



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki

WYDZIAŁ
FIZYKI

dr hab. Agnieszka Korgul, prof. UW
Zakład Fizyki Jądrowej
Instytut Fizyki Doświadczalnej

Warszawa 26.09.2025 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Jacka Kałowskiego
z tytułem
„Zastosowanie metod probabilistycznych w klasyfikacji systemów,
elementów konstrukcji i wyposażenia reaktora badawczego MARIA”**

Recenzję rozprawy doktorskiej pt. „Zastosowanie metod probabilistycznych w klasyfikacji systemów, elementów konstrukcji i wyposażenia reaktora badawczego MARIA” autorstwa Pana mgr inż. Jacka Kałowskiego opracowałam na podstawie pisma Pana Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, Politechniki Warszawskiej prof. dr. hab. inż. Tomasza Wolińskiego. Recenzję rozprawy doktorskiej wykonałam zgodnie z art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r., Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 r. poz. 1571). Zgodnie z jej treścią rozprawa doktorska powinna stanowić oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazywać głęboką wiedzę kandydata w danej dyscyplinie naukowej oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej.

Rozprawa mgr inż. Jacka Kałowskiego została przygotowana na Politechnice Warszawskiej pod kierunkiem dr hab. inż. Rafała Laskowskiego, prof. PW, przy wsparciu promotora pomocniczego dr. inż. Karola Kowala. Dysertacja powstała w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka i dotyczy zagadnienia o wyjątkowym znaczeniu: opracowania procedur klasyfikacji bezpieczeństwa dla reaktorów badawczych z wykorzystaniem metod probabilistycznych. Problem ten łączy kwestie czysto naukowe – rozwój metod oceny bezpieczeństwa – z praktycznymi wyzwaniami eksploatacyjnymi, które są istotne nie tylko w perspektywie reaktora MARIA, lecz także dla przyszłych inwestycji jądrowych w Polsce.



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki

**WYDZIAŁ
FIZYKI**

Już we wstępie Autor bardzo wyraźnie zarysował kontekst swoich badań. Przypomniał genezę stosowania metod probabilistycznych w inżynierii jądrowej, wskazał rolę MAEA w kształtowaniu światowych standardów i przywołał konsekwencje największych awarii: TMI, Czarnobyla i Fukushima. To właśnie w świetle tych wydarzeń metody probabilistyczne zaczęto traktować jako niezbędne narzędzie oceny ryzyka, uzupełniające tradycyjne podejście deterministyczne. Uważam, że Autor słusznie powiązał tę historię z problemem specyficznym dla reaktorów badawczych: ich różnorodnością i brakiem standaryzacji. Reaktory te są często projektowane w unikatowy sposób, mają odmienne funkcje i konfiguracje, przez co nie można wobec nich zastosować prostych schematów opracowanych dla reaktorów energetycznych. To właśnie uzasadnia potrzebę nowego podejścia, które Autor rozwija w rozprawie.

W rozdziale drugim Autor sformułował problem naukowy oraz hipotezę badawczą. Wskazał, że istniejące procedury klasyfikacji bezpieczeństwa (SEKW) muszą zostać zmodyfikowane, aby uwzględniać specyfikę reaktorów badawczych. Jednocześnie hipoteza zakłada, że analizy probabilistyczne mają charakter pomocniczy – wspierają deterministyczną analizę konsekwencji, ale nie powinny same w sobie determinować ostatecznych wyników klasyfikacji. Uważam, że jest to bardzo trafne i wyważone stanowisko. Z jednej strony Autor nie deprecjonuje wartości metod probabilistycznych, a z drugiej unika nadmiernej absolutyzacji tego podejścia, wskazując na potrzebę równowagi. Już na tym etapie widać, że praca nie ogranicza się do prostego powielania istniejących rozwiązań, ale proponuje własny sposób ich rozumienia i stosowania.

Rozdział trzeci poświęcony został przeglądowi stanu wiedzy. Autor bardzo starannie zestawiał dokumenty MAEA, regulacje krajowe oraz literaturę przedmiotu, przedstawiając solidną podstawę teoretyczną. Cenię tu przejrzystość wywodu i umiejętność połączenia różnych źródeł w spójny obraz. Rozdział ten ma także wartość dydaktyczną – mógłby stanowić punkt wyjścia dla studentów czy młodych badaczy rozpoczynających pracę w tej dziedzinie. Jednocześnie, czytając tę część, zadaję sobie pytanie: jak rozwiązania proponowane przez MAEA, oparte na tzw. graded approach, są faktycznie wdrażane w różnych krajach? Czy porównanie doświadczeń reaktora MARIA z praktyką np. w Belgii (reaktor BR2) czy w Niemczech (FRM II) nie poszerzyłoby jeszcze bardziej kontekstu i nie pozwoliło lepiej ocenić unikatowości polskiego podejścia?



