

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

1. Przedmiot recenzji

Przedmiotem recenzji jest rozprawa doktorska mgr inż. Karola Wojtkowskiego, pt. „Ocena narażenia wynikającego ze stanu radiacyjnego środowiska w otoczeniu wybranych obiektów jądrowych w Polsce”, wykonana pod kierunkiem prof. dr hab. Małgorzaty Wojtkowskiej. Promotorem pomocniczym w postępowaniu był dr Paweł Krajewski.

Oceniana w tej recenzji rozprawa ma być podstawą do nadania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

2. Podstawa formalna wykonania recenzji

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr inż. Karola Wojtkowskiego, pt. „Ocena narażenia wynikającego ze stanu radiacyjnego środowiska w otoczeniu wybranych obiektów jądrowych w Polsce” została wykonana na podstawie umowy zawartej pomiędzy Politechniką Warszawską, Wydziałem Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, 00-653 Warszawa, ul. Nowowiejska 20 reprezentowanym przez Dziekana Wydziału dr. hab. inż. Pawła Popielskiego, prof. uczelni, a recenzentem pracy doktorskiej dr hab. inż. Wioletta Rogula-Kozłowską, prof. uczelni. Rozprawa doktorska została skierowana do mnie do recenzji przez Przewodniczącą Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka prof. dr. hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego pismem RND.IŚGIE.26.2024. Recenzja została opracowana na bazie egzemplarza pracy doktorskiej, którą otrzymałam wraz z umową. W niniejszej ocenie skupiono uwagę na dostarczeniu jednoznacznych odpowiedzi czy zostały przez doktoranta spełnione wymagania określone

w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. Z 2023 r. poz. 742), a mianowicie:

1. Czy rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie albo dyscyplinach oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej lub artystycznej [P1].

2. Czy przedmiot rozprawy doktorskiej stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, oryginalne rozwiązanie w zakresie zastosowania wyników własnych badań naukowych w sferze gospodarczej lub społecznej albo oryginalne dokonanie artystyczne [P2].

3. Czy forma rozprawy jest poprawna, a zatem stanowi ją praca pisemna, w tym monografia naukowa, zbiór opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, praca projektowa, konstrukcyjna, technologiczna, wdrożeniowa lub artystyczna, a także samodzielna i wyodrębniona część pracy zbiorowej [P3].

4. Czy do rozprawy doktorskiej dołączono streszczenie w języku angielskim (w przypadku pracy polskojęzycznej), a do rozprawy doktorskiej przygotowanej w języku obcym również streszczenie w języku polskim [P4].

3. Celowość podjęcia i oryginalność tematu

Choć promieniowanie jonizujące jest nieodzownym komponentem środowiska z uwagi na fakt, że skorupa ziemska zawierająca pierwiastki radioaktywne, m.in. uran, tor i rad, jest jego naturalnym źródłem, jego właściwości a zwłaszcza brak możliwości zobaczenia nadciągającego lub już istniejącego zagrożenia tym zanieczyszczeniem, powoduje ciągłe obawy ludzi. Świadczą o tym nie tylko wszelkiego rodzaju dyskusje i protesty toczące się w obliczu typowania lokalizacji nowych obiektów jądrowych ale też ogólna niechęć do wykonywania chociażby zupełnie podstawowych badań medycznych z udziałem aparatów diagnostycznych emitujących promieniowanie. Promieniowanie jonizujące w zasadzie zawsze kojarzy się w sposób jednoznacznie negatywny w związku z problemami składowania odpadów radioaktywnych, użyciem broni jądrowej czy awariami elektrowni w Czarnobylu lub Fukushima. Wydaje się zatem niezwykle ważne podejmowanie szeroko zakrojonych badań dotyczących obrazowania narażenia lub braku takiego oddziaływania na ludzi. Wciąż rosnąca świadomość społeczna na temat zagrożeń środowiskowych jeszcze potęguje tę potrzebę. Warto zauważyć, że jeszcze kilkadziesiąt lat temu o ile wiedza na temat szkodliwości dla zdrowia zanieczyszczeń zawartych w wodzie czy glebie była dość

powszechna, to już mało kto rozumiał problemy zanieczyszczenia powietrza aerozolami i wynikające z tego faktu skutki zdrowotne. Obecnie jednym z podstawowych problemów badawczych w inżynierii środowiska jest bilansowanie różnych składników w obiegu biorąc pod uwagę różne komponenty szeroko rozumianego środowiska. Tym zagadnieniem zajął się w ocenianej pracy również doktorant przyjmując jako zanieczyszczenie różne izotopy promieniotwórcze.

