

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

Commentaar op het FANC eindevaluatie rapport 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

Korte inhoud

De kernreactor Doel 3 van de kerncentrale in Doel trad in werking in 1982. De kernreactor Tihange 2 werd operationeel in 1983. Beide nucleaire eenheden zijn van het PWR-type: reactoren met water onder druk. Zij worden uitgebaat door Electrabel, een concern dat deel uitmaakt van de Franse Engie-groep (voorheen: GDF-Suez).

In het kader van inspecties met ultrasoon in 2012 werden duizenden gebreken (scheurtjes) opgespoord in het basismetaal van de drukvaten van beide reactoren.

Electrabel, de eigenaar, beweerde dat de scheurtjes “hoogstwaarschijnlijk” waterstofvlokken waren, die tijdens de vervaardiging van het metaal ontstaan waren en tijdens de werking van de reactor niet waren geëvolueerd of gegroeid. De Belgische regulerende autoriteit, het Federaal Agentschap voor Nucleaire Controle (FANC) keurde in mei 2013 de herstart van de beide eenheden goed. De toestemming hield de eis in om bestralingsexperimenten uit te voeren op monsters van een afgewezen blok van een stoomgenerator, de AREVA VB395, die aangetast was door waterstofvlokken.

Aangezien de geschiedenis van de productie en de hittebehandeling zeker niet gelijkend is, kunnen deze monsters niet worden beschouwd als representatief voor de aangetaste kuipen van de drukvaten van de reactoren. Electrabel

beschouwde de monsters als representatief vanwege de gelijkaardige aanwezigheid van gebreken. Het FANC aanvaardde dit argument van Electrabel.

De resultaten van de eerste bestralingsronde toonden een onverwacht hoge verbrossing door neutronen aan. Als gevolg van deze gebeurtenis werden in maart 2014 beide reactoren stilgelegd. Verdere bestralingsrondes werden uitgevoerd waarbij ook KS02-monsters van de Duitse FKS¹- experimenten werden gebruikt.

Op 17 november 2015 gaf het FANC de toelating voor de herstart van beide kernreactoren.

In december 2015 vroeg Rebecca Harms, co-voorzitter van de Europese Groenen/EFA-groep in het Europees Parlement, aan de auteur van deze studie om de beschikbare documenten die het FANC had gepubliceerd, te evalueren, in samenhang met de toelating voor de herstart en met bijzondere aandacht voor de bestralingsresultaten en hoe de verschillende expertengroepen die werkzaam waren voor Electrabel en het FANC deze resultaten interpreteerden.

De evaluatie van de gepubliceerde documenten diende om de wetenschappelijke argumenten te verduidelijken, argumenten waarvan werd aangenomen dat deze de toegestane herstart rechtvaardigden.

Hoewel de aard van de gebreken die ontdekt waren in de kuipen van de drukvaten van de reactoren niet opgehelderd is, heeft het FANC Electrabel's verklaring dat de gebreken waterstofvlokken zijn, aanvaardt. Ondanks het feit dat de inspectie met ultrasoon na de oorspronkelijke vervaardiging geen vermeldenswaardige indicaties aantoonde, en 30 jaar later duizenden gebreken met afmetingen tot 179 mm in lengte werden gedetecteerd, heeft het FANC de opinie van Electrabel, de licentiehouders, aanvaard dat geen groei van de gebreken heeft plaatsgevonden gedurende de werking van de reactoren.

Het is gemakkelijk verstaanbaar dat een gevoeligere ultrasoon-testmethode meer kleine scheurtjes aan het licht zal brengen, maar het is niet begrijpelijk dat een minder gevoelige ultrasoon-techniek geen grote scheurtjes zou detecteren. De omgekeerde waarneming dient verwacht te worden: grote scheurtjes die opgespoord worden met een minder gevoelige techniek blijken een samenvoeging te zijn van kleine scheurtjes die waargenomen kunnen worden met gebruikmaking van een gevoeligere techniek.

De licentiehouders is dus niet in staat om een duidelijk bewijs te leveren dat geen groei van scheurtjes heeft plaatsgevonden tijdens de werking van de reactoren.

Het feit dat na de vervaardiging van de wand van de reactoren geen indicaties van defecten werden waargenomen, maar 30 jaar daarna duizenden scheurtjes, en dat de resultaten van de laatste ultrasoon-test zelfs een toename laten zien van de afmetingen van die scheurtjes, kan enkel uitgelegd worden als defecten die zich ontwikkelen of groeien tijdens de werking van de reactoren.

De licentiehouders kan nog steeds geen uitleg geven over het waarom van het feit dat enkel vier kuipen aangetast zijn en dat deze scheurtjes enkel opdoken in de twee drukvaten van de reactoren Tihange 2 en Doel 3, en niet in de drukvaten van de andere reactoren die door dezelfde fabrikant werden vervaardigd.

