



**N.V. ELEKTRICITEITS-PRODUKTIEMAATSCHAPPIJ ZUID NEDERLAND**

<b>Hoofdafdeling:</b> KT	<b>Projectnummer:</b>	
<b>Afdeling:</b> KTE	<b>Referentie:</b> Brief KFD dd 21-08-2012 ILT-KFD/2012-1554-457-LLI	
<b>Archiefnummer:</b> [REDACTED]	<b>Datum:</b> 10 september 2012	
<b>Titel:</b> Veiligheidstechnische beoordeling van de bevindingen in het reactorvat van Doel-3 voor de kerncentrale te Borssele. Onderzoek overdraagbaarheid naar de KCB		
<b>Inhoud:</b> Zie pagina 3 voor de inhoudsopgave		
<b>Bijlagen:</b> 3		
<b>Kopie:</b> [REDACTED]		
<b>Samensteller:</b> [REDACTED]	<b>Gecontroleerd:</b> [REDACTED]	<b>Goedgekeurd:</b> [REDACTED]

## **Veiligheidstechnische beoordeling van de bevindingen in het reactorvat van Doel-3 voor de kerncentrale te Borssele.**

*Onderzoek van de overdraagbaarheid naar de KCB*

### **Samenvatting**

In de kerncentrale in Doel-3 zijn laminaire indicaties gevonden in de wand van het reactorvat. Hoewel de indicaties niet bedreigend lijken te zijn voor de structurele integriteit van het reactorvat, is hun aantal (vele duizenden) en de constatering dat ze net zijn gerapporteerd tijdens de bouw, reden voor onderzoek. In dit document wordt ingegaan op de huidige kennis t.a.v. het probleem bij Doel-3, de overdraagbaarheid op Borssele en wordt afgesloten met de conclusie dat er voor Borssele vooralsnog geen overdraagbaarheid vastgesteld is, maar dat desondanks een ultrasoon onderzoek van de reactorwand voor de komende stop wordt voorbereid ter plaatse van de lassen en een aantal vlakken verdeeld over het reactorvat van de KCB.

### **Gebruikte afkortingen**

ASME	American Society for Mechanical Engineers
ISI	In-service Inspectie
KCB	Kerncentrale Borssele
KWU	Kraftwerk Union, Onderdeel van Siemens AG, later opgegaan in AREVA
MT	magnetisch onderzoek
Ppm	part per miljoen (100 ppm=0.01%)
PT	penetrant onderzoek
UPR	Unterplattierungsrisse (scheurtjes direct onder de cladding tgv met claddingsproces
US	Ultrasoononderzoek
22NiMoCr37	Staal legering van reactorvat van Borssele. (valt binnen ASME SA508 Class 2)
SA508 Class 3	Staal legering van reactorvat van Doel. (vergelijkbaar met 20MnMoNi55)

## Inhoud

Veiligheidstechnische beoordeling van de bevindingen in het reactorvat van Doel-3 voor de kerncentrale te Borssele.....	2
Samenvatting .....	2
Gebruikte afkortingen .....	2
Inleiding.....	4
Status Doel-3 .....	4
Internationale reacties .....	6
Overdraagbaarheid op de Siemens/KWU centrales.....	7
Overdraagbaarheid naar KCB .....	7
Rollen en verantwoordelijkheden bij de fabricage van het KCB reactorvat .....	8
Materiaal en Materiaalgedrag .....	9
Onderzoek reactorvat bij KCB .....	12
Waterstofgehalte .....	15
Inbreng AREVA .....	15
Acties KCB .....	16
Projectteam .....	16
In kaart brengen en beoordelen van productiegegevens RDM. ....	16
In kaart brengen en herbeoordelen van in-service inspecties. ....	16
Verzamelen van kennis over hydrogen flakes in KCB gietstukken .....	17
Informatie delen en inschakelen externe kennisbronnen .....	17
Vorbereiden van een in-service inspectie van het reactorvat .....	17
Planning .....	18
Conclusies .....	19
Referenties.....	20
Bijlagen .....	1

### Inleiding

Het reactorvat van een kerncentrale wordt zowel tijdens de bouw als tijdens het gebruik uitgebreid geïnspecteerd op de aanwezigheid van defecten en eventuele degradaties. De methode die hiervoor in Nederland wordt gebruikt is gebaseerd op de Amerikaanse ASME normen, aangevuld met aanbevelingen van de bouwer van de kerncentrale Borssele. De belangrijkste inspectie methode is ultrasoononderzoek (verder afgekort tot US). Tijdens de bouw van het KCB reactorvat door RDM is het vat in elke productiefase van onder tot boven 100% onderzocht op scheuren en defecten, de bevinding van de onafhankelijke inspectie was dat het vat vrij was van rapporteerbare fouten. Sinds de ingebruikname wordt het reactorvat periodiek (met een interval van 10 jaar) onderzocht op defecten. Deze ISI (in-service inspectie) richt zich vooral op de lassen en andere hoogbelaste plaatsen. Dit zijn de meest gevoelige plaatsen voor het ontstaan en groeien van scheuren. Het felt dat er nu in Doel-3 indicaties (defecten) zijn gevonden in het midden van de mantelringen en dat deze niet blijken te zijn gerapporteerd tijdens de bouw heeft tot onrust gezorgd bij o.a. de FANC, de Belgische toezichthouder.

### Status Doel-3

België heeft op twee locaties totaal zeven drukwaterreactoren. Dit zijn de volgende installaties:

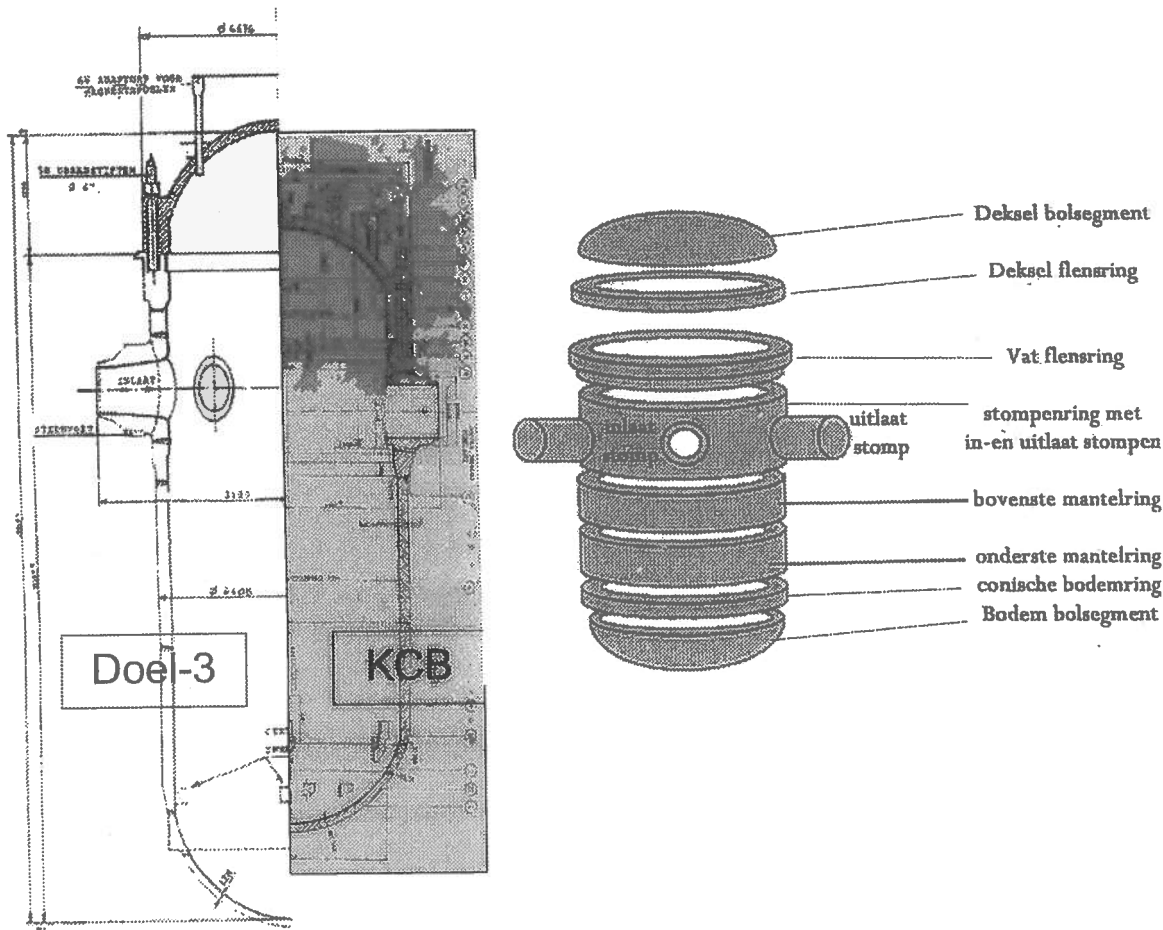
Kernenergie centrale:	$P_{\text{Netto}}$ (MW):	commerciële inbedrijfsname:	Aantal Loops:	Reactor fabrikant:
Doel-1	433	15.02.1975	2	ACECOWEN
Doel-2	433	01.12.1975	2	ACECOWEN
Doel-3	1.006	01.10.1982	3	FRAMACECO
Doel-4	1.039	01.07.1985	3	ACECOWEN
Tihange-1	962	01.10.1975	3	ACLF
Tihange-2	1.008	01.06.1983	3	FRAMACECO
Tihange-3	1.046	01.09.1985	3	ACECOWEN

Tabel 1: Kerncentrales in België.

