgens via de zeelozingsleiding. Deze lozing zal hoger zijn dan bij normaal bedrijf, maar in beide scenario's blijft NRG beneden de jaarlimiet die in de vergunning is genoemd.
3. Lozing van radioactieve stoffen in de lucht zal niet significant hoger zijn dan de lozing bij normaal bedrijf.
4. Dosisconsequenties voor medewerkers in geval van een reducer lek: In een aantal leidingen en in de draintanks zal de hoeveelheid radioactieve stoffen toenemen waardoor op het oppervlak het stralingsniveau toeneemt. Omdat de tanks zich tijdens reactorbedrijf op ontoegankelijke en afgesloten locaties bevinden wordt onnodige stralingsbelasting van personeel voorkomen. Dosis ten gevolge van besmetting is gering.
5. De in het rapport genoemde schattingen gaan uit van goed functionerende drainpompen, draintanks en DWT-systemen (opvang, afvoer en lozing van radioactieve stoffen), luchtfiltersystemen (opvangen radioactieve aerosolen) en luchthuishouding (compartimentering). Dit dient gewaarborgd te worden tijdens reactorbedrijf.

#### *Conclusie*

Bij het door NRG voorgestelde tijdelijk bedrijf zullen de emissies van radioactieve stoffen naar water en lucht en het stralingsniveau naar buiten niet toenemen en binnen de huidige vergunde limieten blijven als gevolg van de maatregelen die NRG voorstelt. De reactor wordt gestopt zodra er lekkage van het primaire systeem wordt geconstateerd.

De stralingsbelasting en besmettingskans voor de werkers in de reactorhal zal bij het tijdelijk bedrijf niet hoger zijn dan bij regulier bedrijf. Bij een lekkage kan de stralingsbelasting en de besmettingskans voor werkers verhoogd zijn, maar blijft door de genomen maatregelen van NRG ruim binnen de wettelijke limieten.

#### **4.10. Best estimate on corrosion rate based on NDT and wall thickness development in time doc.nr. NRG-25179/08.92640, rev. D, 21-01-2009**

NRG heeft de corrosiesnelheid en de hoogtegroeï van de vervormingen berekend uit de beschikbare meetgegevens (2006 2x, 2007 en 2008). De best estimate waarde voor de conservatieve corrosiesnelheid (Noord-2) is 0,35 mm/jaar. Dit zou betekenen dat het twee jaar duurt voordat het eerdere criterium van min. 3 mm voor Noord-2 wordt overschreden. Er is niet vermeld dat in de omgeving van het gaslek op Noord-2 meetpunten bekend zijn, die een wanddikte aangeven van 3 mm.

Daarnaast is berekend dat na 2 jaar het criterium van 20 mm hoogte door vervorming Noord-2 wordt overschreden.

#### *Conclusie*

Deze berekeningen hebben een betrekkelijke waarde omdat stilzwijgend is aangenomen dat het plastisch vermogen van het materiaal van de vervormingen binnen twee jaar nog niet is uitgeput. Het gaslek bij vervorming Noord-2 is echter een sterke aanwijzing dat plastisch vervormen al is overgegaan in scheurgroeï.

#### **4.11. HFR BPL Reducer Root Cause Analysis, Conclusions**

**doc.nr. NRG-25179/08.92584, rev. D, 6-01-2009**

Dit rapport beschrijft gedetailleerd de kennis, die is vergaard rond de degradatie van de reducers en probeert de beste verklaring vast te stellen voor de vervormingen in de reducers. Tot op heden (09.02.06) is geen van de vervormingen geopend om de werkelijke oorzaak van de vervormingen vast te stellen of het degradatieproces te stoppen.

De root cause analysis leidt tot de conclusie dat de aluminium reducers die ingestort liggen in beton, zijn aangetast door basisch water dat tussen het Al en het beton is gekomen door lekkage van de reactorbassinliner. Het corrosieproces aan de betonzijde vormt corrosieproducten met een groter volume dan het weggecorrodeerde aluminium, waardoor naar binnen gerichte vervormingen ontstaan. Waarschijnlijk speelt ook galvanische corrosie met koolstofstaal (mantelpijp, -flens) hier een rol. Als grondoorzaak van de problemen wordt water aangewezen dat zich tussen de reducer en het beton bevindt en afkomstig is van bassinlekkage. Het rapport concludeert verder dat het materiaal van de vervormingen ernstig kan zijn gedegradieerd en weinig extra vervorming meer kan opnemen (pag. 23, imperfecties in de las, extra deformatie uit de fabricage en montage van de reducers) en dat openscheuren van de vervormingen elk moment kan beginnen. De gevonden gaslekkage kan volgens de auteur worden uitgelegd als een begin van scheurvorming. In dit opzicht geeft dit rapport een realistischer beeld dan het rapport "Mechanical Failure", dat het beeld schetst van een nog jaren voortdurende plastische vervorming.

In dit rapport wordt de gasontwikkeling, die is waargenomen aan vervorming Noord 2 ook toegeschreven aan uitwendige corrosie. Aannemelijker is radiolyse van het polyetheen(PE) folie dat bij de bouw is gebruikt om de aluminium delen te scheiden van het beton. De gasanalyse van opgevangen gas toont een significante hoeveelheid CO, die door radiolyse van polyetheen in een waterige omgeving kan ontstaan, maar niet uit corrosie van Al.

*Bevindingen*

1. Het ontstaan van de vervormingen wordt verklaard uit de volumetoename van de corrosie producten t.o.v. het oorspronkelijke materiaal. De producten zijn nu genoemd:  $[Al(OH)_4 2H_2O]^-$  en  $Al(OH)_3$ . Helaas zijn de specifieke volumina van Al en de corrosieproducten niet in dit rapport vermeld om de volumetoename te bevestigen.
2. Het corrosieproces vereist anderhalve watermolecuul water per Al atoom. Toestroming van water is dus noodzakelijk. Maar het ontstaan van de vervormingen vereist dat de corrosieproducten niet weg kunnen stromen. Dit laatste spoort met het bestaan van een afgesloten gasholte aan de buitenzijde van de reducer. Het water voor het proces moet dus de afgesloten ruimte inkomen. Mogelijk veroorzaakt de thermische expansie een soort pompwerking (zie pag. 21, thermische vermoeiing).
3. In het rapport komt viermaal aan de orde, dat de drukspanning die aan de betonzijde van de vervormingen heerst en die wordt veroorzaakt door de ophoping van corrosieproducten, een doorgaande scheurvorming zal voorkomen. Dit is een vreemde bewering, omdat de voortdurende opbouw van corrosieproducten leidt tot rek over de hele dikte van het aluminium. Dit betekent dat er door de hele dikte naast de genoemde druk- en buigspanningen ook een trekspanning moet heersen. Door deze spanningscomponent kan scheurvorming wel doorgroeien naar de betonzijde.
4. In het rapport wordt niet ingegaan op de mogelijk negatieve invloed op het vervormingsvermogen van aluminium t.g.v. waterstof in de microstructuur afkomstig van de corrosiereactie. In het rapport Mechanical Failure etc. wordt dit ontkend op grond van de bewering dat er geen trekspanning kan heersen aan de betonzijde van de vervormingen.
5. Het rapport vermeldt niet dat de las tussen de reducer en de bocht door de vervormingen loopt en duidelijke slijpsporen laat zien. Bekend is dat dergelijke groefjes als scheurstarter kunnen werken en de plastisch vervorming kunnen beëindigen.
6. Het rapport schrijft dat het polyetheen folie rond de reducer mogelijk desintegreert in het gamma stralingsveld. Dit zou grote invloed kunnen hebben op de berekening van de lekgrootte van de paden richting bassinbodem en subpileroom. In een latere notitie (BPL: Effects of gamma irradiation on polyethylene liner; Hania aan Groot; 14 januari 2009) komt een beeld dat de kunststof polyetheen nog een vaste stof zou zijn.
7. Het rapport legt niet uit waarom de degradatie zich beperkt tot vier plaatsen. De omstandigheden die hebben geleid tot de vier vervormingen, gelden in feite voor de hele BPL (Bottom Plug Liner). Er is een verschil: alle vervormingen liggen op korte afstand van de koolstofstalen mantelpijp, zodat galvanische corrosie een rol kan spelen. Par. 3.3 is niet duidelijk over de gevolgen van dit fenomeen.

