

Kraków, 05.01.2024

dr hab. inż. Mirosław Zimnoch, prof. AGH
Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków
email: zimnoch@agh.edu.pl

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Rafała Dąbrowskiego
Projekt systemu ostrzegania o awarii elektrowni jądrowej w przykładowej
lokalizacji w Polsce w oparciu o sieć automatycznych sond spektro-
dozymetrycznych.

Podstawa formalna

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej, prof. dr hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego z dnia 24.10.2023r (nr RDN.IŚGiE.139.2023) informujące o decyzji Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej z dnia 17.10.2023 wyznaczającej mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej Pana mgr inż. Rafała Dąbrowskiego pt.: „Projekt systemu ostrzegania o awarii elektrowni jądrowej w przykładowej lokalizacji w Polsce w oparciu o sieć automatycznych sond spektro-dozymetrycznych”. Podstawą formalną jest Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U.2022. poz.574 z późn. zm.).

Zasadność podjętej tematyki

Przedstawiona do recenzji praca ma charakter aplikacyjny i dotyczy opracowania projektu systemu ostrzegania o możliwej awarii pierwszej planowanej w Polsce elektrowni jądrowej, która ma być wybudowana w lokalizacji Lubiatowo-Kopalino. W obliczu zaawansowanych planów budowy takiej elektrowni, nie ulega wątpliwości, że podjęcie takiego tematu jest celowe i zasadne. Również wybór formy realizacji doktoratu jako wdrożeniowego jest jak najbardziej uzasadniony. Zapewnienie bezpieczeństwa pracy takiego obiektu i poinformowanie lokalnej społeczności o budowie tego typu zabezpieczeń poza spełnieniem wymogów formalnych ma niewątpliwie pozytywny wpływ na akceptację społeczną tego typu inwestycji. Mimo, że praca zawiera kompleksowy projekt systemu dopasowany i zweryfikowany dla konkretnej lokalizacji trochę brak w pracy informacji o strukturze takich systemów w innych miejscach. Interesujące było by poznanie różnic w stosunku do innych obiektów jądrowych funkcjonujących w innych państwach.

Opis pracy

Pracę stanowi monografia licząca 149 stron, z czego właściwy tekst zajmuje 124 strony, a pozostałe 25 stron zawiera streszczenia w języku polskim i angielskim, spis treści, spis rysunków, spis tabel oraz bibliografię składającą się z 90 pozycji. W ramach bibliografii autor powoływał się na książki, artykuły naukowe, abstrakty konferencyjne, przepisy prawne, raporty i opracowania internetowe, oraz źródła danych obejmujące okres 1961 – 2023, przy czym zdecydowana większość pozycji pochodzi z ostatnich kilku lat. Wśród nich znajduje się 7 pozycji (w tym 3 w języku angielskim), w których doktorant jest pierwszym autorem lub współautorem. Duża różnorodność cytowanych pozycji świadczy o dobrej orientacji autora zarówno w polskiej i światowej literaturze dotyczącej detekcji promieniowania i modelowania transportu skażeń w atmosferze, jak i w przepisach dotyczących energetyki jądrowej. Praca składa się z 7 rozdziałów zawierających wprowadzenie w tematykę pracy (rozdziały 1 i 2), opis detektorów wybranych przez autora do realizacji systemu (r. 3), opis dwóch metod służących do dyskryminacji sytuacji alarmowych na tle naturalnych fluktuacji tła (r. 4), symulacje przestrzennego rozkładu skażeń w przypadku maksymalnych uwolnień podczas normalnej pracy elektrowni oraz po wystąpieniu poważnej awarii reaktora (r.5) projekt rozmieszczenia stacji pomiarowych oraz podsumowanie i wnioski (r. 6 i 7).

We wstępie autor prezentuje motywację do podjęcia tematu, a mianowicie plany budowy pierwszej elektrowni atomowej w Polsce i związaną z tym konieczność zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa podczas jej eksploatacji. Autor formułuje także cel pracy, a mianowicie **„Opracowanie projektu automatycznego systemu ostrzegania o awarii elektrowni jądrowej w przykładowej lokalizacji w Polsce”** oraz dwie tezy badawcze:

- Optymalne miejsca posadowienia stacji pomiarowych wokół obiektu jądrowego zależą od rodzaju detektora;
- Zaprojektowany system wczesnego ostrzegania wokół elektrowni jądrowej, na przykładzie lokalizacji Lubiatowo-Kopalino, będzie w stanie prawidłowo zaszykalizować alarm w istotnych sytuacjach awaryjnych.