Na bazie danych z wielu dziesięcioleci ustalono dość precyzyjnie, że przeciętny mieszkaniec Polski otrzymuje dawkę promieniowania tła wynoszącą ok. 2,5 mSv/rok, natomiast średnia globalna dawka tła wynosi ok. 2,4 mSv/rok. Wiadomo też, że naturalne źródła stanowią ponad 74% efektywnej rocznej dawki promieniowania, wśród nich najważniejszą rolę odgrywa radon wydobywający się spod powierzchni ziemi (ok 41%), a udział promieniowania kosmicznego szacuje się na ok. 8,5%. Na terenie Polski jest prowadzony stały monitoring mocy dawki promieniowania gamma oraz zawartości izotopów promieniotwórczych w środowisku i produktach spożywczych. Państwowa Agencja Atomistyki (PAA) prowadzi zarówno monitoring ogólnokrajowy jak i lokalny. Monitoring ogólnokrajowy pozwala na ocenę sytuacji radiacyjnej na obszarze całego kraju w warunkach normalnych i w sytuacjach zagrożenia radiacyjnego. Z kolei monitoring lokalny pozwala na zebranie danych z terenów, na których prowadzona działalność może powodować lokalne zwiększenie zagrożenia radiacyjnego ludności. Dotyczy to ośrodka jądrowego w Świerku, składowiska odpadów promieniotwórczych w Różanie oraz terenów byłych zakładów wydobywczych i przetwórczych rud uranu. Pomiarów wykonywanych w ramach monitoringu prowadzone są przez stacje pomiarowe, tworzące system wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych, placówki pomiarowe, prowadzące pomiary skażeń promieniotwórczych materiałów środowiskowych i żywności, służby jednostek eksploatujących obiekty jądrowe oraz dozór jądrowy prowadzące monitoring lokalny. Jedną z tych jednostek jest Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej w Warszawie, które jest podstawowym miejscem pracy doktoranta. Korzystając z możliwości uczestniczenia w badaniach monitoringowych sprecyzował jasno temat badań. Jego oryginalność polega głównie na połączeniu kilku źródeł narażenia na promieniowanie jonizujące i próbie oszacowania migracji pierwiastków promieniotwórczych pomiędzy różnymi komponentami środowiska. Choć same wyniki uzyskane w pracy są częścią rutynowych prac monitoringowych to tematu i odpowiedź na kilka oryginalnych pytań badawczych za pomocą skonstruowanego i zaplanowanego schematu, stanowią o oryginalności podjętej pracy. Należy również podkreślić, że w kontekście braku powszechnej wiedzy dotyczącej narażenia na promieniowanie jonizujące

i wartości poznawczej prezentowanych wyników, podjęcie przez doktoranta właśnie tego tematu uważam za celowe i cenne dla rozwoju dyscypliny naukowej inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Co więcej, w świetle rosnących potrzeb coraz szerszego wprowadzania paliw nisko i zeroemisyjnych w szeroko rozumianej produkcji energii, jak również wobec zidentyfikowanych luk w stanie wiedzy w zakresie możliwości nieagresywnego środowiskowo składowania odpadów promieniotwórczych, zasadność podjęcia tematu pracy jest niepodważalna. O oryginalności podjętych badań świadczy nie tylko ocena recenzenta, ale również szeroki przegląd danych literaturowych, który doktorant zamieścił w pierwszej części swojej pracy. Na tej podstawie stwierdzam, że przedmiot rozprawy doktorskiej stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego (przedłożona do oceny praca doktorska spełnia wymagania określone w pkt. 2, art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. Z 2023 r. poz. 742) [P2]). Ponadto przytoczone wprowadzenie do badań własnych i przegląd literatury, wskazujący na biegłość mgr. inż. Karola Wojtkowskiego w literaturze przedmiotu badań jest dowodem, że rozprawa prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka (przedłożona do oceny praca doktorska spełnia wymagania określone w pkt. 1, art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. Z 2023 r. poz. 742) [P1]).

