



Structural integrity investigations of spent nuclear fuel with finite element modeling

Efstathios Vlassopoulos¹, Susanne Pudollek¹, Olympios Alifieris¹, Dimitrios Papaioannou²,
Ramil Nasryrow², Ralf Gretter², Vincenzo V. Rondinella², and Stefano Caruso³

¹National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste, Wettingen, 5430, Switzerland

²III – Nuclear Decommissioning, Joint Research Centre, European Commission,
Eggenstein-Leopoldshafen, 76344, Germany

³Kernkraftwerk Gösgen, Däniken, 4658, Switzerland

Correspondence: Efstathios Vlassopoulos (vse@nagra.ch)

Published: 10 November 2021

Abstract. Radioactive waste in Switzerland will be disposed of in a deep geological repository (DGR). Responsible for the planning and preparation of realization of this task is National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste (Nagra). Spent fuel assemblies (SFA) constitute the main high-level waste (HLW) stream that will be disposed in the DGR. Prior to final disposal they will be transferred or transported to an encapsulation plant, where they will be loaded into final disposal canisters. To ensure that the structural integrity of SFAs is not compromised during handling and transportation, it is desirable to characterize the expected mechanical parameters of SFAs after long-term interim storage.

Experimental research activities performed at the JRC Karlsruhe include safety aspects of radioactive waste management, encompassing also spent fuel storage and spent fuel/HLW disposal activities. Nagra and JRC have established a collaboration to jointly study relevant properties and behaviours of spent fuel rods, with the support of the Gösgen nuclear power plant and of Framatome, and in collaboration with other partners in Europe and internationally.

As part of this collaboration, 3-point bending and impact tests were performed at the hot-cell facilities of JRC Karlsruhe, to determine the mechanical response of spent fuel rodlets under quasi-static and dynamic loads. The structural integrity of fuel rods was also evaluated under different handling scenarios using finite element (FE) analysis. Starting with the construction of a static 3D FE model of a Pressurized Water Reactor (PWR) nuclear fuel rodlet in ANSYS Mechanical, Nagra has developed a series of FE models over the years. Mechanical properties of the original rodlet model were derived through an extensive validation process, using experimental data from the 3-point bending tests. To evaluate the mechanical response of an SFA in different loading scenarios, this model was expanded using 1D beam modeling approach. The development of the simplified 1D models is shown in this presentation. In particular, the effect of the contact formulation between the spacer grid and the rods is discussed. Finally, preliminary results of the bending response of a 15 × 15 PWR SFA sub-model are presented.

Kurzfassung. Radioaktive Abfälle werden in der Schweiz in einem geologischen Tiefenlager entsorgt. Nagra, die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle, ist für die Planung und Umsetzung dieser Aufgabe verantwortlich. Abgebrannte Brennelemente bilden den wichtigsten hochaktiven Abfallstrom, der in einem geologischen Tiefenlager entsorgt wird. Vor der Tiefenlagerung werden sie zu einer Verpackungsanlage überführt oder transportiert, wo sie in Endlagerbehälter geladen werden. Um zu gewährleisten, dass die strukturelle Integrität der abgebrannten Brennelemente nicht während der Handhabung und Beförderung beeinträchtigt wird, ist es wünschenswert, die zu erwartenden mechanischen Parameter der abgebrannten Brennelemente nach der Langzeitzwischenlagerung zu charakterisieren.

Zu den experimentellen Forschungsaktivitäten, die an der Gemeinsamen Forschungsstelle (JRC) Karlsruhe durchgeführt wurden, gehören Sicherheitsaspekte der Entsorgung radioaktiver Abfälle, die auch

die Lagerung abgebrannter Brennelemente und Massnahmen zur Entsorgung von abgebrannten Brennelementen/hochradioaktiven Abfällen umfassen. Nagra und JRC haben eine Zusammenarbeit aufgebaut, um relevante Eigenschaften und das Verhalten abgebrannter Brennstäbe mit Unterstützung des Kernkraftwerks Gösgen und von Framatome sowie in Zusammenarbeit mit anderen internationalen Partnern zu untersuchen.

Im Rahmen dieser Zusammenarbeit wurden 3-Punkt-Biege- und Schlagversuche in den Heisszellenanlagen der JRC Karlsruhe durchgeführt, um die mechanische Reaktion der abgebrannten Brennstäbe unter quasi-statischen und dynamischen Belastungen zu ermitteln. Die strukturelle Integrität der Brennstäbe wurde ebenfalls unter verschiedenen Handhabungsszenarien mittels Finite-Elemente (FE)-Analyse untersucht. Beginnend mit der Konstruktion eines statischen 3D-FE-Modells eines Druckwasserreaktor-Kernbrennstabs mit der ANSYS Mechanical Software hat die Nagra im Laufe der Jahre eine Serie von FE-Modellen entwickelt. Die mechanischen Eigenschaften des Originalbrennstabmodells wurden mithilfe eines umfangreichen Validierungsprozesses und unter Anwendung experimenteller Daten aus den 3-Punkt-Biegeversuchen abgeleitet. Um die mechanische Reaktion eines abgebrannten Brennelements in verschiedenen Belastungsszenarien zu untersuchen, wurde dieses Modell unter Einsatz eines 1D-Balkenmodellierungsansatzes erweitert. Die Entwicklung der vereinfachten 1D-Modelle wird in dieser Präsentation gezeigt. Insbesondere wird der Effekt der Kontaktformulierung zwischen Abstandshaltern und Brennstäben erörtert. Schliesslich werden die vorläufigen Ergebnisse der simulierten Biegereaktion eines 15×15 Submodells eines abgebrannten Druckwasser-Brennelements vorgestellt.