

# Opracowanie najlepszych praktyk przy zmniejszaniu niepewności w wielogrupowych przekrojach czynnych za pomocą metod Bayesowskich

Michał Jędrzejczyk

Współczynnik multiplikacji ( $k_{eff}$ ) oraz jego niepewność obliczeniowa są kluczowymi parametrami związanymi z procesem projektowania reaktorów jądrowych. Niepewność współczynnika  $k_{eff}$  musi być brana pod uwagę ze względu na aspekty eksploatacyjne, bezpieczeństwa oraz ekonomiczne. Z tego powodu redukcja niepewności  $k_{eff}$  jest od wielu lat przedmiotem zainteresowania energetyki jądrowej. Obecnie osiąga się ją za pomocą dwóch metod: Uogólnionej Metody Najmniejszych Kwadratów (ang. Generalized Linear Least Squares, GLLS) oraz Uogólnionej Metody Monte Carlo-Bayesowskiej Dla Polepszonych Przewidywań Funkcji Danych Jądrowych (ang. A General Monte Carlo-Bayes Procedure for Improved Predictions of Integral Functions of Nuclear Data, MOCABA). Niepewność  $k_{eff}$  zostaje obniżona poprzez bardziej precyzyjne poznanie wartości przekrojów czynnych. W tym celu asymiluje się dane eksperymentalne układów w stanie krytycznym lub eksploatowanych reaktorów jądrowych. Metoda GLLS jest ograniczona do modeli liniowych i wielowymiarowych rozkładów normalnych a priori i a posteriori. Metoda MOCABA pozwala na użycie dowolnego modelu matematycznego (w tym modeli nieliniowych), ale również jest ograniczona do wielowymiarowych rozkładów normalnych.

W ramach pracy zastosowano uniwersalny i niezawodny algorytm Przybliżonych Obliczeń Bayesowskich w wersji Sekwencyjnej (ang. Sequential Monte Carlo – Approximate Bayesian Computation, SMC-ABC). Celem było przetestowanie nowego algorytmu dla tego samego rodzaju problemów. Metoda ta potrafi kalibrować parametry wejściowe z dowolnym rozkładem a priori i otrzymywać dowolny rozkład a posteriori. Obliczenia przeprowadzono dla wybranych przekrojów czynnych z 56-grupowej biblioteki opartej o zbiór danych jądrowych ENDF/B-VII.1. Stwierdzono, że pomimo większej niezawodności SMC-ABC, wszystkie trzy algorytmy dają praktycznie te same wyniki dla tych samych zagadnień w przypadku kalibracji przekrojów czynnych. Wyciągnięto więc wniosek, że nie ma potrzeby używać w tym celu kosztownego obliczeniowo SMC-ABC.

W rozprawie zaprezentowano także szczegółową analizę źródeł niepewności parametru  $k_{eff}$ . Przedstawiono dowody na konieczność uwzględniania niepewności niekalibrowanych przekrojów czynnych przy obliczeniach niepewności  $k_{eff}$  podczas Bayesowskiej asymilacji danych eksperymentalnych. Wyciągnięto wniosek, że zignorowanie niepewności niekalibrowanych parametrów wejściowych modelu jest nieprawidłowym zabiegiem, co jest częstą praktyką wśród badaczy.

Istotną częścią badań było przedstawienie techniki walidacyjnej polegającej na zastosowaniu tzw. "syntetycznych eksperymentów". Metody tej dotychczas nie używano przy zagadnieniach odwrotnych w fizyce jądrowej. Eksperymenty syntetyczne to generowane komputerowo sztuczne wyniki eksperymentów używane zamiast rzeczywistych zestawów danych. Metoda pozwala na sprawdzenie, czy istnieje ryzyko nadmiernego dopasowania (tzw. "overfittingu") analizowanych parametrów. W podsumowaniu rozprawy zostały zebrane wszystkie ustalenia oraz zaproponowany został zbiór najlepszych praktyk, które mogą być wykorzystywane przy Bayesowskiej kalibracji przekrojów czynnych.