4. Charakterystyka rozprawy doktorskiej i ocena strony technicznej

Praca doktorska mgr. inż. Karola Wojtkowskiego liczy ogółem 193 numerowanych stron i jest podzielona na sześć głównych merytorycznych rozdziałów. Ponadto wyodrębniono w jej strukturze rozdziały nienumerowane – w części przed merytoryczną zawartością są to: streszczenie w języku polskim i angielskim, spis treści oraz wprowadzenie, a po sześciu merytorycznych rozdziałach wyodrębniono spis rysunków i tabel oraz wykaz cytowanej literatury. Mogę w tym miejscu jednoznacznie twierdząco odpowiedzieć, iż przedłożona do oceny praca doktorska spełnia wymagania określone w pkt. 4, art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. Z 2023 r. poz. 742) [P4].

W rozdziale pierwszym ocenianej rozprawy autorstwa mgr. inż. Karola Wojtkowskiego omówiono podstawy teoretyczne dotyczące promieniowania jonizującego i szeroko pojętej ochrony radiologicznej. Scharakteryzowano również obiekty jądrowe w Polsce, które wytypowano jako potencjalne źródła promieniowania jonizującego oraz opisano podstawy zjawisk powodujących przenikanie substancji promieniotwórczych między komponentami

środowiska. Na końcu rozdziału teoretycznego opisano sposoby oceny narażenia na pierwiastki promieniotwórcze w różnych komponentach środowiska w oparciu o pochłaniane dawki promieniowania. W rozdziale drugim opisano cel, tezę i zakres pracy, a w rozdziale trzecim opisano metodykę badań oraz miejsca - obszar badań. Wyniki badań własnych omówiono w rozdziale czwartym i podsumowano je w rozdziale piątym. W rozdziale szóstym wymieniono wnioski z badań.

Oceniając strukturę pracy można podsumować, że odpowiada ona klasycznej konstrukcji rozprawy doktorskiej z nieco rozbudowaną formą części teoretycznej. Układ pracy jest logiczny, a kolejność rozdziałów właściwa. Struktura pracy jest dostosowana do wyznaczonych celów badawczych. Zachowano też odpowiednie proporcje między ilością treści w rozdziałach z opisem podstaw teoretycznych i opisem wyników badań własnych. Niemniej mam kilka uwag krytycznych w tej części oceny strony redakcyjnej dysertacji. Przede wszystkim uważam, że treść pracy, zwłaszcza w części teoretycznej, jest zbyt mocno podzielona na rozdziały. Innymi słowy mam wrażenie, że spis treści jest zbyt szczegółowy. Jako przykłady, w mojej opinii zbyt dużej szczegółowości w podziale treści pracy, mogę podać: rozdział 1.1.5, który obejmuje zaledwie 12 linijek tekstu. Uważam również, że rozdział 6 jest na tyle krótki, że mógłby stanowić z powodzeniem uzupełnienie rozdziału 5.

W pracy można znaleźć bogatą ilustrację graficzną wyników badań. Praca zawiera 37 rysunków i aż 92 tabele. O ile co do tabel nie mam większych uwag to niektóre grafiki mogłyby być bardziej dopracowane, zwłaszcza rysunki produkowane w oprogramowaniu do statystyki.

Spis cytowanej literatury obejmuje ogółem liczbę 224 prac oryginalnych. Doktorant zastosował w spisie literatury jednolity i przejrzysty opis cytowanych pozycji. Wiele z cytowanych prac zostało opublikowanych w ostatnim dziesięcioleciu, co świadczy o tym, że doktorant zapoznał się ze współczesnymi trendami badań w temacie, który podjął. Spis literatury obejmuje zarówno klasyczne podręczniki i monografie oraz sztandarowe publikacje z zakresu poruszanej problematyki jak również bardzo aktualne publikacje i doniesienia dotyczące różnego rodzaju studium przypadków i wybranych problemów w przedmiocie badań. W spisie cytowanej literatury znajduje się tylko 1 pozycja, której współautorem jest doktorant. Tutaj też muszę podkreślić, że z uwagi na przedmiot badań i ich wartość oraz komplementarność pozycji tych mogłoby być zdecydowanie więcej.

