



Kraków, 17. 08. 2025

Prof. dr hab. Jerzy W. Mielicki
Zakład Fizykochemii Jądrowej IFJ PAN
jerzy.mielicki@ifj.edu.pl
+126628392

Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr Marcina Kaczora pt. Izotopy polonu ^{210}Po i radioołowiu ^{210}Pb w rybach bałtyckich i słodkowodnych, mięczakach oraz wybranych produktach rybnych w Polsce

Polon, pierwiastek chemiczny noszący w swej nazwie wprost odniesienie do Polski, nieistniejącej jako państwo w chwili jego odkrycia przez Marię Skłodowska –Curie, ma szczególną pozycję wśród pierwiastków chemicznych dla wielu polskich badaczy. Niestety, pierwiastek ten okazał się być przede wszystkim substancją o wysokiej radiotoksyczności. W naturze występuje kilka jego izotopów z czego najdłuższym czasem połowicznego zaniku (138 dni) charakteryzuje się ^{210}Po . Powszechność wiedzy w opinii społecznej o toksyczność ^{210}Po pojawiła się jako pokłosie śmiertelnego otrucia nim rosyjskiego agenta służb specjalnych Aleksandra Litwinienki. Środowiska naukowe zwracały uwagę na ten nuklid w aspekcie jego radiotoksyczności już wcześniej, w odniesieniu do naturalnych produktów spożywczych (jak grzyby, dziczyzna) lub używek (np. tytoń). Pozyskiwane z natury wszystkie produkty spożywcze niosą ze sobą ryzyko ekspozycji konsumenta na ten nuklid. Recenzowana tu praca doktorska poświęcona jest właśnie temu aspektowi radiotoksycznemu (czy też dozymetrycznemu) ekspozycji na ^{210}Po znajdujący się w produktach spożywczych pochodzących ze środowiska wodnego, zarówno wód słonych jak i słodkich. Rabunkowa w skali globu eksploatacja tych zasobów, mająca już od lat formę działalności masowej i przemysłowej doprowadziła do tzw. przełowienia a więc zjawiska praktycznego wytępienia wielu gatunków powszechnie kiedyś występujących w określonych siedliskach. W przestrzeni społecznej ciągle propaguje się produkty spożywcze pochodzące z natury, przede wszystkim z mórz i oceanów jak produkty zdrowe i pożądane do spożycia, co sprzyja dalszemu rujnowaniu tych ekosystemów. Zwracanie uwagi na nawet śladową toksyczność tych produktów może służyć przyszłemu ograniczeniu antropopresji na te elementy ekosystemu Ziemi, co jest w mojej ocenie ze wszech miar pożądanym działaniem. Tym samym podjęcie takiego kierunku badań uważam za cenne.

Naturalnym uzupełnieniem tego badania jest problem zawartości, obok wspomnianego izotopu polonu, również jego nuklidu macierzystego, a więc ^{210}Pb . Nuklid ten, o czasie połowicznego zaniku 22,3 lat, a więc znacznie dłuższym od czasu połowicznego zaniku ^{210}Po , podtrzymuje aktywność izotopu polonu w badanym materiale, natomiast z racji ich znacząco różnych właściwości biochemicznych trudno o równowagę promieniotwórczą między nimi zarówno w organizmach jak i w środowisku. W łańcuchu rozpadów prowadzących od ^{210}Pb do ^{210}Po jest jeszcze pomiędzy nimi trzeci radionuklid: ^{210}Bi o krótkim, pięciodniowym czasie połowicznego zaniku. Spośród tych trzech nuklidów najbardziej radiotoksyczny jest izotop polonu (^{210}Po), gdyż jest jedynym tu emitentem promieniowania alfa. Pozostałe dwa radionuklidy rozpadają się poprzez rozpady beta minus, przy czym izotop bizmutu ma znacznie wyższą maksymalną energię cząstek beta a izotop ołowiu emituje też kwanty gamma o energii 46,5 keV.



INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
im. Henryka Niewodniczańskiego
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

Praca powstała w renomowanym zespole w Pracowni Analityki i Radiochemii Środowiska, w Katedrze Chemii i Radiochemii Środowiska Wydziału Chemii Uniwersytetu Gdańskiego. Promotorem jest Pani dr hab. Alicja Boryło, prof. UG, będąca niekwestionowanym ekspertem w tego typu badaniach.

Dwa lata temu recenzowałem pierwszą wersję pracy i zarekomendowałem jej poprawę. Obecna wersja wolna jest już od przedmiotu mojego zasadniczego zarzutu jakim były rażące mnie błędy w opisie taksonomii badanych gatunków.

