

Warszawa, 29.08.2021 r.

Prof. dr hab. Jerzy Bartnicki
Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Podleśna 61
01-673 Warszawa

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Adama Jaroszka

"Analiza lokalnej dyspersji zanieczyszczeń promieniotwórczych w rejonie lokalizacji elektrowni jądrowej w Żarnowcu"

Promotor pracy: prof. dr hab. inż. Katarzyna Juda-Rezler

Promotor pomocniczy: dr inż. Magdalena Rezler

Podstawa przygotowania recenzji

Formalną podstawą przygotowania tej recenzji jest decyzja Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej z dnia 29 czerwca 2021 roku i zlecenie (pismo RND-IŚGIE-61/2021 z dnia 6 lipca 2021 roku).

Celowość podjęcia tematu

Temat budowy elektrowni atomowej w Polsce ma długą i ciekawą historię. Pierwsza polska elektrownia jądrowa budowana była w latach 1982–1989 w nad Jeziorem Żarnowieckim. Jednak zmiana warunków ekonomicznych w Polsce po 1989 roku oraz protesty aktywistów i mieszkańców szczególnie po katastrofie w Czarnobylu, spowodowały przerwanie tej budowy. W 2011 roku Żarnowiec, wraz z dwiema innymi miejscowościami, został ponownie wytypowany przez PGE na miejsce lokalizacji pierwszej polskiej elektrowni atomowej, mającej powstać do 2020 roku. Następnie terminy otwarcia pierwszej polskiej elektrowni jądrowej przesuwano kolejno na rok 2024 i 2027. Ostatnie informacje na ten temat terminu budowy i lokalizacji elektrowni można znaleźć w projekcie rządowym „Polityka energetyczna Polski do 2040 r.”. Według tego projektu budowa pierwszego bloku jądrowego powinna rozpocząć się nie później niż w 2026 roku. Rozpatrywane są cztery lokalizacje, dwie na Pomorzu i dwie na południu Polski (Konin w okolicach obecnej elektrowni Pątnów i Bełchatów, również w pobliżu obecnej elektrowni). Z tych lokalizacji najbardziej

prawdopodobne są dwie na Pomorzu: Żarnowiec oraz Lubiatowo-Kopalino, ostatnia praktycznie na linii brzegowej. Jednak wszystko wskazuje na Żarnowiec jako ostateczne miejsce lokalizacji przyszłej polskiej elektrowni atomowej.

W tej fazie planowania, bardzo ważnym problemem jest określenie potencjalnych skutków awarii elektrowni na okoliczną ludność i ważne obiekty znajdujące się zarówno relatywnie blisko elektrowni, jak i te położone znacznie dalej, na terytorium Polski, lub w krajach sąsiednich. Ważne jest też określenie efektów potencjalnej awarii elektrowni na środowisko, głównie poprzez depozycje szkodliwych substancji radioaktywnych do gleby, roślinności i wód powierzchniowych.

W tym kontekście temat rozprawy Pana mgr inż. Adama Jaroszka jest tematem ważnym i aktualnym a jego podjęcie jest jak najbardziej celowe.

Zakres merytoryczny pracy

Podstawowym celem tej rozprawy doktorskiej jest analiza rozprzestrzeniania się izotopów promieniotwórczych w rejonie potencjalnej lokalizacji elektrowni atomowej w Żarnowcu. Przy czym analiza ta obejmuje zarówno normalne warunki eksploatacji elektrowni, jak i sytuacje awaryjne. Tezy pracy sformułowano następująco:

- **lokalna topografia doliny jeziora Żarnowieckiego może w istotny sposób wpływać na procesy rozprzestrzeniania się skażeń promieniotwórczych,**
- **narzędzia numerycznej mechaniki płynów na przykładzie OpenFOAM mogą stanowić alternatywę w rozwiązywaniu zagadnień związanych z modelowaniem uwolnień awaryjnych izotopów promieniotwórczych z elektrowni jądrowych.**

Rozprawa składa się z dwóch zasadniczych części: teoretycznej oraz doświadczalnej, zawiera 11 rozdziałów i liczy, wraz załącznikami, 148 stron.

W części teoretycznej, rozdział trzeci omawia zagadnienia związane z produkcją energii elektrycznej na świecie ze szczególnym uwzględnieniem energetyki jądrowej, reakcjami rozszczepienia oraz przedstawia typy reaktorów używanych w elektrowniach jądrowych, w tym bardziej szczegółowo reaktor AP1000 najbardziej prawdopodobny w elektrowni Żarnowieckiej. Rozdział czwarty poświęcony jest systemom zabezpieczeń planowanej elektrowni jądrowej i omawia zasadę ochrony w głąb, bariery fizyczne i metody oczyszczania gazów. Przedmiotem rozdziału piątego są izotopy promieniotwórcze gazów szlachetnych (izotopy ksenonu, kryptonu i argonu) oraz lotne frakcje izotopów promieniotwórczych (izotopy jodu i cezu). Rozdział szósty zajmuje się uwolnieniami

produktów reakcji jądrowych do powietrza. Przy czym chodzi tu o uwolnienia w trakcie normalnej eksploatacji elektrowni, jak też uwolnienia w trakcie awarii. W rozdziale tym przedstawiono też skalę INES (International Nuclear and Radiological Event Scale) używaną do oceny skutków zdarzeń radiacyjnych. Oszacowanie emisji substancji radioaktywnych zaplanowanej polskiej elektrowni atomowej jest treścią rozdziału siódmego. Przedstawiono emisje roczne w wyniku normalnej eksploatacji jak i w przypadku ciężkiej awarii elektrowni.