Na podkreślenie zasługuje fakt, że cała rozprawa została napisana i zredagowana bardzo starannie. Można zauważyć, że mgr inż. Karol Wojtkowski opanował technikę pisania prac naukowych na bardzo dobrym poziomie. Używa najczęściej prostych i zrozumiałych

konstrukcji i poprawnego języka bez naleciałości żargonowych i zbyt wielu skrótów myślowych czy uproszczeń.

Z ważniejszych uwag o charakterze edytorskim i formalnym wskażę następujące:

1. Zauważyłam pewnego rodzaju niechęć doktoranta do stosowania równań, której najbardziej istotnym przykładem jest dół strony 11. Został tam omówiony sposób oddziaływania cząstek naładowanych w zderzeniach niesprężystych. Następnie pojawia się opis słowny formuły Bethe-Blocha bez jawnego zapisania tego równania na dE/dx . Niniejszy fragment pracy znacząco by zyskał na klarowności, gdyby służył on opisaniu zapisanego wzoru Bethe-Blocha, odnosząc się do oznaczeń w nim użytych. Kolejnym przykładem przemilczenia ważnego elementu jest rozdział 1.1.4.2 w którym omawiane są drabinki energetyczne. Klarowność tego opisu mogła by zostać podwyższona poprzez zamieszczenie schematów rozpadów, na których byłyby również zaznaczone wszystkie omawiane parametry.

2. Rozdział 1.1.2 nie pasuje poziomem do reszty opisów teoretycznych. W ramach przeglądu doktorant omawia tylko cztery rodzaje promieniowania jonizującego ignorując istnienie np. przemian jądrowych w wyniku emisji protonu. Dodatkowo omówienie w tym rozdziale jest nieściśle np. pominięto warunki i energie dotyczące cząstek alfa w których „zasięg promieniowania w powietrzu wynosi około 10 cm”.

3. W całej pracy zidentyfikowałam co najmniej trzy metody zapisu równań, które są wzajemnie niekonsekwentne. Na przykład, w rozdziale 1.4 dominuje zapis, w którym zmienne są pogrubione. Jest to zwyczajowa metoda zapisu wielkości wektorowych, w przypadku, kiedy edytor tekstu nie pozwala na złożenie symbolu wektora powyżej symbolu zmiennej. Dodatkowo w równaniach są one zapisane kursywą. Dalej w tekście tego rozdziału zmienne również są pogrubione, ale tym razem nie są one zapisane kursywą. Z kolei w rozdziale 1.2 zmienne w równaniach nie są pogrubione a zapisane jedynie kursywą.

4. Dość kontrowersyjne jest częściowe dublowanie się informacji zawartych w tabelach 38, 43, 48, 53 i na wykresach (odpowiednio, rys. 12-16; 19-25; 28-31; 34-37). Można było lepiej zaplanować te tabele, tak aby zawierały również wartości kwartyli, lub dostosować wykresy, np. stosując odpowiednie diagramy pudełkowe z adnotacjami o odchyleniu standardowym.

5. W pracy pojawiają się kolokwializmy i pojęcia, które nie mogą funkcjonować w języku naukowym. Przykładowo są to: „stosunkowo wolna”, „stosunkowo ciężka” na stronie 13 czy „płaskie cięcie” na stronie 64.

6. Inne przykłady uchybień o charakterze typowo technicznym:

- „obiekty jądrowe oraz dopuszczalne normy i dawki” – podmiot grupowy wskazany w niniejszym zdaniu nie ma zachowanej spójności,
- punktory na stronie 47 są inne niż w reszcie pracy,
- w większości tabel współrzędne geograficzne są podpisane jako współrzędne WGS84 a w Tab. 8 jako współrzędne GPS,
- w tabeli 16 nie uzgodniona jest liczba cyfr znaczących.

Niezależnie od uwag krytycznych jakie przytoczyłam stwierdzam jednoznacznie, że forma rozprawy jest poprawna, a tym samym spełniono wymagania określone w pkt. 3, art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. Z 2023 r. poz. 742) [P3].

