

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

**mgr inż. Agaty Grygier**

*Tytuł rozprawy:*

***"Jednoczesna ocena narażenia radonowego i toronowego na podziemnych stanowiskach pracy z wykorzystaniem metody termoluminescencyjnej"***

### **Wstęp**

Narażenie na promieniotwórczy radon i toron, a w szczególności na produkty rozpadu jest powszechne w miejscach gdzie są kopalnie, trasy turystyczne, ośrodki SPA czy pomieszczenia mieszkalne lub biurowe. Jest to związane z emanacją radonu i toronu z gleby lub materiałów budowlanych. Narażenie dotyczy zarówno pracowników w ww. miejscach jak i osób narażonych zawodowo (górnicy, przewodnicy, rehabilitanci w SPA) na promieniowanie jonujące ale również ogółu społeczeństwa, które przebywa w tych miejscach jako turyści-zwiedzających bądź kuracjusze. W szeregu miejscach głównym narażeniem jest narażenie radiacyjne od produktów rozpadu radonu w mniejszym stopniu od produktów toronu, w innych odwrotnie lub porównywalnie. Praca doktorska Pani mgr inż. Agaty Grygier jest praktyczną rozprawą zajmującą się pomiarem i oceną jednoczesnego narażenia radonowego i toronowego w wybranych miejscach. Teza pracy została jasno zdefiniowana.

### **Opis rozprawy**

Otrzymana do recenzji praca jest typowa dla doktoratu, przedstawiona w formie maszynopisu. Zawiera 8 rozdziałów, wykaz stosowanych symboli, słownik podstawowych terminów, spis rysunków i tabel, a także spis literatury oraz dodatek w postaci różnych funkcji stosowanych do obliczeń. W rozdziałach 1 i 2 autorka opisuje podstawy problematyki radonowej tj. informacje podstawowe, występowanie radonu i toronu w środowisku, aerozole promieniotwórcze, wielkości stosowane w ocenie zagrożenia radonowego i wpływ na zdrowie oraz występowanie zagrożeń

radonowych i toronowych. W rozdziale 3 znalazł się opis zagrożeń radonowych w prawodawstwie europejskim i krajowym. Rozdział 4 zawiera szczegółowo opisane metody pomiarowe stężeń radonu i toronu a także produktów rozpadu oraz stosowane na rynku urządzenia. Rozdział 5 jest szczególnie ważny bo stanowi właśnie ten główny wkład w naukę Doktorantki i oryginalną wartość dodaną do jednoczesnych pomiarów produktów rozpadu radonu i toronu. W rozdziale tym Doktorantka opisuje w szczegółach opracowaną przez Nią metodę jednoczesnego pomiaru stężenia energii potencjalnej alfa produktów rozpadu radonu i toronu. W ramach tego opisuje konstrukcję miernika, zastosowanych detektorów termoluminescencyjnych (TLD) oraz kluczowy opis matematyczny sposobu oceny stężenia energii potencjalnej alfa produktów rozpadu radonu i toronu. W skład miernika wchodzi detektory termoluminescencyjne typu  $\text{CaSO}_4:\text{Dy}$  i  $\text{CaSO}_4:\text{Tm}$  z cienką warstwą luminoforu tak aby zwiększyć wydajność detektorów na promieniowanie alfa i zmniejszyć na promieniowanie gamma. Miernik posiada trzy głowice pomiarowe z detektorami TLD z przekładką aluminiową. Zasada pomiaru polega na zbieraniu produktów rozpadu radonu i toronu na filtrze miernika i odczytanie detektorów. Detektory były odczytywane w czytniku TL typu Harshaw 5500. Metoda jaką zastosowała Doktorantka polega na pomiarach w dwóch interwałach czasowych, ze względu na różny czas połowicznego zaniku poszczególnych pochodnych. Pierwszy pomiar to informacja zebrana ze wszystkich nuklidów zebranych na filtrze i trwa 5 godzin czyli ok. 10 okresów połowicznego zaniku izotopu ołowiu  $^{214}\text{Pb}$ . Drugi pomiar daje sygnał zawierający informację o produktach rozpadu toronu i kończy się po upływie 7 okresów połowicznego zaniku izotopu ołowiu  $^{212}\text{Pb}$ . To powoduje, że otrzymujemy dwa zasadnicze wyniki-informacje i dzięki temu możemy odseparować stężenia energii potencjalnej alfa produktów rozpadu radonu i toronu dla jednoczesnego pomiaru. Rozdział ten kończy niezbędna tabela, w której znalazły się możliwości pomiarowe metody i miernika. Wyniki pokazały, że limity detekcji dla toronu są takie same na poziomie  $0,17 \mu\text{J}/\text{m}^3$  a radonu zmieniały się od  $0,15$  do  $45 \mu\text{J}/\text{m}^3$ . Autorka wyjaśniła również czynniki zakłócające pomiary dla danego cyklu. Doktorantka wykonała szereg pomiarów kalibracyjnych w komorze radonowej w GiG. Wynikiem są współczynniki kalibracji dla poszczególnych mierników alfa rozpadu radonu i toronu (tabele 14 i 15), w tym współczynniki kalibracyjne dla poszczególnych filtrów. Oceniono, że filtr typu Pragopor 4 daje najlepszą wydajności zbierania pochodnych, choć w zawilgoconych kopalniach lepszy jest filtr Fipro. Doktorantka wyznaczyła również współczynniki kalibracji detektorów TL dla promieniowania gamma.

