

Dr hab. Zygmunt Szefliński
Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów
Uniwersytet Warszawski
ul. Pasteura 5A, 02-093 Warszawa
e-mail: szef@fuw.edu.pl

Warszawa, 2 kwietnia 2024 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej
mgr inż. Karola Wojtkowskiego
p.t.
**„Ocena narażenia wynikającego ze stanu radiacyjnego
środowiska w otoczeniu wybranych obiektów jądrowych w
Polsce”**

1. Wartość naukowa rozprawy – oryginalność badań

Recenzja została wykonana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska Górnictwo i Energetyka, Pana prof. dr hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego z dnia 2 lutego 2024 roku (pismo nr RND.İSGiE.26.2024), na mocy którego zostałem powołany na recenzenta pracy doktorskiej Pana mgr inż. Karola Wojtkowskiego.

Ze względu na szerokie zastosowanie promieniowania jonizującego w przemyśle i medycynie, jego wpływ na człowieka i inne organizmy żywe, promieniowanie jonizujące jest przedmiotem badań naukowych od czasu jego odkrycia przed ponad 120 laty. Rozprawa doktorska mgr inż. Karola Wojtkowskiego wpisuje się w ogólnoswiatowy trend badań nad wpływem promieniowania na organizm człowieka. Badania doktoranta koncentrują się wokół oceny narażenia radiacyjnego w otoczeniu dwu wybranych obiektów jądrowych w Polsce, reaktora MARIA, znajdującego się na terenie Narodowego Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) i Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie koło Ostrołęki. Analizy radiacyjne autor rozprawy wykonał dla różnych komponentów środowiska: wody, gleby i roślinności. Rozprawa doktorska mgr inż. Karola Wojtkowskiego pt. „Ocena narażenia wynikającego ze stanu radiacyjnego środowiska w otoczeniu wybranych obiektów jądrowych w Polsce” została wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. Małgorzaty Wojtkowskiej z Politechniki Warszawskiej (promotor) i dra Pawła Krajewskiego z Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej (promotor pomocniczy). Rozprawa jest 190-stronicowym dziełem wydanym przez Politechnikę Warszawską.

W przedstawionym mi do oceny manuskrypcie mgr inż. Karol Wojtkowski postawił sobie za cel ocenę stanu radiacyjnego w otoczeniu obiektów jądrowych w Polsce i w promieniu około 10 km od tych obiektów oraz określenie narażenia ludności wynikającego ze stanu radiacyjnego środowiska w otoczeniu dwu obiektów jądrowych oraz w znacznym oddaleniu od nich. Plan realizacji wymienionego celu głównego obejmuje zestaw badań szczegółowych, obejmujący badania obecności radionuklidów naturalnych oraz antropogenicznych w komponentach środowiska takich jak gleba, woda oraz roślinność zarówno w otoczeniu obiektów jądrowych jak i w znacznym oddaleniu od nich. Jednym z celów szczegółowych była również ocena transmisji radionuklidów między komponentami środowiska.

Autor porównuje wyniki badań własnych, obecności pierwiastków promieniotwórczych w powietrzu z wynikami ogólnokrajowymi, uzyskanymi z wykorzystaniem stacji wysokoczułych typu ASS-500 do pomiaru skażeń promieniotwórczych w przyziemnej warstwie atmosfery Państwowego Monitoringu Środowiska (PMŚ). W szczególności autor szacuje roczną dawkę efektywnej jaką otrzymuje mieszkaniec okolic obiektów jądrowych od spożywania mięsa i mleka w wyniku transferu radionuklidów między komponentami środowiska a organizmem ludzkim.

Doktorant postanowił też zweryfikować hipotezę badawczą zakładającą, że w otoczeniu KSOP w Różanie oraz wokół NCBJ w Świerku woda, gleba, roślinność i aerozole powietrza zawierają podwyższone zawartości izotopów promieniotwórczych.

