Elektrownie jądrowe są jednymi z największych, najbardziej niezawodnych i jednocześnie niskoemisyjnych źródeł energii elektrycznej. Z tego powodu został stworzony Program Polskiej Energetyki Jądrowej, mający na celu zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego Polski, redukcję emisji gazów cieplarnianych oraz obniżenie kosztów energii. Dlatego zaplanowano budowę elektrowni jądrowych w Polsce, co umożliwi osiągnięcie celów związanych z neutralnością klimatyczną, dywersyfikacją źródeł energii oraz zwiększeniem niezależności w zakresie importowanej energii oraz paliw kopalnianych. Działania zmierzające do wybudowania elektrowni jądrowych w Polsce zostały już rozpoczęte i wybrano technologię reaktora AP1000 firmy Westinghouse ze względu na jej bezpieczeństwo i efektywność kosztową. Jest to reaktor wodny wysokociśnieniowy generacji III+, który jest ceniony za zaawansowane rozwiązania technologiczne i pasywne systemy bezpieczeństwa, oferujący wysokie bezpieczeństwo i konkurencyjne koszty produkcji energii. Niemniej istotnym elementem prawidłowego funkcjonowania reaktora jest niezawodność materiałów, które ulegają degradacji w czasie, co wymusza okresową wymianę niektórych elementów z powodu pogorszenia się ich stanu. Kluczowym elementem jest zapewnienie niezawodności i bezpieczeństwa komponentów reaktora, w szczególności koszulek paliwowych. Są one wykonywane z materiałów takich jak cyrkon, które przepuszczają neutrony i nie wpływają na reakcję jądrową. Ich główną rolą jest oddzielenie wytworzonych materiałów radioaktywnych od chłodziwa i zapobiegnięcie niepożądanym reakcjom chemicznym, którym mogłoby ulec paliwo. W trakcie pracy reaktora, koszulki paliwowe są narażone na wiele czynników prowadzących do degradacji materiału, w tym na promieniowanie neutronowe, wysoką temperaturę, ciśnienie i środowisko utleniające. Długotrwałe narażenie na działanie wymienionych czynników prowadzi do utleniania. Opracowania strategii osłabienia tego efektu może wydłużyć żywotność koszulek paliwowych i zwiększyć bezpieczeństwo reaktora.

Proces utleniania prowadzi do tworzenia się tlenku na powierzchni materiałów z których są wykonane koszulki paliwowe, tj. stopów cyrkonu. Tlenek ten występuje w dwóch odmianach polimorficznych, czyli w fazie tetragonalnej oraz jednoskośnej. Faza tetragonalna, która pełni funkcję ochronną, ale jest metastabilna, oraz faza jednoskośna, która ma tendencję do formowania się wraz z postępem utleniania prowadząc do porowatości i szybszego utleniania. Z tego względu, aby zapewnić maksymalną niezawodność materiałów, konieczne jest ustabilizowanie fazy tetragonalnej i zapobieganie jej transformacji, tak długo jak to możliwe. Istnieje kilka czynników stabilizujących fazę tetragonalną, tj. naprężenie ściskające, nanometryczny rozmiar ziaren oraz stechiometria. Modyfikacja tych parametrów może zwiększyć stabilność fazy tetragonalnej tlenku cyrkonu i zapobiegać jej transformacji w fazę jednoskośną. Biorąc pod uwagę, że wskazane czynniki stabilizujące występują jednocześnie, trudno określić ich indywidualny wpływ na proces utleniania. Istnieje jednak możliwość wykorzystania kilku metod badawczych do zbadania wpływu poszczególnych czynników stabilizujących.

Przedstawione zagadnienie jest elementem niniejszego projektu badawczego, którego celem jest zbadanie procesów degradacji stopów cyrkonu zachodzących w środowisku reaktora jądrowego. W ramach projektu analizowane będzie utlenianie materiałów na bazie cyrkonu (cyrkon wysokiej czystości i stop cyrkonu z niobem) pod wpływem zewnętrznego naprężenia. Umożliwi to rozróżnienie wpływu naprężenia od innych czynników stabilizujących (rozmiar ziarna i stechiometria). Ponadto, zostaną zbadane potencjalne korzyści płynące ze stabilizacji fazy tetragonalnej w stopach cyrkonu. Na koniec, określony zostanie wpływ innych czynników stabilizujących na zachowanie w warunkach utleniania. Szczególna uwaga zostanie poświęcona zależności faz tlenku cyrkonu od stechiometrii tlenu. Zawartość tlenu w fazie tetragonalnej nie została określona w dotychczasowej literaturze, jednakże aktualne dostępne metody dają taką możliwość. Planowane jest zastosowanie kombinacji innowacyjnych technik analitycznych in-situ i ex-situ. Zachowanie próbek będzie porównywane w warunkach utleniania bez i z zastosowaniem zewnętrznego naprężenia. Obserwacja in-situ utlenianych próbek będzie przeprowadzona za pomocą spektroskopii Ramana. Ponadto, wykorzystane zostaną: dyfrakcja rentgenowska, skaningowa mikroskopia elektronowa i obrazowanie Ramanowskie na przekroju tlenku. Następnie zbadane zostaną pozostałe czynniki stabilizujące, przy czym rozmiar ziarna zostanie określony za pomocą transmisyjnego mikroskopu elektronowego, natomiast stechiometria zostanie zbadana za pomocą laserowej spektroskopii wzbudzeniowej (LIBS). Urządzenia wymagane do przeprowadzenia wymienionych badań dostępne są w Narodowym Centrum Badań Jądrowych, gdzie projekt będzie realizowany.

Przedstawione badania i analizy przedstawione w projekcie mają na celu odkrycie złożonego związku między naprężeniem, rozmiarem ziarna i stechiometrią, a ich indywidualnym wpływem na stabilność fazową i kinetykę utleniania. Poszerzenie zrozumienia tych fundamentalnych procesów wpływających na ewolucję materiału pozwoli na dalszy rozwój ulepszonych stopów cyrkonu, które mogą znacznie przedłużyć okres eksploatacji reaktorów jądrowych. Wyniki tych badań będą częścią pracy doktorskiej głównego badacza, a w aspekcie globalnym przyczynią się do realizacji celów badawczych związanych z energią, rozwijaniem technologii reaktorów jądrowych i wspierania Polski w transformacji w kierunku zrównoważonej przyszłości energetycznej.