

## **Defecten in de drukvaten van de kernreactoren Doel 3 en Tihange 2**

### **Commentaar op het FANC eindevaluatierapport van 2015**

Dr. Ilse Tweer

materiaalwetenschapper, specialist structurele integriteit kernreactoren, consultant

januari 2016

In opdracht van Rebecca Harms, co-voorzitter van de Groene fractie in het Europees Parlement, Brussel

### **3. Conclusies**

De diepteverdedigingsbenadering (in Duitsland de basis-veiligheidsfilosofie) vereist voor de veilige werking van kerncentrales een superieure kwaliteit van ontwerp, materialen en werking.

- Een basisveiligheid of hoogste kwaliteit in overeenstemming met diepteverdediging tijdens de oorspronkelijke vervaardiging van de drukvaten<sup>1</sup> van de kernreactoren Doel 3 en Tihange 2 kan niet worden aangetoond als gevolg van de onvolledige documentatie.
- De ontdekking van duizenden scheurtjes bewijst dat er niet voldaan is aan de vereiste van de hoogste kwaliteit. Deze drukvaten van de reactoren zouden tegenwoordig niet vergund worden en waren ook niet vatbaar voor licentie ten tijde van hun vervaardiging. In het kader van de basisveiligheid of van de diepteverdedigingsbenadering is het daarom heel bedenkelijk dat, 30 jaar na ingebruikname van de drukvaten, de Belgische nucleaire toezichthouder, het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle, toelating verleent voor de herstart van beide installaties.

Evaluatie van de gepresenteerde documenten betreffende de gedetecteerde scheurtjes:

- De ware aard van de defecten die de indicaties veroorzaken welke werden gevonden middels ultrasoon testen, kan enkel worden onthuld door het *destructief testen*<sup>2</sup>. De argumentatie van Electrabel, die wordt bijgetreden door het FANC, is enkel gebaseerd op overwegingen van aannemelijkheid.
- De veronderstelling van waterstofvlokken geeft geen verklaring voor het feit dat enkel de vier kuipen in de drukvaten van Doel 3 en Tihange 2 aangetast zijn, en niet alle drukvaten die door dezelfde fabrikant werden geproduceerd.
- De veronderstelling van waterstofvlokken kan niet verklaren waarom de scheurtjes niet werden opgespoord tijdens de *acceptatietest*<sup>3</sup> na productie van het materiaal.
- Electrabel en het FANC hebben de mogelijkheid van onregelmatige processen voor of tijdens de bekleding van het drukvat niet bediscussieerd. Deze ongewone processen zouden onzuiverheden in de wand van de drukvaten kunnen hebben geïntroduceerd, met als gevolg een groei van de scheurtjes tijdens de werking.
- Het FANC wees de hypothese van de professoren Walter Bogaerts (KU Leuven) en Digby D. Macdonald (UC

Berkeley) af. Deze hypothese hield in dat electrolytisch/radiolytisch waterstof zou kunnen bijdragen aan de groei van defecten tijdens de werking van de reactoren (Walter Bogaerts, D.D. Macdonald).

- Bij de verdere argumentatie door het FANC en de verschillende expertengroepen worden de defecten achter de indicaties die de ultrasoontesten aan het licht brachten, aanvaard als waterstofvlokken, zonder enig voorbehoud, terwijl er nog steeds geen bewijs bestaat voor deze veronderstelling.

Conclusies betreffende het aantal en de grootte van de defecten en de indicatie van groei tijdens de werking van de reactoren:

- Het feit dat er geen defecten werden gevonden tijdens het testen voor acceptatie na de productie, is klaarblijkelijk geen geschilpunt voor het FANC en de geraadpleegde expertengroepen.
- De beperkte vergelijkbaarheid tussen de metingen die verricht werden in 2012 en 2014 is tevens enkel een minieme aangelegenheid voor het FANC en de expertengroepen.
- Het is ongeloofwaardig dat een gevoeliger Ultrasoon Testtechniek grotere defecten aan het licht brengt, die niet werden opgespoord door middel van een minder sensitieve techniek. Men dient bij deze ultrasoontesten een omgekeerde waarneming te verwachten: grote scheuren die met een minder gevoelige techniek worden opgespoord, blijken bij toepassing van een gevoeliger techniek een samenvoeging te zijn van kleine scheuren.
- De onnauwkeurige buitensluiting van radiale verbindingen tussen de scheurtjes hetgeen impliceert dat er radiale verbindingen bestaan, is een aanwijzing voor een verdere sterktevermindering van de wand van het drukvat.
- Het feit dat er geen indicaties van defecten werden waargenomen na de productie van het materiaal en dat er 30

jaar later duizenden scheurtjes werden ontdekt met een toename in hun grootte zoals de resultaten van de laatst uitgevoerde Ultrasoon Testtechniek laten zien, kan enkel worden verklaard door een ontwikkeling of groei van de defecten tijdens de werking van de reactoren.

