

Dr hab. Katarzyna Szarłowicz, prof. AGH
Akademia Górniczo-Hutnicza
im. Stanisława Staszica w Krakowie
Wydział Energetyki i Paliw
Al. A. Mickiewicza 30
30-059 Kraków

14.04.2022 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej
Pana mgr Grzegorza Olosia
pt. „Aktywność radiocezu w mięśniach zwierząt łownych pozyskiwanych na
obszarze Anomalii Opolskiej na tle Polski i Europy”**

Podstawą formalną opracowania niniejszej opinii jest pismo Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej, Pana Prof. dr hab. inż. Andrzeja Rusina, z dnia 04.03.2022 r., o powołaniu mnie na recenzenta w przewodzie doktorskim mgr Grzegorza Olosia.

Promotorem pracy jest Pani dr hab. Agnieszka Dołhańczuk-Śródka, prof. UO, a promotorem pomocniczym Pan dr Sławomir Wierzba.

Wstęp

Promieniotwórczość stanowi nieodłączny element środowiska naturalnego. Obecność radionuklidów w środowisku ma dwa źródła pochodzenia: naturalne oraz sztuczne. Szczególną uwagę należy przypisać radionuklidom pochodzenia sztucznego, które do środowiska przedostały się w sposób niekontrolowany. Miało to m. in. miejsce podczas testów jądrowych prowadzonych na ogromną skalę w latach 50/60 ubiegłego stulecia, awarii reaktora jądrowego w Czarnobylu (INES poziom 7) czy w Fukushima (INES poziom 7). Nie należy też zapominać o innych awariach czy wypadkach jądrowych, które miały miejsce na świecie, niemniej jednak ich wpływ na środowisko na terenie Polski był dużo mniejszy w porównaniu do wymienionych wyżej. Bardzo ważnym radionuklidem pochodzenia sztucznego jest radioizotop ^{137}Cs , z uwagi na jego długi okres połowicznego zaniku wynoszący 30,17 lat. Radioizotop ten jest obecny w każdym komponencie środowiska naturalnego, a więc np. w wodach, glebach, osadach dennych, powietrzu, roślinach, grzybach, a z uwagi na łańcuch troficzny wprowadzany do organizmów żywych i kumulowany np. w tkankach mięśniowych.

Pan mgr Grzegorz Ołoś w swojej rozprawie doktorskiej podjął się tematu określenia aktywności ^{137}Cs w mięśniach zwierząt łownych, oceny skutecznej dawki promieniowania gamma dla konsumentów dziczyzny oraz przedstawienia wieloletnich trendów zmian stężenia tego radionuklidu z uwzględnieniem jego migracji w środowisku. Przedstawiona tematyka jest bardzo aktualna i potrzebna z punktu widzenia szeroko rozumianych badań środowiskowych, odnoszących się nie tylko do przedstawienia zawartości toksyn (tudzież ^{137}Cs) w środowisku, ale oceny jego wpływu na organizm człowieka. Co więcej, prezentowana rozprawa oprócz

wyników badań własnych, stanowi również dobre źródło wiedzy podsumowujące badania z zakresu realizowanego tematu na przestrzeni lat.

Ocena struktury rozprawy

Rozprawa doktorska obejmuje 138 stron. Rozpoczyna ją strona tytułowa, dedykacja, spis treści (str. 3-5), objaśnienia pojęć i skrótów (str. 6-8), składa się z 6 rozdziałów (str. 9-96). Na kolejnych stronach umieszczono: podziękowania (str. 97), spis rycin (str. 98-101), spis tabel (str. 102-103), literaturę (str. 104-134), streszczenie (str. 135-136) i summary (str. 137-138). Praca jest dobrze wyważona część teoretyczna (20), w której zawarte są podstawowe informacje dotyczące problematyki tej dysertacji, stoi w dobrej proporcji do części doświadczalnej (64). Bardzo dobrym łącznikiem pomiędzy częścią teoretyczną, a doświadczalną jest cel pracy. Przebieg badań oraz uzyskane wyniki przedstawiono w przejrzysty sposób. Pracę kończą dobrze sformułowane najważniejsze wnioski. Rozprawa napisana jest starannie i poprawnie pod względem językowym, rozdziały ułożone są w logiczny sposób co sprawia, że jej czytelność jest dobra.

