

Streszczenie

Poprawne modelowanie przepływu chłodziwa wewnątrz kasety paliwowej reaktora jądrowego jest jednym z głównych problemów badanych zarówno przy projektowaniu nowych reaktorów, jak i w analizach bezpieczeństwa tych istniejących. Przepływ w ściśle upakowanych kasetach paliwowych charakteryzuje się występowaniem pulsacji płynu pomiędzy sąsiadującymi prętami paliwowymi. Zjawisko to badane było (eksperymentalnie oraz numerycznie) przez ostatnich 70 lat i wciąż pozostaje nie do końca rozwiązane.

W przeszłości badania przepływu i wymiany ciepła wewnątrz kasety paliwowej realizowane były zazwyczaj eksperymentalnie. Niestety, większość z tych eksperymentów rozważała jedynie uproszczone geometrie w warunkach odbiegających od warunków normalnej pracy reaktora jądrowego.

Poprawne modelowanie przepływu i wymiany ciepła wewnątrz kasety paliwowej reaktora jądrowego jest wyzwaniem dla dostępnych i powszechnie stosowanych uśrednionych modeli turbulencji, tzw. modeli RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes). Modele te wymagają walidacji oraz udoskonalenia. Choć eksperymentalne techniki pomiarowe są stale poprawiane, to eksperymenty przepływowe klasy CFD (numeryczna mechanika płynów) są często niemożliwe lub zbyt kosztowne do przeprowadzenia. Ponadto brak eksperymentalnych baz danych uniemożliwia prawidłową walidację i/lub kalibrację dostępnych modeli turbulencji RANS dla konkretnych zastosowań. W tym kontekście rozwiązaniem staje się podejście CFD. Stosując najbardziej wyrafinowaną technikę tzw. Direct Numerical Simulations - DNS, można stworzyć numeryczne referencyjne bazy danych, które utożsamiane są z danymi pozyskanymi z eksperymentów fizycznych.

W niniejszej rozprawie zaprojektowano eksperyment numeryczny dla geometrii ściśle upakowanej kasety paliwowej, w której chłodziwem są płyny o różnych liczbach Prandtla (powietrze, woda, ciekły metal). Wygenerowana została numeryczna baza danych wysokiej wierności za pomocą techniki DNS. Pozyskane w ten sposób dane mogą służyć jako dane referencyjne do walidacji i kalibracji dostępnych i powszechnie stosowanych modeli turbulencji niższego rzędu. W tym sensie szereg modeli typu RANS zostało dokładnie sprawdzonych w celu określenia ich możliwości i ograniczeń. Opracowana została także kompleksowa metodologia CFD w celu dokładnego modelowania zjawiska turbulentnego przepływu i wymiany ciepła w geometrii ściśle upakowanej kasety paliwowej z zestawem kryteriów dotyczących tzw. najlepszych praktyk.