### *Conclusie*

Samenvattend kan worden gesteld dat het rapport een plausibele uitleg geeft van de verzamelde informatie. Daarom is er geen bezwaar tegen de conclusies uit het rapport. Echter het beeld is niet compleet noch geverifieerd. Dit maakt geïntensiveerde inspectie van de vervormingen en bewaking van lekpaden noodzakelijk.

#### **4.12. Mechanical Failure Mechanisms for the BPL Scenario doc.nr. NRG-25179/08.92655, rev. C, 20-01-2009**

Het rapport doet een poging om meer inzicht te krijgen in het mogelijke falen van de reducervervormingen. In tegenstelling tot de titel van het hoofdstuk (Degradatie mechanismen) noemt het daartoe de mogelijke faalwijzen van de vervormingen. Verder beschouwt het de ontwikkeling van de degradatie, gaat in op de degradatiesnelheid en onderzoekt tenslotte de "fitness for service" van de reducers. Het rapport vermeldt geen conclusies of samenvatting. De drijvende kracht voor het ontstaan van de vervormingen is waarschijnlijk een corrosieproces aan de betonzijde van de reducers. Daarbij wordt aluminium omgezet in een product met twee belangrijke eigenschappen: het heeft een groter volume (Aluminium hydroxide) dan het oorspronkelijke materiaal en het is een vaste stof, zodat het niet weg kan. Aluminium hydroxide ontstaat via een waterig tussenproduct. De reducerwand wordt naar binnen gedrukt door het corrosieproduct, dat ontstaat tussen het aluminium en het beton. De vervormingen worden dus gelijktijdig door twee processen dunner: corrosie en oprekken (de contour van de vervorming is langer is dan de oorspronkelijke vorm van de reducer). De vraag is nu: waardoor zal een vervorming falen, hoe verloopt dat en wat is daarvan de betekenis voor de HFR?

### *Bevindingen*

Als faalwijzen worden genoemd: oprekken van de vervormingen tot het punt dat het vervormingsvermogen is uitgeput en scheurvorming begint, wanddikteafname door een corrosie en als laatste lokale scheurvorming veroorzaakt door b.v. lasimperfecties. Daarnaast wordt vermoeiing nog als bijkomend mechanisme genoemd; een invloed van waterstof uit het corrosie proces op het gedrag van aluminium wordt uitgesloten om een -volgens de KFD- onjuiste reden.

Als het aluminium van de reducers als homogeen (defectvrij) materiaal wordt beschouwd, dan zullen de corrosie en rek het materiaal in een toestand brengen waarbij de vervormingsmogelijkheid uitgeput raakt en scheurvorming c.q. falen begint via het ontstaan microdefecten in de Al kristalstructuur. Hierbij speelt ook het fenomeen van rekconcentratie (strain accumulation), waardoor de vervorming vooral zich concentreert op de dunste plaats. Het rapport wijst -volgens de KFD- ten onrechte af, dat de vervormingsmogelijkheid van de reducer kan zijn afgenomen door voorafgaande bewerkingen. Hiermee wordt bedoeld de plastische vervorming van de reducer bij fabricage uit vlakke plaat en montage (maatvoeringsafwijkingen).

Aangezien een technische constructie niet uit homogeen materiaal bestaat, zal al in een eerder stadium falen beginnen bij inhomogeniteiten. Hiermee worden niet alleen kleine lasimperfecties bedoeld, maar ook de slijpsporen, die zichtbaar zijn op de las die door de vervormingen (veldlas en sluitnaad) loopt. Het recent gevonden kleine gaslek in een slijpspoor op de las is een voorbeeld van falen bij een inhomogeniteit. In de omgeving van het gaslek wordt een wanddikte van 3 mm gemeten.

Hoe gaat dit nu verder? Er moet worden aangenomen dat een scheur zal ontstaan bij het gaslek hetzij door zelfstandige scheurgroei door homogeen materiaal, maar waarschijnlijker door uitgroei naar nabije inhomogeniteiten als slijpsporen of lasimperfecties. Het rapport noemt de mogelijkheid dat meer poreusiteiten zullen ontstaan en stelt dat de mechanische conditie van de reducer daar niet onder zal leiden.

Uit de metingen (par. 4.10) blijkt dat het corrosieproces tamelijk langzaam verloopt, waardoor de opgedrongen vervorming ook traag toeneemt. Onvoldoende informatie is echter beschikbaar over de crack arrest fracture toughness van het betreffende materiaal om een uitspraak te kunnen doen over scheuruitbreiding per eenheid van vervormingstoename. Dit betekent dat de scheurgroeisnelheid in het eindstadium onbekend is.

Het rapport berekent op basis van een corrosiesnelheid van 0,35 mm/jaar nog veel jaren van stabiel gedrag van de vervormingen. Helaas geldt de berekening slechts voor homogeen materiaal en is daarom niet geldig.



Hier wordt waarschijnlijk terecht vermeld, dat de reducers niet als hele constructie in elkaar zullen worden gedrukt (global collapse) en daarmee de stroming zullen blokkeren. De vervormingen zullen naar verwachting geleidelijk openscheuren.

In het laatste hoofdstuk wordt antwoord gezocht op de vraag of "fitness for service" nog bestaat voor de reducers. De positieve conclusie geldt niet voor een kerninstallatie. "Fitness for service" beschouwingen zijn technieken uit de conventionele industrie om te beoordelen of een gedegradeerde constructie voldoende veilig in bedrijf kan zijn in afwachting van reparatie. De techniek toetst aan een minimum eis van functionaliteit, die onvoldoende is voor een nucleaire installaties. Voor een staat van nucleaire veiligheid moeten alle veiligheidsfuncties, die een constructie moet kunnen vervullen, gewaarborgd zijn en dat vereist structural integrity. Het uitgangspunt ("leakage is acceptable") van de beschouwing is onjuist voor de reducers, omdat de degradatie kan leiden tot een niet afsluitbaar lek onder de kern van de reactor, waardoor de koeling van de kern en het insluiten van radioactiviteit in gevaar kunnen komen. In het hoofdstuk wordt verder gesteld dat de extra openingen die in de komende tijd mogelijk in de reducers zullen ontstaan, geen nadelige invloed zullen hebben op het functioneren van de BPL. Als het beton rond de reducers afwezig zou zijn, dan kon deze uitspraak niet worden gedaan. NRG maakt dus impliciet gebruik van de insluitende werking van het beton voor het koelwater in het primaire systeem. Het beton is daar niet voor ontworpen en zal zich daarvoor ook niet eenvoudig laten kwalificeren.

#### *Conclusie*

1. Uit de beschikbare informatie is weinig nieuws af te leiden over het faalgedrag van de reducers. Global collapse lijkt niet waarschijnlijk.
2. De geclaimde functionaliteit van de HFR voor wat betreft de BPL geldt mogelijk voor een conventionele installatie, maar niet voor een kerninstallatie. Nucleaire veiligheid vereist meer dan functionaliteit, namelijk integriteit van de reducers.
3. De positieve stelling t.a.v. de functionaliteit is impliciet gebaseerd op de insluitende werking, die het beton rond de reducers mogelijk kan bieden. Het beton is echter niet gekwalificeerd als insluitsysteem voor primair koelwater.

#### **4.13. Assessment of Gas and Water Leakage from the Reducer doc.nr. NRG-25179/08.92671, rev. E, 20-01-2009**

Dit rapport doet een poging de lekhoeveelheid gas en de diameter van de lekopening te bepalen. Een conservatieve best estimate bepaling in dit rapport komt op een opening met een diameter van 0,03 mm, waardoor begin september 2008 per dag 0,13 ml gas uitstroomde. De opening bevindt zich in de las die door vervorming Noord 2 loopt en wel in een groefje (t.g.v. slijpen) van 1,37 x 0,17 mm.