Merytoryczna ocena rozprawy wraz z uwagami i zagadnieniami do dyskusji

Rozdział 1 Wstęp – Pan mgr Grzegorz Ołoś krótko opisuje radioizotopy cezu i źródła ich pochodzenia. Dokładnie opisuje szkodliwość ^{137}Cs z uwzględnieniem dawki wchłoniętej i uszkodzenia komórek, skażenie radiacyjne Polski z uwagi na radioizotop ^{137}Cs i jego obieg w środowisku. Następnie przedstawia charakterystykę aktywności ^{137}Cs w tkankach mięśniowych zwierząt łownych w Polsce i w Europie. Na koniec podkreśla istotę czasu ekspozycji na efekty działania tego radionuklidu.

Cały rozdział tworzy zwarty układ, stanowiący wystarczająco dobrze przygotowaną bazę teoretyczną do informacji zawartych w części doświadczalnej. Niedosyt spowodowany jest zbyt wąskim opisem niektórych zagadnień. We „Wstępie” prezentuje się informacje ogólne odnośnie danej tematyki, wprowadzające czytelnika w temat. Natomiast pierwszy rozdział powinien dotyczyć promieniotwórczości w środowisku lub tylko promieniotwórczości sztucznej. Ogólnie w całej części teoretycznej są zawarte najbardziej istotne informacje, nie mniej jednak pewne zagadnienia można było rozwinąć, np. omówić dokładniej źródła obecności radionuklidu ^{137}Cs w środowisku, a nie tylko zasygnalizować, że były też inne. Przy charakterystyce radioizotopów warto było przedstawić grafiki obrazujące schematy rozpadu (^{137}Cs i ^{134}Cs). Wszystkie te działania jeszcze bardziej wzbogaciłyby tę część opracowania.

Na str. 9 Doktorant pisze, że: „*Izotop ^{134}Cs , posiadający o jeden neutron więcej niż stabilny izotop charakteryzuje się fizycznym okresem połowicznego rozpadu $T_{1/2\text{fz}}$ równym w przybliżeniu dwóm latom i powstaje w niewielkich ilościach jako produkt kontrolowanej fuzji oraz w reakcji niekontrolowanego spalania paliwa jądrowego w trakcie awarii w elektrowniach atomowych.....*” - radioizotop ^{134}Cs nie jest produktem fuzji. Co Doktorant rozumie pod sformułowaniem „niekontrolowanego spalania paliwa jądrowego”?

Rozdział 2 Cel pracy – Celem pracy było oznaczenie aktywności ^{137}Cs w tkankach mięśniowych trzech gatunków zwierząt łownych bytujących na obszarze Anomalii Opolskiej: sarny europejskiej (*Capreolus capreolus*), jelenia szlachetnego (*Cervus elaphus*) oraz dzika euroazjatyckiego (*Sus scrofa*). Podjęto również próbę określenia skutecznej dawki

promieniowania gamma dla konsumentów lokalnej dziczyzny oraz określenia stopnia migracji ^{137}Cs z gleby do badanych gatunków zwierząt łownych. Ponadto, celem określenia wieloletnich trendów zmian aktywności ^{137}Cs obliczono wartości efektywnego i środowiskowego czasu połowicznego zaniku (odpowiednio, $T_{1/2\text{ef}}$, oraz $T_{1/2\text{środ}}$) dla badanych gatunków z obszaru Anomalii Opolskiej oraz pozostałych regionów Polski. Dokonano przeglądu obecnego stanu wiedzy w zakresie obliczania wzmiankowanych czasów. Z uwagi na ograniczenia modelu jedno-fazowego (SFO), podjęto również próbę opisu kinetyki zmian aktywności ^{137}Cs wykorzystując programy uwzględniające dwu-fazową kinetykę zaniku substancji antropogenicznych w środowisku.

Zasadniczo cel pracy jest sformułowany poprawnie i logicznie. Doktorant przedstawił cele główne jak i szczegółowe. Uważam jednak, że pierwsze zdanie w tym rozdziale, *"W świetle omawianej literatury wylania się przestrzeń jak dotąd nieopisana..."* powinno brzmieć inaczej gdyż nie jest to odpowiednia forma wyrażania swoich myśli naukowych w tego typu opracowaniach.

Doktorant nie uwzględnił w celach pracy, określenia zawartości stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w glebie na obszarze anomalnym. Skoro wyszczególnił obliczenie współczynnika transferu ^{137}Cs gleba-gatunki łowne, a później w metodyce opisuje, że samodzielnie pobrał próbki do badań, powinno być to również w tym rozdziale ujęte.

