

## **Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Bartłomieja Łacha pt.**

### **„Rozwój systemu detekcyjnego do obrazowania przestrzennego rozkładu pierwiastków metodą fluorescencji rentgenowskiej”.**

Rozprawa Pana mgr. Bartłomieja Łacha poświęcona jest dalszemu rozwojowi i optymalizacji systemu obrazowania rozkładu pierwiastków w działach sztuki z zastosowaniem detektora typu GEM będącego wcześniej podstawą pracy doktorskiej Pani dr. Alicji Zielińskiej pt. „Rozwój pozycjoczułego systemu detekcyjnego na bazie detektora typu GEM do zastosowań w dwuwymiarowym obrazowaniu metodami radiografii i fluorescencji rentgenowskiej”. Chciałem podkreślić, że podjęcie przez Autora wielodyscyplinarnej tematyki badań, łączących nauki ścisłe, inżynierskie oraz humanistyczne zasługuje w moim przekonaniu na uznanie i jest wyrazem wpisania się Autora we współczesne trendy w nauce światowej.

Rozprawa składa się z pięciu zasadniczych części podzielonych na rozdziały.

W pierwszej części - o charakterze przeglądowym - Autor w skrócie przedstawił podstawy teoretyczne metody XRF oraz technik obrazowania przestrzennego mikro-XRF oraz FF-XRF, dość ogólnie dyskutując najważniejsze parametry i możliwości obu systemów obrazowania, w tym ich przestrzenną zdolność rozdzielczą.

W drugiej części, Autor opisuje budowę i zasadę działania systemu DETART do przestrzennego obrazowania pierwiastków, w podziale na podrozdziały dotyczące detektora, systemu odczytu, oprogramowania układu odczytu, systemu projekcji obrazu, systemu przesuwu oraz systemu kontroli parametrów środowiskowych. Autor bardzo wszechstronnie przedstawił architekturę elektronicznego systemu odczytu detektora wraz z modułami sczytującymi i zabezpieczającymi. Do niewątpliwych zalet opracowanego systemu należy jego elastyczność i możliwość pracy z detektorami o różnych poziomach wzmocnienia gazowego. Analiza parametrów pracy systemu odczytu została dogłębnie omówiona przez Autora. Bardzo przydatne dla czytelnika niebędącego specjalistą są opisy niekorzystnych efektów powstających podczas rekonstrukcji obrazu tzw. duchów oraz efektu winietowania w kamerze otworkowej. Innym ważnym elementem systemu DETART dla użytkownika

końcowego (kustosza, konserwatora czy naukowca prowadzącego badania dzieł sztuki) jest zastosowanie systemu bezpieczeństwa chroniącego badany obiekt przed mechanicznym uszkodzeniem, który oparty jest o trzy poziomy bezpieczeństwa.

Trzecia część pracy dotycząca testów i optymalizacji systemu jest w mojej opinii najbardziej wartościowa z punktu widzenia osiągnięcia naukowego. Autor przeprowadził szereg skomplikowanych procesów optymalizacyjnych, które są kluczowe dla każdego zaawansowanego systemu pomiarowego. Najważniejsze z nich dotyczyły optymalizacji pracy detektora oraz układu odczytu. Autor scharakteryzował przestrzenne niejednorodności wzmocnienia gazowego, niekorzystnie wpływającego na globalną energetyczną zdolność rozdzielczą, wykorzystując promieniowanie fluorescencyjne z referencyjnej płytki miedzi oraz ze standardowego źródła kalibracyjnego  $^{55}\text{Fe}$ . Pozwoliło to na przypisanie każdemu pikselowi odchylenia od średniego wzmocnienia gazowego, stworzenie mapy niejednorodności rozkładu wzmocnienia gazowego i wprowadzenia odpowiednich poprawek korekcyjnych. Z uznaniem należy podejść do otrzymanej energetycznej zdolności rozdzielczej wyrażonej jako szerokość połówkowa linii wynosząca 16,7%. Stanowi to najlepszy, obserwowany obecnie w literaturze, rezultat dla tego typu detektorów. Autor ustalił też optymalną procedurę pomiarową niwelującą efekt zmiany w czasie wzmocnienia gazowego spowodowanego przez ładowanie folii GEM oraz niedostatecznie szybkie zbieranie jonów dodatnich przez elektrodę dryfu. Procedura ta polegała na polaryzacji detektora na co najmniej 10 godzin przed pomiarem w celu redukcji początkowego efektu ładowania folii, a następnie, poddaniu obiektu ekspozycji przez okres 15 minut, aby zminimalizować wpływ początkowego spadku wzmocnienia spowodowanego wzrostem intensywności. Mniej przekonująca jest część poświęcona optymalizacji mieszaniny gazowej, gdyż jest ona bardzo zbliżona do analiz zamieszczonych w doktoracie Pani dr Alicji Zielińskiej, przy czym jest to niewielka część pracy.