O ile pierwsza teza wydaje się dość oczywista i jak wynika z dalszych analiz jest głównie uwarunkowana nie tyle rodzajem, co progiem detekcji oraz górnym zakresem pomiarowym sond, o tyle weryfikacja drugiej tezy wymagała od autora przeprowadzenia kompleksowej analizy możliwości pomiarowych detektorów oraz zaplanowanie, przeprowadzenie i interpretację serii symulacji transportu atmosferycznego radioizotopów uwalnianych w przypadku epizodów występujących podczas normalnej eksploatacji jak i w przypadku wystąpienia poważnej awarii reaktora jądrowego.

Rozdział 2 zatytułowany „Wstęp teoretyczny”, w istocie zawiera informacje o źródłach promieniowania jonizującego występującego w środowisku naturalnym, powodach i amplitudzie fluktuacji naturalnych, sposobach jego pomiaru, automatycznych sieciach pomiarowych funkcjonujących w Europie i w Polsce oraz uwarunkowaniach prawnych i wytycznych dotyczących wczesnego wykrywania skażeń wokół obiektów jądrowych. Informacje zawarte w tym rozdziale z jednej strony świadczą o dobrej orientacji autora w tej tematyce, a z drugiej stanowią cenne syntetyczne źródło informacji dla czytelnika.

Rozdział 3 rozpoczyna część pracy zawierającą analizę różnych aspektów projektowanego systemu dedykowaną analizie parametrów trzech różnych detektorów wybranych przez autora do

realizacji projektu, a mianowicie liczników Geigera-Müllera obsługujących dwa zakresy pomiarowe, sondy scyntylacyjnej wykorzystującej 3" kryształ NaI oraz sondy scyntylacyjnej wykorzystującej 1" kryształ CeBr₃. Autor wspomina też o detektorze półprzewodnikowym CZT, ale odrzuca możliwość jego zastosowania w systemie ze względu na małą wydajność (objętość czynna ma tylko 1cm³). Rozdział zawiera opis pomiarów kalibracyjnych wykonanych przez autora w podziemnym laboratorium niskotłowym w Niemczech oraz na poletku doświadczalnym. W ramach analiz określone zostały czułości, progi detekcji oraz górne zakresy pomiarowe dla poszczególnych detektorów, a dla sond scyntylacyjnych określono również zdolność rozdzielczą.

Kolejny rozdział (4) poświęcony jest omówieniu metod rozróżniania sytuacji alarmowych od naturalnych fluktuacji tła promieniowania jonizującego. W mojej opinii rozdział ten stanowi istotny wkład doktoranta ze względu na zastosowanie łączne dwóch metod dyskryminacji sygnałów pochodzących od izotopów mogących pochodzić z reaktora oraz naturalnego tła przy fluktuacjach mocy dawki na poziomie obserwowanym naturalnie. O ile pierwsza proponowana metoda jest zaadoptowana z badań prowadzonych w Szwajcarii (Butterweck et al. 2015) o tyle brak informacji, czy druga metoda oparta na testach χ^2 jest pomysłem własnym autora, czy również została zaczerpnięta z literatury (brak cytowań). Niemniej jednak zastosowanie wspólne obu metod wydaje się oryginalnym pomysłem autora, pozwalając na podstawie trzech dostępnych parametrów (MMGC – Man-Made Gross Count, testu χ^2 z widmem odniesienia dla warunków deszczowych oraz testu χ^2 z widmem typowym dla braku opadów) na rozróżnienie fluktuacji mocy równoważnika dawki powodowanych przez czynniki naturalne, jak opady lub pojawienie się radionuklidów pochodzących z reaktora.

Największą część pracy (rozdział 5) autor poświęcił na analizę symulacji rozprzestrzeniania się skażeń w powietrzu wokół elektrowni opartą na danych z okresu ok. 30 lat (1992-2021). Do wykonania symulacji autor wykorzystał 3 modele dyspersji (Lasat, Rimpuff i Dipcot) dostępne w ramach systemu wspomaganego decyzji JRodos. Jako danych meteorologicznych użył reanaliz ECMWF. Wykorzystał również wysokiej rozdzielczości dane dotyczące topografii oraz pokrycia terenu. Istotną częścią pracy było określenie rodzaju i wielkości emisji typowych izotopów towarzyszących epizodom emisji podczas normalnej eksploatacji reaktora oraz podczas poważnej awarii, co jest kluczowym czynnikiem decydującym o wyliczonych rozkładach przestrzennych mocy równoważnika dawki a co za tym idzie dyskryminacji sytuacji wywołanych pracą bądź awarią elektrowni. Analizy zostały podzielone na jednokierunkowe, zakładające stały kierunek wiejącego wiatru i analizujące rozkład skażenia w funkcji odległości od źródeł emisji dla jednorodnego płaskiego trawiastego obszaru oraz wielokierunkowe, uwzględniające statystykę wiatrów wykonane dla planowanej lokalizacji pierwszej elektrowni jądrowej. Na podstawie tych symulacji autor mógł określić optymalne odległości 3 różnych typów detektorów zaplanowanych w systemie od obiektu jak również ich rozkład kątowy zapewniający wykrycie smugi skażenia niezależnie od kierunku i prędkości wiejącego wiatru.

