

dr hab. Krzysztof Kozak  
Instytut Fizyki Jądrowej  
im. Henryka Niewodniczańskiego  
Polskiej Akademii Nauk  
31-342 Kraków, Radzikowskiego 152

Kraków, 22.04.2014.

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**  
**mgr inż. Łukasza WOJTECKIEGO**  
**pt. „Zależność zagrożenia radiacyjnego górników**  
**od rozkładu ziarnowego aerozoli w powietrzu kopalnianym”**

Podstawą opracowania recenzji jest pismo Prof. dr hab. inż. Józefa Dubińskiego w imieniu Rady Naukowej Głównego Instytutu Górnictwa (L.dz. ND/NSR/62/2014) z dnia 10 marca 2014 roku powołujące mnie na recenzenta rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Łukasza Wojteckiego zatytułowanej „Zależność zagrożenia radiacyjnego górników od rozkładu ziarnowego aerozoli w powietrzu kopalnianym”. Promotorem pracy doktorskiej Pana mgr. inż. Łukasza Wojteckiego był Pan dr hab. Stanisław Chałupnik, prof. GIG, promotorem pomocniczym był Pan dr Krystian Skubacz. Praca została wykonana w Śląskim Centrum Radiometrii Środowiskowej Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach.

Rozwój metod i technik pomiarowych służących do określania wpływu izotopów promieniotwórczych (także izotopów naturalnych) na zdrowie ludzi jest jednym z ważnych problemów badawczych w fizyce. Z uwagi na dominujący udział izotopów radonu i jego krótkożyciowych produktów rozpadu w sumarycznej dawce skutecznej otrzymywanej przez populację omawiana praca stanowi cenny wkład w tematykę obejmującą dozymetrię radonu, która jest bardzo ważnym elementem kontroli środowiska pracy i życia ludzi. Ma to szczególne znaczenie także w kontekście opublikowanej w 2014 roku Dyrektywy Rady 2013/59/EURATOM z dnia 5 grudnia 2013 r. ustanawiającej podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego (Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej z dnia 17.01.2014, L 13/1). Dyrektywa stanowi ważny krok naprzód w zakresie ochrony pracowników, członków społeczeństwa i pacjentów przed szkodliwymi skutkami promieniowania jonizującego.

Zapisy tej Dyrektywy odzwierciedlają wyniki badań w zakresie ochrony radiologicznej związanej z wykorzystaniem promieniowania jonizującego, prowadzonych na przestrzeni ostatnich dwóch dekad na poziomie międzynarodowym, w tym przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (IAEA), Światową Organizację Zdrowia (WHO), Organizację Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) oraz Międzynarodową Komisję ds. Ochrony Radiologicznej (ICRP). Po raz pierwszy narażenie na promieniowanie naturalne jest traktowane, tak samo jak narażenie od sztucznych źródeł promieniowania, jako sytuacja narażenia planowanego. W zapisach Dyrektywy ustanawia się poziom odniesienia (referencyjny) średniego rocznego stężenia radonu nie wyższy niż  $300 \text{ Bq/m}^3$ , z możliwością zmiany tej wartości, uzasadnioną warunkami krajowymi. Miejsca pracy, w których średnie roczne stężenie radonu przekracza poziom referencyjny, mimo zastosowania optymalizacji, wymagają zgłoszenia i jeżeli dawka skuteczna może przekroczyć  $6 \text{ mSv/rok}$ , traktowane są jako sytuacje narażenia planowanego (organ kompetentny decyduje o zastosowaniu odpowiednich wymogów dla narażenia zawodowego).

Prace dotyczące najbardziej poprawnej oceny tzw. „ryzyka radonowego” szczególnie w podziemnych zakładach wydobywczych, gdzie radon stanowi główne zagrożenie radiacyjne, są podejmowane od wielu lat przez wielu badaczy.

Praca Pana mgr. inż. Łukasza Wojteckiego dotyczy właśnie tej tematyki. Autor, jako główne cele pracy podaje *określenie wpływu rozkładu ziarnowego występujących w powietrzu kopalnianym aerozoli na pochodzące od krótkożyciowych produktów rozpadu radonu zagrożenie radiacyjne górników oraz stwierdzenie występowania w powietrzu kopalnianym cząstek o rozmiarach nanometrowych (frakcji ultradrobnej), w świetle najnowszych badań szkodliwych dla zdrowia i niemożliwych do wykrycia standardowymi metodami oraz ustalenie źródeł ich występowania”*.

Praca doktorska liczy 155 stron. Podzielona jest na 7 rozdziałów, wprowadzenie oraz bibliografię i załącznik zawierający opis miejsc pomiarowych.

