

# **Fragen der GRS und des RSK-Ausschusses Druckführende Komponenten und Werkstoffe zum Sicherheitsnachweis für die Reaktordruckbehälter der belgischen Kernkraftwerke Tihange 2 und Doel 3**

## **1           Veranlassung und Vorgehensweise**

Im Juli und September 2012 wurden bei einer neu eingeführten Sonderprüfung am Reaktordruckbehälter (RDB) der Kernkraftwerke Doel-3 und Tihange-2 mehrere Tausend Ultraschallanzeigen gefunden. Die belgische Aufsichtsbehörde FANC informierte andere Aufsichtsbehörden und Sachverständigenorganisationen darüber und bat um Unterstützung bei der Bewertung. Nach einer Phase eingehender Diskussionen unter internationaler Beteiligung kam FANC zu dem Schluss, dass es sich um wasserstoffinduzierte Trennungen im Werkstoff, sogenannte Wasserstoffflocken, handelt, die schon bei der Herstellung entstanden sind. Die beiden Anlagen blieben daraufhin bis zum Mai 2013 abgeschaltet.

Unter Würdigung eines durch den Betreiber Electrabel vorgelegten Sicherheitsnachweises wurde durch FANC im Mai 2013 die Genehmigung zum Wiederauffahren erteilt. Diese war mit einer Reihe von Auflagen verbunden, darunter Untersuchungen der mechanischen Eigenschaften des Werkstoffs mit Wasserstoffflocken nach Neutronenbestrahlung. Nach ersten Ergebnissen an Proben aus artgleichem Werkstoff waren diese Eigenschaften teilweise ungünstiger als erwartet, weshalb die beiden Anlagen im März 2014 vorzeitig wieder abgefahren wurden. Beide Anlagen befanden sich seither im abgeschalteten Zustand. Durch Electrabel wurden weitere Untersuchungen durchgeführt, mit dem Ziel nachzuweisen, dass die beiden Anlagen sicher weiterbetrieben werden können.

Am 17. November 2015 hat FANC seine Entscheidung zum Wiederauffahren der Anlagen Doel-3 und Tihange-2 bekannt gegeben und die Begründung in einem Abschlussbericht dargelegt /1/. FANC kommt nach Würdigung der ihr vorliegenden Unterlagen zu dem Schluss, dass die Integrität der RDB der beiden Anlagen für einen 40-jährigen Betrieb nachgewiesen sei. FANC hat angekündigt, am 11. und 12. Januar 2016 einen In-

ternationalen Workshop in Brüssel zu organisieren, auf dem die Fachleute von zuständigen Behörden und Sachverständigenorganisationen über die Ergebnisse der Bewertung in Einzelnen informiert werden sollen und Gelegenheit für Fragen haben.

Die GRS und die RSK haben seit Bekanntwerden der Befunde in den belgischen Anlagen Doel-3 und Tihange-2 im Jahr 2012 im Auftrag des BMUB die von FANC zur Verfügung gestellten Informationen ausgewertet. In diesem Rahmen hat das BMUB die GRS und den DKW beauftragt, die der Entscheidung der FANC zugrunde liegenden Unterlagen, soweit diese veröffentlicht wurden /2-/13/, insbesondere hinsichtlich Plausibilität und Nachvollziehbarkeit auszuwerten und Fragen zu nach ihrer Sicht offenen Punkten zu formulieren.

Der nachfolgende Fragenkatalog gliedert sich in die Abschnitte

- Vorbemerkungen
- Fragen zu den durchgeführten zerstörungsfreien Prüfungen an den RDB der Anlagen Doel-3 und Tihange-2
- Fragen zum Werkstoffzustand / -verhalten der RDB der Anlagen Doel-3 und Tihange-2
- Fragen zum Integritätsnachweis für die RDB der Anlagen Doel-3 und Tihange-2.

## **2 Fragenkatalog**

### **2.1 Vorbemerkungen**

Wie auch im BelV-Bericht zur sicherheitstechnischen Bewertung der Wasserstofflocken in den RDB von Doel-3 und Tihange-2 /8/ ausgeführt, stellen die in den RDB der beiden Anlagen zwischenzeitlich gefundenen Wasserstofflocken eine signifikante Abweichung von der an die Komponenten der Druckführenden Umschließung geforderten Fertigungsqualität (Fehlerfreiheit, hohe Bruchzähigkeit) dar. Dadurch ergibt sich eine Reduzierung der Sicherheitsmargen.