Wreszcie podsumowaniem prac nad systemem jest rozdział 6 opisujący szczegółowo ilość, rodzaj i położenie detektorów wchodzących w skład projektowanego systemu ostrzegania. Autor na podstawie wykonanych wcześniej analiz zaplanował geometrię systemu oraz przetestował jego skuteczność na podstawie dodatkowych symulacji sprawdzających, wykonanych dla 2 dat odpowiadających okresowi letniemu w ciągu dnia oraz okresowi zimowemu w ciągu nocy. Poza wykonaniem testów, autor w tym rozdziale zaproponował oryginalną metodę opartą na korelacji przestrzennej wyników umożliwiającą automatyczną analizę zależności przestrzennych pomiędzy danymi pomiarowymi, tak aby system mógł działać w jak największym zakresie autonomicznie.

Pracę kończy syntetyczne podsumowanie wykonanych prac oraz zwięźle przedstawione wnioski praktyczne.

Uwagi do pracy

Praca ma zdecydowanie charakter aplikacyjny, co wynika ze specyfiki doktoratu wdrożeniowego. Opracowany w ramach pracy projekt systemu wczesnego ostrzegania o możliwych skażeniach jest dobrze przemyślany i zaplanowany. Wszystkie aspekty począwszy od doboru detektorów, poprzez rzetelne analizy modelowe transportu skażeń, a skończywszy na opracowaniu oryginalnych algorytmów obliczeniowych pozwalających na autonomiczną pracę systemu są dobrze uargumentowane i opisane. Praca jest zredagowana przejrzysto, a jej lektura sprawia czytelnikowi przyjemność nie zmuszając nadmiernie do skakania po tekście, czy zagładania do przytaczanych referencji. Tekst monografii jest uzupełniony szeregiem ilustracji (76 rysunków) dobranych w przemyślany sposób oraz starannie przygotowanych od strony graficznej. Uzyskane efekty są jasno i poprawnie sformułowane w podsumowaniu dając poza szczegółowym projektem dla konkretnej lokalizacji szereg wskazówek, mogących pomóc w opracowywaniu podobnych systemów dla innych obiektów.

Mimo wysokiego poziomu przygotowanej pracy, podczas lektury tekstu dostrzeżono kilka elementów, których poprawa, lub doprecyzowanie pozwoliło by uniknąć wątpliwości czytelnika.

W rozdziale 3 autor przeprowadza bardzo szczegółową analizę parametrów trzech detektorów, z których co najmniej 2 (liczniki G-M i sondy NaI) są od lat stosowane w pomiarach promieniowania i z pewnością wyznaczone przez autora parametry, jak próg wykrywalności czy liniowość kalibracji jest dobrze znana i udokumentowana. Brakuje zatem porównania wyznaczonych parametrów z danymi katalogowymi, lub innymi źródłami. Brak też informacji, na ile testowane egzemplarze są reprezentatywne dla większej ilości urządzeń (brak informacji o możliwym rozrzucie parametrów, który może podczas budowy takiego systemu zmusić do wstępnej selekcji egzemplarzy wykorzystanych w realizacji systemu).

Opisane w rozdziale 4 metody wykrywania awarii nie zawierają informacji, czy są pomysłem własnym autora, czy zostały zaczerpnięte z innych rozwiązań (mam tu na myśli testy χ^2 oraz połączenie obu proponowanych metod (metoda MMGC i test χ^2)).

Wydaje się, że duża część dyskusji poświęconej zdolności rozdzielczej detektorów argumentującej włączenie w zestaw detektorów sondy CeBr_3 posiadającej lepszą zdolność rozdzielczą od sondy NaI nie znajduje zastosowania w dalszych etapach projektowania systemu. Jedynym parametrem wykorzystującym informację o energii promieniowania jest wskaźnik MMGC do obliczenia którego należy podzielić widmo promieniowania jedynie na 2 przedziały (do 1,4 MeV i powyżej 1,4 MeV). Proszę doktoranta o szersze przedyskutowanie w czasie obrony wpływu zdolności rozdzielczej zastosowanych detektorów na efektywność całego systemu.