Het reactorvat van Doel-3 is in het cilindrische gebied vervaardigd uit het materiaal SA-508 Class 3 (vergelijkbaar met 20MnMoNi55). De hoogte is 13,17 m en de binnendiameter 4 m. De minimale wanddikte bedraagt 205 mm. (zie figuur 1)

Het reactorvat van Doel-3 is gebouwd door een consortium van Framatome, Cockerill en ACEC (Framaceco). De bodem en deksel bolsegmenten zijn geleverd door Marell. De 6 ringen van het reactorvat zijn door de Nederlandse fabrikant Rotterdam Nuclear geleverd. Rotterdam Nuclear is sinds de fusie tussen Rijn Schelde en Verolme in 1971 onderdeel van het Rijn Schelde Verolme (RVS) concern. Rotterdam Nuclear is beter bekend onder de oude naam, Rotterdamsche Droogdok Maatschappij (RDM of Rotterdam Drydock Company). De gesmede ringen en het bolvormige bodemsegment zijn door Cockerill in België afgebouwd tot het reactorvat van Doel-3. Bij Cockerill zijn de smeedstukken gelast en aan de binnenzijde geclad met een roestvrijstalen bescherm laag. De ring van het deksel en het dekselsegment zijn gelast en geclad bij Framatome in Frankrijk. Relevant in

dit kader is dat het lasonderzoek en het onderzoek aan de cladding, de persproef, eindcontrole en eindafname van het reactorvat niet door RN/RDM is uitgevoerd maar door de Belgisch Franse combinatie Framaceco.



Figuur 1:

Rechts: Opbouw reactorvat Doel-3 en benaming van de onderdelen

Links: Vergelijk van de reactorvaten van Doel-3 en van Borssele. Bouwtekeningen op schaal.

De centrale Doel-3 is begin juni 2012 volgens plan uit bedrijfgenomen voor een splijtstofwissel/revisie stop. Tijdens deze stop werd op basis van bevindingen in de Franse kernenergiecentrale Tricastin een speciaal inspectieprogramma in het reactorvat uitgevoerd met een speciale ultrasoonmeting.

N.b., In 1999 zijn in de Franse kerncentrale Tricastin, UPR's in het reactorvat aangetroffen. De overdraagbaarheid van het Tricastin-probleem voor Borssele is in 2005 onderzocht door in- en externe specialisten en geconcludeerd is dat 'Tricastin' niet overdraagbaar is op Borssele [Langer].

Tijdens de stop van 2012 is in Doel-3 op basis van de genoemde bevindingen bij de Franse centrale Tricastin voor het eerst een speciaal onderzoek van het basismateriaal uitgevoerd. (underclad cracks, onderplaatteerlaagscheurtjes of Unterplattierungsrisse worden in het vervolg afgekort met de Duitse afkorting UPR.) Dit onderzoek is met een speciaal voor de detectie van UPR's gekwalificeerd ultrasoontechniek uitgevoerd. Hierbij is dat deel van het reactorvat onderzocht wat zich in het stralingsveld van de kern bevindt (de belt region). De detectie vond plaats vanuit de binnenzijde van het vat en de detectiediepte was beperkt tot ca. 30mm.

UPR's werden bij dit onderzoek niet aangetoond. Wel werd een groot aantal (168) indicaties gevonden, die op een ander fouttype duiden. De gevonden fouten lagen parallel aan het wandoppervlak en worden aangeduid als laminaire defecten. Er werd gemeld dat het om fabricagefouten in het basismateriaal zou gaan (vlakvormige scheidingen) [FANC<sup>h</sup>]. Bij plaatmateriaal worden dit soort smeedfouten "dubbelingen" genoemd. Bij constructies zoals een reactorvat, die puur op inwendige druk worden belast, zijn dit soort laminaire indicaties niet integriteitbedreigend. Dit geldt in het bijzonder als het vat voldoet aan de hiervoor geldende eisen t.a.v. taaiheid.

Na het vaststellen van deze indicaties werd op 16 juli 2012 begonnen met het uitvoeren van een aanvullend ultrasoon onderzoek. [REDACTED]

[REDACTED] Er wordt aangegeven dat in de bovenste cilindrische smeedring ca. 930 aantekeningen werden gevonden en in de onderste smeedring ca 7800. De grootte van deze aantekeningen bedraagt gemiddeld 10 bij 10 mm<sup>2</sup>. Een maximale grootte wordt niet gegeven. Als schadepoorzaak wordt door Electrabel vermoed dat het om een fabricagefout gaat. De volgende oorzaakhypothese wordt gegeven:

*De indicaties zijn waterstof vlokken in een zone met positieve macrosegregatie in het gietstuk. Het ontstaan van deze vlokken is veroorzaakt door een schijnbaar te hoog waterstofpercentage tijdens het gietproces in combinatie met het ontbreken van een waterstof verwijderstap tijdens de fabricage bij RDM.*

Parallel worden door Doel-3 verdere onderzoeken uitgevoerd om de structurele integriteit van het reactorvat te onderzoeken.

De kerncentrales Doel-3 en Tihange-2 zijn zustercentrales, ze zijn binnen één opdracht ontworpen en gebouwd. De overdraagbaarheid van Doel-3 naar Tihange-2 is daarom zeer groot [De Roovere<sup>v</sup>]. In september 2012 wordt het reactorvat van de kerncentrale Tihange-2 op dezelfde wijze niet-destructieve onderzocht. Voor de centrales Doel-4 en Tihange-1 en Tihange-3 zijn deze onderzoeken in 2013 gepland.

### **Internationale reacties**

Door de Belgische toezichthouder werd de gebeurtenis in Doel-3 ingedeeld in categorie 1 van de INES schaal (International Nuclear and Radiological Event Scale). Vanuit de Belgische toezichthouder is een lijst met 22 reactorvaten vrijgegeven die gebouwd zijn bij RDM.

Tevens heeft de Belgische toezichthouder ter informatie voor de andere toezichthouders en bedrijvers van kerncentrales over deze bevindingen een voorlopige melding (IRS-Melding nr. 8244) opgesteld. Op basis van deze informatie heeft de GRS (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit) als federale expert in Duitsland op 09 augustus 2012 een voorlopig oordeel opgesteld. De betreffende toezichthouders in Duitsland hebben de kerncentrales Emsland, Gundremmingen en Biblis gevraagd om op korte termijn een advies uit te brengen met betrekking tot de situatie in Doel-3.

In Zwitserland is het reactorvat van de kerncentrale Mühleberg gebouwd door de combinatie Sülzer-RDM. Mühleberg heeft in de jaarlijkse stop in augustus 2012 het reactorvat onderzocht op Doel-3 indicaties. In een 500mm brede verticale baan over de volledige hoogte van het reactorvat zijn geen indicaties gevonden. Dit was voor de Zwitserse toezichthouder ENSI reden om toestemming te geven om de reactor op te starten en niet te twifelen aan de afnameprotocollen en de kwaliteit van het reactorvat materiaal [ENSI<sup>1</sup>]. Het reactorvat van Mühleberg is 22NiMoCr37, hetzelfde materiaal als Borssele.

In Nederland heeft ILENT (Inspectie Leefomgeving en Transport van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Kernfysische Dienst (KFD)) aan KCB Borssele gevraagd om de overdraagbaarheid te beschouwen. EPZ heeft de Nederlandse toezichthouder hierover geïnformeerd. Verdere informatie van Doel-3 wordt door EPZ nauwgezet gevolgd en geëvalueerd.

De KFD heeft kerncentrale Borssele gevraagd om ten laatste op 10 september met een veiligheidstechnische beoordeling te komen om de gevolgen voor Borssele van de melding vanuit Doel-3 te evalueren. Dit rapport is het verslag van deze gevraagde beoordeling.

#### **Overdraagbaarheid op de Siemens/KWU centrales**

De vakafdelingen van alle betrokken S/KWU centrales kwamen allen tot de conclusie dat de momenteel voorliggende informatie voor een eindoordeel over de overdraagbaarheid niet voldoende is. Volgens de Duitse collega's ontbreekt er bijvoorbeeld informatie over de bij de fabricage van het vat van Doel-3 uitgevoerde onderzoeken.

Tevens werd er door de vakafdelingen op gewezen dat de in Doel-3 bij het onderzoek een, voor België, nieuwe US-methode toegepast werd. Bij deze methode wordt een zogenaamde "onderwatertechniek" van de firma Intercontrole (AREVA) toegepast. Deze onderzoekstechniek is niet nieuw en wordt sinds vele jaren, als typische onderzoekstechniek voor drukwaterreactoren toegepast. Nieuw is het onderzoeksgebied, dat in het gebied van het basismateriaal ligt en niet in het gebied van de lasnaden resp. in directe aangrenzende gebieden/volumen van de warmtebeïnvloede zone. Bij deze inspectie zijn diverse factoren aanwezig die invloed uitoefenen op het resultaat. Te noemen zijn:

- Uitlijning van de meetkop ten opzichte van het inwendige oppervlak van het reactorvat;
- Afstand van het focuspunt;
- Grensvlak water/plattering waar de geluidsbundel tweemaal doorheen moet.

