

Prof. dr hab. Arkadiusz Mandowski  
Instytut Fizyki, Uniwersytet Jana Długosza,  
ul. Armii Krajowej 13/15,  
42-200 Częstochowa

Ocena dorobku naukowego dr inż. Konrada Tudyki i rozprawy habilitacyjnej  
p.t. „**Metrologia środowiskowej radioaktywności oraz systemy pomiarowe  
w datowaniu dozymetrycznym**”

Wykorzystanie naturalnych radionuklidów do określania wieku różnego rodzaju artefaktów i materiałów występujących w naturze, jest niewątpliwie jednym z bardziej znaczących, a przy tym niezwykle ciekawych osiągnięć cywilizacji ludzkiej. To odkrycie dało niezwykle mocne narzędzia do poznawania przeszłości, przyczyniając się w zasadniczy sposób do rozwoju archeologii i geologii. Metody, zasadniczo dość proste w zamyśle, okazały się skuteczne, lecz nietrywialne w realizacji. Stąd wysiłek setek badaczy, którzy w ostatnich dziesięcioleciach starali się głębiej poznać towarzyszące im zjawiska fizyczne i opracować lepsze procedury datowania. W ten nurt badań wpisuje się też dorobek naukowy dr inż. Konrada Tudyki.

Ocena naukowa powiązanych tematycznie artykułów naukowych, przedłożonych jako rozprawa habilitacyjna

W przedłożonym autoreferacie dr inż. Konrad Tudyka przedstawił cykl 9 publikacji naukowych z lat 2015-2023, które zatytuował: „*Metrologia środowiskowej radioaktywności oraz systemy pomiarowe w datowaniu dozymetrycznym*”. Tytuł jest bardzo ogólny i nie do końca odpowiada treści autoreferatu, do czego odniosę się jeszcze na końcu. Wszystkie artykuły są wielonazwiskowe (jeden ma dwóch autorów, pozostałe od trzech do dziesięciu), co świadczy o tym, że prezentowane wyniki powstawały w dużej grupie badawczej. Trzeba jednak zaznaczyć, że habilitant w każdym z nich jest pierwszym autorem i nie wynika to z alfabetycznej kolejności nazwisk. Zostały też dołączone oświadczenia współautorów o wkładzie własnym. W autoreferacie podano w punktach najważniejsze osiągnięcia naukowe habilitanta. Nie dostrzegam jednak osi, która by spajała cały ten zbiór, a opis jest dość pobieżny. W tej sytuacji najprościej będzie omówić poszczególne kluczowe artykuły.

Artykuł [H1] (Tudyka K, Bluszcz A, 2016. A study on photomultiplier afterpulses in TL/OSL readers. *Radiation Measurements* 86: 39–48) to interesujący przyczynek do fizyki fotopowielaczy. Fotopowielacze są od dziesiątek lat wykorzystywane w nauce i w wielu zastosowaniach są wciąż niezastąpione. Wydaje się, że są to standardowe i dobrze poznane przyrządy. Niemniej, i tu możliwe są zaskoczenia. Jednym z nich jest statystyka impulsów, która odbiega od statystyki Poissona. Problem nie jest nowy – raportowali ten efekt już Morton i in. (1967), Ma i in. (2011) a także badacze z grupy gliwickiej – Adamiec i in. (2012) oraz Bluszcz i in. (2015). Przyczyną są impulsy wtórne. W artykule przedstawiono rozszerzoną

analizę tych impulsów badając standardowy w zastosowaniach TL/OSL fotopowielacz 9235QA firmy EMI. Publikacja jest ciekawa i dziwi fakt, że była do tej pory tylko raz cytowana przez innych autorów. Wkład habilitanta polegał głównie na elektronicznej i programistycznej obsłudze eksperymentu oraz analizie danych.

Bardziej oryginalne i znaczące wyniki były pokazane w pracy [H2] (Tudyka K, Adamiec G, Bluszcz A, 2016. Simulation of He+ induced afterpulses in PMTs. *Review of Scientific Instruments* 87(6): 063120). To dalszy ciąg fizyki fotopowielaczy, lecz na wyższym poziomie. Wykorzystując fizyczne parametry fotopowielacza EMI 9235QA, autorzy porównali zmierzone w eksperymencie impulsy wtórne z wynikami symulacji numerycznych wykorzystującymi algorytmy typu Monte Carlo. Obliczenia numeryczne uwzględniały m.in. geometrię wewnętrzną elektrod fotopowielacza, rozkład pola elektrycznego między elektrodami oraz zderzenia i rozpraszanie na jonach helu. Jony te, obecne w śladowych ilościach w tubie fotopowielacza są w głównej mierze odpowiedzialne za występowanie impulsów wtórnych. Uzyskano dobrą zgodność wyników symulacji z danymi doświadczalnymi. Rola habilitanta w wykonaniu tych obliczeń była kluczowa. Do tej pory praca była cytowana 3 razy. W autoreferacie widać pewną niekonsekwencję we fragmencie omawiającym wyniki pracy [H2]. Na stronie 12 autor pisze:

*„W niektórych pracach [17] impulsy wtórne były wiązane ze śladowymi ilościami gazów obecnych w fotopowielaczach. Jednak proste szacunki czasu przelotu jonów oraz prawdopodobieństwo impulsów wtórnych wywołanych przez gazy resztkowe nie zgadzają się z danymi pomiarowymi. Ponadto bardzo często impulsy występują w seriach.”*

Po czym, po przedstawieniu wyników symulacji, pisze na stronie 15:

*„Wyniki symulacji MC wykazały, że proces powstawania impulsów wtórnych odległych w czasie o około kilkadziesiąt ns związany jest z rozpraszaniem elektronów lub jonizacją atomów He.”*

A więc śladowy hel ma jakieś znaczenie.

Artykuł [H3] (Tudyka K, Miłosz S, Ustrzycka A, Barwinek S, Barwinek W, Walencik-Łata A, Adamiec G, Bluszcz A, 2017. A low level liquid scintillation spectrometer with five counting modules for  $^{14}\text{C}$ ,  $^{222}\text{Rn}$  and delayed coincidence measurements. *Radiation Measurements* 105: 1–6) dotyczy budowy pięciomodułowego spektrometru ciekłoscyntylacyjnego. Projekt ten był realizowany przez wieloosobowy zespół badawczy, jednak z deklaracji współautorów możemy się domyślać, że głównym pomysłodawcą i realizatorem tego projektu był habilitant. Urządzenie umożliwi m.in. pomiar niskich zawartości węgla  $^{14}\text{C}$  oraz wykrywania śladowych ilości  $^{222}\text{Ra}$ , co może mieć zastosowanie m.in. w wykrywaniu zanieczyszczeń  $^{222}\text{Ra}$  w ciekłych scyntylatorach przeznaczonych do badania węgla  $^{14}\text{C}$ . By tego dokonać, wystarczy mierzyć koincydencję impulsów rejestrowanych przez fotopowielacz. Do tego autorzy mogli wykorzystać doświadczenia zdobyte przy realizacji prac [H1] i [H2]. Fizyka tych procesów jest

różna, lecz od strony technicznej można je traktować podobnie. Artykuł był 3 razy cytowany przez innych autorów.

W opublikowanym wcześniej artykule [H4] (Tudyka K, Bluszcz A, Kozłowska B, Pawlyta J, Michczyński A, 2015. Low level  $^{14}\text{C}$  measurements in freshly prepared benzene samples with simultaneous  $^{214}\text{Bi}/^{214}\text{Po}$  pairs counting for routine  $^{222}\text{Rn}$  contamination correction. *Radiation Measurements* 74: 6–11) zaprezentowano podobne wyniki lecz z użyciem bardziej konwencjonalnego układu z jednym fotopowielaczem, wykorzystując analizator wielokanałowy zbudowany przez habilitanta jeszcze przed doktoratem (Tudyka i Bluszcz, 2011). Jednym z ciekawszych rezultatów tej pracy było stwierdzenie, że zanieczyszczenie  $^{222}\text{Rn}$  ciekłego scyntylatora jest znacznie większe niż oczekiwano. Tym niemniej, odpowiednia procedura korekcyjna, stwierdzająca obecność par  $^{214}\text{Bi}/^{214}\text{Po}$  pozwala mierzyć poziom  $^{14}\text{C}$  nawet z wykorzystaniem świeżo wyprodukowanego benzenu, bez konieczności wielotygodniowego sezonowania. To też najczęściej cytowany artykuł habilitanta – 13 cytowań przez innych autorów wg GS.