Wątpliwość budzi również różnica w zestawie izotopów użytych do testowania detektorów, a tych użytych w symulacjach awarii reaktora. Oczywiście różnice wynikają z ograniczeń technicznych, jak choćby czasy połowicznego rozpadu niektórych z nich jednak brakuje analizy energetycznej widm całościowych i oceny wpływu tych różnic na niepewności obliczeń współczynników konwersji widm z detektorów NaI i CeBr_3 na $\text{H}^*(10)$.

Część pracy dotycząca symulacji numerycznych rozprzestrzeniania się skażeń wymagała od autora dużego nakładu pracy i znajomości użytych modeli. Ten fakt zasługuje na podkreślenie. Jedynym niejasnym elementem tej analizy jest podsumowanie wyników prezentujące ilości przekroczeń progów detekcji. Wydaje się, że brakuje dodania do analiz naturalnych fluktuacji tła i oceny efektywności użycia zaproponowanych wcześniej algorytmów służących do dyskryminacji sytuacji związanych z uwolnieniami. Jeśli takie analizy zostały wykonane, to nie wynika to z tekstu rozdziału.

Ostatnia uwaga dotyczy wyboru dat, w których zostały przeprowadzone symulacje sprawdzające. Rozróżnienie pory ciepłej i zimnej jest tu jak najbardziej uzasadnione ze względu na przewagę występowania odmiennych stanów stabilności atmosfery, jednak nie jest dla mnie jasne, dlaczego dla okresu zimowego wybrano okres nocny a dla letniego dzienny. Powszechnie wiadomo, że w proponowanej lokalizacji występuje zjawisko bryzy morskiej, która determinuje kierunek wiatru w ciągu dnia i w nocy. W mojej ocenie testy byłyby bardziej kompletne i reprezentatywne, gdyby dla każdej pory roku wykonano kilka symulacji w ciągu dnia i w nocy, tak aby uzyskać chociaż minimalną statystykę oddającą wpływ zmienności warunków meteorologicznych na propagację skażenia. Pozwoliło by to na ocenę efektywności części systemu zlokalizowanego od strony wybrzeża i łądu w odmiennych warunkach dyspersji atmosferycznej.

Podsumowanie

Dostrzeżone błędy wymienione powyżej nie umniejszają wartości merytorycznej pracy. W mojej ocenie praca doktorska mgr inż. Rafała Dąbrowskiego pt.: „Projekt systemu ostrzegania o awarii elektrowni jądrowej w przykładowej lokalizacji w Polsce w oparciu o sieć automatycznych sond spektro-dozymetrycznych” odpowiada warunkom określonym w art. 187 ust. 1 i 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2022 r. poz. 574 z późn. zm.) tj.:

- Prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w Dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, co jest poparte treścią monografii zawierającej dyskusję warunków wstępnych projektu, szczegółową ocenę parametrów komponentów systemu, analizę rozkładów przestrzennych skażeń możliwych w 2 przypadkach tj. uwolnień radionuklidów podczas normalnej pracy elektrowni oraz w przypadku wystąpienia poważnej awarii reaktora, oraz testy oparte na symulacjach działania systemu dla 2 wybranych dat, potwierdzając dobre opanowanie autora w tematyce badawczej;
- Stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego polegające na zaprojektowaniu systemu ostrzegania o awarii elektrowni jądrowej zawierające pomysły własne autora dotyczące sposobu interpretacji danych pomiarowych.

W związku z tym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Rafała Dąbrowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ponadto, ze względu na bardzo rzetelne podejście do rozwiązania problemu wymagające zarówno gruntownej wiedzy o działaniu różnych detektorów (część eksperymentalna), jak i dobrej znajomości metod numerycznych służących symulacji transportu atmosferycznego (część modelowa) wnioskuję o wyróżnienie pracy. Wniosek mój uzasadniam istotnym wkładem doktoranta w dyscyplinę naukową polegającym na opracowaniu oryginalnych algorytmów pozwalających na odróżnienie fluktuacji mocy równoważnika dawki powodowanych warunkami naturalnymi od tych powodowanych pojawieniem się w atmosferze izotopów uwalnianych z obiektu jądrowego oraz zaproponowanymi metodami

analizy przestrzennej sygnałów z sieci pomiarowej pozwalającym na autonomiczne działanie systemu wczesnego ostrzegania o awarii. Ostateczną decyzję o wyróżnieniu warunkują przebiegiem obrony i ustosunkowaniem się doktoranta do uwag krytycznych zawartych w recenzji.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "K. Kuch." or similar, located in the upper right quadrant of the page.