

Elektrownie jądrowe są jednym z największych, stabilnych i jednocześnie niskoemisyjnym źródłem energii elektrycznej. Mają one istotny wpływ na ochronę środowiska, zwłaszcza w kontekście zmian klimatycznych. Porozumienie Paryskie oraz długoterminowa strategia Unii Europejskiej zakładają osiągnięcie neutralności klimatycznej do 2050 roku (np. poprzez przyjęty pakiet Fit for 55) i przewidują inwestycje związane energetyką jądrową. Obecnie działające elektrownie jądrowe reprezentują koncepcję reaktorów drugiej i trzeciej generacji. Zaawansowane systemy czwartej generacji oraz reaktory fuzyjne, będące w fazie rozwoju, oferują jeszcze większe korzyści wynikające z wykorzystania tego źródła energii. Jednak jednym z głównych wyzwań ograniczających wdrożenie tych systemów do komercyjnej eksploatacji są kwestie odporności materiałów konstrukcyjnych.

Elementy konstrukcyjne reaktorów jądrowych narażone są na pracę w niekorzystnych warunkach. Wysoka temperatura, duże ciśnienie, promieniowanie jonizujące, oddziaływanie z agresywnymi mediami chłodzącymi, które powodują korozję oraz skomplikowane pola naprężeń mają negatywny wpływ na te materiały, powodując ich szybkie zużycie. W związku z tym, aby zagwarantować bezpieczną eksploatację nowej generacji reaktorów jądrowych bardzo ważne jest zrozumienie procesów zachodzących w materiałach konstrukcyjnych. Obecnie stosowane stale austenityczne nie są w stanie sprostać nowym wymaganiom m.in. ze względu na słabą odporność na promieniowanie oraz ograniczone właściwości mechaniczne w wysokiej temperaturze. Dlatego, kluczowe znaczenie ma opracowanie i dobranie nowych materiałów oraz przeprowadzenie kompleksowych badań dotyczących zmian ich właściwości pod wpływem ww. wymienionych czynników eksploatacyjnych, aby wprowadzić technologie reaktorów jądrowych IV Gen. w życie.

Stale ferrytyczno-martenzytyczne są jednymi z najbardziej obiecujących materiałów konstrukcyjnych dla reaktorów jądrowych i fuzyjnych. Koncepcja tych materiałów opracowania została w wyniku połączenia wspólnych wysiłków naukowców z Unii Europejskiej. Opracowany materiał - Eurofer97 - jest to stal ferrytyczno-martenzytyczna o zmniejszonej aktywacji, zawierająca 9% chromu, w której pierwiastki stopowe o wysokiej aktywacji (Mo, Nb, Co) zostały zastąpione pierwiastkami o niskiej aktywacji (Ta, W, V). Materiał ten ma być wykorzystany przy budowie reaktora DEMO (ang. DEMONstration Power Plant), którego realizacja jest przewidziana na rok 2050. Stale te rozważane są również w kontekście budowy reaktora ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), który powstaje na południu Francji. Reaktor ten jest prekursorem DEMO.

Wdrożenie nowych rozwiązań materiałowych wymaga szeregu systematycznych testów, których celem jest zapewnienie, że materiał zachowa integralność strukturalną przez cały okres jego eksploatacji. Pomimo wielu lat badań, ciągle istnieje wiele niewiadomych związanych ze stopem Eurofer97. W związku z tym celem projektu jest zbadanie i zrozumienie kluczowych z punktu widzenia zastosowań jądrowych właściwości stali ferrytyczno-martenzytycznych takich jak odporność na temperaturę czy promieniowanie jonizujące. W celu lepszego zrozumienia wpływu poszczególnych czynników takich jak dodatki stopowe oraz temperatura na właściwości materiału, w niniejszym projekcie przeprowadzimy badania na trzech modelowych materiałach (Fe, Fe-9%Cr, Fe-9%Cr-NiSiP) oraz komercyjnej stali Eurofer97, stopniowo zwiększając złożoność mikrostrukturalną układu. Zabieg ten pozwoli wyizolować zjawiska zachodzące w materiale w trakcie akumulacji defektów radiacyjnych i temperatury co pozwoli na lepsze zrozumienie zależności pomiędzy mikrostrukturą a właściwościami mechanicznymi. Wszystkie materiały zostaną zdefektowane wiązką jonów w wysokiej temperaturze, symulując wytworzenie defektów radiacyjnych tworzących się w reaktorze jądrowym. Badania zostaną przeprowadzone z użyciem eksperymentalnych technik badawczych takich jak nanoindentacja (w temperaturze pokojowej i podwyższonej), Skaningowa Mikroskopia Elektronowa (SEM) oraz Transmisyjna Mikroskopia Elektronowa (TEM). Dodatkowo, projekt zakłada wykorzystanie narzędzi numerycznych, które posłużą do symulacji odkształceń zachodzących w materiale pod wpływem przyłożonego zewnętrznego obciążenia oraz interakcji defektów radiacyjnych. Spodziewanym efektem badań projektu będzie lepsze zrozumienie zachowania się stali F/M poddanych oddziaływaniu środowiska reaktora jądrowego, m.in. wyjaśnienie wpływu segregacji niektórych pierwiastków do i z granic ziaren oraz lokalizowanie się Cr w pobliżu dyslokacji co prowadzi do utwardzenia materiału.

Wypracowane kompetencje i ścieżka badawcza będzie mogła zostać zastosowana w przypadku badania innych materiałów, przeznaczonych do pracy w wymagających warunkach pracy oraz pozwoli na zacieśnienie współpracy pomiędzy grupą eksperymentalną i teoretyczną NCBJ. Otrzymane w wyniku zrealizowanego projektu dane stanowiąc będą podstawę planowanej pracy doktorskiej, która złożona zostanie do oceny pod koniec 2024 roku.