Rozdział 3 Materiały i metody – Pan mgr Grzegorz Ołoś przedstawia charakterystykę obszaru Anomalii Opolskiej, opisuje w jaki sposób pozyskał próbki tkanek mięśniowych do badań, bardzo krótko przedstawia metodykę pobierania gleby, opisuje metodę pomiarów gamma spektrometrycznych. Następnie przedstawia kryteria wyboru danych literaturowych wykorzystywanych na potrzeby realizacji pracy, wyjaśnia w jaki sposób dokonał opracowania statystycznego wyników i obliczał dawkę skuteczną oraz połowiczny czas zaniku środowiskowy i efektywny. Na koniec przedstawia narzędzia służące modelowaniu kinetyki zmian stężeń pestycydów w środowisku.

Cały rozdział został dobrze zaplanowany, ogólnie przedstawiono czynności, które na danym etapie pracy były wykonywane lub opisano narzędzia, którymi Doktorant posługiwał się czy to w trakcie pomiarów czy przy obróbce wyników. Brak jednak kilku ważnych istotnych informacji na etapie przygotowania prób do badań.

W rozdziale 3.1 Doktorant informuje, że w pracy przeanalizował materiał badawczy np. glebę leśną z rozróżnieniem poziomów genetycznych tj. O i A pobraną z obszaru Anomalii Opolskiej. Już na tym etapie powinno być wyjaśnione co to są za poziomy, później Doktorant powołuje się znowu w rozdziale 3.5 na wspomniane poziomy, ale dalej nie tłumaczy. Kontynuując, rozdział 3.5 powinien być zatytułowany jako „Pobieranie próbek gleby”, a nie „pozyskanie”. W rozdziale tym brak nazwy próbnika oraz jego wymiarów. W rozdziale 3.4 Doktorant opisuje analizę tkanek mięśniowych zwierząt łownych. Doktorant pisze: *„Oczyszczone ze ścięgien i tkanki tłuszczowej, świeże próbki tkanki mięśniowej, o wadze 30 – 150 g, rozdrobniono mechanicznie i zawieszono w neutralnym promieniotwórczo medium w pojemnikach typu Marinelli ($V = 450 \text{ cm}^3$)”*. Liczę, że podczas obrony dokładnie zostanie to wytłumaczone, bo obecny zapis nie jest zrozumiały. Dodanie do tych rozdziałów zdjęć, choćby tylko z pobierania czy przygotowania prób do analiz znacznie ułatwiłoby odbiór tekstu i nie

stwarzałyby dodatkowych pytań. Warto byłoby też wydzielić część pomiarową od części opisu przygotowania prób do pomiaru.

Rozdział 4 Wyniki – W tej części Doktorant przedstawia wyniki aktywności promieniotwórczej badanych materiałów, współczynniki transferu ^{137}Cs z gleby do zwierząt łownych oraz wartości skutecznej dawki wchłoniętej przez osoby konsumujące dziczyznę. Wyniki są przedstawione w formie tabel w sposób czytelny i zrozumiały. Po czym Pan mgr Grzegorz Ołoś tłumaczy koncepcję obliczania czasów połowicznego zaniku w jego opracowaniu. W oparciu o dobrze dobraną literaturę wyjaśnia terminologię stosowanych pojęć i krok po kroku w jaki sposób można obliczać efektywny połowiczny czas zaniku oraz środowiskowy czas zaniku radionuklidu. Sam tekst nie budzi zastrzeżeń merytorycznych. Jednakże problematycznym jest opis zmiennych we wzorze 9. Powszechnie przyjętym jest, że N jest to liczba jąder i cały opis dotyczący wyprowadzania wzoru na $T_{1/2\text{ef}}$ powinien być oparty o zmianę liczby jąder. A więc:

N – liczba jąder po czasie t

N_0 – początkowa liczba jąder

Poza tym należy zwrócić uwagę, że Doktorant na stronie 41 podaje gotowe wzory, według których dokonywał obliczeń, a na stronie 51 w rozdziale wyniki przedstawia wyprowadzenie owych wzorów i ostatecznym wzorom przypisuje numeracje z wcześniejszego rozdziału. Takie przedstawienie w mojej opinii utrudnia odbiór i wprowadza zamieszanie.

Następnie Doktorant przedstawia koncepcję alternatywną obliczania czasów połowicznego zaniku bazując na dostępnej literaturze naukowej. Na podkreślenie zasługuje fakt podsumowania (Ryc. 4), gdzie to w formie schematu zaprezentowano działania mające na celu wyznaczenie czasów $T_{1/2\text{biol}}$ i $T_{1/2\text{ef}}$ w ramach koncepcji alternatywnej i przyjętej w rozprawie doktorskiej. Doktorant wyjaśnia ograniczenia zastosowanej w pracy koncepcji obliczania czasów połowicznego zaniku w oparciu o modele kinetyki pierwszego rzędu i przedstawia obliczenia $T_{1/2\text{ef}}$ i $T_{1/2\text{srod}}$ dla analizowanych gatunków łownych, uzyskane w pracy wyniki oraz dane z analizy statystycznej. Na koniec prezentuje zastosowanie programów służących modelowaniu kinetyki zmian stężeń pestycydów w glebie do określania kinetyki zmian aktywności ^{137}Cs w tkankach mięsniowych.