Het feit dat tijdens reactorstilstand gas het primaire systeem kan instromen, wijst op een afgesloten ruimte of een gasbron aan de betonzijde van de reducer. In de root cause analysis zijn alternatieve gasbronnen aan de binnenzijde besproken maar afgewezen. Het rapport eindigt met de opmerking dat op 19 januari 2009 nieuw video materiaal beschikbaar was gekomen. Dit maakt nadere analyse noodzakelijk en aanpassing van de bovengenoemde waarden wordt niet uitgesloten.

#### *Conclusie*

Eventuele lekkage van water uit een lekopening is vanwege de beperkte omvang niet meetbaar. Het onderwerp is in het kader van de aanvraag voldoende onderzocht.

#### **4.14. Wall Thickness Measurements of the Reducers in the HFR BPL, 2008 Measurements doc.nr. NRG-25079/08.92647, rev. D, 15-01-2009**

Het rapport beschrijft de resultaten van drie ultrasoon metingen (UT) die in de periode vanaf augustus 2008 tot en met november 2008 zijn uitgevoerd om de conditie van de reducers nader te onderzoeken. De metingen richten zich met name op:

- a. de wanddikte ter plaatse van de geplande montage van de sleeve (de tijdelijke oplossing);
- b. het vinden van de grens tussen het gecorrodeerde en het onaangetast materiaal van de reducer (ter voorbereiding van een definitieve oplossing) en
- c. de positie en de kwaliteit van de las die de flens van de mantelpijp verbindt met de primaire leiding.

Het rapport concludeert:

1. de wanddikte in beide reducers is lokaal verminderd in het gebied waar de vervormingen zitten. Het aangetaste gebied zit rond de las waarmee de reducer is verbonden met de cilindrische 16" uitlaatleiding, de vervormingen en de flens die de mantelpijp verbindt met de primaire leiding;
2. ter plaatse van vervorming 1 in de noordelijke reducer is de wanddikte afgenomen tot een minimum van 3,7 mm waar dit oorspronkelijk 9,5 mm was (n.b. ter plaatse van vervorming 2 in de noordelijke reducer bij de gas inlek is de gemeten wanddikte lokaal 3 mm);
3. aangetoond is dat de hoeklas van de flens in de noordelijke reducer ter plaatse van de vervormingen niet meer verbonden is aan de primaire leiding. Dit betekent dat er een potentieel lekpad bestaat tussen het primair systeem en de mantelpijp van de noordelijke reducer;
4. de flens van de zuidelijke reducer is niet onderzocht, maar gezien de gelijksoortige meetresultaten van de wanddikte kan een lekpad via de mantelpijp ook hier niet uitgesloten worden;
5. in geval van tijdelijke reparatie moet een sleeve voor de noordelijke reducer een gebied overbruggen van axiaal -300 mm tot +50 mm en voor de zuidelijke reducer een gebied overbruggen van -300 mm tot +60 mm.

#### *Bevindingen*

1. Het document is beoordeeld en goedgekeurd door de HFR Safety Committee (HSC) en de Reactor Safety Committee (RSC) en het is beschouwd door het Peer Review Team. Het rapport is echter niet beoordeeld door Lloyd's noch zijn er verwijzingen naar meetrapporten of documenten van Lloyd's. Navraag bij Lloyd's leert dat het rapport wel is gebaseerd op door Lloyd's goedgekeurde metingen. Lloyd's meent dat de conclusies in het rapport conservatief zijn ingestoken en is het inhoudelijk dan ook niet oneens met de conclusies.
2. In het kader van het NRG-verzoek tot herstart zonder reparatie zijn de resultaten van de wanddiktemetingen ter plaatse van de geplande montage van de sleeve (tijdelijke oplossing) niet beoordeeld.
3. Ultrasoon metingen van wanddikten kunnen onnauwkeurig zijn omdat ter plaatse van aangetaste delen:
  - corrosie het achtervlak van de te meten constructie ruw kan maken;
  - het materiaal over de dikte heen gedegraded (poreus) kan zijn;
  - de dikte van het (rest)materiaal te klein kan zijn om nog goed te meten.
 Bij de interpretatie van de metingen moet hiermee rekening gehouden zijn. Het rapport meldt:
  - een wanddikte meetnauwkeurigheid van +/- 0,2 mm voor niet gecorrodeerd materiaal en +/- 0,5 mm ter plaatse van de vervormingen. De basis van deze uitspraak is onduidelijk omdat de herhaalde metingen die een statistisch onderbouwde uitspraak mogelijk moeten maken niet zijn voltooid;
  - dat er rekening mee moet worden gehouden dat ter plaatse van de vervormingen het ultrasoon signaal onduidelijk is of helemaal niet aanwezig. Hoe daarmee rekening is gehouden blijft onduidelijk;
  - dat goed onderscheidt mogelijk is tussen de ultrasoon reflecties van aluminium en corrosie producten, zodat de beïnvloeding van wanddikte metingen door corrosieproducten onwaarschijnlijk is.

#### *Conclusie*

De voor het opstarten en bedrijven van de HFR zonder voorafgaande reparatie van belang zijnde conclusies zijn voldoende conservatief ingestoken en gebaseerd op door Lloyd's Register geautoriseerde metingen.

#### **4.15. Definitieve reparatie van BPL-reducers, Haalbaarheidstudie "betonroute" doc.nr. NRG-25079/08.92828, rev. B, 9-01-2009**

Dit rapport bestudeert de haalbaarheid voor het creëren van acceptabele werkomstandigheden voor een definitieve reparatie van de reducers via openingen vanaf de onderzijde in de bassinbodem. Dit wordt de betonroute genoemd. Beide reducers zullen worden blootgelegd en vervangen. Het primaire systeem wordt zover als nodig leeg en droog gemaakt, zodat de

aluminium reducers kunnen worden gelast. Het stralingsniveau kan voldoende worden verlaagd door tijdelijke afscherming.

#### *Bevindingen*

1. Het rapport is niet beoordeeld of goedgekeurd door de HSC, de RSC noch door het Peer Review Team. Bij het opstellen van het rapport is geen civiele cq. betondeskundige betrokken geweest. Gezien de omvang en de gecompliceerdheid van de klus is inschakelen van externe deskundigheid en externe toetsing wel nodig.
2. De technische uitvoeringsaspecten en de sterkte-technische haalbaarheid vallen buiten deze studie. Hier kunnen de volgende aspecten worden genoemd: de verzwakking van bassinbodem (tijdens reparatie en mogelijk later tijdens bedrijf), de complexe belasting van bassinbodem (zie rapport Safety Evaluation reducers, fig. 2.1) en de ongebruikelijke betonsoort. NRG verwacht dat, nu aangetoond is dat ter plaatse door mensen gewerkt kan worden (dus niet op afstand met robots), technische haalbaarheid geen probleem meer is.
3. Inlek in primair systeem vanuit bassin is niet besproken. Dit kan tijdens de werkzaamheden een probleem vormen. De reactor drain leiding wordt volgens plan tijdelijk dichtgemaakt. Maatregelen voor stralingsbescherming komen mogelijk in conflict met maatregelen tegen lekwater.
4. In de conclusies in par. 7.7 wordt geschreven over drainen van het reactorbassin, terwijl niveau verlaging wordt bedoeld.
5. Waarom moet de bodemplug apart worden ondersteund. De plug is toch gedraind?
6. Worden de reducers gelijktijdig of na elkaar gerepareerd? Gelijktijdig lijkt handig, maar geeft de grootste bassinbodemverzwakking.
7. NRG wil het reactorvat fixeren door dit met de halkraan op spanning te zetten en de halkraan te blokkeren. Voor dit soort toepassingen is de halkraan niet gemaakt. Beter een alternatieve manier van fixeren bedenken.