Wie weiter im BelV-Bericht zur sicherheitstechnischen Bewertung der Wasserstofflocken in den RDB von Doel-3 und Tihange-2 /8/ ausgeführt, setzt ein belastbarer Sicherheitsnachweis voraus, dass jeder einzelne Bewertungsschritt konservativ ist. Dies muss für die durch Electrabel vorgelegten Sicherheitsnachweise zweifelsfrei und durchgängig gewährleistet sein.

Die nachfolgend gestellten Detailfragen ergeben sich aus den in den öffentlich zugänglichen zusammenfassenden Dokumenten enthaltenen Bewertungen und Schlussfolgerungen. Diese wiederum basieren auf Ergebnissen aus Detailberichten, die auf der FANC Webseite nicht verfügbar sind, weswegen die zugänglichen Berichte Mängel in der Nachvollziehbarkeit beinhalten.

### **2.2 Fragen zu den durchgeführten zerstörungsfreien Prüfungen an den RDB der Anlagen Doel-3 und Tihange-2**

1. Wo liegen die Nachweisgrenzen der eingesetzten zerstörungsfreien Prüfverfahren in Bezug auf die Wasserstofflocken.
2. Anhand welcher Kriterien wird unterschieden, ob die Anzeigen eher Seigerungen oder Wasserstofflocken zuzuordnen sind?
3. Wie wurden Abschattungseffekte und Überlappungseffekte beim Fehlernachweis und bei der Fehlergröße berücksichtigt?
4. Wurde die Schräglagenabhängigkeit nur für die Nachweisbarkeit von Wasserstofflocken angepasst oder gab es auch Anpassungen bei deren Größenbestimmung?

### **2.3 Fragen zum Werkstoffzustand / -verhalten der RDB der Anlagen Doel-3 und Tihange-2**

5. Wie wurde das Ausmaß der Seigerungen, d.h. die Ausdehnung und die maximale Aufkonzentration, in den Schmiederingen von Doel-3 und Tihange-2 abgeschätzt?
6. Wie wurde der Einfluss der Seigerungen auf die Bruchzähigkeit der betroffenen RDB-Werkstoffe ermittelt und wie wurden Daten von anderen bekannten Fällen mit stark ausgeprägten Seigerungen in großen Schmiedestücken (KS02, Kalotten der RDB von EPR) berücksichtigt?
7. Welche Annahmen wurden für die Fehler im Übergang Grundwerkstoff zur Plattierung („clad interface imperfections“, siehe /2/, S.31) getroffen (Fehlerlage, -orientierung und -größe, Bruchzähigkeit), um diese zu bewerten?
8. Wie wurden die möglichen Auswirkungen der unterschiedlichen Phosphorgehalte der RDB-Ringe der Anlagen Doel-3 und Tihange-2 gegenüber den untersuchten Bestrahlungsproben aus den Schmiedestücken VB395 und KS02 auf das Ausmaß an Seigerungen der RDB und deren Bestrahlungsverhalten berücksichtigt?

### **2.4 Fragen zum Integritätsnachweis für die RDB der Anlagen Doel-3 und Tihange-2**

9. Die Schlussfolgerungen der Integritätsbewertung basieren auf rechnerischen Analysen (linear-elastische Bruchmechanik in Verbindung mit der modifizierten Fehlercharakterisierung nach ASME Code Case N-848). Wie wurde die Anwendbarkeit der verwendeten Analysemethoden für die Bewertung der inhomogenen geseigerten Bereiche in Verbindung mit den vorliegenden Rissfeldern nachgewiesen?
10. Für die Festlegung der Referenztemperatur der Schmiederinge von Doel-3 und Tihange-2 nach Bestrahlung wurde eine Übertragungskette auf der Basis der Ergebnisse an unbestrahlten Proben dieser Ringe (ohne Seigerungen und ohne Flocken) und an bestrahlten und unbestrahlten Proben von VB395 aufgebaut:  
$$RT_{\text{NDT}} = RT_{\text{NDT,init}} + \Delta RT_{\text{NDT,init,segr}} + \Delta RT_{\text{NDT,RSE-M}} + \Delta RT_{\text{NDT,VB395}} + M$$
  
Wie wurde diese Übertragungskette überprüft?
11. Für welche Lastfälle und wie wurden die Beanspruchungsanalysen detailliert durchgeführt (Belastungen bei Betrieb und Störfällen, Festlegung der führenden

Transienten, Strahlen- oder Streifenkühlung, linear-elastisch oder elastisch-plastische Werkstoffgesetze, Berücksichtigung von Eigenspannungen durch den Plattierungsprozess, Berücksichtigung inhomogener Werkstoffeigenschaften in den Seigerungszone(n), Fehlerannahmen)?