AREVA Erlangen, die een opdracht van de VGB heeft om nationale en internationale bedrijfservaringen te evalueren voor de S/KWU centrales, is gevraagd om in het kader van deze opdracht deze gebeurtenis verder te onderzoeken en de Siemens/KWU centrales te informeren. [REDACTED]

[REDACTED] onderzocht of er }  
aanwijzingen zijn voor waterstofvlokken in de Siemens/KWU reactorvaten. Er zijn geen  
aanwijzingen gevonden voor de 9 Duitse centrales uit de jaren '70. EPZ is ook structureel  
deelnemer van de VGB groep "Werkstoffe und Komponentintegrität (WuK), die over dit  
onderwerp geïnformeerd zal worden.

#### **Overdraagbaarheid naar KCB**

Onderdelen van het reactorvat van Doel-3, en het gehele reactorvat van de KCB zijn geproduceerd door de RDM. De onderste en de bovenste mantelring van Doel-3 en

Borssele zijn gegoten en geproduceerd bij dezelfde producenten. In beide gevallen is Krupp de leverancier van de gietstukken voor deze mantelringen. Naast deze overeenkomsten zijn er ook diverse verschillen tussen beide vaten. (zie tabel 2)

Vergelijksaspecten	Doel-3	KCB
Design	Framatome	Siemens KWU
Bouwer vat	Framaceco	RDM
Persproef	Framaceco	RDM
Lassen cladding	Cockerill	GHH/RDM
Lassen ringen	Cockerill	RDM
Ringsmeden	RN (ex RDM)	RDM
Gieten mantelringen 3+4	Krupp voor mantelringen	
Lay-out	1000 MWe 3 loop	500 MWe 2 loop
Jaartal	1982 Vat 1974-1975	1973 Vat 1969-1972
Staal RPV	SA 508 cl3 (20MnMoNi55)	22NiMoCr 37 (SA 508 cl2)
ISI	ASME XI	
UPR ISI	Juli 2012	1971 1973 1977 1981
H2 ring 3 en 4	1.5? en 1.4 ppm	0.8 en 0.9 ppm
Opbouw	8 delen (6 ringen, 2 bolsegmenten)	
Mantel ring 4	60 ton	40 ton

Tabel 2. Verschillen en overeenkomsten tussen Doel-3 en Borssele

**Rollen en verantwoordelijkheden bij de fabricage van het KCB reactorvat**  
 Momenteel kan er vanuit de KCB weinig gezegd worden over de rolverdeling tussen de verschillende partijen die het reactorvat van Doel-3 hebben gebouwd. Hoewel de mantelringen van Doel-3 zijn gesmeed, gehard en bewerkt door de RDM hebben de kritische productiestappen cladden, lassen en eindafname (persproef) plaatsgevonden bij Cockerill en Framatome.

Over de rol van KWU en RDM beschikt de KCB dankzij de archieven in Borssele en bij AREVA in Erlangen over veel informatie. Het beeld dat hierbij ontstaat is dat KWU hoofdaannemer is, en de fabricage activiteiten bij anderen heeft neergelegd. KWU stond zeer dicht bij het productieproces en maakte bij afwijkingen in de planning of kwaliteit duidelijk gebruik van de Demming cirkel (Plan, Do, Check, Act). RDM maakte het reactorvat naar de specificaties RE-L-319 van Siemens<sup>vii</sup>. De RDM specificaties werden afgeleid van de RE-L-319. Alle specificaties, rapportages en communicatie over het reactorvat was in het Duits. Ook was Siemens KWU continue aanwezig in Rotterdam. Indien nodig werden kritische werkzaamheden verplaatst van RDM naar Duitse firma's als GHH en Klöckner. Een voorbeeld, Om UPR's in de onderste 4 segmenten te voorkomen is bijvoorbeeld het cladwerk hiervan niet bij RDM uitgevoerd maar bij GHH. Omdat Borssele de eerste kerncentrale van Siemens is die verkocht werd buiten Duitsland en Borssele voor de Nederlandse industrie een demonstratieproject was, werd

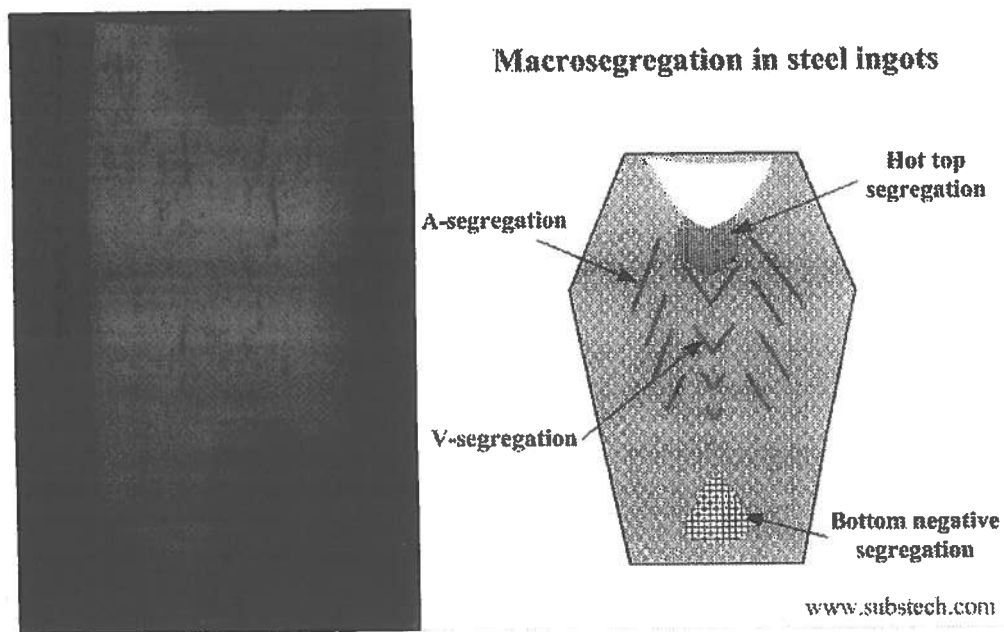


de bouw van het reactorvat zowel door de TÜV als door de Dienst voor het Stoomwezen bewaakt. Van beide toezichthouders zijn de dossiers bewaard gebleven.

#### Materiaal en Materiaalgedrag

Als oorzaak van de indicaties in Doel-3 worden *hydrogen flakes* (waterstof vlokken) genoemd. Het is momenteel niet bekend of deze hypothese de werkelijke oorzaak van de indicaties is, of dat er een andere grondoorzaak gevonden wordt. Er vanuit gaande dat de gevonden indicaties inderdaad waterstofvlokken zijn, zal hier zo goed mogelijk worden verklaard wat waterstofvlokken zijn, hoe ze ontstaan en wat de overdraagbaarheid is naar Borssele.

Als het vloeibare staal afkoelt en stolt, zal in eerste instantie zuiver ijzer kristalliseren. Legeringselementen, onzuiverheden en opgeloste gassen hebben in meer of mindere mate de neiging om zo lang mogelijk in de smelt te blijven. Afhankelijk van de concentratie en stolsnelheid worden de legeringselementen eerst voor het stolfront uitgeduwd, om uiteindelijk toch te stollen. De plaats waar dat gebeurt in het gietstuk wordt aangeduid met de term segregatie. Omdat de stolling van het gietstuk van buiten naar binnen verloopt en het staal kristalliseert, zijn de segregaties geconcentreerd in discrete plaatsen in de kern van het gietstuk. Zie onderstaande figuur 2.



*Figuur 2. Links, Doorsnede van een gietstuk van 75 ton. De segregaties zijn zichtbaar gemaakt door de zwavelprint. Rechts. Tekening van een gietstuk met benaming van de verschillende segregatiezones.*

Waterstofvlokken ontstaan tijdens afkoelen door oververzadiging van opgelost waterstof in het staal. Bij een hoge mate van oververzadiging wordt het waterstof onoplosbaar en zal als waterstofgas een belletje vormen. Om een belletje te vormen in zuiver materiaal zijn zeer hoge drukken nodig. Waterstofbellen vormen zich daarom bij voorkeur op zwakke plekken in het metaal. Dit zijn vooral de uitscheidingen (segregaties). Door de hoge druk

in de waterstofgasbelletjes en de oriëntatie van de belletjes langs segregaties, zal de spanning langs de segregatie zo hoog worden dat het staal scheurt. Als het materiaal naderhand gebroken wordt, zijn de waterstofscheuren als vlokjes verdeeld in het staal.