#### *Conclusie*

Een definitieve reparatie van de reducers via een opening vanaf de onderzijde in de bassinbodem lijkt haalbaar voor wat betreft stralingsbelasting en tijdelijke aanpassingen van de installatie. Het is een ingrijpende en omvangrijke operatie. NRG neemt aan dat de technische uitvoerbaarheid en de sterkte-technische haalbaarheid geen punt van discussie zijn. Dit zou nader onderbouwd moeten worden. Oneigenlijk gebruik halkraan kan beter voorkomen worden.

## 5. KFD bevindingen en overwegingen

Het verzoek van NRG met de onderliggende documenten is door de KFD beoordeeld op het voldoen aan de Kernenergiewetvergunning, nucleaire veiligheid en stralingsbescherming.

### *Kernenergiewetvergunning*

De HFR voldoet in de huidige toestand (dus zonder reparatie of maatregelen) niet aan de vigerende Kernenergiewetvergunning, omdat de integriteit van het primaire systeem wordt bedreigd door een nog steeds voortdurend degradatieproces. Het primaire systeem vormt één van de veiligheidsbarrières die de nucleaire veiligheid van de reactor moeten waarborgen overeenkomstig de vergunning. Het degradatieproces zal de leidingen geleidelijk steeds meer verzwakken. De kans op plotseling grootschalig falen is echter klein omdat de reducers in het beton zijn gestort. NRG kon nog geen destructief onderzoek uitvoeren, maar concludeert dat de degradatie wordt veroorzaakt door corrosie vanuit een aluminium-beton interactie. Er is dus nog niet in finesse vastgesteld wat de oorzaak van het probleem is. Het oordeel van de KFD is mede gebaseerd op de uitspraak van Lloyds (voorheen Stoomwezen) dat niet voldaan is aan de eis om "het primaire systeem scheur-en lekvrij op te leveren voor ingebruikname". Hoewel het treffen van maatregelen de veiligheid verbetert, wordt ook dan niet voldaan aan de vigerende Kernenergiewetvergunning.

### *Nucleaire veiligheid*

Het risico van een kernreactor kan op verschillende manieren worden uitgedrukt:

- de kans op kernschade (ruwweg de kans dat een groot gedeelte van de reactorkern smelt);
- de kans op overlijden van omwonenden t.g.v. het ongeval. Dit laatste wordt "individueel risico" genoemd.

Om te bepalen of een activiteit al dan niet onaanvaardbaar is, bestaan er criteria. Voor wat betreft de kans op kernschade wordt internationaal een kans per jaar van 1 op de 10.000 voor bestaande reactoren als limiet gehanteerd; grotere kansen worden als onaanvaardbaar bestempeld.

Voor wat betreft het individuele risico wordt in Artikel 18 van het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen van de Kernenergiewet een kans per jaar van 1 op de 1.000.000 als limiet genoemd. Aan deze op Nederlandse wetgeving gebaseerde limiet dient altijd voldaan te worden. Is dit niet het geval dan mag een kernreactor niet opgestart worden.

Op grond van de door NRG uitgevoerde risicoanalyse voor het bedrijven van de HFR zonder voorafgaande reparatie concludeert de KFD dat op grond van deze analyse is aangetoond dat de kans op kernschade niet onaanvaardbaar wordt. Dat wil zeggen dat die kans per jaar met grote zekerheid ruimschoots kleiner wordt geacht dan de internationaal daarvoor gehanteerde grenswaarden van 1 op de 10.000 voor oude en 1 op de 100.000 voor nieuwere installaties.

Na afweging van enerzijds de bestaande onzekerheden in de risicoanalyse ten aanzien van de gebruikte numerieke gegevens in de modellering van de huidige degradatie en anderzijds de mate van conservatisme ingebouwd in deze analyse, kan met grote zekerheid gesteld worden dat de kans per jaar op kernschade in ieder geval niet groter zal zijn dan een waarde in de orde van grootte van 1 op de 100.000.

Op grond van eerdere analyses en de analyse van de huidige degradatie kan met grote zekerheid gesteld worden dat het individuele risico per jaar ruimschoots kleiner is dan 1 op de 1.000.000 en daarmee voldoet aan de in de Nederlandse wetgeving opgenomen limiet voor de kans op overlijden van omwonenden ten gevolge van een ongeval.

Concluderend kan gesteld worden dat het risico bij tijdelijk bedrijven van de HFR zonder voorafgaande reparatie verhoogd is, maar met de aanvullende maatregelen binnen de context van de risicoanalyse acceptabel is.

### *Stralingsbescherming*

De emissies van radioactieve stoffen naar water en lucht en het stralingsniveau naar buiten nemen niet toe.

Eveneens is de stralingsbelasting en besmettingskans voor de werkers in de reactorhal bij het tijdelijk bedrijf niet hoger dan bij regulier bedrijf. Bij een lekkage blijft de stralingsbelasting en de

besmettingkans voor werkers door de genomen maatregelen van NRG ruim binnen de wettelijke limieten.

*Bevindingen*

Bij de beoordeling van het NRG verzoek zijn enkele bevindingen gedaan die nog nadere aandacht behoeven. Deze bevindingen zijn echter onvoldoende zwaarwegend om de conclusie en aanbevelingen van het beoordelingsrapport nog wezenlijk te beïnvloeden. Door het toezicht op de HFR worden deze bevindingen verder afgehandeld.

## **6. Externe beoordelingen**

### **6.1. Lloyd's Register**

NRG inspecties van het primaire koelsysteem en de reactorhal worden beoordeeld door Lloyd's Register, een door de overheid erkende onafhankelijke keuringsinstantie voor nucleaire drukapparatuur. Naar aanleiding van de inspecties van augustus 2008 constateert Lloyd's Register dat "niet voldaan is aan de eis om het primaire systeem scheur- en lekvrij op te leveren voor ingebruikname" (Lloyd's Register beoordelingsrapport 308080600.q1 REV.1, d.d. 24-10-08). Lloyd's Register pleit voor zo spoedig mogelijke reparatie.

### **6.2. GRS**

De bevindingen van KFD over de analyses van NRG voor tijdelijke in bedrijfname zonder reparatie is 16 januari 2009 doorgesproken met GRS (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, de technisch adviseur van het Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)). De bespreking is gehouden op basis van de NRG documenten van 29 december 2008. Deze zijn in veel opzichten afwijkend van de documenten behorend bij het uiteindelijke NRG verzoek. Enkele bevindingen uit dit gesprek.

1. Geconcludeerd wordt dat door de degradatie in de reducers het defence in depth concept is aangetast, m.a.w. de integriteit van het primair koelsysteem is afgenomen, waardoor de kernkoeling en de barrière functie zijn bedreigd.
2. Aannames in de PSA. Het GRS is van mening dat de aannames niet allemaal conservatief zijn: met name de kans van 1% op een flink gat in een reducer wordt te laag gevonden. De lekgrootte is ook discutabel door de onbekendheid van het degradatiegedrag van het polyetheen folie, dat waarschijnlijk bepalend is voor de spleetbreedte tussen de reducers en het beton.
3. GRS stelt dat beton dat 50 jaar mechanisch belast is geweest door eigengewicht en bassinwater, met zekerheid scheuren bevat. Beton vertoont ook krimp.
4. GRS vindt een snelle, plotselinge scheurgroei in een bult niet aannemelijk en kan het displacement driven mechanisme, zoals door NRG beschreven, wel onderschrijven.
5. In de beheersing van een reducer LOCA spelen handmaatregelen een belangrijke rol (o.a. het openen van convectie afsluiters). Daar is voldoende tijd voor (30 min. criterium), maar goede voorbereiding (procedures, training) is noodzakelijk. De 10-EVA maatregel om deze afsluiters van een sleutelbeveiliging te voorzien, werkt nu tegen en zou daarom moeten worden opgeschort tot na de reparatie.
6. GRS verwacht niet dat de reactorhal in het geval van een reducer LOCA ontoegankelijk zal worden door besmetting.
7. GRS vindt de behandeling van de HFR problematiek heel logisch en ziet geen bezwaar om de reactor tijdelijk en met extra maatregelen in bedrijf te nemen.