Rozdział 5 Dyskusja – W tym rozdziale Doktorant omawia wyniki aktywności ^{137}Cs w tkankach mięsniowych dzika euroazjatyckiego, sarny europejskiej i jelenia szlachetnego z uwzględnieniem współczynnika transferu T_{ag} oraz C_r . Analizuje wartość wielkości dawki skutecznej w kontekście spożywania dziczyzny. Pan mgr Grzegorz Ołoś interpretuje problem obliczania czasów $T_{1/2\text{ef}}$ i $T_{1/2\text{srod}}$. Po czym przeprowadza dyskusję w zakresie zmian aktywności ^{137}Cs dla trzech badanych gatunków łownych. Zwraca uwagę, że wchłanianie tego radionuklidu ze środowiska do organizmów badanych zwierząt jest zmienny w czasie i przestrzeni.

Ta część zawiera autorskie podsumowanie całokształtu uzyskanych wyników jak również powiązanie własnych danych z wynikami badań prowadzonych przez innych naukowców. Można uznać, że sposób przeprowadzenia dyskusji i umiejętność powiązania faktów świadczy o dojrzałości naukowej Doktoranta.

Dyskusyjnym i problematycznym zagadnieniem jest próba wyjaśnienia wartości $T_{1/2\text{ef}} = 711$ lat (dla populacji dzika z całej Polski), czy problemu wtórnego skażenia niektórych

elementów środowiska. Czy wartość przedstawiona w tabeli 14, jest poprawnie obliczona i czy obliczeń dokonano na podstawie tabeli 13? Jeśli tak, czy aby na pewno wartość ta ma jakiegokolwiek znaczenie w obliczu fizycznego czasu połowicznego zaniku radioizotopu ^{137}Cs ? Czy Doktorant zastanawiał się nad prawdopodobieństwem wystąpienia zdarzeń, które miałyby ewentualny wpływ na zwiększenie biodostępności ^{137}Cs ? Wskazówką dla Doktoranta do analizy tego problemu jak i w odniesieniu do przyszłych badań mogą być analizy mineralogiczne gleb i literatura przedmiotu w zakresie warunków sorpcji/desorpcji ^{137}Cs .

Rozdział 6 Wnioski – W tym rozdziale Doktorant przedstawia wnioski na podstawie całokształtu wykonanych badań i przeprowadzonej dyskusji wyników. Moim zdaniem zaprezentowane wnioski należy uznać za słuszne.

Literatura – ta część zawiera 264 pozycje, w większości są to artykuły naukowe o międzynarodowym zasięgu. Każdą z przytoczonej propozycji uważam za potrzebną i wnoszącą istotny wkład w opracowanie całego doktoratu. Dobór literatury świadczy o łatwości posługiwania się dostępnymi bazami danych literaturowych, a także pozwala twierdzić, że Doktorant bardzo dobrze orientuje się w tematyce badawczej. Na podkreślenie zasługuje fakt, że część wyników już zostało opublikowano w czasopiśmie z tzw. listy filadelfijskiej, co można było zauważyć analizując odnośniki literaturowe.

Usterki i pozostałe zagadnienia do dyskusji

W numeracji rozdziałów i podrozdziałów Doktorant stosuje tylko jeden poziom numerowania np. 1.1, natomiast w danym rozdziale przedstawia kolejne zagadnienia i zapisuje je w formie tytułu stosując czcionkę pogrubioną. Dlaczego Doktorant przyjął taką formę zapisu? W opracowaniach naukowych czy artykułach dopuszczalne jest zwyczajowo trzy poziomy numerowania rozdziałów. Taki zapis znacznie zmniejszył spis treści i utrudnia interpretację zawartości pracy. Pogrubione zagadnienia przedstawiają ogromną wartość merytoryczną i w mojej opinii powinny być zawarte w spisie treści.

Niektóre usterki/niedopatrzania językowe przedstawiam poniżej:

Str. 11 – literówka: takcie powinno być w trakcie

Str. 19 – stosowany zapis: w wybranych „gorących miejscach” – w mojej opinii taki zapis jest raczej niespotykany, w naukach o promieniotwórczości mówi się o „gorących cząstkach”, także w odniesieniu do tekstu należałoby inaczej opisać zagadnienie

Str. 37 – w trakcie ekstrakcji danych literaturowych powinno być przeglądu czy selekcji

Str. 40 – wzór 3 w jakich jednostkach wyrażono A (aktywność)?