Voor het ontstaan van waterstofvlokken zijn een aantal parameters van belang:

1. Het waterstofgehalte in het staal tijdens gieten.
2. Ontsnappen van waterstof tijdens het stollingsproces van het vloeibare metaal en bij de afkoeling van het gietstuk.
3. De (on)mogelijkheid waterstof te verwijderen tijdens het smeden en de defecten dicht te smeden
4. De aanwezigheid van segregaties

Om het waterstofgehalte van de smelt te beheersen wordt het staal ontgast. Een gebruikelijke manier in de jaren 60-70 was het gieten in een hoog vacuüm. Later is deze methode (stream degassing) gecombineerd met een aparte ontgasstap (bijv. ladle degassing) [Suzuki<sup>vi</sup>]. Hierdoor kon de gietstukgrootte worden vergroot. Tijdens het stollen en afkoelen van het gietstuk is de opgeloste waterstof nog zeer mobiel. Door diffusie kan het ontsnappen uit het gietstuk. De grootte van het gietstuk en de snelheid van afkoelen zijn hier belangrijke parameters. Voor een klein gietstuk kan een langzame afkoeling voldoende zijn om alle waterstof te laten ontsnappen. Om een groot gietstuk te ontgassen, is een ovenbehandeling van weken noodzakelijk. Waterstofvlokken is net als waterstofbroosheid na lassen een fenomeen dat zich manifesteert in enkele dagen op lage temperatuur tussen de 50°C en 200°C. Wordt het gietstuk-smeedstuk boven de 250°C gehouden, dan kan de waterstof ontsnappen.

Zoals aangegeven, bepaalt de aanwezigheid van segregaties de verdeling en kans op de vorming van waterstofbelletjes. Ook segregaties zijn sterk afhankelijk van de grootte van het gietstuk, de legering, de exacte staalsamenstelling en de verhouding tussen de verschillende legeringselementen. Omdat de vormingsenergie van belletjes op mangaansulfide uitscheidingen laag is, speelt de staalsamenstelling hierin een belangrijke rol.

Om het probleem van waterstofvlokken zoveel mogelijk te voorkomen, werd destijds een maximale waarde van 2 ppm gespecificeerd. Siemens KWU hanteerde een streefwaarde van 0.8 ppm. Belangrijker zijn echter de procesparameters en kennis en kunde van de gieterij. Helaas is niet veel bekend over de fabricage van de gietstukken. Gieterijen zijn (nog steeds) zeer gesloten en hebben goede redenen (de concurrentiestrijd) om deze niet openbaar te maken.

Wat is er bekend van de verschillen tussen het Borssele en Doel-3 materiaal?

Materiaal Borssele: 22NiMoCr37 (Werkstoff-Nr. 1.6751), volgens Siemens/KWU specificatie. Dit komt overeen met ASME SA 508 c2.

Materiaal Doel-3: ASME SA 508 c3, volgens FRAMACECO specificatie. Dit komt overeen met 20MnMoNi55 (Werkstoff-Nr. 1.6310).

Chemische analyse	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	P	S	Cu
Borssele onderste mantelring	0,20	0,28	0,67	0,33	0,71	0,58	0,006	0,013	0,12
Doel-3 onderste mantelring	0,22	0,26	1,25	0,08	0,72	0,48	0,009	0,009	0,04
Verhouding Doel-3/KCB	110%	93%	187%	24%	101%	83%	150%	69%	33%

Tabel 3. Samenstelling onderste mantelring Doel-3 en Borssele. Waarden in gewichtsprocenten. In de onderste rij staat de verhouding van het legeringselement Doel-3/Borssele.

Beide legeringen worden gebruikt in het reactorvat van kerncentrales omdat ze een goede sterkte op temperaturen tot 350°C en een uitstekende taaiheid combineren met een goede smeedbaarheid. De meeste Westerse reactorvaten zijn gemaakt van deze twee legeringen. Als voorbeeld is in tabel 3 één van de chemische analyses van de onderste mantelringen weergegeven. Hieruit wordt duidelijk dat het reactorvat van Doel-3 een hoger Mangaangehalte maar lager Chroomgehalte heeft dan het reactorvat van Borssele. Door de samenstelling is ook het gedrag van beide materialen tijdens de fabricage verschillend. Al lang is bekend dat 22NiMoCr37 gevoelig is voor warmscheuren terwijl 20MnMoNi55 materiaal gevoeliger is voor koudscheuren ten gevolg van waterstof uitscheiding op segregaties. Warmscheurgevoeligheid heeft tijdens de fabricage van Borssele geleid tot een uitgebreid onderzoek naar scheuren onder de austenitische bekleding. Deze UPR's zijn tijdens de bouw vastgesteld. Het bodem bolsegment, de zonerings, de onderste mantelring 3 en de bovenste mantelring 4 van het KCB reactorvat zijn daarom niet bij RDM bekleed met RVS maar bij GHH, een gespecialiseerde Duitse firma dat in die tijd al in 2 lagen kon bekleden. Dankzij de in twee lasdoorgangen opgebrachte cladding, een uitgebreid ultrasoon onderzoek en vervolging (ISI) van de UPR in de tijd, kon worden aangetoond dat UPR geen risico vormen voor Borssele. De aanwezigheid van UPR tengevolge warmscheuren in reactorvaten van 22NiMoCr37 heeft in de jaren 70 tot een zeer uitgebreid onderzoek geleid in Duitsland [Kusmaul<sup>64</sup>] en vormde in de eind 70'er jaren de reden voor Siemens om over te gaan van 22NiMoCr37 op 20MnMoNi55 staal. Hiermee werd het ontstaan van warmscheuren tijdens de fabricage voorkomen. De keerzijde is de segregatiegevoeligheid van deze legering die het giet- en smeedproces van grote stukken zeer moeilijk te beheersen maakt. Ondanks het onderzoek in Duitse instituten en door de Duitse industrie, zijn alle Duitse reactorvaten sindsdien gegoten en gesmeed in Japan bij Japanese Steelworks (JSW). De reactorvaten die RDM produceerde tussen 1965 en 1972 zijn gemaakt van SA508 Class 2 staal. Voor RDM was het reactorvat van Doel-3 de eerste of een van de eerste vaten die gesmeed is in Class 3 materiaal.

Als mogelijke hypothese voor het optreden van waterstofvlokken in het reactorvat van Doel-3 kan een volgende gedachtegang worden gevolgd:

In Frankrijk is SA 508 Class 3 (16 MnD5) staal gebruikt voor reactorvaten. Framatome had een uitgebreide ervaring met 508 Class 3 staal en het giet- en smeedproces was (expliciet) ingericht op dit materiaal. Cruciaal was dat de centrale gieterij en smederij naast elkaar liggen en een bedrijf vormen. Hierdoor werd het giet/smeedstuk continue boven de 250°C gehouden en diffundeerde de waterstof ook in de smeedfase nog weg, zonder dat dit expliciet in voorschriften was opgenomen. Mogelijk kregen de gesmede

*ringen nog een aparte waterstofontgassingsbehandeling (de-hydrogination step) na het smeden. In de 30cm dikke ring diffundeert de waterstof relatief snel naar buiten. Bij het uitbesteden van de productie van de ringen naar RDM zijn veel procedures vastgelegd, echter niet de voorwaarde dat het staal tussen gieten en smeden warm moest blijven. Het lijkt ook zeer onwaarschijnlijk dat gietstukken van 150 ton vanuit de gieterij van Krupp in Bochum, warm naar RDM in Rotterdam werden vervoerd. Voor of tijdens het transport koelt het staal af en dit zou voor het koudscheurgevoelige staal SA508 Class 3 een probleem kunnen zijn geweest, waar dit voor het tot dan toe gebruikte 22NiMoCr37 geen probleem was. Of het mogelijk is om eenmaal gevormde waterstofvlokken die tijdens de "treinreis" in SA 508 class 3 zijn ontstaan nog dicht te smeden, lopen de meningen uiteen.*

Hoewel de invloed van 1) de ervaring van de gieterij en smederij met het materiaal, 2) een 50% groter gietstuk, 3) een verdubbeling van het mangaangehalte, 4) de verhouding van de legeringselementen en 5) de afstemming van het productieproces op de legering momenteel nog niet volledig helder is, is wel aannemelijk dat door alle vijf deze invloedsfactoren de kans op het ontstaan van segregaties en waterstofvlokken in het reactorvat van Doel-3 groter is dan in het vat van Borssele.