Bardzo ciekawą analizę usuwania zanieczyszczeń radonowych z benzenu zaprezentowano w artykule [H5] (Tudyka K, Pawełczyk F, Michczyński A, 2021. Bias arising from  $^{222}\text{Rn}$  contamination in standardized methods for biobased content determination and a simple removal method. *Measurement* 167: 108263). Autorzy pokazali, że procedury przewidziane przez aktualnie stosowane normy nie zapewniają odpowiedniej czystości benzenu używanego do datowania. Zaproponowali jednak nową, skuteczniejszą procedurę, która została też zgłoszona do urzędu patentowego. Mimo krótkiego czasu, jaki upłynął od publikacji, artykuł był dwukrotnie cytowany.

Największe, moim zdaniem, osiągnięcie dr inż. Konrada Tudyka jest opisane w artykule [H6] (Tudyka K, Miłosz S, Adamiec G, Bluszcz A, Poręba G, Paszkowski Ł, Kolarczyk A, 2018.  $\mu\text{Dose}$ : a compact system for environmental radioactivity and dose rate measurement. *Radiation Measurements* 118: 8-13). Od wielu lat stosuje się określanie wieku niektórych obiektów archeologicznych, takich jak cegły czy porcelana oraz materiałów geologicznych, takich jak piasek (kwarc) czy skalenie, za pomocą metod luminescencyjnych (termoluminescencja, optycznie stymulowana luminescencja). Do tego celu jest jednak potrzebna informacja o mocy dawki promieniowania jonizującego, jakie docierało do badanej próbki w minionym okresie czasu. Większość dawki pochodzi od naturalnych radionuklidów, jednak wyznaczenie ich składu i aktywności to złożone zadanie eksperymentalne, wymagające dość kosztownej aparatury. Rozwiązanie proponowane przez siedmiu autorów niniejszej pracy jest bardzo proste, bo redukuje dużą aparaturę pomiarową do systemu opartego na jednym fotopowielaczu z podwójnym scyntylatorem. System, nazwany przez autorów  $\mu\text{Dose}$  pozwala na detekcję cząstek  $\alpha$  i  $\beta$  wyznaczając aktywność radionuklidów z szeregu  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  oraz aktywność  $^{40}\text{K}$ . Warto podkreślić, że rozwiązanie to opatentowano i w sposób bardzo udany doprowadzono do komercjalizacji. Obecnie, artykuł ma dopiero 7 cytowań innych autorów, jednak liczba ta na pewno będzie szybko wzrastać, wraz ze sprzedażą systemu.

W artykule [H7] (Tudyka K, Bluszcz A, Poręba G, Miłosz S, Adamiec G, Kolarczyk A, Kolb T, Lomax J, Fuchs M, 2020. Increased dose rate precision in combined  $\alpha$  and  $\beta$  counting in the

$\mu$ Dose system - a probabilistic approach to data analysis. *Radiation Measurements* 134: 106310) autorzy powtórnie omawiają system  $\mu$ Dose skupiając tym razem uwagę na propagacji niepewności pomiarowych. Interesującym rezultatem było pokazanie, że skorelowany pomiar poprawia końcową dokładność dwukrotnie. Artykuł był cytowany 5 razy.

Publikacja [H8] (Tudyka K, Koruszowicz M, Osadnik R, Adamiec G, Moska P, Szymak A, Bluszcz A, Zhang J, Kolb T, Poręba G, 2023.  $\mu$ Rate: an online dose rate calculator for trapped charge dating. *Archaeometry* 65(2): 423-443) jest w istocie opisem aplikacji online do obliczania mocy dawki. To bardzo użyteczna dla społeczności naukowej działalność. W internecie są inne tego typu narzędzia, jednak każde opiera się na nieco innych algorytmach. Stąd możliwość porównania jest niezwykle cenna. Artykuł nie ma cytowań, jednak w tym przypadku bardziej istotna jest ilość użytkowników, którzy faktycznie skorzystają z tego serwisu.

Ostatni przedłożony artykuł [H9] (Tudyka K, Poręba G, Szymak A, Rocznik J, Pluta J, Schüller T, Kolb T, Murray A, 2021. Systematic error in  $^{238}\text{U}$  decay chain radionuclides measurements due to  $^{222}\text{Rn}$  emanation from reference materials. *Measurement* 184: 109893) to praca porównawcza dotycząca zanieczyszczeń radonowych w materiałach referencyjnych pochodzących w większości z Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej. Autorzy wykazali, że emanacja  $^{222}\text{Rn}$  może sięgać w niektórych materiałach nawet 35%, co prowadzi do zafałszowania pomiarów. Praca ma 2 cytowania.

