



Dr hab. Kamil Brudecki

Kraków, 20.05.2022

Zakład Spektrometrii Mas

Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego

Polskiej Akademii Nauk

Kamil.Brudecki@ifj.edu.pl

Tel: +48 12 662 8152

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Patrycji Dyrz pt:

Radiological characterization of low- and intermediate level (LL/IL) radioactive waste

1. Wstęp

Pani Patrycja Dyrz w swej rozprawie doktorskiej podejmuje ważną tematykę utylizacji aktywowanych elementów wysokoenergetycznych akceleratorów badawczych. Głównym celem rozprawy było opracowanie nowego procesu charakteryzowania odpadów promieniotwórczych o niskim i średnim poziomie na potrzeby Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych (CERN). W pracy skupiono się przede wszystkim na charakterystyce radiologicznej odpadów metalicznych. Prowadzone prace badawcze łączyły ze sobą symulacje komputerowe z danymi eksperymentalnymi. **Szczególnie należy podkreślić że opracowana przez Panią Patrycję Dyrz metoda znalazła zastosowanie w praktyce i została wdrożona do użycia przez Francuską Agencję Gospodarki Odpadami Promieniotwórczymi (ANDRA). Instytucja ta jest światowej klasy liderem w gospodarce odpadami promieniotwórczymi. Ponadto wyniki badań omawianej rozprawy doktorskiej zostały przynajmniej częściowo opublikowane w *Applied Radiation and Isotopes*, czasopiśmie o ugruntowanej renomie, znajdującej się na liście ministerialnej.**



2. Ocena ogólna

Cel rozprawy doktorskiej jest zdefiniowany jasno i klarownie. Praca zawiera w sobie informacje teoretyczne konieczne do jej właściwego zrozumienia. Prowadzone prace badawcze są szerokie, począwszy od pobierania próbek, poprzez obliczenia analityczne i spektrometrię promieniowania gamma a skończywszy na analizach statystycznych. Generalnie zastosowana metodologia nie budzi żadnych wątpliwości i jest właściwa do ambitnego celu rozprawy.

Pod względem edytorskim rozprawa ma standardowy układ, składa się ze streszczenia w języku polskim i angielskim, podziękowań, wprowadzenia, 5 rozdziałów, podsumowania, oraz spisu literatury. Ponadto praca zawiera wykaz używanych skrótów, tabel, figur oraz symboli jak również aneks. Całość zawiera się na 175 stronach. Rozprawa jest napisana dobrą i czytelną angielszczyzną. Wzory oraz rysunki są czytelne, dobrej jakości oraz właściwie opisane. Praca jest napisana starannie, choć zdarzają się drobne błędy. **Ogólnie dobre wrażenie pracy całkowicie burzy zastosowanie niekonwencjonalnego albo wręcz nieprzemyślanego spisu literatury liczącego 123 pozycje. Wydaje się że autorka chciała zastosować system numeryczny jednak pierwszy odnośnik do literatury pojawia się w tekście pracy z numerem 87. Sam spis literatury również jest mieszanką różnych stylów. Kolejnym mankamentem pracy rzucającym się w oczy jest tytuł rozprawy, który moim zdaniem jest niepełny. Należało w nim zwrócić uwagę, że opisywana metoda powstała z myślą o jej zastosowaniu przede wszystkim w Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych (CERN).**

3. Ocena merytoryczna

Rozdział pierwszy zawiera krótką charakterystykę Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych (CERN) ze szczególnym uwzględnieniem używanych tam w celach naukowych akceleratorów. Ponadto rozdział ten zawiera opis uzyskiwanej wiązki, cząstek oraz wprowadza matematyczny opis procesów aktywacji. **W rozdziale tym brakuje moim zdaniem przedstawienia przykładowych reakcji jądrowych prowadzących do powstawania odpadów promieniotwórczych o których mowa w dalszych częściach pracy.**

Rozdział drugi opisuje proces charakteryzacji oraz limity dla poszczególnych klas odpadów promieniotwórczych zgodnie z wytycznymi Międzynarodowej Agencji Energii



Atomowej. Co więcej w rozdziale można znaleźć krótki opis tymczasowego składowiska odpadów radioaktywnych CERN.