Omówienie zagrożeń radiacyjnych w podziemnych zakładach górniczych wydobywających węgiel kamienny stanowi treść rozdziału pierwszego. Autor w sposób poprawny i wyczerpujący przedstawia naturalne źródła promieniowania jonizującego ze szczególnym uwzględnieniem radonu i produktów jego rozpadu oraz biologiczne oddziaływanie promieniowania jonizującego na człowieka. Kolejne akapity charakteryzują zagrożenie wynikające z obecności w podziemnych wyrobiskach górniczych krótkożyciowych produktów rozpadu radonu oraz przedstawiają zagadnienia dotyczące ochrony radiologicznej górników w świetle obowiązujących przepisów.

Rozdział 2 zawiera informacje o mechanizmach powstawania aerozoli promieniotwórczych oraz wpływ na otrzymywaną dawkę promieniowania. Przedstawiono jak oszacowany rozkład aerozoli promieniotwórczych wpływa na dawkę promieniowania od krótkożyciowych produktów rozpadu radonu.

Charakterystyka pyłów oraz ich podział ze względu na rozmiar stanowi treść rozdziału 3. Opisane zostały stosowane modele depozycji aerozoli w układzie oddechowym w funkcji ich rozmiaru. Omówiono także obowiązujące w Polsce przepisy i procedury dotyczące pyłów szkodliwych dla zdrowia w podziemnych wyrobiskach górniczych. Ciekawą i ważną edukacyjnie jest część tego rozdziału, w której autor podaje charakterystykę nanocząstek i procesów mających wpływ na otrzymywaną przez człowieka dawkę.

W rozdziale 4 autor w sposób zwarty i klarowny przedstawia cel, tezy i zakres niniejszej pracy. Praca następnie dzieli się na dwie części: pomiarową zawierającą szczegółowy opis metod pomiarowych i interpretacyjnych (rozdział 5) oraz teoretyczną, obejmującą próbę określenia na podstawie uzyskanych wyników zagrożenia radiacyjnego i zagrożenia pyłowego występującego w kopalniach (rozdział 6). Pracę kończy rozdział 7 zawierający podsumowanie i wnioski. Bibliografia obejmuje 194 pozycje literaturowe i dwa źródła internetowe. Obszerny indeks odnośników literaturowych świadczy o dobrej orientacji autora w temacie. Autor cytuje 67 prac opublikowanych w wydawnictwach polskich i 103 prace opublikowane w wydawnictwach zagranicznych. Cytowane są także materiały konferencyjne w ilości 21 oraz 15 przepisów (Polski Normy, Rozporządzenia Rady Ministrów i Ustawy).

Uzupełnienie treści pracy stanowi Załącznik 1 z opisem miejsc pomiarowych i 12 fotografii z miejsc prowadzenia pomiarów w kopalni.

Układ pracy zaproponowany przez autora jest poprawny i logiczny.

Ważnym i wymagającym podkreślenia jest fakt przeprowadzenia przez autora pomiarów na rzeczywistych stanowiskach pracy w kopalni tzn. w wyrobiskach górniczych i na drogach dojścia do tych stanowisk. Biorąc pod uwagę zakres zaplanowanych przez autora pomiarów (m.in. pomiary rozkładów ziarnowych aerozoli, stężenia energii potencjalnej alfa w powietrzu kopalnianym oraz parametrów termodynamicznych: temperatury, ciśnienia, wilgotności), ilość sprzętu pomiarowego i konieczność kilkudziesięciu zjazdów do kopalni, wykonanie badań było bardzo dużym przedsięwzięciem zarówno w aspekcie dobrego opanowania stosowanych technik pomiarowych jak i logistycznym, zwłaszcza, że pomiary musiały być tak wykonywane, aby nie zakłócać normalnej pracy kopalni.

Analizując otrzymane w pracy wyniki Autor z obu zadań wywiązał się bardzo dobrze, co świadczy o umiejętności organizowania stanowiska pracy i dokładnego planowania pomiarów, a także zdolności radzenia sobie w trudnych sytuacjach w trakcie pomiarów. W kontekście prac naukowych prowadzonych w warunkach laboratoryjnych, wykonana przez Autora praca wzbudza mój najwyższy szacunek i świadczy o naukowej pasji w dążeniu do realizacji założonych celów.

Wyniki przedstawione w pracy obejmują szerokie spektrum rozmiarów cząstek przy jednoczesnym pomiarze stężenia energii potencjalnej alfa krótkożyciowych produktów rozpadu radonu. W celu zbadania wpływu cząstek o rozmiarach nanometrowych (frakcji ultradrobnej) na wielkość dawki autor podjął badania rozkładu frakcyjnego aerozoli na wybranym i przygotowanym do tego celu poligonie badawczym w wytypowanej kopalni, co w oparciu o rozkłady ziarnowe promieniotwórczych aerozoli pozwoliło na oszacowanie skorygowanych współczynników konwersji ekspozycji na dawkę skuteczną. Obliczona dawka (z uwzględnieniem rozkładów ziarnowych aerozoli w powietrzu kopalnianym) jest wyższa w porównaniu do dawki wyliczonej w oparciu o referencyjne współczynniki konwersji. Tę część pracy uważam za jedno z ważniejszych osiągnięć autora.