W przedstawionym mi do oceny manuskrypcie doktorant omawia dwa odrębne zagadnienia:

- a) metodykę badań i charakterystykę obszarów wytypowanych do badań, które ze względu na moje kompetencje naukowe mogę recenzować tylko od strony formalnej
- b) oraz dyskusję wyników i analizę przeprowadzonych badań, co do których moja recenzja będzie bardziej dogłębna.

Podejście do badań zaprezentowane w recenzowanej rozprawie pozwala stwierdzić, że wyniki uzyskane przez autora w serii eksperymentów prowadzą do oszacowania rocznej dawki efektywnej jaką otrzymuje mieszkaniec okolic obiektów jądrowych i statystyczny Polak w wyniku transferu radionuklidów między komponentami środowiska a organizmem ludzkim, a w efekcie końcowym, oszacowanie całkowitej dawki rocznej na jaką jest on narażony. Wyniki uzyskane przez mgr inż. Karola Wojtkowskiego są niesłychanie ważne dla edukacji naszego społeczeństwa ze względu na aktualizację z roku 2020 programu wieloletniego pod nazwą „Program polskiej energetyki jądrowej”

2. Wartość merytoryczna rozdziałów rozprawy

Treść rozprawy mgr inż. Karola Wojtkowskiego jest zgodna z tytułem pracy – „Ocena narażenia wynikającego ze stanu radiacyjnego środowiska w otoczeniu wybranych obiektów jądrowych w Polsce”. Rozprawa liczy sześć rozdziałów przedstawionych na 163 stronach oraz spisu rysunków, tabel i obszernej bibliografii. Jest napisana w języku polskim i została starannie opracowana i wydana. Zawiera 37 rysunków i 92 tabele, które są istotnym elementem pracy, a jakość rysunków, tabel i poziom edycji nie budzi zastrzeżeń. Autor już we wprowadzeniu do rozprawy uzasadnił, że w celu ochrony zdrowia człowieka istnieje potrzeba prowadzenia badań, które prowadzą do oceny narażenia na promieniowanie jonizujące i monitoringu radiacyjnego środowiska. Wskazał też, na źródła potencjalnych zagrożeń dla zdrowia i życia ludzkiego, którymi mogą być awarie reaktorów jądrowych, czy niekontrolowane uwolnienia substancji radioaktywnych do środowiska ze składowisk odpadów promieniotwórczych. Uzasadniając wybór tematyki rozprawy wskazał, że istnieje potrzeba uzupełnienia wiedzy w zakresie oceny dawek jakie człowiek może otrzymywać od elementów środowiska. Celem badań doktoranta jest ocena narażenia osób przebywających w otoczeniu wybranych obiektów jądrowych w Polsce na dawki jakie otrzymują od promieniowania jonizującego, aby odpowiedzieć na publicznie rozpowszechniane opinie o zagrożeniach występujących w otoczeniu obiektów jądrowych.

Rozdział pierwszy to przegląd aktualnego stanu wiedzy dotyczącej promieniowania jonizującego pochodzącego ze źródeł naturalnych jak i pochodzenia antropogenicznego. W tym rozdziale autor omawia rolę reaktorów badawczych (zlikwidowanego reaktora EWA i funkcjonującego reaktora MARIA) oraz Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Róźnie. Można tu znaleźć informacje o transmisji substancji promieniotwórczych między elementami środowiska i transmisji ze środowiska do organizmów żywych. Istotnym elementem tego rozdziału są zasady i wielkości używane w ochronie radiologicznej uzupełnione opisem dawek pochodzących od ekspozycji na promieniowanie pierwiastków obecnych w atmosferze, glebie, wodzie i wchłanianych przez organizm człowieka. Pojęcia wprowadzone w tym rozdziale będą używane w zasadniczej części pracy.