W rozdziale trzecim Doktorantka opisuje zastosowaną metodologię z podziałem na metody analityczne oraz eksperymentalne. Przeprowadzone symulacje komputerowe wymagały opanowania kodu FLUKA oraz ActiWiz. **Opis części eksperymentalnej jest bardzo bogaty i stanowi pełne i wyczerpujące kompendium wiedzy o spektrometrii gamma, co świadczy o bardzo dobrym przygotowaniu Doktorantki w tym zakresie.**

Rozdział czwarty i piąty stanowią zasadniczą część rozprawy. W rozdziale czwartym opracowano nowatorską metodę procesu charakteryzowania odpadów promieniotwórczych o niskim i średnim poziomie, natomiast w rozdziale 5 dokonano jej walidacji z wykorzystaniem spektrometrii promieniowania gamma. Pierwszym krokiem było opracowanie listy potencjalnych produktów aktywacji. Aby ją uzyskać przeprowadzono serię obliczeń aktywacyjnych za pomocą narzędzia analitycznego ActiWiz. Pozwalało to na szybkie i dokładne oszacowanie szybkości wytwarzania radionuklidów oraz porównanie kilkuset różnych scenariuszy aktywacji. Obliczenia przeprowadzono dla odpadów stalowych, które stanowią główną część odpadów składowanych tymczasowo w CERN. Sumarycznie przeprowadzono symulację dla 525 scenariuszy aktywacji. Otrzymana lista produktów aktywacji, emitujących promieniowanie gamma została skonfrontowana z pomiarami spektrometrycznymi imponującej objętości ponad 2000 m³ odpadów metalicznych. Ich eliminacja odbywała się w ramach dwóch projektów SHERPA oraz MAST. Pomiary spektrometrii gamma potwierdziły poprawność przeprowadzonych symulacji i wykorzystanych do nich założeń i obliczeń. W tej fazie badań doktorantka z sukcesem musiała stawić czoła takim problemom jak: samo pochłanianie i niejednorodny rozkład aktywności w masywnych i wielkogabarytowych odpadach, stosunkowo wysokiej mocy dawki stanowiące pewne ryzyko dla operatora wykonującego pomiary czy opracowanie właściwej geometrii pomiaru dla spektrometrii gamma.

Powyzsze badania finalnie doprowadzily do opracowania metody charakterystyki radiologicznej odpadów promieniotwórczych a następnie jej zastosowania do klasyfikacji 2,7 m³ odpadów promieniotwórczych planowanych do wyeliminowania w ramach projektu MAST. Szacunkowa aktywność wyniosła 5500 Bq/g.



4. Podsumowanie

Podsumowując, recenzowana rozprawa mgr Patrycji Dyrzcz pod tytułem „Radiological characterization of low- and intermediate level (LL/IL) radioactive waste ” stanowi kompleksowy i rzetelny sposób realizacji celu rozprawy, co potwierdza, że Autorka posiada pełne umiejętności samodzielnego wykonywania pracy naukowej i spełnia wymogi stawiane rozprawom doktorskim. Autorka w sposób prawidłowy dokonała wyboru metod badawczych i analitycznych. Uwagi krytyczne nie wpływają na moją generalnie wysoką ocenę recenzowanej pracy. Doktorantka zrealizowała w pełni postawione przed nią zadanie. Opracowana przez nią metoda znalazła zastosowanie w praktyce i została wdrożona do użycia przez Francuską Agencję Gospodarki Odpadami Promieniotwórczymi.

Należy również zwrócić uwagę na fakt, że badania były prowadzone we współpracy międzynarodowej, a znaczna część badań była wykonana w Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych (CERN). Ponadto wyniki badań wchodzących w skład pracy doktorskiej przynajmniej częściowo zostały opublikowane w renomowanym czasopiśmie naukowym z listy ministerialnej (*Applied Radiation and Isotopes*).

Wobec powyższych faktów mogę z pełnym przekonaniem stwierdzić, że przedstawiona mi do recenzji praca spełnia warunki określone w *Ustawa z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2018 poz. 1668)*. Wnioskuje więc o dopuszczenie tej rozprawy przez Radę Naukową Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Świerku do dalszych etapów postępowania związanego z nadaniem mgr Patrycji Dyrzcz stopnia doktora nauk fizycznych.