#### Onderzoek reactorvat bij KCB

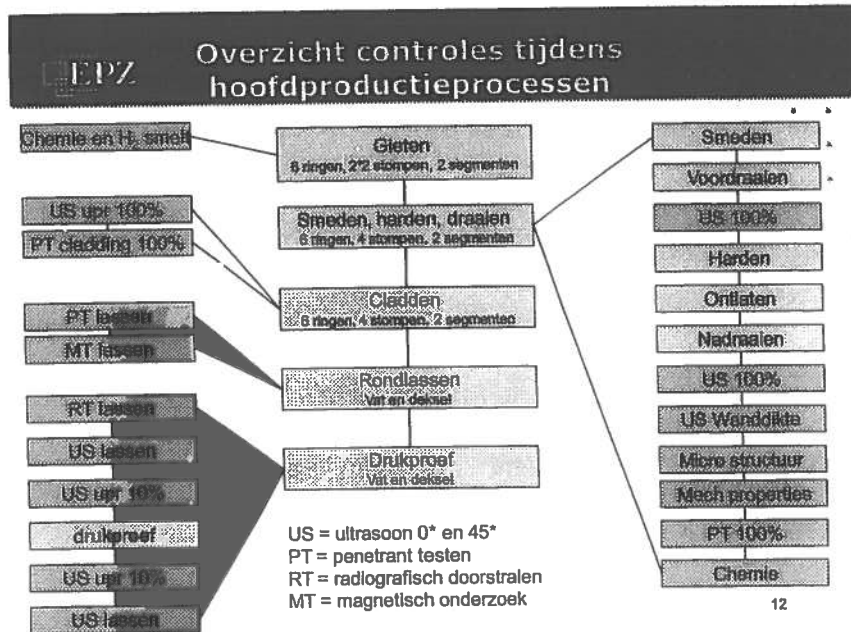
Om een beeld te kunnen vormen van het fabricageproces van het reactorvat, is de beschikbare literatuur binnen de KCB en AREVA onderzocht. De recent uitgevoerde *aging management review* van het reactorvat was hierbij het startpunt [Schmidt<sup>x</sup>]. Het volume van het materiaal is bij het KCB vat 4 x volumetrisch gemeten onder ideale omstandigheden tijdens de fabricage van het vat, hierbij zijn geen rapporteerbare indicaties vastgesteld. Deze onderzoeken hebben plaatsgevonden voor en na de warmtebehandeling "Vergüten" (harden en ontlaten) en voor en na de persproef. De onderzoeken zijn uitgevoerd door RDM en bewaakt en gecontroleerd door Siemens AG, de Dienst voor het Stoomwezen en de TÜV. Van alle onderzoeken zijn de originele certificaten voorhanden. Naast deze ultrasoon testen, gericht op het opsporen van defecten in het materiaal, zijn ondermeer de volgende testen uitgevoerd.

1. het gehele binnen, buiten en lasvlak oppervlak van de ringen is onderzocht met penetrant om oppervlaktescheuren te detecteren. Van de stomperring zijn ook de binnenoppervlakken van de aansluitgaten onderzocht
2. De wanddikte van elke ring is op 44 plaatsen gemeten met ultrasoon.
3. De hardheid van de ringen is op de lasvlakken en op drie 120° verdraaide verticale banen aan binnen en buitenzijde om de 200mm gemeten.
4. De rondlassen zijn uitgebreid onderzocht met penetrant, radiografie, ultrasoon, en magnetisch onderzoek. Verdachte locaties zijn uitgeslepen, microscopisch onderzocht en opnieuw gelast.
5. Na cladden is de cladding aan de binnenzijde van het vat onderzocht op UPR's. Deze meting is uitgevoerd met een 45° taster vanaf de buitenzijde van het vat. Deze metingen zijn steekproefsgewijs herhaald voor en na de persproef.

Een overzicht van de procesvolgorde, warmtebehandelingen en resultaten van de metingen voor de verschillende onderdelen van het reactorvat is door RDM verzameld in zo geheten traveller reports. In figuur 3 is de procesvolgorde schematisch weergegeven in een procesmap van de geprotocolleerde inspecties. Zie ook bijlage 1 voor de voorbladen

van de traveller reports van de onderste en bovenste mantelring, en van de las tussen beide ringen.

Voor de smeedringen 3 en 4 worden de fabricage documentatie [RDM traveller report mantelring 3<sup>xi</sup> en 4 en rondlas W03] van RDM, GHH en de TÜV rapporten als onderliggende data opgestuurd naar de KFD [TÜV<sup>xii</sup>]. De overige fabricage documenten van de reactorvatdelen die niet in het directe stralingsveld van de kern liggen, zijn beschikbaar.



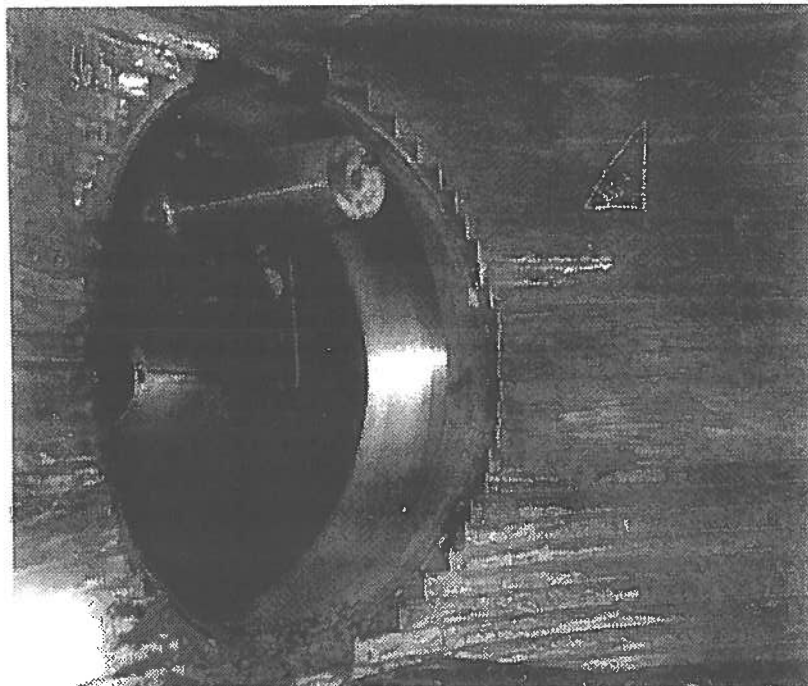
Figuur 3, Procesmap kwaliteitscontroles

Evaluatie van bovenstaande vijf onderzoeken met het oog op Doel-3 indicaties.

- 1: In het reactorvat van Doel-3 zijn 168 defecten aangetroffen in de binnenste 2 cm van het reactorvatmateriaal. Hoewel de ca. 1cm<sup>2</sup> grote defecten ongeveer parallel aan het oppervlak liggen, lijkt het zeer onwaarschijnlijk dat er niet een aantal van deze defecten door het oppervlak steken en zichtbaar zouden zijn bij een penetrant test zoals die voor het KCB reactorvat zijn uitgevoerd. Zeker bij de mantelring, waarin een viertal gaten is geboord voor de stempen, is het niet aannemelijk dat indicaties niet zouden zijn gevonden met een penetranttest. Zie figuur 4 voor een foto van de stempenring tijdens de fabricage.
- 2: In het KCB reactorvat is de wanddikte tijdens de bouw op 36 plaatsen per ring nauwkeurig gemeten met een rechte 2.25MHz US taster. NRG zal onderzoeken of indicaties deze meting zouden hebben verstoord.
- 3: De hardheid van het KCB reactorvat is bij RDM gemeten. Bij meer dan 120 hardheidsmetingen per ring zijn geen onregelmatigheden (zachte of harde plekken) geconstateerd.
- 4: Het lassen van dikwandige reactorvaten werd beschouwd als een technologisch hoogstandje. [Veen<sup>xiii</sup>]. De kleinste defecten zijn in kaart gebracht en de foutenoorzaak is achterhaald door indicaties te verwijderen en de foutjes en het materiaal te onderzoeken.

Meerdere lasdefecten (insluitels, scheuren) zijn gevonden, maar er zijn geen fouten in het basismateriaal gerapporteerd.

5: Zowel tijdens de fabricage, als meerdere malen tijdens bedrijf bij KCB hebben onderzoeken plaatsgevonden naar de UPR, hierbij zijn geen Doel-3 indicaties gevonden. De US onderzoeken naar UPR zijn tijdens nieuwbouw uitgevoerd vanaf de buitenkant (ongepolteerde zijde) van het vat. Bij het UPR onderzoek werd gezocht naar scheurtjes met een afmeting van ten hoogste enkele millimeters. Eventuele relatief grote indicaties (10 bij 10 mm) zoals die in Doel-3 zijn gevonden, waren met een zekerheid grenzende waarschijnlijkheid opgemerkt omdat het materiaal uitstekend ultrasoon onderzoekbaar was (lage demping). Fouten zoals bij Doel-3 zijn gevonden hadden mogelijk de meting verstoord. Een externe expert op dit gebied (NRG) verricht nader onderzoek naar de gebruikte meetprocedures en methoden.



Figuur 4. Foto van stompenring Borssele tijdens het nadraaien van een stompengat. De horizontale banen zijn de opgelaste cladding aan de binnenzijde van het vat.

In verschillende ringen en het bodem bolsegment zijn bij fabricage van het KCB reactorvat UPR's gevonden met de US techniek. Op deze locaties is de RVS cladding en de aangetaste ferritische bovenlaag verwijderd totdat zeker geen scheuren meer werden waargenomen met een penetrant test. Daarna is het materiaal gerepareerd door oplassen. In dit proces zijn geen vlakke fouten gerapporteerd.

### Waterstofgehalte

AREVA hanteert voor waterstof in de smelt 2 ppm als grenswaarde. De streefwaarde is 0.8ppm. Het waterstof gehalte in de gietsmelt van de onderste en bovenste mantelring van het KCB reactorvat is respectievelijk 0.8 en 0.9 ppm. Dit is een gehalte dat duidelijk lager is dan de huidige grenswaarde. Vergeleken met Doel-3 is het waterstofgehalte in de de vatwand ter hoogte van de kern beduidend lager.