W rozdziale drugim doktorant definiuje cele i zakres pracy. Zamierza rozwiązać pokutujące w społeczeństwie odczucia i obawy że istnienie obiektów jądrowych i transport odpadów radioaktywnych mogą być niebezpieczne dla zdrowia populacji, szczególnie mieszkającej w pobliżu obiektów jądrowych. Pan mgr inż. Karol Wojtkowski, chce skoncentrować swoje badania wokół narażenia ludności na promieniowanie jonizujące ponieważ coroczne raporty CLOR-u dla PAA publikujące informacje na temat stężeń aktywności poszczególnych pierwiastków promieniotwórczych w środowisku nie zawierają oceny narażenia ludności. Tutaj autor definiuje cel główny rozprawy i cele szczegółowe, które wyspecyfikowałem w pierwszej części recenzji. Co istotne doktorant pragnie zweryfikować hipotezę że w otoczeniu KSOP w Róźnie oraz wokół NCBJ w Świerku, woda, gleba, roślinność i aerozole powietrza zawierają podwyższone zawartości izotopów promieniotwórczych.

W rozdziale trzecim rozprawy znajdujemy szczegółowy opis metodyki badań. Autor szczegółowo opisuje lokalizację poboru materiału do badań, charakterystyki miejsc poboru, techniki pomiarów aktywności próbek wody gleby i roślinności oraz aerozoli atmosferycznych.

Najważniejszy w rozprawie rozdział, to rozdział czwarty, w którym znajdujemy metody analizy pobranego w badaniach terenowych materiału i wyniki dla próbek wody, gleby i roślinności oraz pomiary mocy dawki ekspozycyjnej promieniowania γ i pomiary stężeń aktywności radionuklidów γ z aerozoli atmosferycznych pobranych w Róźnie i w Świerku. Do oceny wpływu pierwiastków promieniotwórczych obecnych w środowisku na organizm człowieka niezbędne jest określenie transmisji radionuklidów pomiędzy glebą a roślinnością, autor wykonuje tutaj obliczenia przenikania dla środowiskowych pierwiastków takich jak ^{40}K , ^{228}Ac , ^{226}Ra i antropogenicznego ^{137}Cs . Obliczenia transmisji radionuklidów obejmują także bardziej złożone łańcuchy gleba-rośliny-mięso zwierzęce-organizm ludzki i gleba-rośliny-mleko-organizm ludzki. Dzięki takim obliczeniom może określić dawki jakie otrzymują osoby przebywające w badanych przez autora rozprawy lokalizacjach od gleby, spożywanej wody i roślinności produktów zwierzęcych oraz aerozoli atmosferycznych. Poszczególne wyniki doktorant prezentuje w czytelnie skonstruowanych tabelach, choć zawierają one jedynie rezultaty uzyskane dla próbek pobranych w Róźnie i w Świerku. Czytelnik rozprawy chciałby, aby wynik uzyskany dla próbek pobranych w KSOP w Róźnie oraz wokół NCBJ w Świerku można było porównać z odpowiednimi średnimi dla kraju, bądź z wartościami mierzonymi dla innych lokalizacji w świecie. Takie porównania znajdujemy dopiero w rozdziale 4.7 zatytułowanym „Dyskusja wyników badań”, gdzie w Tab. 82-92 znajdujemy porównanie stężeń aktywności oraz dawek od ekspozycji wewnętrznej i dawek efektywnych.

Rozdział piąty i szósty to podsumowania wyników badań oraz wnioski. Za najważniejszy wynik rozprawy uważam oszacowanie rocznej dawki efektywną jaką

otrzymuje osoba żyjąca w otoczeniu KSOP w Różaniu i NCBJ w Świerku, bezpośrednio od poszczególnych komponentów środowiska oraz od pożywienia. Istotnym wynikiem rozprawy mgr inż. Karola Wojtkowskiego i ważnym osiągnięciem badań tutaj prezentowanych jest stwierdzenie, że w otoczeniu KSOP w Różaniu oraz wokół w Świerku, takie składniki środowiska jak woda, gleba, roślinność i aerozole nie zawierają podwyższonych zawartości izotopów promieniotwórczych.