Kolejnym elementem jaki mogę w tym miejscu ocenić to umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez doktoranta [P1]. Sama forma pracy, ale paradoksalnie również pewne ze wskazanych jej niedociągnięć świadczą o pracy samodzielnej doktoranta. Miejsce pracy zawodowej, zainteresowania naukowe i zawodowe doktoranta, przedmiot badań i zakres ocenianej pracy świadczą wybitnie o jego samodzielności. Potwierdzam tym samym jednoznacznie, że oceniana praca spełnia wymagania określone w pkt. 1, art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. Z 2023 r. poz. 742) [P1]). Na bazie informacji jakie doktorant zamieścił w dysertacji, a konkretnie oświadczeniu, że uczestniczył w pobieraniu próbek do badań i ich analizie a także biorąc pod uwagę zakres i formę analizy zebranych danych i ich dyskusji stwierdzam również, że przedmiot rozprawy doktorskiej stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego bazujące na wynikach badań własnych doktoranta (przedłożona do oceny praca doktorska spełnia wymagania określone w pkt. 2, art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. Z 2023 r. poz. 742) [P2]).

5. Ocena merytoryczna pracy

Pan mgr inż. Karol Wojtkowski w swojej rozprawie zatytułowanej: „Ocena narażenia wynikającego ze stanu radiacyjnego środowiska w otoczeniu wybranych obiektów jądrowych w Polsce” jako główny cel postawił sobie przeprowadzenie kompleksowej oceny stanu radiacyjnego w otoczeniu wybranych obiektów jądrowych w Polsce oraz w promieniu około 10 km od tych obiektów. Dotychczasowa literatura wskazuje na brak szczegółowego rozpoznania tematu w tym zakresie, a zwłaszcza brak uwagi poświęconej ocenie narażenia na promieniowanie jonizujące pochodzące od takiego rodzaju obiektów. Celem badania było zrozumienie zagadnienia poprzez analizę obecności pierwiastków promieniotwórczych w wodzie, glebie, roślinności oraz aerozolu w otoczeniu wytypowanych obiektów jądrowych. Badania miały dać również możliwość porównania uzyskanych wyników z ogólnokrajowymi danymi. Praca zakładała, że w obszarach wokół Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różanie oraz Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Świerku komponenty środowiska zawierają podwyższone zawartości izotopów promieniotwórczych.

Zaplanowane analizy obejmowały pobieranie próbek wody, gleby, roślinności oraz aerozoli. Następnie przeprowadzono badania laboratoryjne pobranych próbek w celu określenia zawartości izotopów promieniotwórczych, zarówno naturalnych, jak i antropogenicznych. Wyniki pomiarów pozwoliły na ocenę wielkości dawek promieniowania dla ludności, zarówno w bezpośrednim otoczeniu obiektów jądrowych, jak i w ich znacznym oddaleniu.

Wykazano, że woda z otoczenia KSOP w Różanie wykazuje śladowe ilości aktywności radionuklidów, głównie potasu ^{40}K oraz cezu ^{137}Cs . Średnie stężenie cezu ^{137}Cs w wodzie źródlanej wynosiło $4,2 \text{ mBq/dm}^3$, co było najwyższym stężeniem w badanych próbkach. Natomiast w odległości około 10 km od KSOP w Różanie stężenie cezu ^{137}Cs było poniżej granicy wykrywalności, co sugeruje minimalne oddziaływanie związanego z obiektem badań. W glebie w otoczeniu KSOP w Różanie i obiektów jądrowych w Świerku zaobserwowano obecność cezu ^{137}Cs oraz izotopów naturalnych. Maksymalne stężenie cezu ^{137}Cs w glebie wynosiło $172 \pm 3 \text{ Bq/kg}$ w obszarze KSOP w Różanie i $16,67 \pm 0,46 \text{ Bq/kg}$ w obszarze obiektów jądrowych w Świerku. W roślinności również stwierdzono obecność cezu ^{137}Cs w badanych próbkach, przy czym stężenie było zróżnicowane w zależności od obszaru. Maksymalne stężenie aktywności cezu ^{137}Cs wyniosło $7,06 \pm 0,26 \text{ Bq/kg s.m.}$ W otoczeniu KSOP w Różanie i $16,67 \pm 0,46 \text{ Bq/kg}$ w otoczeniu obiektów jądrowych w Świerku.