#	Onderdeel	Gieterij	Smelt	H2 ppm
1	Bodem bolsegment	Marrel	53940-2	No data
2	Zonering	Demka	8778-1	1.1
3	Onderste mantelring	Krupp	523512	0.8
4	Bovenste mantelring	Krupp	523612	0.9
5	Mantelflensring	Klöckner	410095	1.5
6	Dekselflensring	Klöckner	410081	1.2
7	Deksel bolsegment	Marrel	53922-1	No data
8	Intrede stomp 8.1	Rheinstahl Huttenwerk	990311-21	1.7
8	Intrede stomp 8.2	Rheinstahl Huttenwerk	990598-11	1.5
9	Uitrede stomp 9.1	Rheinstahl Huttenwerk	990311-21	1.7
9	Uitrede stomp 9.2	Rheinstahl Huttenwerk	990598-11	1.5

Tabel 4. Overzicht van de 9 gietsstukken voor het reactorvat van Borssele. Waterstofgehalte is in delen per miljoen.

### Inbreng AREVA

In vloeibaar staal lost ca. 20ppm waterstof op. Bij stollen en afkoelen neemt de oplosbaarheid van waterstof zeer sterk af. Bij 600°C is nog ca. 1 ppm oplosbaar. Een eventueel overschot aan waterstof zal in de vorm van gasbelletjes uitgescheiden worden. Deze belletjes vormen zich bij voorkeur op uitscheidingen (segregaties). Eenmaal gevormde belletjes zijn nauwelijks meer te verwijderen. Dit komt omdat atomair waterstof wel oplosbaar is in staal (en dus kan wegdifunderen), maar het gevormde waterstofgas H<sub>2</sub> in de belletjes niet. Doordat de druk in de belletjes zeer hoog is en ze zijn gevormd op een discontinuïteit (de segregatie) ontstaan gemakkelijk scheurtjes.

Bij de gieterij wordt waterstof verwijderd in een aparte stap voorafgaand aan het gieten, of het gietproces zelf wordt uitgevoerd onder vacuüm. Tijdens het gietproces worden monsters genomen om de waterstofconcentratie te monitoren. S/KWU heeft limietwaarden voor deze concentraties gespecificeerd. Uit de fabricagedocumentatie blijkt dat de betreffende gietstukken voor het vat van Borssele de optimale waarde hadden die daarmee ruim onder de gespecificeerde limietwaarde liggen.

### **Acties KCB**

Indien niet uit te sluiten valt dat de problemen bij Doel-3 overdraagbaar zijn naar Borssele, zou dat voor Borssele reden zijn voor maatregelen. Hoewel er wel een theoretische overdraagbaarheid door gemeenschappelijke fabrikanten (RDM, Krupp) is gegeven, wordt deze niet ondersteund door de hiervoor geschetste analyses en gegevens.

Ook de door verschillende partijen (RDM, Siemens AG, TÜV en Dienst voor het Stoomwezen) meermaals uitgevoerde volumetrische onderzoeken tonen aan dat er vooralsnog geen reden is voor nadere actie.

Op basis van deze overwegingen en de momenteel voorliggende informatie van Doel-3 kan geen overdraagbaarheid naar Borssele afgeleid worden.

Ondanks deze conclusie wordt door EPZ proactief de situatie bij Doel-3 opgevolgd en geëvalueerd en zullen in voorkomende gevallen passende maatregelen genomen worden.

De volgende acties zijn gestart of afgerond naar aanleiding van de Doel-3 bevindingen:

- A. Projectteam is samengesteld
- B. In kaart brengen en herbeoordelen van productiegegevens RDM.
- C. In kaart brengen en herbeoordelen van in-service inspecties.
- D. Vergelijken van de documentatie van Borssele met die van Doel-3
- E. Verzamelen van kennis over waterstof vlokken in KCB gietstukken
- F. Inschakelen externe kennisbronnen en experts
- G. Voorbereiden van een in-service inspectie van het reactorvat

### **Projectteam**

Om de overdraagbaarheid van de Doel-3 indicaties op Borssele te onderzoeken en additionele inspecties aan het reactorvat uit te voeren, is een team van 6 personen uit verschillende afdelingen samengesteld. Projectleider is Ir. M. Bos.

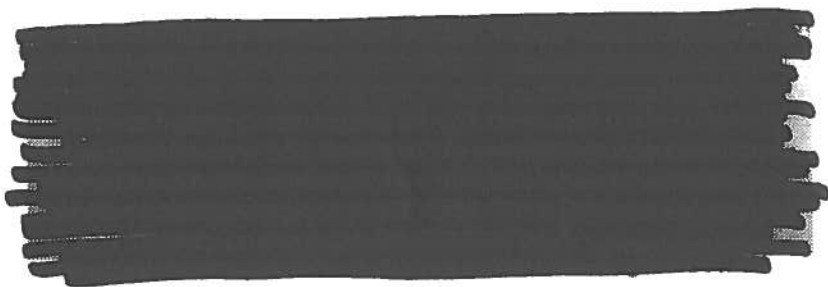
### **In kaart brengen en beoordelen van productiegegevens RDM.**

In het hoofdstuk "Overdraagbaarheid" wordt een eerste beschrijving van het productieproces gegeven. In bijlage 2 is een drietal proces maps opgenomen van het productieproces. EPZ volgt de verdere ontwikkelingen en vrijgave van informatie vanuit Doel-3 op de voet. Ook de informatie vanuit Doel-3, oud RDM werknemers, de lopende internationale samenwerkingsverbanden (VGB), collega centrales, AREVA en internationale agentschappen (WANO, IAEA) helpt om het productieproces beter in beeld te krijgen. Deze kennis wordt gebruikt om de overdraagbaarheid van de Doel-3 indicaties naar Borssele (en andere groepen van reactorvaten) in beeld te krijgen en te staven.

### **In kaart brengen en herbeoordelen van in-service inspecties.**

NRG is gevraagd om te onderzoeken of de indicaties zoals die gevonden zijn in Doel-3, destijds hadden geleid tot rapportage bij de pre-service inspecties van het KCB reactorvat. Voor een goede beoordeling is het allereerst noodzakelijk dat er informatie vanuit Doel-3 wordt gegeven over de gevonden indicaties, de gebruikte apparatuur en methode. De huidige informatie die momenteel ter beschikking staat is zeer beperkt. Bekend is dat in de eerste US meting van de bovenste mantelring 4 van Doel-3 (geen rapporteerbare) indicaties zijn gevonden tijdens de bouw bij RDM. In figuur 5 (uit het originele US onderzoek van Doel-3) is de verdeling van de indicaties over de omtrek van de ring weergegeven. Duidelijk is dat in een groot gebied "iets" werd gevonden. In deze ring zijn nu 930 indicaties gevonden.





Op dit moment is onduidelijk wat er tijdens de bouw in Doel-3 is gevonden en hoe door de klant en toezichthouder tijdens de bouw is omgegaan met waargenomen indicaties in de onderste en bovenste mantelring 3 en 4.

**Verzamelen van kennis over hydrogen flakes in KCB gietstukken**

Een beknopte beschrijving is in het hoofdstuk "materiaal en materiaalgedrag" gegeven.

**Informatie delen en inschakelen externe kennisbronnen**

Vanuit Borssele is zoveel mogelijk documentatie ter beschikking gesteld aan de Belgische collega's. Onduidelijkheid over het al dan niet uitvoeren van een dehydrogination stap na het smeden bij RDM lijkt daarmee opgelost.

In de ASME SA508 staat in paragraaf 4.3.1 een preliminary heat treatment beschreven [ASME 508]<sup>dv</sup>. Deze niet verplichte warmte behandeling heeft als doel om de mechanische bewerking na het smeden te verbeteren door de korrelstructuur te verfijnen. ASME schrijft expliciet voor dat het smeedstuk volledig moet worden afgekoeld om de austenische structuur volledig om te zetten (in een ferritische). Als de warmtebehandeling was bedoeld om waterstof te verwijderen, zou nooit worden voorgeschreven dat het smeedstuk wordt afgekoeld. Voor de ringen van Doel-3 zijn deze stappen wel uitgevoerd. Voor KCB zijn deze stappen niet uitgevoerd.

Bij het onderzoek is en wordt tot nu toe samengewerkt met en informatie vergaard bij diverse externe partijen:

- Oud RDM medewerkers
- Diverse contacten bij Duitse en Zwitserse kerncentrales en samenwerkingsverbanden
- Historisch archief van Krupp
- Electrabel en Tractebel
- AREVA Duitsland
- KFD
- Lloyd's register
- NRG

**Vorbereiden van een in-service inspectie van het reactorvat**

Om het reactorvat te kunnen onderzoeken, moet de volledige kern worden verplaatst naar het splijstofopslag bassin en dient de kernhouder verwijderd te worden. Een dergelijke operatie vergt een gedegen voorbereiding en heeft een grote impact op de doorlooptijd van een splijstofwisselperiode en daarmee op de bedrijfsvoering van de KCB. Mede op basis van de informatie vanuit Doel-3 maar vooral vanuit technisch-organisatorisch standpunt is besloten om de in-service inspectie van de lasnaden van het reactorvat uit te voeren in de splijstofwisselperiode 2013 (SW2013). Dit biedt als bijkomend voordeel de

mogelijkheid om naast de lassen ook andere delen van het reactorvat te onderzoeken op Doel-3 indicaties.