Str. 40 – błąd zapisu we wzorze 5 powinno być ^{137}Cs

Str. 44 – Doktorant pisze, że w tabeli 6 prezentuje wyniki na podstawie własnych pomiarów i zebranych w latach 2012-2017, a cytuje Rachubik 2008

Str. 47 – literówka: złożeń powinno być założeń

Str. 57 – nieprawidłowy zapis jednostki – opis osi y powinno być $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$

Str. 60 – opis osi y na ryc.8: jest 1,00; 10,00 a powinno być 1; 10 itd.

Str. 64 – literówka: wzniki, a powinno być wyniki

Str. 77 – mieściły się w zakresie od 0,007 – 0,008.... a powinno być w zakresie od...do...

Str.80 – FSO powinno być SFO

Str. 92 – radionuklid nie znika – radionuklid ulega rozpadowi

Doktorant zamiennie używa sformułowania elektrownia atomowa i elektrownia jądrowa powinno być elektrownia jądrowa.

Zamiast aktywność właściwa gleby powinno być stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs , aktywność promieniotwórcza ^{137}Cs , aktywność ^{137}Cs , ewentualnie radioaktywność ^{137}Cs

Doktorant pisze: „*Problem uwalniania ^{137}Cs do środowiska jest nieunikniony, bo nawet nowoczesne elektrownie jądrowe zawsze będą podatne na czynnik ludzki (w tym terroryzm) oraz zdarzenia środowiskowe niemożliwe do przewidzenia*” – zbyt ostre sformułowanie, raczej nie powinno mieć miejsca w tego typu opracowaniu naukowym. W mojej opinii to zdanie jest dwuznaczne.

Czy aktywność powierzchniowa była wyznaczana tylko na podstawie pomiarów na miejscu pobrania gleby? Czy podjęto próbę wykonania obliczeń bazując na uzyskanej wartości stężenia promieniotwórczego ^{137}Cs w glebie?

Wymienione wyżej uwagi czy spostrzeżenia nie obniżają mojej pozytywnej oceny opiniowanej rozprawy doktorskiej.

Podsumowanie oceny

Doktorant podjął się realizacji ważnej i aktualnej tematyki będącej w zakresie dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka, a odnoszącej się w szczególności do zagadnień: monitoringu środowiska, radioekologii czy kwestii związanych z ochroną radiologiczną. Cel pracy został zrealizowany, a uzyskane wyniki badań zinterpretowane i podsumowane w formie wniosków.

Podsumowując stwierdzam, że zaproponowana metodyka pomiarów gamma spektrometrycznych wraz z metodami statystycznymi oraz zastosowanymi programami służącymi modelowaniu kinetyki zmian stężeń/aktywności ^{137}Cs stanowi doskonałe narzędzie do interpretacji poziomu zmian radionuklidu ^{137}Cs w środowisku, jego migracji czy zachowania się oraz przebywania w organizmie. Całością przedstawionych badań stanowi element nowości naukowej i przyczynia się do rozwoju dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka. W szczególności w odniesieniu do:

- usystematyzowania terminologii w zakresie określania czasu połowicznego zaniku (efektywnego, środowiskowego, biologicznego) wraz z określeniem schematu postępowania przy obliczaniu ich wartości;
- zastosowania programów naukowych dedykowanych do prognozowania stężeń pestycydów w aspekcie określenia kinetyki zmian aktywności ^{137}Cs w tkankach mięśniowych zwierząt łownych;
- określenia aktywności promieniotwórczej ^{137}Cs w tkankach mięśniowych zwierząt łownych z obszaru Anomalii Opolskiej;
- oszacowania skutecznej dawki wchłoniętej dla konsumentów dziczyzny z badanego rejonu;

- podkreślenia ważności zagadnienia prowadzenia monitoringu radiologicznego i wskazania kolejnego powodu jego realizacji w obliczu kontynuowania prac badawczych zaproponowanych w niniejszej rozprawie.

Wniosek końcowy

Stwierdzam, że praca doktorska mgr Grzegorza Olosia spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim, a więc stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, a kandydat wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka oraz umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Wnoszę, zatem o przyjęcie rozprawy doktorskiej przez Radę Dyscypliny Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka Politechniki Śląskiej i dopuszczenie Pana mgr Grzegorza Olosia do publicznej obrony.

Katarzyna Szwed