Een lid van de International Review Board (IRB) argumenteerde dat voorafgaand aan het bekleden enige reparatieprocessen aan het basismetaal zouden kunnen hebben plaatsgevonden waardoor dan defecten zouden

zijn geïntroduceerd die tijdens de werking gegroeid zouden zijn. De auteur van deze studie bracht in de studie van 2013 een gelijkaardige veronderstelling naar voren. Maar het FANC heeft deze mogelijkheid niet in de discussie opgenomen.

De professoren W. Bogaerts en D. Macdonald veronderstelden een mogelijk groeimechanisme dat te wijten is aan radiolytisch/electrolytisch waterstof in de wand van het drukvat van de reactor. Het FANC wees deze hypothese af.

De diepteverdedigingsbenadering (vergelijkbaar met het Duitse basisveiligheidsprincipe) zoals Bel V² deze naar voren bracht, is gebaseerd op een superieure kwaliteit bij de vervaardiging van het drukvat van de reactor, een kwaliteit die moet aangehouden worden gedurende de levensduur ervan. Aan deze basisvereiste wordt zeker niet voldaan. Een drukvat met duizenden scheurtjes – en scheurtjes met dergelijke grote afmetingen – zou noch vandaag vergund worden noch op het moment van de vervaardiging.

De bestralingstesten maakten deel uit van de voorwaarden die het FANC had opgelegd met het oog op een herstart van de reactoren in 2013. Voor de uitvoering van deze testen werd gebruik gemaakt van monsters die afkomstig waren van een afgewezen blok van een stoomgenerator (de VB395 uit een AREVA-archief). Er werden tevens testen uitgevoerd op een leidingmondstuk uit de kerncentrale van Doel dat geen gebreken vertoonde, en – ten tijde van de laatste testronde – op het staalmonster KS02 uit de Duitse FKS-experimenten. Noch de VB395 noch de KS02 kunnen worden beschouwd als representatief voor het basismetaal van de drukvaten van de reactoren. De stukken metaal uit het leidingmondstuk (dat vrij is van scheurtjes) zijn enkel representatief voor dat gedeelte van het materiaal van het drukvat van de reactor dat geen defecten vertoont, maar kennen niet dezelfde operationele geschiedenis.

Electrabel voerde de experimenten uit op basis van de aanname dat de monsters representatief zouden zijn.

De onverwachte verbrossing van de VB395 monsters die bestraald werden in de BR2-onderzoeksreactoren, werd uiteindelijk uitgelegd als zijnde te wijten aan een nog onbekend

verbrossingsmechanisme. De monsters van de VB395 worden nu bestempeld als abnormale uitschieters. Electrabel en het FANC verwachten geen gelijkaardige toegenomen verbrossing in de kuipen van Doel 3 en Tihange 2.

In het verleden maakten de bevindingen over verbrossing van gelijksoortige metalen steeds deel uit van de verbrossingsdatabase die gebruikt wordt om voorspellende verbrossingscurven te definiëren als omhullende bovengrenzen. Verbrossing door neutronen is een complex effect van stochastische processen die verscheidene mogelijke mechanismen inhouden. Het verwijderen van onverwachte bevindingen door ze te labelen als “abnormale uitschieters” kan niet worden beschouwd als een deugdelijke wetenschappelijke praktijk.

Trendcurves over verbrossing worden gebruikt in het kader van de analyse van de *onder druk staande thermische schok* (PTS³) teneinde de breuktaaiheidscurven te kunnen berekenen die afhankelijk zijn van de neutronenfluentie.

Op basis van de experimentele gegevens over de verbrossing van gelijksoortig staal, omhullen – volgens de Franse normen – de zogenoemde curven van de *superieure bestralingsformule* FIS⁴ de bovengrenzen. Electrabel definieerde nieuwe voorspellende curven en verving zodoende de tot nu toe gebruikte FIS-curven.

Van de termen die worden gebezigd in de nieuwe vergelijking neemt men aan dat ze onzekerheden in overweging nemen over de actuele staat van de breuktaaiheid van de stalen wand van het drukvat van de reactor. Er wordt echter geen rechtvaardiging gegeven voor de gebruikte factoren in de verschillende termen – maar het is duidelijk dat de nieuwe trendcurve geen omhullende bovengrenscurve meer is voor de verschuiving van de referentietemperatuur wat de nihil-ervormbaarheidstransitie aangaat (RT_{NDT}).