Analiza dawki efektywnej od spożywanego mięsa i mleka pokazała, że spożycie produktów pochodzących z obszarów bliskich KSOP w Róźnie i obiektów jądrowych w Świerku niesie ze sobą minimalne dodatkowe ryzyko dla zdrowia, stanowiąc jedynie niewielki procent rocznej dawki granicznej dla osób z ogółu ludności. Niemniej w tym miejscu stwierdzam, że wnioski te byłyby bardziej adekwatne do sytuacji rzeczywistej, jeśli doktorant badałby próbki żywności lokalnej pod względem zawartości promieniotwórczych izotopów a nie analizował tego trendy wyłącznie w oparciu o dane literaturowe.

Ogólnie rzecz biorąc, wyniki badań sugerują, że poziom radioaktywności w badanych obszarach jest kontrolowany i nie stanowi znacznego zagrożenia dla zdrowia publicznego.

Na wstępie recenzji merytorycznej wartości pracy mogę zupełnie ogólnie stwierdzić, że zaplanowany cel pracy został zrealizowany; zakres pracy również. Zastosowano odpowiedni warsztat metodologiczny i poprawnie zinterpretowano wyniki badań własnych.

Jedyna uwaga merytoryczna dotycząca ogólnie zaplanowanych badań to weryfikowanie tezy pracy. Z punktu widzenia logiki jest to błędne, gdyż teza jest zdaniem, które należy udowodnić. Sformułowanie w rozdziale 2 autor pracy sugeruje, iż postawił sobie za zadanie udowodnienie jej.

Przechodząc do szczegółowej oceny krytycznej kolejnych etapów badań własnych doktoranta najpierw skupię się na części metodologicznej. Autor dysertacji prezentuje bardzo szczegółowy opis lokalizacji oraz metod pobierania próbek. Dane są precyzyjnie przedstawione w tabelach, co ułatwia zrozumienie celu badań i ich zakresu. W tekście metodyki odwołano się do obowiązujących przepisów i norm w zakresie badania radionuklidów, co wzmacnia wiarygodność opisanej metodyki i rzetelność uzyskanych wyników. Wymienienie specyficznych dyrektyw i norm jest pomocne w ocenie jakości metodologicznej pracy. Niemniej mam kilka uwag krytycznych do tej części pracy. W pracy nie zaprezentowano dokładnych opisów układów pomiarowych; dane o spektrometrze z rozdziału 3.5 nie pozwalają na kompletne odtworzenie układu doświadczalnego. Dodatkowo, wspomniany na stronie 65 rysunek 6 nie istnieje w pracy. Brak jest przedstawienia poszczególnych etapów zamiany spektrum z detektora HPGe na objętościową aktywność próbki. Dodatkowo opisu stabilizacji termicznej detektora HPGe. W całej metodologii nie wspomniano też o limitach detekcji i limitach oznaczalności.

Jeśli chodzi o tę część pracy to mam też zastrzeżenia co do użytego aparatu matematycznego. Doktorant wskazuje na stronie 65 konieczność wykonania testu U Manna-Whitneya i go w żaden sposób nie opisuje zasadności tego wyboru poza kontrastowaniem z testem t -Studenta. Wybór testu U powinien być opisany i uzasadniony, a ogólne stwierdzenie

„Rozkład uzyskanych wyników badań nie odpowiada kryterium dopasowania do rozkładu normalnego” nie jest podparte żadną argumentacją. Przykładowo, należałoby np. przeprowadzić test Shapiro-Wilka, aby odrzucić hipotezę o normalności danych. Ostanie uwagi do tej części pracy, to przedstawienie danych w formie map, o których właściwie nie wiadomo – konkretnie: ani jaki mają podkład, ani jak zostały wykonane, przy pomocy jakiego oprogramowania. Legenda w większości jest niekompletna (Rys 1., 4, 10, 11, 17, 18, 26, 32, 33) lub nie ma jej w ogóle (Rys. 2, 3, 5, 6).

Dalsze krytyczne uwagi dotyczące merytoryki pracy dotyczą prezentacji i dyskusji wyników. Warto powiedzieć, że samo omówienie wyników i ich prezentacja częściowo mogły znaleźć miejsce w załączniku do pracy (większość tabel z wynikami) bo większość tego rozdziału to wynik raportowania danych a nie analizy danych naukowych. Z uwag krytycznych muszą też zaznaczyć, że dyskusja danych, a zwłaszcza zestawienia aktywności próbek w rozdziale 4.7.1., nie posiada odniesienia do danych zarejestrowanych w Polsce w związku z czym trudno odnieść te wartości do innych rejonów/miejsc/próbek. Tego braku udało się jednak już uniknąć w tab. 84 i 85.