- De uitsluiting van elke groei van defecten uitgezonderd *low cycle fatigue* tijdens de werking van de reactor, is onverenigbaar met de huidige stand van wetenschap en technologie. Zelfs in het geval dat de waargenomen scheurtjes waterstofvlokken zijn, kunnen groeimechanismen zoals beschreven door Bogaerts en Macdonald niet uitgesloten worden.

De toestand van de mechanische kenmerken in de loop van de uitbatingsduur van de reactor is van cruciaal belang voor de structurele integriteit van het drukvat.

- De breuktaaiheid van het basismetaal dat scheurtjes bevat (zonder rekening te houden met het effect van de straling) is niet gekend. Vanwege het gebrek aan representatief monstermateriaal is er geen mogelijkheid tot experimentele vaststelling.
- Experimentele resultaten vanuit niet-representatieve monsters kunnen niet worden gebruikt voor een geloofwaardige voorspelling van de actuele mechanische eigenschappen.
- Het FANC vermeldt niet het geringste voorbehoud wat de overdracht betreft van resultaten van de niet-representatieve monsters VB395 en KS02 naar de kenmerken van het metaal van het drukvat.
- De mogelijke vermindering van breuktaaiheid vanwege de in 2012-2013 veronderstelde defecten werd verminderd tot nul – dit is een aanzienlijke vermindering van *conservativiteit*.<sup>4</sup>

Teneinde de stralingseffecten te bestuderen op materiaal dat defecten bevat, had het FANC besloten dat Electrabel monsters van de

afgewezen stoomgeneratorblok VB395 en van het Duitse FKS-materiaal KS02 zou gebruiken, gezien er geen representatief materiaal beschikbaar was.

- De monsterialen VB395 en KS02 zijn niet representatief voor de materialen waaruit de wand van de drukvaten is vervaardigd, in de zin van identieke productie, hittebehandeling en operationele geschiedenis; zelfs het *staal*<sup>6</sup> is enkel gelijkaardig maar niet identiek.
- De monsterialen VB395 en KS02 zijn tevens niet representatief voor de wand van het drukvat die defecten bevat omdat de aard van de defecten in de kuipen van Doel 3 en Tihange 2 nog steeds niet achterhaald is.
- De resultaten van bestralingsexperimenten die uitgevoerd werden op de monsters VB395 en KS02 karakteriseren deze materialen inzake hun mechanische kenmerken en de stralingsgevoeligheid, maar deze resultaten zullen niet toelaten geloofwaardige informatie eruit af te leiden over de actuele toestand van de wand van het drukvat. De resultaten zouden kunnen worden gebruikt om de database over verbrossing inzake gelijkaardige staalsoorten te verbeteren.
- De voorspellende formule voor superieure bestraling (FIS<sup>6</sup>) die afkomstig is uit de Franse normen, werd vervangen door voorspellende trendcurven, "*gemaakt door Electrabel*", waarvan men veronderstelt dat ze een extra veiligheidsmarge omvatten die gebaseerd is op de verbrossing van het monster VB395. Er is geen kwantitatieve verklaring of rechtvaardiging voor de verschillende voorwaarden van de nieuwe vergelijking.
- De nieuwe voorspellende formule voldoet niet aan de definitie van een omhullende bovengrens te zijn voor gelijkaardige staalsoorten.
- De trendcurven die gebruikt dienen te worden voor de vaststelling van de structurele integriteit laten zien dat de  $RT_{NDT}$ <sup>7</sup> voor 40 jaar werking iets onder de limiet is van 132 °C. Dit wijst erop dat de zogenaamde "variabele marge" ontworpen is met het doel deze limiet in overweging te nemen.
- De vastgestelde opmerkelijke verbrossing in de monsters van het VB395-blok, welke de voorspellende trendcurven overstijgt, toont aan dat dit materiaal niet toepasbaar is voor de productie van drukvaten vanwege zijn ernstige stralingsgevoeligheid. Maar de opmerkelijke verbrossing van dit monster kan niet worden aangewend om de verhoogde verbrossing van de kuipen van Doel 3 en Tihange 2 uit te sluiten.
- Het is onmogelijk om af te leiden dat verhoogde verbrossing niet kan worden verwacht voor de kuipen van Doel 3 en Tihange 2 als men zich baseert op de aanname dat de scheurtjes in Doel 3 en Tihange 2 waterstofvlokken zijn en als men tegelijk aanneemt dat de sterke verbrossing geen verband houdt met waterstofvlokken.
- De waargenomen verbrossing die de voorspellende trendcurven overschrijdt zou evengoed een aanwijzing kunnen zijn dat de voorspellende trendcurven niet conservatief zijn.
- Een mogelijk *fluxeffect*<sup>8</sup> (hogere verbrossing aan lagere bestralingsflux, vergeleken met de verbrossing aan een hogere flux voor dezelfde totale stralingsdosis) kan niet worden uitgesloten.
- De vereisten van het FANC aangaande de bestralingsexperimenten waarbij monsters van de afgewezen VB395 stoomgeneratorblok (afkomstig uit een archief van de AREVA-groep) werden gebruikt, waren gebaseerd op de overeenkomst tussen Electrabel en het FANC dat het monster VB395 representatief zou zijn voor het staal van de wand van het drukvat. Als gevolg van de onverwachte hoge verbrossingsresultaten werd het monster VB395 gedefinieerd als een abnormale uitschieter.
- Het is een heel twijfelachtige procedure om het monster VB395 als een "abnormale uitschieter" uit te roepen