W części doświadczalnej, rozdział ósmy omawia metody symulacji rozprzestrzeniania się izotopów promieniotwórczych w powietrzu stosowane dla zdarzeń radiacyjnych. Jako pierwszy, najbardziej szczegółowo omówiony jest pakiet OpenFOAM (Open Field Operation and Manipulation), a w jego ramach model reactingFOAM który później jest wielokrotnie stosowany w pracy. Następnie omówiony jest system wspomagania decyzji RODOS (real-time On-line Decision Support) a w jego ramach modele dyspersji RIMPUFF, DIPCOT i LASAT). Walidacja modeli wspomnianych w rozdziale ósmym jest treścią rozdziału dziewiątego. Walidacja polega na porównaniu wyników symulacji tymi modelami rozprzestrzeniania się znacznika w postaci sześciofluorku siarki emitowanego z terenu koreańskiej elektrowni jądrowej. Wyniki wszystkich modeli porównano z pomiarami stężeń na pięciu stacjach i oceniono oraz przedyskutowano błędy. Kolejny rozdział dziesiąty zajmuje się charakterystyką lokalizacji przyszłej elektrowni atomowej nad jeziorem Żarnowieckim. Obejmuje on opis topografii okolicznego terenu oraz analizę warunków klimatycznych. Wreszcie najobszerniejszy i najbardziej istotny rozdział 11 nawiązuje bezpośrednio do tytułu pracy i zajmuje się analizą rozprzestrzeniania zanieczyszczeń radioaktywnych w rejonie lokalizacji planowanej elektrowni jądrowej w Żarnowcu. W analizie, do wszystkich obliczeń wykorzystano pakiet OpenFOAM. We wstępie do tego rozdziału znaleźć można informacje na temat dyskretyzacji obszaru obliczeń o rozmiarach 20 na 20 km, z lokalizacją elektrowni w centrum wybranego obszaru. Podane są także informacje na temat komputerów wykorzystanych do obliczeń oraz czasu obliczeń w zależności od liczby rdzeni procesora. Obszerny jest również podrozdział przedstawiające dane wejściowe użyte do modelowania. Przedyskutowano w nim pesymistyczne warunki meteorologiczne, a także zdefiniowano warianty meteorologiczne dla obliczeń modelowych. Dalej wybrano izotopy dla członu źródłowego, opisano zastosowane modele: turbulencji i termodynamiczny oraz zdefiniowano źródło emisji substancji radioaktywnych dla obliczeń modelowych. Ostatni, również obszerny 11 rozdział merytoryczny zawiera informację o danych wejściowych do modelowania, wyniki symulacji i ich dyskusję. Przedstawiono w nim kryteria określania stref bezpieczeństwa na podstawie rekomendacji Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej i przepisów polskich.

Następnie zaprezentowano wyniki kolejnych symulacji: maksymalne uwolnienie w trakcie normalnej eksploatacji, awaria poza projektowa, wielka awaria ze zwiększoną temperaturą uwolnienia i maksymalna awaria projektowa. Dla tego ostatniego scenariusza pokazano również wyniki z przeprowadzonej symulacji z wykorzystaniem systemu RODOS. Dodatkowo przedstawiono również wyniki symulacji dla różnych scenariuszy meteorologicznych. Rozdział zamykają: weryfikacja postawionych teź, wnioski i uwagi na temat dalszych prac związanych z metodyką OpenFoam.

Bibliografia obejmuje 87 pozycji w języku angielskim i polskim, w tym jedną publikację autora rozprawy.

Ocena wartości naukowej rozprawy

Rozprawa składa się z dwóch zasadniczych części, teoretycznej i doświadczalnej. Ten podział jest nieco mylący, bo w części drugiej też można znaleźć elementy teorii, np. związane z modelowaniem rozprzestrzeniania się radioizotopów. Z kolei w części pierwszej jest bardzo wiele informacji, mimo że ważnych to jednak o charakterze praktycznym.