Praca napisana jest w języku polski, dobrze się ją czyta. Ma klasyczną dla dysertacji doktorskich formę monografii. Treść podzielona jest na 7 zasadniczych rozdziałów i przedstawiona jest na 151 stronach. Dodatkowy, ósmy rozdział zawiera dane o dorobku naukowym Doktoranta. Pierwsze trzy rozdziały tworzą „Część pierwszą, przeglądową pracy” a drugie cztery „Część drugą, eksperymentalną pracy”. Całość wieńczy spis literatury zawierający 204 pozycji, co stanowi znaczący bo blisko pięćdziesięcioprocentowy wzrost względem wersji pierwszej doktoratu.

W rozdział pierwszy Autor charakteryzuje polon i ołów począwszy od odkryć tych pierwiastków, ich toksyczności i radiotoksyczności oraz przedstawiając ich właściwości fizykochemiczne oraz zastosowania. Scharakteryzowane są podstawowe związki chemiczne, w jakich ołów i polon występują.

Rozdział drugi ogniskuje się na już tylko środowisku wodnym i cechach polonu oraz ołowiu specyficznie dla tych środowisk. Omówiona jest specyfika dla wód słonych, słodkich i podziemnych. Przedstawione są źródła pochodzenia ^{210}Po i ^{210}Pb w wodach różnego typu. Rozróżniono źródła naturalne i antropogeniczne.

W rozdziale trzecim omówiono obecność obu przedmiotowych radionuklidów już tylko w wyselekcjonowanych, zbadanych w pracy organizmach.

Część eksperymentalną pracy rozpoczyna rozdział czwarty, poświęcony opisowi przedmiotu badań oraz metodyce. Omówiono metodykę analizy radiochemicznej ^{210}Po i technikę pomiaru ^{210}Pb poprzez analizę odroczonej (czy też opóźnionej) ^{210}Po narosłego z ^{210}Pb po okresie ponad półrocznym od pierwszej analizy polonu. W obu przypadkach pomiar odbywa się poprzez analizę widm cząstek alfa w wykorzystaniu spektrometrii alfa, metodą izotopowego znacznika wewnętrznego jakim jest ^{209}Po .

W rozdziale piątym przedstawiono uzyskane wyniki analiz. Rozdział ten stanowi zasadniczą część pracy, obejmuje bowiem 49 stron tekstu wraz z licznymi tabelami i wykresami.

Po nim następują krótkie, bo kilkustronicowe rozdziały szósty i siódmy, zawierające odpowiednio wnioski i podsumowanie badań.

Jak już wspomniano, ostatni ósmy rozdział stanowi rodzaj dodatku gdyż zawiera opis dotychczasowego dorobku naukowego Doktoranta.

Celem pracy było rozpoznanie stężeń ^{210}Po i ^{210}Pb w produktach żywnościowych pochodzących ze środowisk wodnych (ryby, mięczaki itp.) oraz określenie obciążenia radiacyjnego z tym związanego dla mieszkańców Polski. Zbadano również, jak szczegółowy, zastosowany dla danego rodzaju próbki proces przetwórczy wpływa na zawartość w/w radionuklidów. W rozdziale poświęconym wnioskowi Autor formułuje enumeratywnie dziewięć wniosków jakie w jego ocenie przyniosły zrealizowane badania. Pierwsze trzy wnioski dotyczą obserwacji gdzie odnotowano największe i najmniejsze stężenia radionuklidów. Największe stężenia sięgają poziomu 40 Bq/kg (przetworzone sardynki). Prowadzi to do dawek równych ułamkowi mikrosiwerta na rok, a więc dawek wiążących się ze znikomym ryzykiem. Stwierdzono istotne statystycznie różnice stężeń badanych radionuklidów dla tylko wybranych różnych grup produktów ze względu na rodzaj procesu



ich przetwórstwa. W podsumowaniu pracy zwrócono słusznie uwagę na jej znaczącą pracochłonność – wymagała dwukrotnej analizy radiochemicznej kilkuset analizowanych łącznie próbek. Mając osobiste doświadczenie z pracami laboratoryjnym tego rodzaju w pełni podzielam pogląd o szczególnej pracochłonności zaprezentowanych w dysertacji analiz i doceniam ten jej aspekt.

Celem recenzji jest też sformułowanie uwag krytycznych w odniesieniu do zaprezentowanych w pracy badań samych w sobie ale przede wszystkim sposobu ich prezentacji czy też ich opisu i wyciąganych wniosków.