vanwege de onverwachte hoge verbrossing en om – zich baserend op deze definitie – een hogere verbrossing van de kuipen van Doel 3 en Tihange 2 uit te sluiten.

- De nog steeds van kracht zijnde a priori definitie van waterstofvlokken in de kuipen van Doel 3 en Tihange 2 negeert het feit dat deze niet kan worden aangetoond. Wat de bestralingsexperimenten aangaat heeft Electrabel de onverwachte verbrossing van het monster VB395 bestempeld als “*nog niet opgehelderd, maar niet te wijten aan waterstofvlokken*”. In feite zijn er geen geloofwaardige experimentele resultaten over de stralingseffecten in de kuipen van het drukvat van de reactor die scheurtjes bevat.
- De experimentele gegevens over stralingseffecten bij gebruik van de monsters VB395 en KS02 laten zien dat de nieuwe trendcurven niet conservatief zijn. Het uiteengaan van de gegevens tot 20 °C boven de trendcurve zou moeten leiden tot de vereiste van een extra veiligheidsmarge of een aanpassing van de trendcurve naar een omhullende bovengrens.
- De veiligheidsmarge “*in de omvang van de verbrossing van het monster VB395*” die dient gebruikt te worden voor de vaststelling van de structurele integriteit, is niet gekwantificeerd. De cijfers laten zien dat deze extra marge mogelijk enkel een aanpassing is aan de vereiste dat  $RT_{NDT}$  onder de 132 °C moet blijven tot *end-of-life*.
- Aangezien niet kan worden uitgesloten dat de verhoogde verbrossing al dan niet voorkomt in de kuipen van Doel 3 en Tihange 2, is de door Electrabel gedefinieerde zogenaamde extra verschuiving geen veiligheidsmarge. Het zou niet eens een conservatieve raming kunnen zijn van de mogelijke verbrossing.

De vaststelling van de structurele integriteit (SIA) in Electrabel's Safety Case rapport van 2015 is bijgewerkt met de nieuwe ultrasoon testresultaten, maar niet met betrekking tot de

methodologie.

- Vergeleken met de vaststelling van de structurele integriteit in 2012 heeft Electrabel de distributie van de neutronenfluentie en de afmetingen van de scheurtjes bijgewerkt. Electrabel heeft de formule voor superieure bestraling (FIS) vervangen door een nieuwe voorspellende trendcurve en het heeft de opwarming van het veiligheidsinjectiewater tot 40 °C geïntroduceerd. In zijn eindevaluatierapport van 2015 kwantificeert het FANC deze temperatuur niet; in de Belgische Kamer van Volksvertegenwoordigers heeft Jan Bens (directeur van het FANC) verklaard dat de temperatuur van het veiligheidsinjectiewater 45 à 50 °C zal bedragen.
- De verhittingsvereiste van het veiligheidsinjectiewater stelt een bijkomend probleem: de grote hoeveelheid veiligheidsinjectiewater (vermoedelijk zo'n 1.800 kubieke meter) moet voortdurend worden opgewarmd tot ongeveer 45 °C. De temperatuur mag niet lager zijn dan 40 °C omdat die de vereisten voor de structurele integriteit geweld zou aandoen, en de temperatuur mag geen 50 °C bereiken omdat die de mogelijkheid in gevaar zou brengen tot het koelen van de kern in geval van een ongeval. Het is duidelijk dat het tolerantieraam eerder klein is. En er is helemaal geen veiligheidsmarge.
- Er is geen experimentele geldigverklaring voorgelegd voor de methode om defecten te groeperen die Electrabel in 2012 introduceerde.
- De twijfels van de Franse regelgevende instantie, met name dat de set van bestudeerde ongeval*transiënten*<sup>9</sup> de meest strafbare scenario's inhielden, werden niet bediscussieerd.
- Volgens de berekeningen van het Oak Ridge National Laboratory (ORNL) voldeden verschillende gebreken niet aan het ASME<sup>10</sup>-aanvaardingscriterium.
- Het was noodzakelijk het WPS<sup>11</sup>-effect in rekening te brengen teneinde te