Abstrahując od nomenklatury, część pierwsza rozprawy realizuje przede wszystkim pierwszy cel szczegółowy rozprawy, spośród 12 przedstawionych na stronie 12 tzn. „oszacowanie aktywności oraz składu członu źródłowego uwolnienia”. Ta część pracy zawiera teoretyczne, ale także praktyczne aspekty pracy reaktora jądrowego, a szczególnie reaktora AP1000. Jej ważnym i cennym efektem jest analiza i inwentaryzacja emisji radioizotopów z planowanej elektrowni atomowej, zarówno w czasie jej normalnej eksploatacji, jak i w warunkach awaryjnych. Rezultaty tej części stanowią element nowości i mogą być wykorzystane w innych pracach naukowych związanych z analizą dyspersji zanieczyszczeń radioaktywnych z elektrowni w Żarnowcu.

Druga część pracy skupia się na modelowaniu transportu atmosferycznego zanieczyszczeń przy pomocy narzędzia OpenFoam i realizuje pozostałych 11 celów szczegółowych pracy. W rozdziale związanym z walidacją modelowany jest transport znacznika w postaci SF₆, a w dalszych transport substancji radioaktywnych z elektrowni Żarnowiec. Pierwsza uwaga krytyczna do tej części to brak bardziej szczegółowych informacji na temat przeprowadzonych symulacji i sposobu obliczeń. Na przykład, autor wspomina o 22 węzłach w pionie, ale nic na temat wysokości obszaru obliczeń. Nie ma też informacji na temat początkowych rozkładów pól meteorologicznych użytych w symulacji. Nie wiadomo w jaki sposób użyty jest parametr szorstkości terenu, który w sposób istotny

zmienia się w domenie obliczeniowej. Druga uwaga krytyczna dotyczy braku szerszej interpretacji uzyskanych wyników. Na przykład, na rys. 33 przedstawiono rezultaty obliczeń czterech modeli dla eksperymentu ze znacznikiem. Kształt smugi z symulacji OpenFoam zdecydowanie odbiega od wyników pozostałych modeli sugerując mniejszą dyfuzję turbulencyjną. Dlaczego?

Autor wykonał cały szereg interesujących symulacji w skali lokalnej dla planowanej elektrowni Żarnowiec. Symulacje przeprowadzone były pod kątem wytycznych IAEA i przepisów polskich związanych z fazą planowania elektrowni atomowej. W związku z tym wszystkie wyniki prezentowane są w pracy w postaci rozkładu dawki skutecznej i dawki skutecznej dla tarczycy. Z praktycznego punktu widzenia jest to bardzo cenna informacja pozwalająca dokładniej określić strefy bezpieczeństwa wokół elektrowni. Jednak z naukowego punktu widzenia ponownie brakuje szerszej interpretacji uzyskanych wyników. Przydałoby się więcej prezentacji uzyskanych wyników np. rozkładów w czasie i przestrzeni (również w pionie) obliczonych pól aktywacji. Uwaga krytyczna natury technicznej do tej części rozprawy dotyczy jakości i przejrzystości map aktywności i dawek prezentowanych w pracy, które są nie wystarczające a także przekrojów poprzecznych. Np, dla wielu map brakuje skali bądź jest nieczytelna, a dla przekrojów poprzecznych brakuje skali pionowej. Jednak, pomimo tych niedomagań, uzyskane wyniki są interesujące i ważne z naukowego punktu widzenia.

Rozprawa ma logiczny układ treści i czyta się ją z zainteresowaniem. Jest to pierwsza praca w Polsce, która proponuje zastosowanie narzędzi numerycznej mechaniki płynów do analizy rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń radioaktywnych w skali lokalnej. Należy również podkreślić, że model dyspersji zastosowany przez autora rozprawy został zweryfikowany na danych rzeczywistych. Ogólnie jest to cenny materiał do dalszych badań i publikacji.

Podsumowanie i wniosek końcowy

Oryginalnymi i wartościowym elementami pracy są analiza procesów emisji substancji radioaktywnych z elektrowni atomowej oraz szczegółowa inwentaryzacja źródeł emisji dla rutynowej pracy elektrowni i dla sytuacji awaryjnych. Drugi element to zastosowanie narzędzi numerycznej mechaniki płynów do analizy rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń radioaktywnych. Trzeci element to walidacja zastosowanej metody numerycznej poprzez porównanie uzyskanych wyników w eksperymencie ze znacznikiem z danymi pomiarowymi i z rezultatami innych modeli. **Rozprawa doktorska Pana mgr inż.**

Adama Jaroszka przyczynia się do pogłębienia stanu wiedzy o efektach emisji substancji radioaktywnych z elektrowni atomowej i modelowaniu atmosferycznego transportu tych substancji w rejonie planowanej elektrowni jądrowej w Żarnowcu.

Biorąc to pod uwagę, stwierdzam, że oceniana przeze mnie rozprawa **spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim** z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2014 r. poz. 1852 z późniejszymi zmianami) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, a także Rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 30 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r. poz. 261).

W oparciu o powyższe **wnoszę o dopuszczenie Pana mgr inż. Adama Jaroszka do publicznej obrony rozprawy** przed Radą Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka politechniki Warszawskiej.