Pozwoliło to także na stwierdzenie, że w podziemnych wyrobiskach górniczych występują aerozole należące do frakcji cząstek ultra drobnych i ustalenie źródła tej frakcji aerozoli.

Analiza rozprawy nasuwa następujące uwagi:

- Zastanawiający jest zupełny brak nazwiska autora niniejszej pracy doktorskiej wśród 194 cytowanych pozycji literaturowych. Czy wynika to z braku publikacji autora w tej tematyce?
- Zastrzeżenie budzi także sposób cytowania niektórych pozycji; w przypadkach powoływania się na znane fakty i badania opisywane przez innych autorów należy wykorzystywać jako odnośniki prace źródłowe, a nie prace nieoryginalne (np. str. 14, 17, 19, itd.)
- W pracy nie ma informacji o czasie przeprowadzenia pomiarów (miesiące, rok) – a jest to istotna informacja, umożliwiająca śledzenie ewentualnych zmian w trakcie dalszych badań
- W Tabeli 3.4.1. (str. 47) przedstawiono zachorowalność na pylicę płuc wśród górników wydobywających węgiel kamienny w latach 2006 – 2010. Zwraca uwagę fakt, że zapadalność na pylicę płuc rośnie. To niespodziewany efekt w kontekście

zmniejszającego się wydobycia węgla i zmniejszenia ilości zatrudnionych. Jakie jest wyjaśnienie tego trendu wg. autora?

- Jakie propozycje zmian przepisów dot. rutynowej kontroli narażenia na krótkożyciowe produkty rozpadu radonu autor ma na myśli ? (str. 71)
- Pomiary powadzono przez czas od 1 do 2 godzin – czy to wystarczający czas, aby poprawnie interpolować wyniki na dłuższy okres rzeczywistego narażenia w trakcie pracy?
- Wpływ pary wodnej w mechanizmie przyłączanie się jonów do aerozoli jest istotnym czynnikiem (str. 58) – czy prowadzone były pomiary zawartości pary wodnej w trakcie pomiarów aerozolowych?
- Stosunek natężenia powietrza zawierającego badane aerozole do powietrza osłonnego dla pomiarów rozkładów ziarnowych aerozoli za pomocą spektrometru SMPS został ustalony jako 1:10. To bardzo ważny parametr, gdyż definiuje przedziały ruchliwości cząstek. Dlaczego autor wybrał taki stosunek? Czy dla spektrometru APS ten stosunek był taki sam? Tej informacji brak w tabeli 5.1.2.1.
- Jaki rodzaj filtrów stosuje się w kanale oczyszczającym spektrometru APS 3321 i jaka jest efektywność wychwytu filtrów dla pyłów ultradrobnych w tym kanale?
- W rozdziale 5 „Stosowana metodyka pomiarowa i interpretacyjna” brak jest informacji o sposobach kalibracji spektrometrów SMPS i APS3321, a także aspiratora AP-2000EX z przystawką Alfa. Czy znane są autorowi metody kalibracji tych mierników i czy były wykonane pomiary porównawcze potwierdzające poprawność wskazań przyrządów?
- Czy temperatura i ciśnienie w miejscu pomiaru były stałe w czasie pomiaru?
- Czy próbki powietrza zasysane były z tej samej wysokości?
- Na Rys. 6.1.1. rozkładu ziarnowego aerozoli na podszyciu szybu wdechowego występuje pik dla średnicy cząstek ok. 4 nm – autor pisze, iż prawdopodobnie są to kondensaty pary wodnej w zasysanym na dół kopalni powietrzu, powstające wskutek zmiany parametrów termodynamicznych. Czy jest możliwe jakieś inne wyjaśnienie obecności tego pików? (pik ten występuje też na Rys 6.1.5. i rys. 6.1.9.)
- Dla parametrów rozkładu masy aerozoli bardzo ważne jest określenie rodzaju i gęstości badanych cząstek. Autor podaje, że gęstość cząstek została przyjmowana na podstawie uzasadnionego wprawdzie, ale jednak tylko podejrzenia, pochodzenia źródła pyłów – może to prowadzić do dużych błędów. Czy istniała możliwość identyfikacji rodzaju pyłu i określenia jego gęstości?