- beantwoorden aan het ASME-criterium voor de meeste scheurtjes.
- Deze procedure bleek voor één scheurtje niet genoeg. Een “realistischer” model diende goedgekeurd te worden om de vereiste naleving van de norm te bereiken. Dit betekent met zekerheid een verdere vermindering van conservativiteit.
  - Men dient zich ervan bewust te zijn dat de definitie van de nieuwe voorspellende formule de inherente veiligheidsmarge van de FIS, de formule voor superieure bestraling, doet verdwijnen.
  - De extra verschuiving aan de hand waarvan verondersteld werd een mogelijke hogere verbrossing te kunnen overwegen, omhult niet de experimentele resultaten.

De evaluatie van de gepubliceerde documenten heeft de vermindering van conservativiteit aan het licht gebracht gedurende de uitgevoerde analyse van de Safety Case (Electrabel's veiligheidsstudie). De niet-representatieve monsters waarvan verondersteld werd dat ze de veiligheidsmarge in de vaststelling van onzekerheden in de Safety Case van 2012 konden bevestigen, werden omgedoopt tot abnormale uitschieters

De goedgekeurde herstart van de twee kernreactoren (Tihange 2 en Doel 3) is onbegrijpelijk als men weet dat de groei van de scheurtjes in de drukvaten tijdens de werking van de reactoren niet kan worden uitgesloten.

#### Noten (van de vertaler):

<sup>1</sup> Het drukvat bevat de splijtstofelementen, de moderator en het koelmiddel van een reactor. Het doel van het drukvat is de reactor in staat te stellen onder hogere dan atmosferische druk te werken, opdat de warmteoverdrachtseigenschappen van het koelmiddel worden verbeterd. Het drukvat functioneert mede als een opsluitingsstructuur voor de reactorkern.

<sup>2</sup> Destructieve test: een methode waarbij men materiaal breekt om de eigenschappen ervan te kunnen bepalen.

<sup>3</sup> Acceptatietest: een test die de klant in staat stelt te kunnen bepalen of het geleverde materiaal voldoet aan de vereisten van het

contract.

<sup>4</sup> Conservativiteit: een principe uit de ingenieurswetenschappen. Veronderstellingen worden altijd zo geformuleerd dat ze voorzien zijn op het meest ongunstige geval. Als het op basis van die veronderstellingen lukt om de deugdelijkheid te bewijzen, geldt de benadering als 'conservatief'. Zij houdt dan rekening met onzekerheden en onnauwkeurigheden in de veronderstellingen. In zo'n geval speelt men 'op veilig'.

<sup>5</sup> Staal: hier in de betekenis van een soort metaal.

<sup>6</sup> Formule d'Irradiation Supérieure.

<sup>7</sup> Reference Temperature Nil-Ductility-Transition oftewel Referentie Temperatuur voor Nihil-VervormbaarheidsTransitie.

<sup>8</sup> Fluxeffect: in de natuurkunde: *stroomdichtheidseffect*.

<sup>9</sup> Transiënt: elke belangrijke afwijking waarmee een van de bedrijfsparameters van een kerncentrale (o.a. vermogen, druk, temperatuur, koelmiddeldebiet) afwijkt van de ingestelde waarde, en die tot een verstoord evenwicht tussen warmteproductie en warmteafvoer in de reactor kan leiden, voor zover deze afwijking niet door lekken in leidingen of tanks wordt veroorzaakt.

<sup>10</sup> ASME oftewel American Society of Mechanical Engineers, een Amerikaanse organisatie die codes en standaarden ontwikkelt, bijvoorbeeld de *ASME boiler and pressure vessel code*.

<sup>11</sup> WPS: *warm prestress* is het verschijnsel dat de breuktaaiheid van staal in de onderste plank regio wordt verhoogd door *preloading* aan hoge temperaturen.

---

Vertaling uit het Engels: Willem Van den Panhuysen