Wyniki pomiarów są zebrane w rozdziale 7, w którym doktorantka zastosowała mierniki alfa w pomiarach terenowych w miejscach o różnym stosunku stężenia radonu i toronu. Pomiary wykonała w Zabytkowej Kopalni Srebra w Tarnowskich Górach, kopalni doświadczalnej GiG-PIB Barbara oraz w starożytnych obiektach w Rzymie, muzeum domu Nerona i Termach Dioklecjana. Wybrane miejsca do pomiarów różnią się stosunkiem stężenia radonu i toronu, i tak w kopalniach jest większe stężenie radonu od występowania izotopu  $^{238}\text{U}$ , natomiast w starożytnych



obiektach w Rzymie, ze względu na użyty materiał budowlany w postaci tufu wulkanicznego występuje izotop  $^{232}\text{Th}$  i stąd wyższe stężenia toronu. Miejsca w kopalni zostały dobrane tak aby mieć możliwość pomiarów w różnych warunkach od szybu Żmija, gdzie były niskie stężenia energii potencjalnej alfa produktów rozpadu dla obu izotopów czy tam gdzie były wysokie jak w komorze zawałowej. Następnie wyniki były przeliczane na dawkę skuteczną. Można zauważyć, że przy przekroczeniach limitu dawki 20 mSv/rok należy podjąć kroki obniżające dawkę. Metoda pomiaru była następnie testowana w kopalni KD Barbara, gdzie stwierdzono niskie różnice w stężeniu toronu oraz radonu i raczej na niskim poziomie. Doktorantce udało się również przeprowadzić pomiary w miejscach gdzie źródłem radonu i toronu są materiały budowlane a nie wyrobiska. Chodzi o dom Nerona i termy Dioklecjana, które są wykonane z cegły tufowej. Wyniki z wszystkich punktów pomiarowych zestawiono w tabeli. Widać, że z względu na wysoką zawartość  $^{232}\text{Th}$  w tufie wulkanicznym ten materiał budowlany powoduje wyższe stężenia toronu i właśnie od toronu występuje główne zagrożenie. Niezwykle ważne z punktu widzenia kontroli jakości, poprawności procedury i metody są badania porównawcze, które udało się przeprowadzić z 8-ma laboratoriami w Zabytkowej Kopalni Srebra w Tarnowskich Górach. Wyniki otrzymane miernikami alfa pokazały poprawne wartości zbliżone do średniej stężenia równowagowego (EEC) ze wszystkich monitorów użytych w pomiarach.

Podsumowując, eksperymenty przeprowadzone w ramach rozprawy doktorskiej są poprawne, dobrze przemyślane i kompletne, od wstępnych przygotowań metody do opisu wyników o oceny.

#### Uwagi krytyczne do rozprawy

Zwyczajowo recenzent może dopisać uwagi dotyczące rozprawy doktorskiej. I tak w tabeli 18 Doktorantka przedstawia wyniki stężeń energii potencjalnej alfa produktów rozpadu radonu i toronu w Zabytkowej Kopalni Srebra. W przypadku toronu wyniki dla szybu Żmija, komory Srebrnej czy komory zawałowej są poniżej limitu detekcji przedstawionego w tabeli 10. Jaki parametr wpłynął, że możliwy był pomiar niższych wartości ? Może czas zbierania produktów rozpadu? W tabeli 19 w kilku miejscach jest wpisana wartość 0 dla dawki skutecznej. Nie wiadomo czy nie wykonano pomiarów i obliczeń dla tych miejsc czy obliczona wartość była poniżej limitu? Na rysunku 21 są dwie czerwone linie przerywane, które nie są opisane, jedynie w tekście jest wzmianka, że chodzi o limity dawki skutecznej. Warto zawsze opisać legendą na rysunku. W tabeli 20 znajdują się wyniki stężenia energii potencjalnej alfa z pomiarów w Kopalni Doświadczalnej Barbara. Analogicznie jak w kopalni srebra niektóre wyniki są poniżej limitu detekcji. Widać w przypadku pomiaru dla toronu (nr. 10 w tabeli 20), że niepewność pomiaru wyniosła wartość zmierzoną. Analogicznie jak wyżej w tabeli 21 znajdują się wyniki zerowe. Czytelnik powinien znaleźć jasno

opisane wytłumaczenie takich wyników np. poniżej progu detekcji lub brak możliwości zmierzenia tą metodą i obliczenia.

### Podsumowanie

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska jest interesująca z punktu widzenia naukowego a także praktycznego, niewątpliwie wnosząca wartość dodaną w pomiarach stężenia radonu i toronu, prezentuje wysoki poziom merytoryczny, zawiera oryginalne wyniki, napisana jest dobrym fachowym językiem i zawiera wszystkie te elementy, które w dobrej pracy doktorskiej powinny się znaleźć, dlatego reasumując uważam, że przedstawiona **praca doktorska Pani mgr inż. Agaty Grygier spełnia ustawowe\* i merytoryczne warunki stawiane pracy doktorskiej w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka** i wnoszę o dopuszczenie do dalszych etapów przewodu doktorskiego jednocześnie wnoszę o wyróżnienie pracy.

*\*) art.187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tj. Dz. U. z 2024 r. poz. 1571 ze zm.)*

*Maciej Biedrzycki.*