Wat de vaststelling van de structurele integriteit aangaat, dient het temperatuurveld aan de wand van het drukvat van de reactor berekend te worden met het oog op ernstige ongevaltransiënten (bij voorbeeld een ongeval met verlies van koelvoeistof) waarbij wordt aangenomen dat koud veiligheidsinjectiewater zijn invloed heeft op de hete wand van het drukvat. De temperatuursgradiënten⁵ zullen thermische spanningen in de wand van het

drukvat opwekken die, afhankelijk van de mechanische kenmerken van het materiaal, een ongecontroleerde groei van scheuren zouden kunnen bevorderen. Deze mechanische berekeningen van breuken worden uitgevoerd met gebruikmaking van veronderstellingen over de actuele breuktaaiheid van het materiaal en over de voorspellende trendcurven teneinde het verbrossingseffect door het neutronenbombardement in rekening te brengen. De berekeningen dienen voor elke opgespoorde scheur (afmeting, vorm, ligging) te worden uitgevoerd; in het geval van een veronderstelde ongevalstransiënt (ASME⁶-criterium) dient te worden aangetoond dat voor geen enkele van de scheuren een ongecontroleerde groei plaatsheeft.

Wat betreft de mechanische karakteristieken rijzen er twijfels dat de breuktaaiheid (zonder de stralingseffecten in rekening te brengen) in het scheurtjes bevattende staal van dezelfde orde is als die in het staal dat scheurloos is. In de nieuwe voorspellende trendcurve wordt de initiële breuktaaiheid van het defectvrije materiaal gebruikt. Electrabel beweert dat een extra term in de nieuwe voorspellende trendcurve geacht wordt om (onverwachte) onverklaarde door straling opgewekte verbrossing te omvatten in de grootteorde van de verbrossing die waargenomen werd in de monsters van de VB395. Electrabel kwantificeert deze term echter niet; bewijs voor de gebruikte numerieke waarden kan worden gevonden in het rapport van het Oak Ridge National Laboratory (ORNL), wat een aanwijzing geeft dat de waarde de experimentele verbrossingsresultaten niet omvatte, maar gemaakt was om te beantwoorden aan de door de normen aangegeven beperkende voorwaarde voor verbrossing.

In het kader van deze vaststelling van de structurele integriteit voldeden verscheidene scheurtjes niet aan het ASME-criterium voor acceptatie. Om overeenstemming met de ASME- acceptatiecriteria te bereiken, hielden de berekeningen van het ORNL het zogenaamde *warm prestress* (WPS⁷) effect in – dat volgens de Franse en Duitse normen niet is voorzien om te worden toegepast in de PTS-analyse. Voor één scheur was deze procedure niet toereikend om overeenstemming te kunnen bereiken. Uiteindelijk was het nodig dit scheurtje

“realistischer” te modelleren om overeenstemming te bereiken met het ASME-criterium. Dit is voorzeker een verdere vermindering van de conservativiteit⁸. Voor positieve berekeningen inzake de vaststelling van de structurele integriteit diende eveneens aanvaard te worden dat het water voor het veiligheidsinjectiesysteem tot 40 °C is opgewarmd (volgens Electrabel). ORNL heeft de temperatuur op 40 °C geplaatst voor hun berekeningen. In zijn eindevaluatierapport van 2015 heeft het FANC de temperatuur van het veiligheidsinjectiewater niet gekwantificeerd. 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 temperatuur mag geen 50 °C bereiken omdat die in geval van een ongeval de mogelijkheid in gevaar zou brengen tot het koelen van de reactorkern.

Hierdoor ontstaat er een bijkomend probleem: de grote hoeveelheid veiligheidsinjectiewater (vermoedelijk zo'n 1.800 kubieke meter) dient voortdurend tot ongeveer 45 °C te worden opgewarmd. De temperatuur mag dus niet lager zijn dan 40 °C omdat deze bij een ongeval de vereisten voor de structurele integriteit geweld zou aandoen, en mag geen 50 °C bereiken omdat deze onder ongevalsomstandigheden de mogelijkheid tot het koel houden van de reactorkern in gevaar zou brengen.

Het is duidelijk dat het tolerantieraam eerder klein is en dat er helemaal geen veiligheidsmarge is.

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):

- ¹ Forschungsvorhaben Komponentensicherheit
- ² Bel V: een technisch filiaal van het FANC, dat het door Electrabel geleide onderzoek opvolgt en evaluaties ervan rapporteert aan het FANC.
- ³ PTS: Pressurized Thermal Shock
- ⁴ Formule d'Irradiation Supérieure
- ⁵ Temperatuurgradiënt: een gradiënt die beschrijft in welke richting en hoe sterk de temperatuur op één bepaalde plek het snelst verandert.
- ⁶ ASME oftewel American Society of Mechanical Engineers, een Amerikaanse organisatie die codes en standaarden ontwikkelt, bijvoorbeeld de *ASME boiler and pressure vessel code*.
- ⁷ WPS: *warm prestress* is het verschijnsel dat de breuktaaiheid van staal in de onderste plank regio wordt verhoogd door *preloading* aan hoge temperaturen.
- ⁸ 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'.

Vertaling uit het Engels: Willem Van den Panhuysen