

## Streszczenie rozprawy doktorskiej

mgr inż. ELEONORA SKRZYPEK

temat: **Thermo-hydraulic modeling of a steel metal layer on top of a corium pool in a PWR under severe accident conditions**

dziedzina: nauki techniczne / nauki inżyniersko-techniczne

dyscyplina: energetyka/ inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka

promotor pracy: prof. dr hab. inż. Konrad Świrski - Politechnika Warszawska, Wydział MEiL

### Recenzenci:

dr hab. inż. Elżbieta Fornalik-Wajs, prof. AGH - Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

dr hab. inż. Pavel Kudinov, Associate Professor z Royal Institute of Technology (KTH), Sztokholm, Szwecja

Celem tej pracy jest poprawa bezpieczeństwa reaktorów jądrowych poprzez lepsze zrozumienie zachowania się cienkiej warstwy metalicznej na powierzchni basenu stopionego materiału rdzenia w warunkach ciężkiej awarii. Badania teoretyczne i obliczeniowe przeprowadzone w ramach niniejszej rozprawy doktorskiej dostarczają kompleksowego i wyczerpującego opisu zjawiska krzepnięcia-topnienia warstwy metalicznej oraz jej przewidywanej konwekcji wewnętrznej. Wynikiem przedstawionych badań jest propozycja lepszego opisu zachowania stopionego basenu paliwa dla scenariuszy topnienia rdzenia w elektrowni jądrowej z reaktorem lekko-wodnym dużej mocy.

W ramach analizy krzepnięcia-topnienia cel realizowany jest poprzez zbudowanie i porównanie modeli matematycznych oraz obliczeń z tzw. podejściem „0D” stosowanym w integralnych kodach do analiz ciężkich awarii reaktorów jądrowych. W pierwszej części pracy doktorskiej opracowano przybliżone rozwiązania „0D” dla stanów nieustalonych krzepnięcia-topnienia warstwy metalu na powierzchni basenu stopionego paliwa znajdującego się w dennicy zbiornika reaktora przy użyciu platformy obliczeniowej PROCOR. Wyniki są następnie porównywane w celu oceny ich skuteczności z rozwiązaniem referencyjnym, które opiera się na podejściu „1D”.

Metodologie stosowane do badania zagadnienia krzepnięcia-topnienia warstwy metalicznej opierają się zarówno na opracowaniu modeli matematycznych, jak i dodatkowo wykorzystaniu kodów obliczeniowych. Badania teoretyczne polegają na określeniu równań rządzących procesami fizycznymi zachodzącymi w cienkiej warstwie metalicznej przechodzącej przemianę fazową w różnych warunkach. Równania te są następnie analizowane pod kątem procesu krzepnięcia-topnienia i proponowane są modele matematyczne zjawisk, które poddawane są następnie testowaniu.

W zakresie zagadnienia konwekcji, z punktu widzenia badań teoretycznych, konstruowany jest układ równań bezwymiarowych opisujących ruch płynu, bilans masy i wymianę ciepła wraz z towarzyszącymi im warunkami brzegowymi dla analizowanej domeny warstwy metalicznej. Na podstawie tych równań analizowany jest reżim przepływu i specyficzne zjawiska w niej występujące. Po analizie teoretycznej następuje część badań obliczeniowych nad zjawiskiem konwekcji w cienkiej warstwie metalicznej. Niniejsze opracowanie obliczeniowe opiera się na praktycznym wykorzystaniu oprogramowania ANSYS Fluent (podejście CFD), które może być narzędziem wspomagającym ocenę ciężkich awarii w podejściu wielowymiarowym. Obliczenia wymiany ciepła za pomocą oprogramowania do komputerowej mechaniki płynów są wykonywane zarówno dla dostępnych danych eksperymentalnych (BALI-Métal), jak i zakładanego prototypowego składu materiałowego warstwy.

Dzięki teoretycznym i obliczeniowym badaniom możliwe jest lepsze modelowanie i lepsze zrozumienie konwekcji naturalnej w ciekłej warstwie metalu na powierzchni stopionego materiału paliwa. To zrozumienie staje się niezbędne, gdy pojawia się zwiększone zagrożenie efektem ogniskowania na zbiorniku ciśnieniowym reaktora (RPV), co ma kluczowe znaczenie dla oceny bezpieczeństwa reaktora. Dodatkowo w pracy przedstawiono możliwość reprezentacji wymiany ciepła

za pomocą oprogramowania komputerowego do analizy numerycznej, co może stać się zaletą w przyszłej ocenie bezpieczeństwa reaktorów.

Podsumowując, lepsze zrozumienie przedstawionych zjawisk skutkuje lepszym zrozumieniem bardzo nieprawdopodobnych, ale wciąż możliwych poważnych awarii i lepszym przygotowaniem do zarządzania nimi. Ostatecznym celem jest bezpieczniejsza i bardziej niezawodna energia jądrowa.

**Słowa kluczowe: bezpieczeństwo elektrowni jądrowych, reaktory lekko-wodne, IVMR, efekt ogniskowania, ciężkie awarie, analiza cieplno-przepływowa**