12. Zur Bestimmung der Beanspruchung der Wasserstofflocken in gemischten Spannungszuständen (d. h. in Mode I, II und III) wurde ein „äquivalenter Spannungsintensitätsfaktor“ herangezogen. Wurde die Anwendbarkeit dieses Spannungsintensitätsfaktors auf den vorliegenden Beanspruchungs- und Werkstoffzustand (elastisch-plastisch mit Seigerungszone(n)) verifiziert?
13. Beim Nachweis der Strukturintegrität wurde als Ersatz für einen Spannungsnachweis ein Tragfähigkeitsnachweis gemäß ASME BPVC Section III, Subsection NB-3228.3 durchgeführt.
  - a. Wie wurde die Anwendbarkeit der Nachweismethodik gemäß ASME BPVC Section III, Subsection NB-3228.3, die üblicherweise für fehlerfreie Bauteile angewendet wird, auf die fehlerbehafteten RDB-Bereiche nachgewiesen?
  - b. Welche Spannungs-Dehnungs-Kurve des Werkstoffs wurde dabei in der Finite-Elemente Analyse verwendet?
  - c. Für welche Stelle(n) am RDB wurde die Last-Verschiebungs-Kurve ermittelt und wie wurden dabei Dehnungskonzentrationen in lokalen Bereichen wie den Wasserstofflocken berücksichtigt?
14. Wurde für die RDBs der Anlagen Doel-3 und Tihange-2 nach der Fertigung eine Druckprüfung durchgeführt und wenn ja mit welchem Prüfdruck?
15. Ist es erforderlich zusätzlich im Bereich der Seigerungen postulierte Fehler (T/4-Fehler nach ASME) bruchmechanisch zu untersuchen?

### **3            Fazit**

Das in den uns zur Verfügung gestellten Dokumenten dargestellte Konzept ist in sich geschlossen und nachvollziehbar. Einzelne Elemente des Konzepts sind basierend auf den vorliegenden Unterlagen nicht hinreichend bewertbar oder bedürfen einer Überprüfung, um den Integritätsnachweis der RDB von Doel-3 und Tihange-2 nachvollziehen zu können. Der RSK-Ausschuss Druckführende Komponenten und Werkstoffe trifft

damit keine Aussage, ob das Vorgehen den Grundsätzen des Sicherheitskonzepts entspricht.

## 4 Quellen

- /1/ Flaw indications in the reactor pressure vessels of Doel 3 and Tihange 2, Final Evaluation Report 2015, 12.11.2015
- /2/ Safety Case 2015 Doel 3 Reactor Pressure Vessel Assessment, Electrabel, 28.10.2015
- /3/ Safety Case 2015 Tihange 2 Reactor Pressure Vessel Assessment, Electrabel, 28.10.2015
- /4/ Doel 3 Reactor Pressure Vessel Assessment, Report on independent analysis and advice regarding the safety case 2015, Electrabel, Service de Contrôle Physique, 03.11.2015
- /5/ Tihange 2 Reactor Pressure Vessel Assessment, Report on independent analysis and advice regarding the safety case 2015, Electrabel, Service de Contrôle Physique, 03.11.2015
- /6/ Synthesis Report Doel2012, Vincotte, 16.11.2015
- /7/ Synthesis Report Tiha186, Vincotte, 16.11.2015
- /8/ Evaluation of the impact of the hydrogen flaking damage on the serviceability of the Doel 3 and Tihange 2 reactor pressure vessels, Safety Evaluation Report, BelV, 05.11.2015
- /9/ Doel 3 and Tihange 2 Issue, Final Report, International Review Board, 28.08.2015
- /10/ ORNL Evaluation of Electrabel safety Cases for Doel 3 and Tihange 2, Final Report (R!), Oak Ridge National Laboratory/USA, November 2015
- /11/ Doel 3 & Tihange 2 RPV issue: FANC synthesis note on „hydrogen induced cracking“ hypothesis  
FANC, 06.11.2015

/12/ Safety Case Report Doel 3; Reactor Pressure Vessel Assessment,  
Electrabel, 05.12.2012

/13/ Safety Case Report Tihange 2: Reactor Pressure Vessel Assessment,  
Electrabel, 05.12.2012