#### **Afweging noodzaak-zekerheid-kosten.**

Als er de mogelijkheid kan worden gecreëerd om het reactorvat te onderzoeken, geeft dit veel meer zekerheid ten aanzien van het uitsluiten van het aanwezig zijn van indicaties in het reactorvat van Borssele, dan enige ander theoretisch of historisch onderzoek. Een beperking van het reactorvat van Borssele is dat de RVS cladding aan de binnenzijde van het vat behoorlijk ruw is (zie figuur 3). De lasbanen en overgangen tussen de banen zijn nog duidelijk zichtbaar. Bij US onderzoek moet het US signaal twee maal het grensvlak water-metaal passeren. Reflecties en verstrooiing van het geluid aan het ruwe oppervlak geven een grote verstoring van het US signaal. Tijdens de bouw zijn die delen van het reactorvat die volgens ASMI XI geïnspecteerd moeten worden glad geslepen. Ook is in overleg met de Dienst voor het Stoomwezen een zestal vlakken aan de binnenzijde van het reactorvat geslepen om eventuele groei van aanwezige UPR's te kunnen vervolgen. De vensters zijn geïdentificeerd met de code 2001, 2002, 2003 voor de stomperring en 2004 2005 2006 voor de mantelring. De vlakken liggen op circa 7°, 50° en 190° en liggen in verticale richting 3,5 meter uit elkaar.

In deze UPR vensters is tot op heden vier keer de ontwikkeling van de UPR's opgevolgd. Omdat er geen scheurgroei werd waargenomen, heeft de Dienst Stoomwezen besloten dat verder onderzoek niet nodig was. In reactorvaten van latere productie, (bijvoorbeeld het vat van Doel-3) is de gehele cladding tijdens de fabricage glad geslepen, dit maakt inspectie eenvoudiger.

Na overleg tussen Lloyds register, KCB en NRG is besloten dat een inspectie van de geslepen delen van het reactorvat de beste optie is om Doel-3 indicaties te vinden. Dit biedt tevens de mogelijkheid om in het kader van de long term operation opnieuw een controle uit te voeren naar de stabiliteit van de UPR's.

De in-service inspectie van de lasnaden van het reactorvat zullen worden uitgevoerd door NRG. NRG heeft manipulatoren die speciaal afgestemd zijn op de afmetingen van het reactorvat van Borssele.

NRG is gevraagd om in SW2013 het reactorvat te onderzoeken. Dit onderzoek behelst de volgende drie aspecten:

- Reguliere ISI lasnaden
- Onderzoek naar laminaire indicaties in de UPR vensters
- Hernieuwde inspecties van de destijds onderzochte UPR in de UPR vensters

Om de laminaire indicaties en de UPR te kunnen onderzoeken, wordt gestart met een verkennend onderzoek. De omvang van het onderzoek is afgestemd met dhr. Zeelenberg van Lloyds register.

#### **Planning**

- 10 sept      Rapportage veiligheidstechnische beoordeling van reactorvat Borssele aan de KFD
- 19-sept      Wano technical conference related to Doel-3
- Aug-okt      US methode onderzoek NRG
- Okt-mrt      US certificatie NRG
- April 2013    US lassen reactorvat en UPR vensters
- Q1 2013      Tussenrapportage
- Q2 2013      Eindrapport

### **Conclusies**

Op grond van de voorliggende informatie kan geen overdraagbaarheid van de Doel-3 gebeurtenis afgeleid worden.

Op grond van de verschillen in materialen, specificaties en de gunstige resultaten van onderzoeken van de KCB smeedstukken is er geen veiligheidstechnische noodzaak tot het uitvoeren van extra onderzoeken.

EPZ bereidt een onderzoek voor om in de eerstvolgende splijststofwissel een uitgebreid reactorvatonderzoek uit te voeren waarbij gezocht zal worden naar laminaire indicaties zoals waargenomen bij Doel-3. Tevens zal opnieuw onderzoek gedaan worden naar de UPR's die sinds de bouw van het vat aanwezig zijn zodat met grote zekerheid vastgesteld kan worden dat geen sprake is van vergroting van de aanwezige haarscheurtjes. Het door EPZ uitgevoerde onderzoek naar de overdraagbaarheid van Doel-3 op de KCB wordt uitgevoerd en gecoördineerd door de afdeling KTE.

## Referenties

<sup>i</sup> Langer, R., „Bewertung des KCB RDB auf Unterplattierungsrisse“, AREVA NGTM/2005/de/0008

<sup>ii</sup> FANC, Reference IRS Number 8244: "FLAWS INDICATIONS IN THE REACTOR PRESSURE VESSEL")

<sup>iii</sup> [REDACTED]

<sup>iv</sup> Willy de Roovere. Interview 17 augustus 2012, "Meer dan 50% kans op scheurtjes in Tihange."

<sup>v</sup> ENSI, (Internet link)

<sup>vi</sup> [REDACTED]

<sup>vii</sup> Siemens, Basisspecificatie RE-L-319, 463 MW<sub>B</sub>, Kernkraftwerk Borssele Reactordrukbehalter, 1969

<sup>viii</sup> Suzuki, "Reactor pressure vessel materials", in neutron irradiation effects in RPV steels and weldments, working document IAEA.

<sup>ix</sup> Kussmaul, K., Forschungsprogramm Reaktordruckbehälter, Dringlichkeitsprogramm 22 Nimocr 37 Abschlussbericht, 1977

<sup>x</sup> Schmidt, T, Aging management report to support long term operation for KCB reactor pressure vessel, AREVA PESS-G/2010/en/0042

<sup>xi</sup> RDM, traveller report van order 30682, item 3 Mantelring unten en item 4 Mantelring oben

<sup>xii</sup> TÜV, Bericht 1 bis 7 über die zerstörungsfreien Prüfungen am Druckgefäß für das Kernkraftwerk Borssele/Holland, Essen, 1971-1972

<sup>xiii</sup> Veen, M.C. van de, Manufacture of large steel pressure vessels for nuclear power stations, Institute of Mechanical engineers, 1972 en De Nederlandse reactorbouw, p204, Atoomenergie en haar toepassingen, augustus, 1972

<sup>xiv</sup> ASME SA 508, 1971

## **Bijlagen**

### **Bijlage 1, Overzicht traveller reports**

1. RDM manufacturer data report
2. RDM Traveller report onderste mantelring 3
3. RDM Traveller report bovenste mantelring 4
4. RDM Traveller report rondlas W03
5. GHH Abnahmeunterlagen
6. Overzicht niet destructieve metingen

### **Bijlage 2, Proces maps**

- A. Visueel
- B. Retro engineering ringsmeden
- C. Hoofdbewerkingen en kwaliteitscontroles

### **Bijlage 3, Overzicht onderliggende stukken. Deze worden separaat verzonden naar de KFD.**

1. RDM Traveller report onderste mantelring 3
2. RDM Traveller report bovenste mantelring 4
3. RDM Traveller report las W03
4. GHH Abnahmeunterlagen
5. TUV rapporten
  - a. bauüberwachung RDM
  - b. bauüberwachung GHH
  - c. Bauteil uberwachung Mantel
  - d. Berichte 1-7

# De Rotterdamse Droogdok Maatschappij n.v. (The Rotterdam Dockyard Co.)

Member Rhine-Schelde Group

Manufacturers Data Report

1. Manufactured by The Rotterdam Dockyard Co., Rotterdam, The Netherlands  
(Name and address of Manufacturer)

2. Manufactured for Siemens Aktiengesellschaft, Erlangen, Germany  
(Name and address of Purchaser)

3. Type Vert Vessel No. (30682) (Name, Serial) (State & State No.)  
Stoomvozer P26 NAME No. 263993 Year Built 1972

3a. Applicable ASME Code: Section III, Edition ASME Code: Rev. 0 of 29-1- Case No. 1971

4. Shell: Material 22NiMoCr37 T.S. 58kp/mm Nom. mm Corr. +3 mm 3730mm 7619mm  
(Kind & Spec. No.) (Min. of range specified) Allow -0 in. Diam. in. Length in.