De bevindingen uit het gesprek met GRS zijn doorgesproken met NRG en verwerkt in de uiteindelijke documenten bij het formele verzoek van NRG. Zo is daarin de kans op het ontstaan van een lek conservatief verhoogd tot 50% en is ook het menselijk handelen nauwkeuriger gemodelleerd.

### **6.3. Second opinion FANC**

Het verzoek van NRG is door KFD ook ter beoordeling voorgelegd aan FANC (Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle, de Belgische nucleaire toezichthouder). Op basis van de door KFD op 2 en 12 januari 2009 ter beschikking gestelde NRG documenten heeft FANC de beoordeling laten uitvoeren door haar Technical Support Organisation (TSO) BeIV, FANC/2-1-WDR-09/01-002, 19 januari 2009. FANC-BeIV komt tot de volgende bevindingen.

1. De vervormingen, de plaatselijke vermindering van de wanddikte van de reducer en het bestaande lek verhogen het risico van een grotere breuk van de primaire leiding. FANC-BeIV verwacht echter niet dat er een substantiële vergroting van het lek zal optreden en gaat er van uit dat een dergelijk lek voldoende is afgedekt in het kader van de oorspronkelijke veiligheidsanalyse van de reactor.
2. FANC-BeIV dringt er op aan dat het bedrijven van de reactor onmiddellijk wordt gestopt als het lek groter wordt dan het voorheen toegelaten operationele lek. Het is niet juist om buiten de oorspronkelijke bedrijfslimieten te treden.

3. Het toestaan van herstarten van de reactor mag een definitieve reparatie van de reducers niet in de weg staan of vertragen. FANC-BelV zou zelf een zo spoedig mogelijke reparatie vereisen, met prioriteit voor de nucleaire veiligheid ongeacht de noodzaak voor medische isotopen. Het betreft een schade aan het primaire systeem wat hoge integriteitseisen kent.
4. FANC-BelV heeft in een bijlage nog enkele aanvullende vragen gesteld. Deze gaan met name over de kwaliteit van de lekmonitoring, het huidige maximaal toegestane operationele lekdebiet en de staat van het beton. Betreffende vragen zijn in de KFD beoordeling betrokken.
5. De beoordeling heeft geen zaken aan het licht gebracht die duiden op fundamentele problemen of bezwaren tegen het herstarten van de reactor.

FANC-BelV concludeert dat zij geen aanwijzingen heeft gevonden in de haar ter beschikking gestelde documenten die een tijdelijke herstart van de HFR zonder reparatie niet zou toelaten. Een voorbehoud wordt gemaakt omdat de documenten niet alle informatie bevatten om tot een volledig onderbouwd positief advies te komen en omdat de beoordeling slechts kwalitatief van aard is. Tenslotte stelt FANC-BelV dat de reactor maximaal voor een periode van 6 maanden bedreven mag worden alvorens weer een inspectie plaatsvindt.

De bevindingen van FANC zijn ter beschikking gesteld aan NRG en met hen doorgesproken. Het oordeel van FANC is geheel onafhankelijk van het KFD oordeel tot stand gekomen (second opinion).

## 7. Conclusie en aanbevelingen

KFD concludeert dat de HFR zonder definitieve reparatie niet aan de vigerende Kernenergiewetvergunning voldoet. Evenmin is sprake van een vergunbare situatie. De kans op kernschade bij in bedrijfname zonder reparatie is verhoogd, maar na uitvoering van de voorgestelde maatregelen acceptabel. Een onverhoopte situatie met lekkage uit een reducer is beheersbaar. De maximaal toelaatbare niveaus ten aanzien van de kans op kernschade en het individueel risico worden dan niet overschreden. Derhalve is er afwegingsruimte om de reactor tot 1 maart 2010 in bedrijf te nemen.

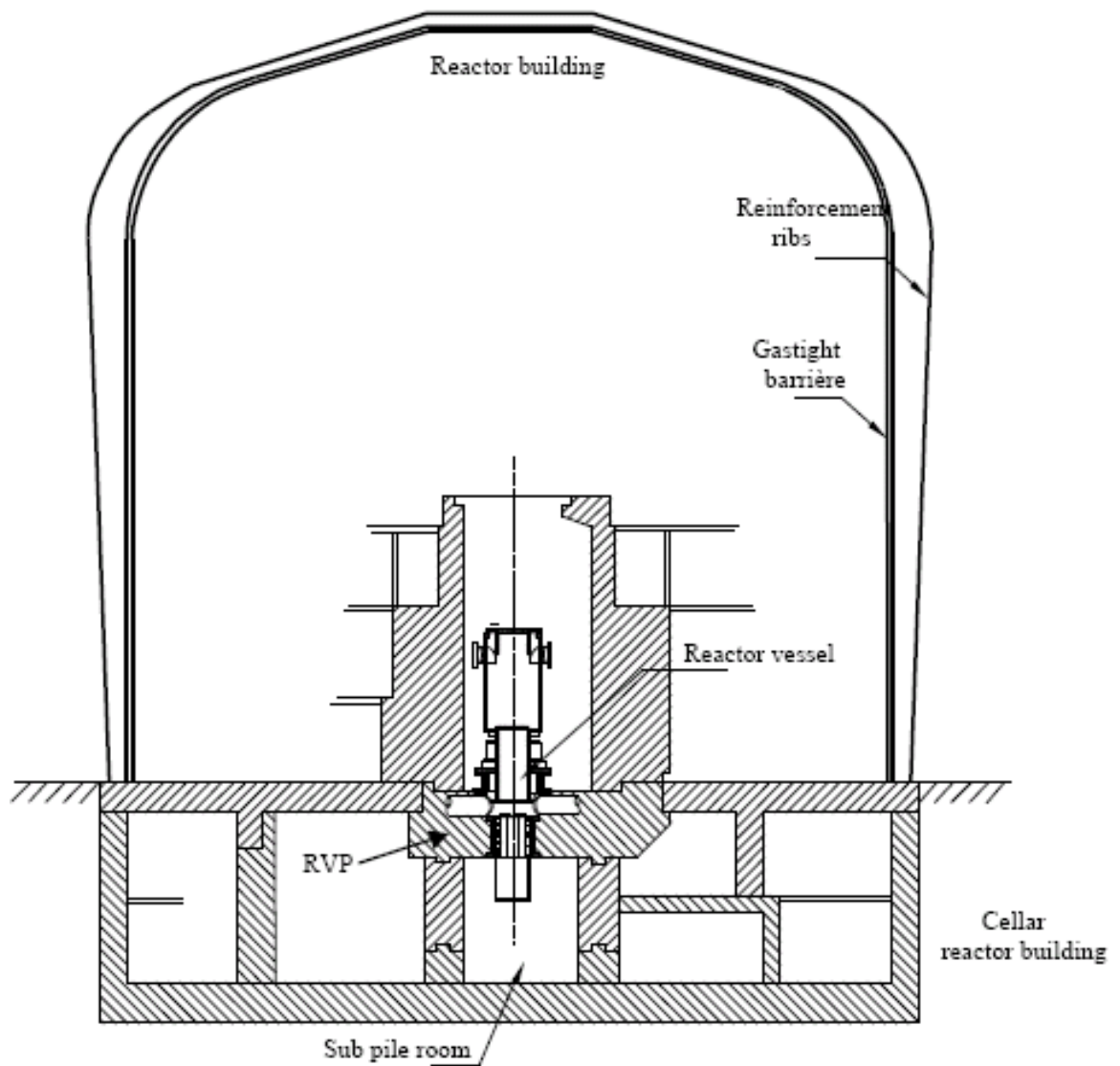
Gezien het voortschrijdend degradatieproces en de verhoogde kans op lekkage mag het bedrijven van de HFR zonder reparatie niet langer duren dan strikt noodzakelijk. NRG moet zich hiervoor inspannen. Herstarten mag de beoogde reparatie niet vertragen of verhinderen.