- Jaka jest różnica czasowa pomiędzy pomiarami w czasie urabiania i w czasie postoju – czy była zawsze taka sama w czasie pomiarów?
- W trakcie pomiaru w punkcie „Przodek drażonego chodnika kamiennie węglowego” stwierdzono, że stężenie cząstek po zaprzestaniu urabiania jest blisko 2,5 razy mniejsze niż podczas urabiania. Autor nie podaje, w jakiej odległości od urabianej kombajnem calizny znajdował się punkt pomiarowy i jaki był przepływ powietrza, co ma istotny wpływ na obserwowane m.in. zmiany stężenia cząstek.
- Interesujące z punktu widzenia jakości pomiarów byłoby wykonanie powtórnego pomiaru na tym samym stanowisku i porównanie uzyskanych wyników. Czy brak takich pomiarów w prezentowanej pracy wynikał z trudności organizacyjnych?

Na rozkłady ziarnowe aerozoli w powietrzu kopalni ma wpływ wiele czynników. Uzyskany przez autora zestaw wyników nasuwa możliwość podjęcia próby zastosowania metod statystycznych do zbadania tych zależności np. takich jak analiza wieloparametryczna z kategoryzacjami.

Pod względem językowym praca napisana jest bardzo poprawnie starannie. Edycja graficzna także nie budzi zastrzeżeń.

Z obowiązku recenzenta zamieszczam jednak kilka uwag redakcyjnych:

- w źródłach internetowych brak jest daty dostępu
- znacznym ułatwieniem dla czytelnika, w odnalezieniu pozycji literaturowej byłoby zamiast numeracji cytowań, powtórzenie oznaczenia cytowania danej pozycji tak jest ona oznaczona w tekście
- dla czytelnika nie znającego „określeń górniczych” mało zrozumiałe są określenia np. „okno ściany”, „chodnik przyszłościowy”, „urabianie calizny”, „lutniociąg tłoczący”, „system kierowania stropem” – dodanie słownika specjalistycznych pojęć górniczych ułatwiłby niespecjaliście zrozumienie tekstu
- str. 12 – nieprawidłowe określenie powiązania izotopów tworzących szereg promieniotwórczy: „....są ze sobą genetycznie powiązane...”
- str. 18 - nieprecyzyjne określenie: „... cząstki alfa przekazują kilkadziesiąt porcji energii, ....cząstki beta czy promieniowanie gamma tylko kilka porcji energii.”
- str. 19 – zamiast „U niektórych narzędzi .....skutki deterministyczne napromienienia występują przy niższych wartościach progowych dawek” powinno być „Dla niektórych narzędzi .....”

- str 21 – autor pisze: *Ustalone przez prawo dawki graniczne służą uporządkowaniu zagadnień związanych z ochroną radiologiczną*” – wg. mnie służą głównie do zapewnienia ochrony przed promieniowaniem jonizującym i do ograniczenia otrzymywanych dawek
- str. 61 - autor wprowadza pojęcia „Long DMA” , „Nano DMA”, zaś wyjaśnienie tych pojęć znajduje się dopiero na stronie 65
- str. 65 - Tab. 5.1.1.3. (poz. 6) brak spacji
- str. 72 - Tabela 6.1. – niezrozumiałe zdanie „*W szybie wdechowym odbywa się jazdy ludzi.*”
- Rys. 6.1 - podano tu schemat rozmieszczenia i opisy miejsc pomiarowych oraz oznaczono je numerami od 1 do 7. Szkoda, że w dalszej części pracy autor nie posługuje się już tą numeracją, co znacznie uprościłoby identyfikację miejsc pomiarowych. Zarówno w tabelach jak i na rysunkach występują jedynie opisy słowne (szczególnie istotny jest brak numerów w Tabeli 6.1.28).

Podsumowując stwierdzam, że recenzowana przeze mnie rozprawa doktorska zawiera bardzo interesujące i ważne z punktu widzenia ochrony radiologicznej wyniki. Zawarte w recenzji uwagi nie umniejszają wysokich zalet pracy.

W mojej ocenie, na podstawie lektury rozprawy doktorskiej, Pan mgr inż. Łukasz Wojtecki jest dojrzałym i dobrze przygotowanym do pracy naukowej pracownikiem posiadającym także, jak przypuszczam, umiejętność pracy w zespole.

Uwzględniając znaczenie tematyki badań, opanowanie warsztatu pomiarowego oraz oryginalność uzyskanych wyników stwierdzam z całym przekonaniem, że przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Łukasza Wojteckiego pt. „Zależność zagrożenia radiacyjnego górników od rozkładu ziarnowego aerozoli w powietrzu kopalnianym” stanowi oryginalne i nowatorskie rozwiązanie problemu naukowego, ukazuje wiedzę teoretyczną a także umiejętność samodzielnego planowania i prowadzenia pracy naukowej i w pełni spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65 poz. 595 z późniejszymi zmianami). W związku z tym wnoszę o dopuszczenie doktoranta, Pana mgr inż. Łukasza Wojteckiego do dalszych etapów postępowania w przewodzie doktorskim.

Kraków, 22.04.2014

  
Krzysztof Kozak