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki

WYDZIAŁ
FIZYKI

Rozdział czwarty stanowi centralny punkt rozprawy. Autor przedstawia tu opracowaną przez siebie procedurę klasyfikacji bezpieczeństwa SEKW. Procedura obejmuje identyfikację funkcji bezpieczeństwa, analizę konsekwencji, macierze kategoryzacyjne oraz włączenie wyników analiz probabilistycznych. Bardzo doceniam, że nie jest to jedynie adaptacja rozwiązań znanych z energetyki jądrowej, lecz autorskie rozwinięcie dostosowane do reaktorów badawczych. Zaprezentowany schemat klasyfikacyjny jest czytelny i gotowy do praktycznego wykorzystania. Zwracam jednak uwagę, że w ilustracjach brakuje pełnych opisów; szczególnie w rysunkach 22–25. Linie ciągłe i przerywane, czerwone prostokąty i inne oznaczenia są w dużej mierze intuicyjne, ale czytelnik nie powinien domyślać się znaczenia symboli. W publikacji naukowej wymaga to pełnej jednoznaczności. Jest to uwaga edytorska, ale w pracy o tak wysokim poziomie szczegóły mają znaczenie.

Rozdział piąty uważam za najważniejszy i najbardziej wartościowy. Autor przeprowadził analizy probabilistyczne dla reaktora MARIA, wykorzystując zarówno dane historyczne, jak i bazy międzynarodowe MAEA oraz US NRC. Szczegółowe analizy pomp głównych, wymienników ciepła czy wentylatorów są imponujące; pokazują ogrom pracy i biegłość w stosowaniu metod PSA. Bardzo wysoko oceniam także próbę krytycznego zestawienia różnych baz danych i wskazanie optymalnych źródeł wejściowych. W tej części nasuwa się jednak kilka pytań. Po pierwsze, czy dane historyczne, oparte na stosunkowo niewielkiej próbie zdarzeń, nie obciążają wyników nadmierną niepewnością? Po drugie, jakie metody redukcji tej niepewności można by zastosować, aby zwiększyć wiarygodność analiz? Po trzecie, czy nie warto byłoby rozważyć włączenia do modeli elementów Human Reliability Analysis, aby lepiej odwzorować rolę czynnika ludzkiego? I wreszcie, czy zastosowanie metod dynamicznej PSA bądź symulacji Monte Carlo nie pozwoliłoby na dokładniejsze odwzorowanie rozwoju zdarzeń w czasie i rzadkich scenariuszy awaryjnych? Te pytania nie są krytyką, lecz wskazaniem, że praca otwiera szerokie pole do dalszych badań, co świadczy o jej potencjale.

Podsumowanie rozprawy, choć poprawne, uważam za zbyt skromne jak na skalę i znaczenie przeprowadzonych analiz. Autor wskazał główne rezultaty, opracowanie procedury klasyfikacji, budowę modeli PSA, integrację baz danych, ale mógł szerzej omówić ich znaczenie dla rozwoju inżynierii jądrowej w Polsce. Uważam, że to miejsce, w którym warto było mocniej wyeksponować fakt, że praca wypełnia lukę metodologiczną i tworzy fundament pod dalsze wdrożenia. Byłoby cenne również wskazanie kierunków kontynuacji



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Fizyki

WYDZIAŁ
FIZYKI

badań, takich jak zastosowanie metod probabilistycznych do oceny zagrożeń zewnętrznych (np. pożarów czy wstrząsów sejsmicznych) czy rozszerzenie analizy na inne systemy reaktora.

Od strony edytorskiej rozprawa jest napisana bardzo starannie i czytelnie. Występują drobne niedociągnięcia, jak pojedyncze litery pozostawione na końcu wierszy czy brak pełnych opisów w legendach, ale nie obniżają one ogólnego pozytywnego wrażenia. Uważam, że są to kwestie łatwe do poprawienia w końcowej redakcji.

Doceniam ogrom pracy i wysoką jakość merytoryczną rozprawy. Autor wykazał się znakomitą znajomością tematyki, samodzielnością w formułowaniu problemów i konsekwencją w ich rozwiązywaniu. Wyniki pracy mają charakter nie tylko teoretyczny, ale również praktyczny, ponieważ znalazły zastosowanie w procesie klasyfikacji reaktora MARIA. Osiągnięcie to ma znaczenie dla dalszego rozwoju polskiej energetyki jądrowej i dla bezpieczeństwa eksploatacji tego obiektu.

Uważam, że rozprawa mgr inż. Jacka Kałowskiego spełnia wszystkie wymagania stawiane pracom doktorskim. Co więcej, jej oryginalny charakter, zgodność z wytycznymi MAEA i ogromne znaczenie praktyczne sprawiają, że zasługuje szersze rozpowszechnienie. Wnoszę o dopuszczenie Autora do publicznej obrony.

Agnieszka Korgul