Bij tijdelijke in bedrijfname van de HFR zonder reparatie worden de volgende aanvullende voorwaarden aanbevolen:

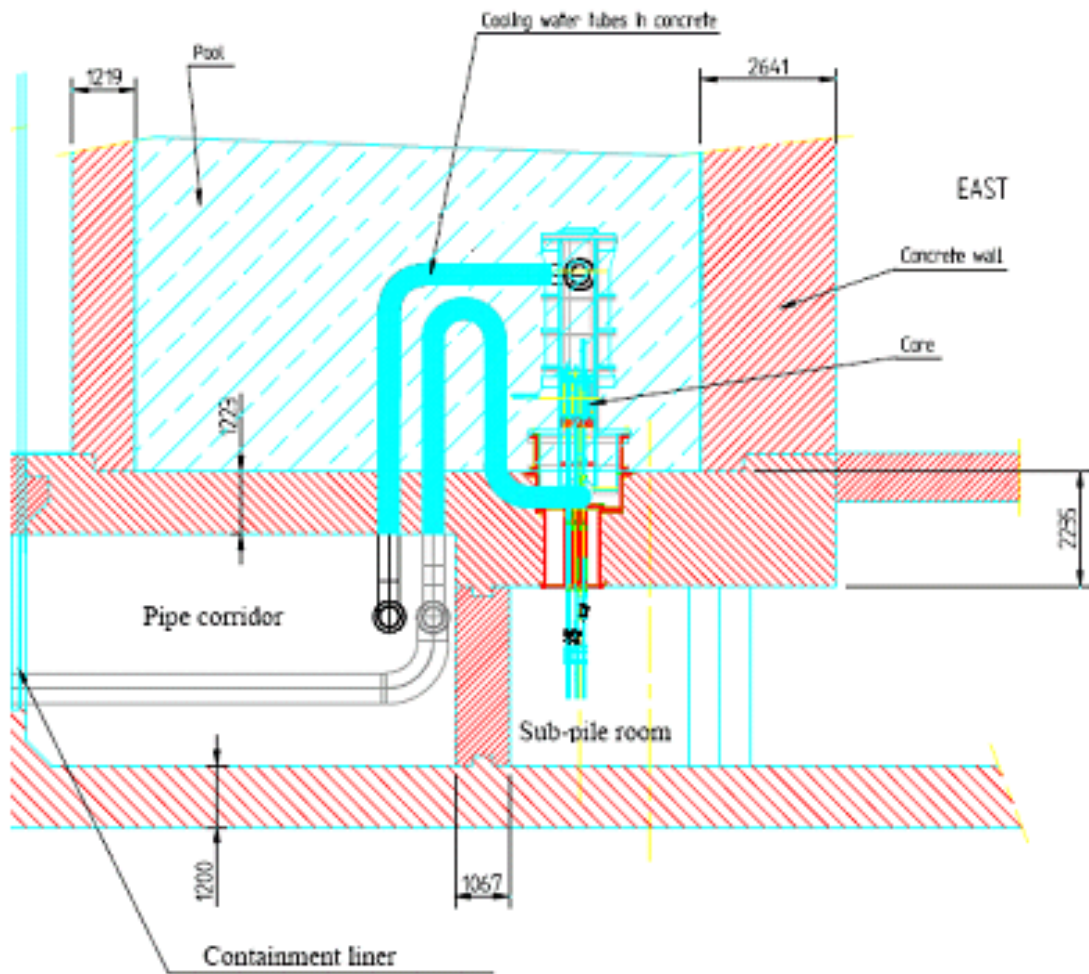
- de voorgestelde veiligheidsverhogende maatregelen dienen ter beoordeling aan de KFD te worden aangeboden. Alleen na geen bezwaar van de KFD mag herstart van de HFR plaatsvinden;
- voorafgaand aan herstart en vervolgens na elke 6 cycli dienen de vervormingen te worden geïnspecteerd;
- bij detectie van lekwater uit het primaire systeem wordt de reactor direct uit bedrijf genomen;
- NRG moet binnen drie maanden een definitief reparatieplan met daarin een beschrijving van de werkzaamheden en een tijdsplanning ter beoordeling aan KFD voorleggen;
- NRG dient maandelijks schriftelijk aan de KFD een voortgangsbericht te sturen waaruit blijkt dat het uiterste wordt gedaan om de reparatie zo spoedig mogelijk te doen plaatsvinden.
- De geplande modificatie aangeduid als het op slot zetten van de convectieafsluiters dient te worden opgeschort.



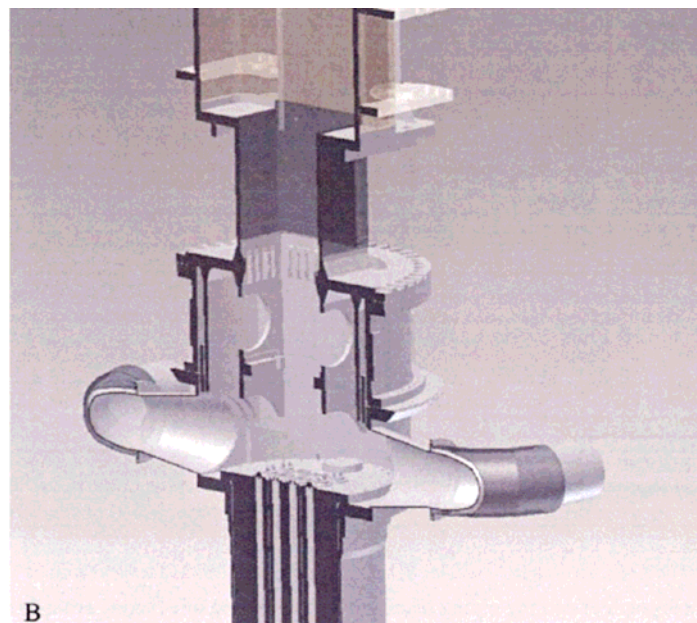
## FIGUREN



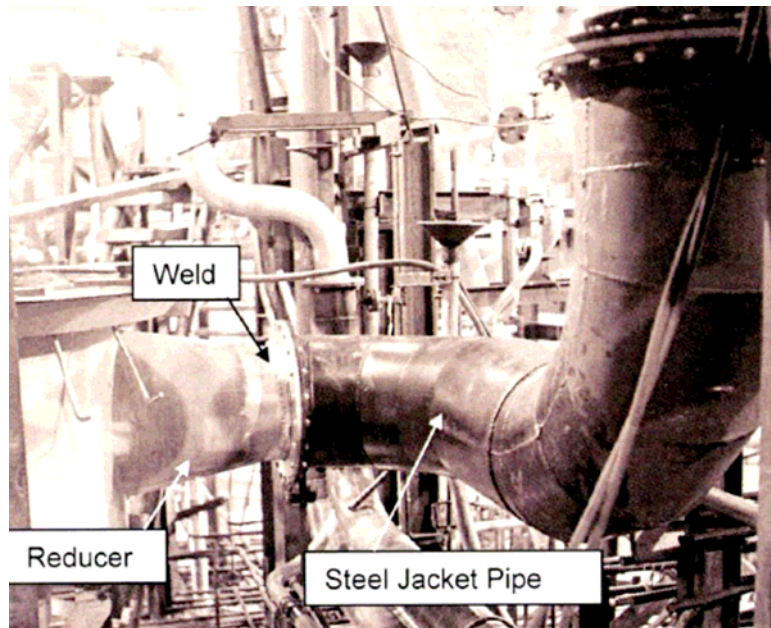
Figuur 1: Dwarsdoorsnede van het reactorgebouw met daarin het reactorvat en de subpileroom.



Figuur 2: Schematische weergave van de reactor in het bassin, de koelwater inlaat- en uitlaatleidingen en de subpileroom (maten in mm).



