

Streszczenie

Reaktor dwupłynowy (DFR) stanowi obiecującą koncepcję reaktora czwartej generacji, charakteryzującą się licznymi zaletami. Aby zrealizować ten innowacyjny projekt, wymagane są znaczne wysiłki w celu osiągnięcia optymalnego projektu oraz zapewnienia akceptacji ze strony organów regulacyjnych i społeczeństwa. Podczas gdy kody komputerowe są powszechnie używane do modelowania, faktyczne eksperymenty mają większą wiarygodność niż symulacje. Dlatego też budowa mini-demonstratora (MD) jako obiektu badawczego skierowanego na badania nad DFR jest kluczowa dla zwiększenia zaufania do modeli komputerowych zajmujących się płynami o niskiej liczbie Prandtla. Porównując wyniki eksperymentalne z MD z wynikami modelowania, walidacja modelu w różnych warunkach eksploatacyjnych dostarcza przekonujących dowodów dla organów regulacyjnych i środowiska naukowego. Ten proces walidacji umożliwia wiarygodne modelowanie DFR w szerokim zakresie scenariuszy. W niniejszej pracy doktorskiej zaproponowano wstępny schemat MD, opisano projekt rdzenia MD wraz z precyzyjnymi wymiarami i rysunkami. Przypadek został starannie podzielony na siatkę i poddany obliczeniom opartym na względnych warstwach granicznych i różnych scenariuszach. Wykorzystana w tej pracy technika modelowania turbulencji wykazała zadowalającą zgodność z danymi DNS/LES/Eksperymentalnymi, co zwiększa pewność przechwytywania właściwego zachowania termohydraulicznego.

Wyniki obliczeń wykazały trzy główne czynniki wpływające na transfer ciepła i prędkość paliwa w rdzeniu MD, z których dwa są związane z geometrią systemu. Położenie wlotów rur paliwowych w stosunku do kierunku wlotu paliwa oraz umiejscowienie rur chłodziwa w strefie dystrybucji mają istotny wpływ na wymianę ciepła, przepływ masowy i jednorodność prędkości w rurach paliwowych. Trzecim czynnikiem okazała się siła wyporu, wpływająca na kierunek przepływu paliwa tuż po jego wejściu do MD. Konfiguracja przepływu przeciwnego charakteryzuje się bardziej jednolitymi wlotami prędkości, wyższą efektywnością wymiany ciepła oraz jednorodnymi gradientami temperatury w porównaniu do przepływu równoległego. W przepływie równoległym zaobserwowano wirujące wzorce, które teoretycznie zwiększają transfer ciepła, jednak prowadzą do większego ciśnienia, zmniejszonego przepływu masowego oraz zwiększonego ryzyka uszkodzeń rur spowodowanych drganiami i korozją. Wybór modelowania 3D był kluczowy, ponieważ korzystając z modelowania 2D, nie można by uwzględnić tych wirujących zachowań ani zaobserwowanego podziału przepływu paliwa nad rurami chłodziwa w strefach dystrybucji i zbiorczych.

Stwierdzono, że znaczna część transferu ciepła występuje w strefie początkowego kontaktu między chłodziwem a paliwem zarówno w przypadku przepływu równoległego, jak i przeciwnego. W przepływie równoległym wymiana ciepła obejmuje większy obszar, co sprzyja jednorodności temperatury w strefie środkowej rdzenia. Natomiast przepływ przeciwny charakteryzuje się intensywną wymianą ciepła w strefie początkowego kontaktu, co wiąże się z obawami dotyczącymi bezpieczeństwa i naprężeniami mechanicznymi. Przepływy masowe różnią się między przepływem równoległym a przeciwnym, co wpływa na efektywność wymiany ciepła, przy czym konfiguracje przepływu przeciwnego okazały się bardziej efektywne.

Obserwowane rozbieżności między przepływem równoległym a przeciwnym dostarczają cennych wskazówek dla projektantów DFR. Zaobserwowano miejsca o podwyższonej temperaturze nad rurami chłodziwa znajdującymi się przed wlotami paliwowymi, co może prowadzić do korozji i problemów z naprężeniami mechanicznymi spowodowanymi zmiennością temperatury. Proponuje się instalację przyrządów pomiarowych w określonych miejscach w celu rejestrowania profilów temperatury i prędkości, monitorowania zmian w parametrach temperatury i wymianie ciepła oraz uzyskania lepszego zrozumienia przepływu paliwa i chłodziwa w strefie środkowej rdzenia. Należy unikać określonych miejsc do umieszczania urządzeń pomiarowych, takich jak obszary z cofaniem się przepływu lub separacją przepływu, aby zapewnić dokładne pomiary. Ostatecznie, wyniki i wnioski wykazały znaczenie modelowania MD, które samo w sobie zapewnia lepsze zrozumienie termohydrauliki DFR, oraz w połączeniu z MD jako obiektem eksperymentalnym w celu walidacji modelu i badania różnych scenariuszy eksploatacyjnych DFR podczas etapów projektowania reaktora.