Kończąc merytoryczne uwagi do ocenianej dysertacji chciałabym zwrócić uwagę na konieczność odpowiedzi na trzy podstawowe problemy jakie znalazłam w całym opracowaniu:

1. Odpowiedź na pytanie: w jaki sposób pobierano próbkę powietrza? Za pomocą głowicy z cyklonem, czy tak po prostu? Jaka to była frakcja i dlaczego w Różanie zaobserwowano stężenia we wrześniu rzędu kilku $\mu\text{g}/\text{m}^3$ podczas gdy w Świerku ponad kilkudziesięciu $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
2. Należałoby omówić krok po kroku metodykę analizy spektrum z detektora HPGe, jak był identyfikowany pik, czy był dopasowywany czy tylko sumowany na obszarze FWHM. Proszę omówić geometrię detektora, jego wydajność, parametry triggera i jak miał się czas martwy detektora w porównaniu do obserwowanych aktywności źródła.
3. Proszę omówić procedurę ustalania niepewności pomiarowych. Poczynając od wskazanego na stronie 66 poziomu ufności 68%, dlaczego został taki przyjęty aż po metodykę jak uzyskiwano niepewność, jak np. w Tabeli 51b wynik $510,0 \pm 70,0$ w wyniku wspólnej analizy dwóch pomiarów, jednego o niepewności 26 i drugiego o niepewności 34.

Reasumując, praca doktorska mgr. inż. Karola Wojtkowskiego jest nowatorskim, kompleksowym i solidnym, technicznie poprawnym raportem z badań radionuklidów, z dużą ilością precyzyjnie przedstawionych danych. Zaproponowano w nim nowatorskie podejście

do kontroli narażenia ludności na oddziaływanie promieniotwórczych izotopów z uwzględnieniem ich migracji w różnych komponentach środowiska. Jest propozycją oryginalną i całość wskazuje na poprawność wykonania. Doktorant wykazał się szeroką wiedzą i umiejętnością samodzielnego prowadzenia badań w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Dobrał odpowiednie metody i dokładnie zaplanował każdy z eksperymentów. Zaprezentował również kompleksowe podejście w rozwiązaniu problemu o czym świadczą nie tylko zastosowane techniki instrumentalne, ale także metody teoretyczne.

Podsumowując zatem merytoryczną ocenę pracy stwierdzam, że rozprawa doktorska prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Pana mgr inż. Karola Wojtkowskiego (przedłożona do oceny praca doktorska spełnia wymagania określone w pkt. 1, art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. Z 2023 r. poz. 742) [P1]). Przedmiot rozprawy doktorskiej stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego (przedłożona do oceny praca doktorska spełnia wymagania określone w pkt. 2, art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. Z 2023 r. poz. 742) [P2]).

6. Ocena końcowa i wniosek końcowy

Reasumując stwierdzam, że opiniowana praca wnosi szereg zupełnie nowych aspektów do dyscypliny inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka. Ma niewątpliwie wartość naukową i aplikacyjną. Na forum krajowym jest propozycją unikatową. Merytorycznie jest poprawna i w swojej treści wyczerpuje poruszany problem. Przygotowana jest starannie. Autor dysertacji w toku prowadzenia badań i przygotowania rozprawy wykazał się cechami niezbędnymi do prowadzenia, a w dalszym etapie planowania samodzielnych badań naukowych w dyscyplinie. W toku recenzji wykazałam, że przedłożona do recenzji praca doktorska mgr. inż. Karola Wojtkowskiego zatytułowana: „Ocena narażenia wynikającego ze stanu radiacyjnego środowiska w otoczeniu wybranych obiektów jądrowych w Polsce” spełnia wszystkie wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. Z 2023 r. poz. 742).

Wniosuję zatem do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie pana mgr. inż. Karola Wojtkowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



.....
dr hab. inż. Wioletta Rogula-Kozłowska, prof. uczelni