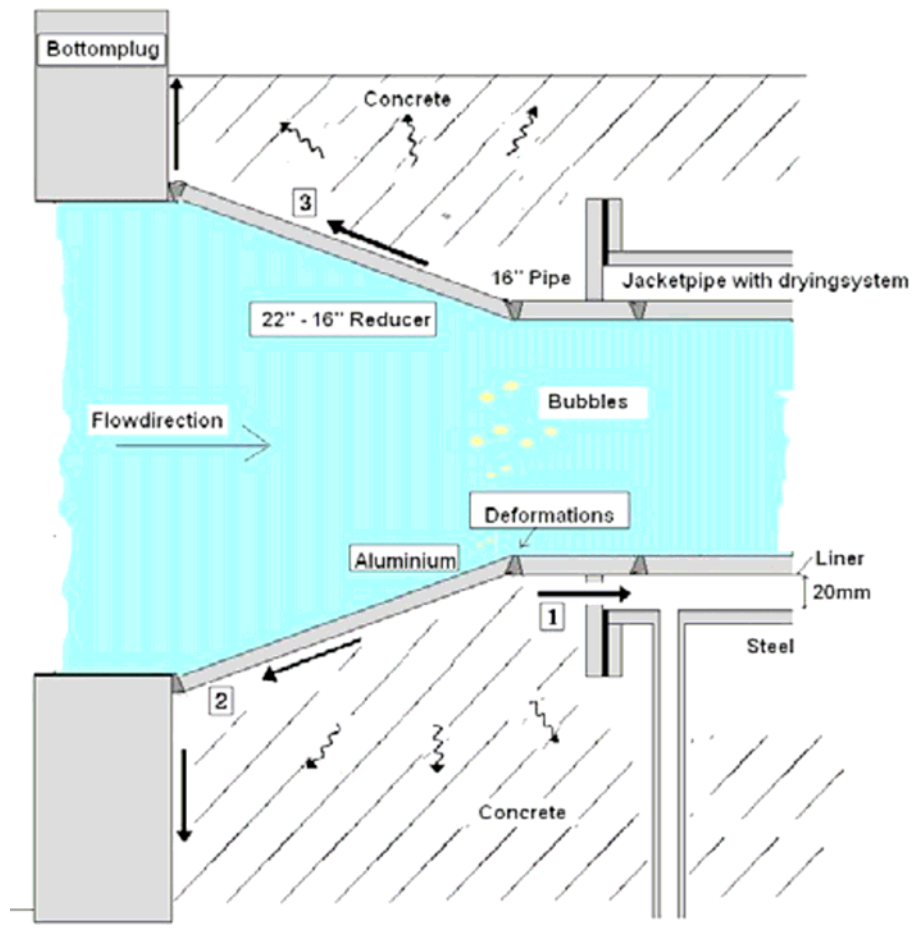
Figuur 3: Opengewerkte 3D weergave van het onderste deel van het reactorvat, de Bottom Plug Liner en de reducers.



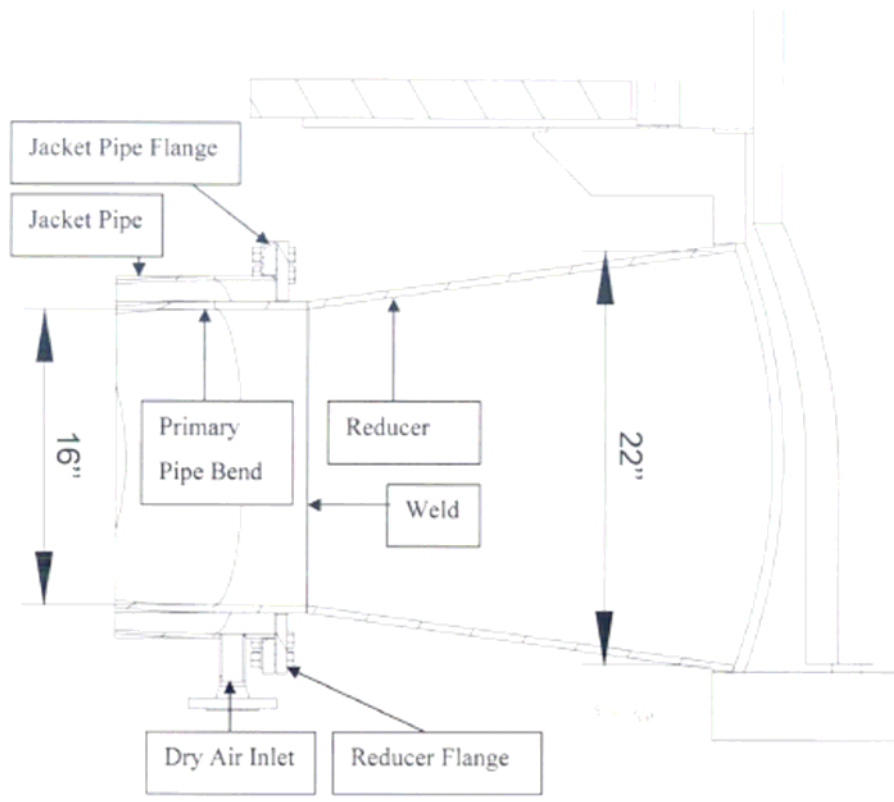
Figuur 4: Foto van de noordelijke reducer voor het storten van het beton.



Figuur 5: Vervormingen in de zuidelijke reducer (links 1\*) en de noordelijke reducer (rechts 3\*). Tijdens inspecties in 2008 is een gasbellenspoor aangetroffen in vervorming 2 van de noordelijke reducer.



Figuur 6: Schematische dwarsdoorsnede van een reducer met potentiële lekpaden 1, 2 en 3.



Figuur 7: Vereenvoudigde tekening van een reducer met Jacket Pipe.



## **BIJLAGE I.**

**RT09-019.507 Kernfysische Dienst** Rijnstraat 8 Postbus 20951 2500 EZ 's Gravenhage  
Interne postcode 560 www.vrom.nl **Contactpersoon** T +31 70 339 3888 F +31 70 338 1887  
kfd@minvrom.nl **Datum** 9 februari 2009

### **Beoordelingsconclusies KFD n.a.v. NRG verzoek om herstart HFR toe te staan zonder voorafgaande reparatie.**

Auteurs: Rob van Tol, IJsbrand v.d. Plas, Louis v.d. Wiel, Giel Versteeg

#### **Inleiding**

De Hoge Flux Reactor (HFR) is vanaf 1961 in bedrijf. Tijdens visuele inspecties in 2005 zijn 4 naar binnen toe gerichte vervormingen met wanddikte afname waargenomen in de koelwater uitlaatleidingen. Deze uitlaatleidingen voeren water voor koeling van de reactor af naar warmtewisselaars, waarna het weer wordt teruggepompt naar de reactor. Dit vormt een gesloten kringloop, het zogenaamde primaire koelsysteem.

Na de ontdekking in 2005 zijn de vervormingen intensief door NRG geïnspecteerd. Hierbij zijn de vervormingen gekarakteriseerd (contour, locatie en wanddikte) en is de ontwikkeling van de vervormingen gevolgd. Deze 'In Service Inspecties' zijn uitgevoerd in 2006 (2x), 2007 en 2008 en hebben aangetoond dat lokaal de wanddikte tot ca. 3 à 4 mm is afgenomen en in een geval tot 3 mm bij een initiële ontwerpwaarde van 9,5 mm.

Tijdens uitgebreide inspecties in augustus 2008 werd ter plaatse van één vervorming een gasbellenspoor waargenomen. NRG heeft daarop zelf besloten de reactor niet te herstarten en tot reparatie over te gaan.

De inspecties van NRG worden beoordeeld door Lloyd's Register, een door de overheid erkende onafhankelijke keuringsinstantie voor nucleaire drukapparatuur.

De Kernfysische Dienst (KFD), de toezichthoudende overheid, heeft NRG om een reparatieplan verzocht.

Vanaf augustus 2008 wordt door NRG intensief gewerkt aan de ontwikkeling van plannen voor reparatie van de uitlaatleidingen. In verband daarmee is door NRG ook onderzoek naar de vervormingen en het bellenspoor verricht. Reparatie op korte termijn bleek niet mogelijk.

Daarom zijn door NRG de gevolgen voor de veiligheid van een tijdelijk opstarten van de reactor zonder reparatie onderzocht.