#### Ocena pozostałej działalności naukowej

Pan dr inż. Konrad Tudyka jest współautorem 26 artykułów naukowych, które opublikował po doktoracie. 9 z nich wyodrębnił jako oddzielny cykl tematyczny będący podstawą habilitacji. Do oceny pozostaje więc 17 artykułów. Są to prace współautorskie dotyczące takich zagadnień, jak datowanie osadów, datowanie przedmiotów pochodzących z wykopalisk, systemu  $\mu$ Dose i spektrometrii  $\gamma$ . Artykuły były publikowane w renomowanych czasopismach międzynarodowych, takich jak *Annals of the American Association of Geographers*, *Radiocarbon*, *Quaternary International*, *Geochronometria*, *Geochronology*, *Applied Radiation and Isotopes*, *Radiation Measurements*, *IEEE Transactions on Nuclear Science i Food Chemistry*.

Habilitant był kierownikiem pracy przedwdrożeniowej “ $\mu$ DOSE” realizowanej w ramach projektu Inkubator Innowacyjności +. Kierował też projektem Multicell ramach programu LIDER 4 finansowanym przez NCBiR. Uczestniczył w wielu konferencjach naukowych, gdzie prezentował wyniki swych badań w formie posterów i referatów. Odbił staże naukowe na Université de Liège (Belgia), w Scottish Universities Environment Research Centre oraz Uniwersytecie w Salzburgu (Austria).

Dr inż. Konrad Tudyka jest też współautorem kilku patentów i zgłoszeń patentowych. Uważam jednak, że jego największym osiągnięciem jest udział w opracowaniu i kierowanie pracami wdrożeniowymi systemu  $\mu$ Dose.

## Wniosek końcowy

Dr inż. Konrad Tudyka przedłożył cykl dziewięciu powiązanych tematycznie artykułów naukowych do oceny jako rozprawę habilitacyjną. Wszystkie artykuły są współautorskie, jednak habilitant jest w nich pierwszym autorem. W większości z nich jest też głównym lub jedynym autorem koncepcji pracy. Wydaje się, że znacznie lepsze byłoby zamknięcie tej części dorobku naukowego w formie monografii. Wyodrębnienie wkładu własnego przy tak dużej liczbie współautorów i braku publikacji samodzielnych, nie jest prostym zadaniem, choć w tym przypadku może być dokonane z korzyścią dla wnioskującego.

Artykuły są znaczące i opublikowane w renomowanych czasopismach. Mają też bardzo praktyczny i ważny z naukowego punktu widzenia potencjał. Choćby ten, dotyczący możliwej redukcji zanieczyszczeń  $^{222}\text{Rn}$  i polepszenia dokładności spektroskopii  $\gamma$ . Niestety niezbyt dobrze wpisują się w proponowany tytuł „Metrologia środowiskowej radioaktywności oraz systemy pomiarowe w datowaniu dozymetrycznym”, który jest zdecydowanie zbyt szeroki. Być może najlepszym wspólnym mianownikiem byłaby koncepcja wykorzystania koincydencji impulsów w systemach pomiarowych związanych z datowaniem? A może sama idea budowy systemu  $\mu\text{Dose}$ ? Pozostała działalność naukowa dra Tudyki jest również znacząca. Nie mamy, co prawda, do czynienia z wysokimi wskaźnikami bibliometrycznymi, jednak taka jest specyfika dziedziny.

Powyższe uwagi krytyczne w niczym nie umniejszają ogólnie pozytywnego wrażenia – zarówno dotyczącego cyklu powiązanych tematycznie artykułów, jak i oceny pozostałej działalności naukowej habilitanta. Dr inż. Konrad Tudyka wykazał się dużą biegłością w technikach pomiarowych stosowanych w datowaniu radioizotopowym. Uważam, że największym osiągnięciem naukowym jest współudział w tworzeniu i kierowanie pracami wdrożeniowymi systemu  $\mu\text{Dose}$ . Tak właśnie powinna wyglądać aplikacyjna strona nauki.

W świetle powyższych uwag stwierdzam, że przedstawiona do oceny praca habilitacyjna, a także pozostały dorobek naukowy dra inż. Konrada Tudyki stanowią znaczny wkład w rozwój dyscypliny Nauki Fizyczne i spełniają wymagania ustawy Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce z dnia 20 lipca 2018 r. Wnoszę o dopuszczenie dra inż. Konrada Tudyki do dalszych etapów postępowania i nadanie mu stopnia doktora habilitowanego.

Częstochowa, 2024.01.30

*Prof. dr hab. Arkadiusz Mandowski*