Moja uwaga ogólna dotyczy ostatecznego prezentowania wyników jako skutecznych równoważników dawek w okresie rocznym. Taką ocenę uzyskuje się jako wynik przemnożenia stężenia aktywności danego radionuklidu przez stosowną wartość tzw. DCF (ang. *dose conversion factor* – a więc dawki od spożycia jednego Bq danego radionuklidu dla członka danej grupy wiekowej) oraz przez średnie spożycie danego produktu w Polsce w danej grupie wiekowej. Ta ostatnia wartość jest tu przedmiotem mojej krytyki – ma ona znaczne zróżnicowanie geograficzne jak również może najszybciej zmieniać się w czasie. Dlatego brakuje mi w pracy dawek normalizowanych na masę produktu – czyli jak dużą dawkę otrzymamy zjadając np. kilogram danego produktu. Przypuszczam, że Autor zrezygnował z takiej prezentacji dla większej przejrzystości tabel wyników. Dociekliwy czytelnik może sobie te wartości sam obliczyć, jednak mnie tego tu brakuje.

Przechodząc do uwag szczegółowych, odnoszących się do drobnych zauważonych uchybień, poniżej wymieniam te, które najbardziej zwróciły moją uwagę.

Str. 9 – uwaga nt. wysokiej toksyczności ryby panga powinna być z odnośnikiem literaturowym.

Str. 16 – promieniowania gamma ^{210}Po jest całkowicie do zaniedbania z racji niskiego prawdopodobieństwa emisji ($\sim 10^{-5}$) lecz nie z racji rzekomo ich niskiej energii (803 keV).

Str. 20 i dalsze – brak jednorodności pisania jednostki stężenia aktywności Bq/L („litr” jest przedstawiany skrótowo poprawnie, jako litera „l” ale pisana wymiennie, małą lub dużą literą)

Str. 21 – informacja o łożysku jako źródle metali ciężkich wymaga odniesienia literaturowego.

Sr. 27 – podano błędny (dawniej uważany za poprawny) czas połowicznego zaniku ^{209}Po . Od 2014 roku wiadomo, że jest on dłuższy i wynosi ~ 124 lata. (Colle et al., J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. (2014) 41 105103, <http://iopscience.iop.org/0954-3899/41/10/105103>). O tyle może być istotne, że wyniki ten może wprost wpływać na wszystkie obliczenia stężenia aktywności o ile używany był stosunkowo stary znacznik wewnętrzny. W pracy nie odnalazłem takich danych o stosowanym znaczniku.

Str. 36. Niektóre informacje są powtórzone za rozdziałem pierwszym.

Str. 49 Czy rzeczywiście monitoruje się małe ryby przeżyciowo jak chodzi o emiter alfa jakim jest ^{210}Po ? Czy raczej chodziło tu o ^{210}Pb ?

Str. 52 - W zdaniu o „całkowitej zawartości promieniotwórczej” pojawiają się liczby 5 i 6000 – w jakich to jest jednostkach? A może chodzi o CR a nie stężenie radionuklidów, skoro bez jednostek. Proszę to wyjaśnić.

Str.71 – proces osadzania dotyczy wszystkich izotopów polonu (czyli tu ^{209}Po i ^{210}Po) a nie tylko ^{210}Po . Powinno być (osadzanie) „polonu” a nie samo „ ^{210}Po ”.

Str. 72 i następne – symbole użyte we wzorach są pochyla a w opisach proste, powinny być ujednolicone graficznie.



INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ
im. Henryka Niewodniczańskiego
POLSKIEJ AKADEMII NAUK

-we wzorze (1) zamiast SD („odchylenie standardowe”) powinno być raczej „niepewność pomiaru”

Str. 84 i dalsze – sposób prezentacji wyników liczbowych w Tabeli 9 i 10) bardzo często jest niepoprawny. Przykładowo: $4,776 \pm 1,175$ Bq/kg powinien być zgodnie z przyjętymi zasadami przedstawiony jako $4,8 \pm 1,2$ Bq/kg. A więc tylko dwie cyfry znaczące w niepewności i to rządzi zaokrągleniami.

Str. 112- Tabela 14 nie zawiera żadnych produktów żywnościowych spożywanych w formie liści (np. sałata lub kapusta). To zaniża wartości obserwowane w produktach rolniczych.

Str. 125 – Podawane są pojedyncze największe i najmniejsze wyniki liczbowe uzyskane w pracy ale mowa jest o dwóch radionuklidach nie będących przecież w równowadze promieniotwórczej, wobec tego zapis taki jest wprowadzający zamieszanie. Oddzielnie powinny być przytaczane wyniki dla obu radionuklidów.

Powyższe szczegółowe, co prawda liczne acz drobne uwagi krytyczne, mają charakter zasadniczo jedynie redakcyjny i nie odnoszą się do merytorycznej oceny pracy.

Reasumując, uważam, że w obecnej formie praca spełnia wszystkie wymogi stawianych rozprawie doktorskiej przez obowiązujące nas regulacje ustawowe i stąd wnoszę o dopuszczenie Pana mgr Marcina Kaczora do dalszych etapów postępowania doktorskiego zgodnie z przyjętymi zasadami.

KIEROWNIK
Zakładu Fizykochemii Jądrowej
IFJ PAN

prof. dr hab. Jerzy W. Mietelski