De resultaten van dit onderzoek zijn inmiddels bekend en beoordeeld door de Reactor Veiligheid Commissie (interne commissie van NRG), en een aantal speciaal hiervoor gevraagde externe deskundigen (Het Peer review Team bestaande uit: T. v.d. Hagen, H. v. Dam, J. Versteeg en A. Tiktak).

NRG concludeert aan de hand van het onderzoek dat de HFR bij implementatie van aanvullende maatregelen voldoende veilig is om op te starten. Deze conclusie wordt na beoordeling van de resultaten van het onderzoek door de interne en externe deskundigen gedeeld.

#### **Verzoek NRG**

NRG heeft met haar voorliggende verzoek de ministers van VROM, VWS, EZ en SZW vanwege het belang van de HFR voor de productie van medische radio-isotopen verzocht de HFR tot 1 maart 2010 in bedrijf te mogen nemen zonder voorafgaande reparatie, maar wel na het treffen van enkele veiligheidsverhogende maatregelen. Deze maatregelen betreffen onder meer het afdichten van mogelijke lekpaden, extra lekbewaking, training van personeel, het

aanscherpen van limieten en condities waaronder de reactor bedreven mag worden en geïntensiveerde inspectie van de vervormingen.

NRG meldt in haar verzoek ook dat reparatie haalbaar is en dat de periode tot 1 maart 2010 nodig is voor de noodzakelijke voorbereiding daarvan. De reparatie zelf gaat vermoedelijk 3 maanden duren.

### **Oordeel KFD**

Het verzoek van NRG met de onderliggende documenten is door de KFD beoordeeld in het kader van de nucleaire veiligheid en de stralingsbescherming van werknemers.

#### *Veiligheid zonder aanvullende maatregelen.*

Naar het oordeel van de KFD vormt de huidige situatie zonder aanvullende maatregelen een verhoogd risico voor de reactorkoeling. Daarbij treedt overigens onder de huidige omstandigheden geen verlies van het koelvermogen op. Tevens betekent de huidige situatie een aantasting van een van de barrières tegen de verspreiding van radioactieve stoffen en straling. Daarom voldoet de HFR in de huidige ongerepareerde toestand niet aan de vigerende Kernenergiewetvergunning. Het oordeel van de KFD is mede gebaseerd op de uitspraak van Lloyds (voorheen Stoomwezen) dat niet voldaan is aan de eis om "het primaire systeem scheur-en lekvrij op te leveren voor ingebruikname".

#### *De veiligheid met aanvullende veiligheidsverhogende maatregelen.*

Het risico van een kernreactor kan op verschillende manieren worden uitgedrukt, te weten: o de kans op kernschade (ruwweg de kans dat een groot gedeelte van de reactor kern smelt), o de kans op overlijden van omwonenden als gevolg van een ongeval. Dit wordt "individueel risico" genoemd.

Om te bepalen of een activiteit al dan niet onaanvaardbaar is, bestaan er criteria.

Voor wat betreft de kans op kernschade wordt internationaal een kans van 1 op de 10.000 jaar voor bestaande reactoren als limiet gehanteerd; grotere kansen worden als onaanvaardbaar bestempeld.

Voor wat betreft het individuele risico wordt in artikel 18 van het Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen van de Kernenergiewet een kans van 1 op de 1.000.000 jaar als limiet genoemd. Aan deze op Nederlandse wetgeving gebaseerde limiet dient altijd voldaan te worden. Is dit niet het geval dan mag een kernreactor niet opgestart worden.

Op grond van de door NRG uitgevoerde risicoanalyse voor het bedrijven van de HFR zonder voorafgaande reparatie, maar met veiligheidsverhogende maatregelen, concludeert de KFD dat op grond van deze analyse is aangetoond dat de kans op kernschade met grote zekerheid ruimschoots kleiner wordt geacht dan de internationaal daarvoor gehanteerde grenswaarden van 1 op de 10.000 jaar voor bestaande en 1 op de 100.000 jaar voor nieuwere installaties.

Na afweging van enerzijds de bestaande onzekerheden in de risicoanalyse ten aanzien van de gebruikte numerieke gegevens in de modellering en anderzijds de mate van conservatisme ingebouwd in deze analyse, kan met grote zekerheid gesteld worden dat de kans op kernschade in ieder geval niet groter zal zijn dan een waarde in de orde grootte van 1 op de 100.000 jaar. Op grond van eerdere analyses en de analyse van de huidige situatie kan met grote zekerheid gesteld worden dat het individuele risico ruimschoots kleiner is dan 1 op de 1.000.000 jaar en daarmee voldoet aan de in de Nederlandse wetgeving opgenomen limiet voor de kans op overlijden van omwonenden ten gevolge van een ongeval.

Concluderend kan gesteld worden dat het risico bij het bedrijven van de HFR zonder voorafgaande reparatie verhoogd is, maar met de aanvullende maatregelen binnen de context van de risico-analyse acceptabel is.



De emissies van radioactieve stoffen naar water en lucht en het stralingsniveau naar buiten nemen niet toe. Eveneens is de stralingsbelasting en de besmettingskans voor de werkers in de reactorhal bij het tijdelijk bedrijf niet hoger dan bij regulier bedrijf. Bij een lekkage blijft de stralingsbelasting en de besmettingskans door de genomen maatregelen van NRG ruim binnen de wettelijke limieten.

Naar verwachting zal de wanddiktevermindering verlopen volgens een geleidelijk proces. Daarom wordt de kans op een plotseling falen klein geacht.

De bevindingen van KFD over de analyses van NRG voor tijdelijke in-bedrijfname zonder reparatie is doorgesproken met GRS (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, de technisch adviseur van het Bundesministerium für Umwelt.

Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)). GRS meent dat de HFR tijdelijk tot een reparatie weer in gebruik kan worden genomen, mits de veiligheidsverhogende maatregelen worden gerealiseerd.

### **Second opinion FANC**

Het verzoek van NRG is door KFD ter beoordeling voorgelegd aan FANC (Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle, de Belgische nucleaire toezichhouder). FANC heeft geen fundamentele problemen of bezwaren tegen herstarten van de reactor. FANC dringt aan op direct stoppen van de reactor als de lekkage groter wordt dan de oorspronkelijke limieten toestaan. Bovendien benadrukt FANC dat herstart een definitieve reparatie niet mag vertragen of verhinderen. Het oordeel van FANC is geheel onafhankelijk van het KFD oordeel tot stand gekomen (second opinion).

### **Samenvatting**

De maximaal toelaatbare niveaus ten aanzien van de kans op kernschade en het individueel risico worden niet overschreden. Het risico is bij in bedrijfname van de HFR weliswaar verhoogd, maar na uitvoering van de aanvullende maatregelen acceptabel. Derhalve is er afwegingsruimte om toe te staan de reactor tijdelijk op te starten.

Het bedrijven van de HFR zonder reparatie mag niet langer duren dan strikt noodzakelijk. NRG moet zich hiervoor inspannen. Herstarten mag de beoogde reparatie niet vertragen of verhinderen.

Bij tijdelijke in-bedrijfname van de HFR zonder reparatie spelen de volgende aspecten een belangrijke rol:

- de voorgestelde veiligheidsverhogende maatregelen dienen ter beoordeling aan de KFD te worden aangeboden. Alleen na geen bezwaar van de KFD mag herstart van de HFR plaatsvinden;
- voorafgaand aan herstart en vervolgens elke zes maanden dienen de vervormingen te worden geïnspecteerd;
- bij detectie van lekwater uit het primaire systeem wordt de reactor direct uit bedrijf genomen;
- NRG moet binnen enkele maanden een definitief reparatieplan met daarin een beschrijving van de werkzaamheden en een tijdsplanning ter beoordeling aan KFD voorleggen;
- NRG dient maandelijks schriftelijk aan de KFD een voortgangsbericht te sturen waaruit blijkt dat het uiterste wordt gedaan om de reparatie zo spoedig mogelijk te doen plaatsvinden.