5. Seams: Long none H.T.<sup>1</sup> - X.R. - Efficiency - %  
(If Class B)

6. Heads: (a) Material 22NiMoCr37 T.S. 58kp/mm (b) Material 22NiMoCr37 T.S. 58kp/mm<sup>2</sup>  
Girth butt weld H.T.<sup>1</sup> yes X.R. yes No. of Courses three

Location (Top, bottom, ends)	Thickness	Crown Radius	Knuckle Radius	Elliptical Ratio	Conical Apex Angle	Hemispherical Radius	Flat Diameter	Side to Pressure (Concave or Convex)
(a) Top	<u>168</u>	<u>2013mm</u>				<u>2013</u>	<u>3440mm</u>	<u>Concave</u>
(b) Bottom	<u>104</u>	<u>2013mm</u>				<u>2013</u>	<u>3770mm</u>	<u>Concave</u>

If removable, bolts used A540 mod. P24 ASTM A193 Grade 7 100-115kp/mm<sup>2</sup> x 170mm, 45pcs  
(Material, Spec. No., T.S., Size, Number) (Describe or Attach Sketch)

7. Design pressure 178 at op at 350°C °F. at temp. of 12°C °F. Hydrostatic Test Press 233.5 at op  
Charpy Impact 5.2 kJ/m<sup>2</sup> H-16 Hydrostatic } Test Combination

8. Safety or Relief Valve Outlets: Number none Size - Location -

9. Nozzles:

Purpose (Inlet, Outlet, Drain)	Number	Diam. or Size	Type	Material	Thickness	Reinforcement Material	How Attached
<u>Inlet</u>	<u>2</u>	<u>800 mm</u>	<u>full</u>	<u>22NiMo</u>	<u>12mm</u>	<u>Integral</u>	<u>Welded</u>
<u>Outlet</u>	<u>2</u>		<u>penetr</u>	<u>Cr37</u>			

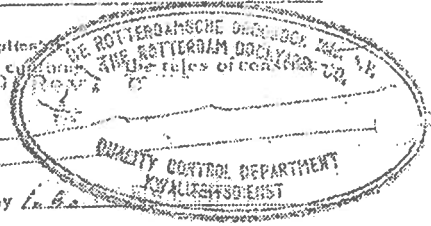
10. Inspection Manholes, No. - Size - Location -  
Openings: Handholes, No. - Size - Location -  
Threaded, No. - Size - Location -

11. Supports: Skirt no (Yes or No) Lugs (Number) - Legs (Number) - Other brackets attached welded on nozzling  
(Where & How)

12. Remarks: Part of the fabrication has been carried out by the Klöckner-Werke A.G., Osnabrück and by the Gutehoffnungshütte Sterkrade A.G., Oberhausen Sterkrade, Germany

(Brief description of purpose of the vessel—State Contents.)  
<sup>1</sup> If Postweld Heat-Treated.  
<sup>2</sup> List other internal or external pressure with coincident temperature when applying.

We certify that the statements made in this report are correct and that this nuclear vessel conforms with the rules of Section III, Siemens Specification RE-D 319 Rev. 0



Date July 1972 Signed The Rotterdam Dockyard Co by [Signature]  
(Manufacturer) Manager Quality Control

EXPIRES DATE OF VALIDATION NOT EXPRES

**CERTIFICATION OF DESIGN**

Design information on file at The Rotterdam Dockyard Co., Rotterdam

Stress analysis report on file at The Rotterdam Dockyard Co., Rotterdam Germany

Design specifications certified by R. Ruf Prof. Eng. dipl. Ing. xxxxx T.H. München

Stress analysis report certified by J. Peert Prof. Eng. Mech. sm. Delft No. Holland

**CERTIFICATE OF SHOP INSPECTION**

VESSEL MADE BY The Rotterdam Dockyard Co. of Rotterdam

I, the undersigned, INSPECTOR employed by De Dienst voor het A.R.L. TIV-Pessen  
Stoomvozer

have inspected the pressure vessel described in this manufacturer's data report on July 1972  
and state that to the best of my knowledge and belief the manufacturer has constructed this pressure vessel in accordance with the ASME Code Section III.

By signing this certificate neither the Inspector nor his employer makes any warranty, expressed or implied, concerning the pressure vessel described in this manufacturer's data report. Furthermore, neither the Inspector nor his employer shall be liable in any manner for any personal injury or property damage or a loss of any kind arising from or connected with this inspection.

Date July 1972

[Signature] Inspector

FREIGABE PROTOKOLL nach der Fertigstellung und Endabnahme nach der Druckprobe vom Reaktordruckbehälter für K.C. Borssele bei der Rotterdamse Droogdok Maatschappij n.v., Rotterdam, Holland.

Auftrags Nr. 30682  
R.D.M. A/9699/969/401 315  
Siemens A.G. 263993  
Stoomwezen Reg. Nr.

Die Versand freigabe erfolgt nachdem die folgenden Punkte überprüft sind.

- ✓ bezeichnet Dokumente und Daten sind überprüft.
- A bezeichnet Anerkennung.
- B bezeichnet Begleitumstände wie unten beschrieben.

- ✓ A oder B
- B Glühdiagramme und -bescheinigungen.
- B Röntgenprüfprotokolle.
- B Oberflächenrissprüfprotokolle.
- B Ultraschallprüfprotokolle.
- B Massprotokolle.
- A Grundwerkstoff- und Arbeitsproben.
- B Besichtigung.
- B Reinheit.
- A Materialkennzeichnung Halbzeuge.
- B Verpackung und Signierung.

Genehmigungsanträge zur Fertigungsänderung.

Alle vorgelegte Genehmigungsanträge zur Fertigungsänderung sind genehmigt worden.

Begleitumstände und Bemerkungen. ( siehe auch Anhang )

Wasserdruckprobe durchgeführt und ohne Beanstandung.  
Dehnungsmessungen durchgeführt. Messergebnisse werden z.zt. ausgewertet

Unter Aufrechterhaltung aller vertraglichen Vereinbarungen, insbesondere unser<sup>er</sup> Gewährleistungsansprüche geben wir den Versand des Reaktor-druckbehälters zur Baustelle frei.

Das Gefäß entspricht den Forderungen des Siemens Auftrages-A/9699/969/401 315.

Siemens A.G.  
De Dienst voor het Stoomwezen  
Rheinisch-Westfälischer THV o.v.  
Duisburg.

Datum, Unterschrift und Stempel.

: 5.9.72  
5/7/72  
5/7.72

Diese Freigabe gilt nicht für soweit es die Wiederholungsprüfungen betrifft.

Anhang zum Versandfreigabeprotokoll RDM für KC Borssele  
zu Glühdiagramme und -bescheinigungen:

Protokolle liegen bei RDM vor. Endgültige Anerkennung erfolgt bei der Kontrolle der Zeugnisbelegung durch Stoomvezen, TUV, und Siemens.

zu Röntgenprüfprotokolle:

Protokolle liegen bei RDM vor. Endgültige Anerkennung erfolgt bei der Kontrolle der Zeugnisbelegung.

zu Oberflächenrissprüfprotokolle:

Protokolle liegen bei RDM vor, ausgenommen der Protokolle für Dichtungshülsen der Stiftschrauben, Deckelführungsstangen und der neuanzufertigen Leiste der Deckelfeinzentrierung. Endgültige Anerkennung erfolgt bei der Kontrolle der Zeugnisbelegung.

zu Ultraschallprüfprotokolle:

US-Atlas wurde von RDM am 4.7.72 vorgelegt. Endgültige Anerkennung erfolgt bei der Kontrolle der Zeugnisbelegung.

zu Massprotokolle:

Protokolle liegen vor ausgenommen die Massprotokolle der Deckelführungsstangen, Dichthülsen für den Stiftschrauben und den Ueberdrehten Stiftschrauben. Endgültige Anerkennung bei Kontrolle der Zeugnisbelegung. Passtücke und Reiter für die GaU-abstützen werden auf die Baustelle durch RDM angepasst, montiert und verschweisst. Masskontrolle durch Siemens folgt danach. Ein Leiste und sechs Gleitstücke der Deckelfeinzentrierung werden auf der Baustelle durch RDM montiert und von Siemens kontrolliert.

zu Resichtigung, Reinheit, Verpackung und Signierung:

Diese sind für Bohälterunterteil, Deckel, O-Ringe und Schraubenspanvorrichtung durchgeführt worden und von Siemens akzeptiert.

Der rechnerische Nachweis für die Tragpratze bei 258° wofür eine Fertigungsänderung vorliegt wurde am 4.7.72 erbracht.

Der rechnerische Nachweis für den neuen Abrundungsradius am Uebergang Deckelflansch-Deckelkalotte muss von RDM noch erbracht werden.

5.7.72  
19/72  
27/72



## DE ROTTERDAMSCHE DROOGDOK MAATSCHAPPIJ N.V.

## QUALITY AND METALLURGICAL DEPARTMENT

QUALITY CONTROL			TRAVELLER REPORT No. _____ Date: _____			
Project: K.C. Borssele			Order no.: 30682			
Contract ref.: A/9699/969/401 315			RDM	Drawing no.: 30682 - 1234 1242		
Inspection by: Siemens, TÜV, Stoomwezen			Item no.: 3			
Subject: Mantelring unten						
Seq. no.	Spec. no.	Acti- vity	Notes	Result	Oper- ator	Inspectors Per./Date
01			Werkezeugnis Krupp			10-9-69
02		Mass Rapp	Vorbearbeitet, vor dem Vergüten Nr 1970-3876		Kr	16-3-70
03	21.01 rev. 6 21.09 rev. 5	UP	Bevor vergüten ND 7844	OB	Ma Gr	Intern 16-3-70
04		Wärme Beh.	Auszug Diagramm der Härtung			30-3-70
05		Wärme Beh.	Auszug Diagramm des Anlassen			31-3-70
06	21.01 rev. 6 21.09 rev. 5	UP	Nach vergüten ND 8167	OB	Ve	SAG, TUV 16-5-70
07			Mechanischen und chemischen Prüfungen Lab.no K 552			TUV 5-6-70
Result:			Activities:			
OK : Acceptable			LT : Leak testing			
D : Minor Imperfections removed and reexamined.			MT : Magnetic particle testing.			
U : Unacceptable.			PT : Penetrant testing.			
			HT : Hardness testing.			
			RT : Radiographic testing.			
			TT : Thickness testing.			
			UT : Ultrasonic testing.			
			DIM : Dimensional check.			
			FT : Ferrite testing.			
					Page 1 of 2	