Cele badawcze sformułowane w rozdziale drugim, realizowane przy użyciu metod zaproponowanych i opisanych w rozdziale trzecim udało się doktorantowi w pełni osiągnąć, co znalazło odzwierciedlenie w końcowych rozdziałach pracy. Zastosowanie metody obliczeń transmisji radionuklidów między elementami środowiska do oceny dawki ekspozycyjnej stanowi istotne osiągnięcie naukowe mgr inż. Karola Wojtkowskiego.

Praca, Rozprawa zawiera też obszerną bibliografię z 224 pozycjami literaturowymi trafnie dobranymi, które mogą być przewodnikiem po tematyce zaprezentowanej w rozprawie badań. Należy jednakże zauważyć, że pozycje bibliografii związane z występowaniem i własnościami promieniowania jonizującego sięgają lat 50-tych i 60-tych ubiegłego wieku, a wiedza w ciągu ostatniego 50-lecia istotnie się zmieniła. Należałoby pozycje literatury 50-tych i 60-tych ubiegłego wieku zastąpić współczesnymi. Co prawda pierwsza pozycja w bibliografii to Halliday D., Resnick R., Walker J., Fundamentals of physics, z roku 2014 jest pozycją nową, ale to podstawy fizyki, w którym fizyka jądrowa stanowi drobny element.

Styl pracy jest jasny a redakcja rozprawy bez zarzutu.

3. Uwagi krytyczne

Praca jest poprawnie zredagowana, jednakże znalazłem szereg usterek które dla porządku wymienię.

1. Informacje zawarte w rozdziale 1 to tylko wybrana wiedza dostępna w literaturze i w tej części nie powinno się znajdować błędów merytorycznych.
2. Na str 11 wiersz 4 od dołu znajdujemy błędne sformułowanie „strata energii kinetycznej na jednostkę odległości jest wprost proporcjonalna do ładunku cząstki jonizującej” otóż wzór Bethego Blocha przewiduje proporcjonalność do kwadratu ładunku cząstki.
3. Na stronie 12 w przedostatnim akapicie znajdujemy kontrowersyjne sformułowanie dotyczące promieniowania β że „jego maksymalny zasięg w powietrzu wynosi do kilkunastu metrów”. Tak duże zasięgi obsterwujemy tylko dla bardzo wysokich 4-5 MeV (rzadkich) energii promieniowania β . Dla większości źródeł analizowanych w rozprawie (1,0-1,5 MeV) zasięgi nie przekraczają kilku metrów.
4. We wzorze (1) na str. 20 autor wprowadza ϵ jako oznaczenie dla energii, choć cała literatura światowa przyjmuje E jako oznaczenie dla tej wielkości fizycznej.
5. Na stronie 25 w drugim akapicie rozdz. 1.3.3 jest mowa o wzbogaceniu paliwa uranem. To usterka językowa chodzi o wzbogacenie naturalnego uranu w izotop ^{235}U .
6. Na str. 29 autor użył błędnie betonitu zamiast bentonitu. Bentonit i betonit to różne substancje.
7. Na stronie 67 w Tab. 16 i komentarzu do Tabeli 16 autor stwierdza, że najwyższe stężenie aktywności potasu ^{40}K oznaczono w punkcie Z-2. Pozostawiono to sformułowanie bez oczywistego wyjaśnienia, że może to być

wynik lokalnego użycia nawozów zawierających potas. To samo dotyczy Tab. 17. Prosiłbym o komentarz.

8. Na stronie 70 autor użył słowa eutrofizacja (eutrofizacja to duże ilości związków azotu i fosforu), a autor rozprawy stwierdza tylko podwyższenie zawartości potasu (przy nawożeniu NPK zwiększonej zawartości potasu może towarzyszyć eutrofizacja).
9. W tab. 23 na str. 74 wykazuje się obecność trytu, autor nie komentuje, czy taka zwiększona obecność trytu jest obserwowana w innych ściekach niż ścieki Otwocka.
10. Na stronie 88 znajdujemy stwierdzenie „we wszystkich próbkach gleby nie stwierdzono obecności antropogenicznego izotopu cezu ^{134}Cs ”. Jeśli ^{134}Cs był wytworzony ostatnio w awarii czarnobylskiej to ze względu na okres połowicznego zaniku (ok. 2,1 lat) nie powinien być obserwowany i nic dziwnego, że nie jest.
11. Na str. 147 znajdujemy sformułowanie „ Obecność promieniotwórczego cezu ^{137}Cs ... w otoczeniu KSOP i otoczeniu obiektów jądrowych w Świerku może być spowodowana transportem odpadów promieniotwórczych z obiektów jądrowych w Świerku do KSOP w Różanie”. Co prawda jest tutaj słowo może, ale bardziej oczywistym źródłem obserwacji może być nierównomierny opad radioaktywny tuż po awarii czarnobylskiej. Proszę o komentarz

Wymienione tutaj usterki redakcyjne, a nie merytoryczne nie zmieniają mojej wysokiej oceny pracy.

4. Ocena końcowa

Mgr inż. Karol Wojtkowski postawił sobie za cel ocenę stanu radiacyjnego w otoczeniu obiektów jądrowych w Polsce i w promieniu około 10 km od tych obiektów oraz określenie narażenia ludności wynikającego ze stanu radiacyjnego środowiska w otoczeniu dwu obiektów jądrowych oraz w znacznym oddaleniu od nich. Cel badawczy doktoranta został osiągnięty. Na szczególną uwagę zasługuje ocena transmisji radionuklidów między komponentami środowiska.

Za najważniejszy wynik rozprawy uważam oszacowanie rocznej dawki efektywną jaką otrzymuje osoba żyjąca w otoczeniu KSOP w Różanie i NCBJ w Świerku, bezpośrednio od poszczególnych komponentów środowiska oraz od pożywienia. Istotnym wynikiem rozprawy mgr inż. Karola Wojtkowskiego i ważnym osiągnięciem badań tutaj prezentowanych jest stwierdzenie, że w otoczeniu KSOP w Różanie oraz wokół w Świerku, takie składniki środowiska jak woda, gleba, roślinność i aerozole nie zawierają podwyższonych zawartości izotopów promieniotwórczych co stanowi istotne osiągnięcie naukowe mgr inż. Karola Wojtkowskiego.

Wymienione w recenzji osiągnięcia mgr inż. Karola Wojtkowskiego zawierają ogromny ładunek nowych interesujących rezultatów, które przyczyniają się do zmiany stanowiska społeczeństwa wobec obecności promieniowania jonizującego w przemyśle i medycynie

Zaprezentowane w rozprawie rezultaty badań doktoranta wskazują to na umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez doktoranta i umiejętność prowadzenia pracy zespołowej, co było niezbędne, szczególnie przy prowadzeniu badań terenowych. Umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej to warunek stawiany rozprawom doktorskim określony w Ustawie z dnia 14

marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym. Doktorant jest pierwszym autorem pracy opublikowanej w recenzowanym czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym (Applied Sciences-Basel, 2023, vol. 13, nr 21, s.1-20, Numer artykułu:11699 (100 pkt MNiSW)) i współautorem dwu innych recenzowanych prac (Applied Sciences-Basel, 2022, vol. 12, nr 22, s.1-17, Numer artykułu:11401 (100 pkt MNiSW) oraz artykułu opublikowanego w SSRN, 2022, s.1-22, Numer artykułu:4196469 (50 pkt MNiSW)) co spełnia kolejny warunek wymieniony w art. 11 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r.

Ja, niżej podpisany stwierdzam, że recenzowana rozprawa doktorska mgr inż. Karola Wojtkowskiego spełnia wymagania określone w art. 13 ust. 1 Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (t.j. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 z późn. zmianami) w Dyscyplinie Inżynieria Środowiska Górnictwo i Energetyka.

Rozprawa spełnia również wymagania określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce”, i wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Karola Wojtkowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego i publicznej obrony.

Zygmunt Szefliński