Czwartą częśći rozprawy, Autor poświęcił analizie danych pomiarowych, której zasadnicza część oparta jest na przykładzie wybranego obiektu historycznego. Autor wybrał i szczegółowo omówił i porównał dwie metody tworzenia map rozkładów przestrzennych tj. metodę „Region Of Interest” (ROI) oraz metodę faktoryzacji macierzy w tym jej odmiany „Principal Component Analysis” (PCA) i „Non-negative Matrix Factorisation” (NMF). W bardzo przejrzysty i logiczny sposób określił sekwencje analizy danych w podziale na analizę wstępną, zasadniczą, przedstawienie graficzne wyników oraz optymalizację czasu pomiaru. Pewne zdziwienie może wzbudzać fakt, że opis analizy wstępnej jest wielokrotnie dłuższy i

bardziej treściwy niż analizy zasadniczej, co nie umniejsza walorów naukowych obu części. Opracowanie oprogramowania do analizy danych jest bardzo istotnym wkładem Autora w rozwój i praktyczne zastosowanie systemu obrazowania pierwiastków w dziełach sztuki. Niefortunny i mylący jest moim zdaniem dobór tytułu podrozdziału „Optymalizacja czasu pomiaru” w rozdziale dotyczącym analizy danych. Jego treść dotyczy określenia czułości różnych metod analizy na zmniejszającą się statystykę zliczeń. Autor określił, że w przypadku obu metod minimalny czas pomiaru na pomiar pojedynczego kadru, nie powinien być krótszy niż czas potrzebny na osiągnięcie wymaganej statystyki (750 zliczeń na mm<sup>2</sup>). Czas ten w naturalny sposób zależy od dobranych ustawień pomiarowych systemu oraz badanego obiektu. Na uznanie zasługuje bardzo jasny i przemawiający do wyobraźni, zwłaszcza dla przedstawicieli dyscyplin humanistycznych, sposób prezentowania wyników na podstawie obrazowania rzeczywistego obiektu z Muzeum Narodowego w Krakowie.

W piątym rozdziale Autor przedstawił zastosowanie systemu obrazowania metodą XRF – DETART — do analizy innych obiektów dziedzictwa kulturowego. Poddane badaniu obiekty podzielone zostały logicznie na obiekty płaskie („Portret Mieczysława Gąseckiego” i „Matka Boska z Dzieciątkiem jedzącym jabłko”), oraz obiekty o formie przestrzennej („Fragment ornamentu z ołtarza kościelnego” oraz fantom o nazwie „Globus”). Przeprowadzona z sukcesem realizacja głównego celu pracy, jakim było skuteczne wykazanie możliwości zastosowania systemu do analizy składu pierwiastkowego obiektów trójwymiarowych, jest osiągnięciem na skalę międzynarodową.

Ostatnia część pracy poświęcona jest wskazaniu różnic technologicznych i porównaniu parametrów technicznych systemu opisanego w pracy Pani dr Alicji Zielińskiej oraz jego rozwinięcia z niniejszej pracy. Autor podjął próbę wskazania potencjalnych kierunków rozwoju opracowanego systemu.

Już na podstawie powyższego krótkiego omówienia pracy, mogę stwierdzić, że praca w pełni spełnia kryteria, którym powinna odpowiadać praca na stopień doktora w dziedzinie nauk fizycznych, dyscyplinie fizyka. Autor pracy:

- wykazał się znajomością literatury fachowej z zakresu metod rentgenowskich, a w szczególności literatury dotyczącej metod obrazowania dzieł sztuki technikami rentgenowskimi,

- zaprojektował wraz z zespołem specjalizowany układ scalony do odczytu sygnałów z detektora, oraz przeprowadził szereg obszernych testów weryfikujących poprawność zaprojektowanego układu, oraz wykonał pełną parametryzację jego pracy,
- zastosował detektor chromowy, który pozwolił na niemalże 10-krotną redukcję nadmiarowego tła promieniowania fluorescencyjnego miedzi w widmie pomiarowym, podnosząc tym samym znacząco czułość aparatury detekcyjnej,
- zmodyfikował złożony układ eksperymentalny, składający się z części „elektronicznej” i „detekcyjnej”, oraz przeprowadził niełatwą parametryzację i optymalizację wszystkich modułów systemu,
- rozwinął i scharakteryzował skomplikowany system analizy danych pomiarowych znacząco podnoszący walory użytkowe urządzenia,
- wykazał praktyczną przydatność układu detekcyjnego stosowanego w fizyce cząstek elementarnych do obrazowania rozkładu pierwiastków w trójwymiarowych obiektach dziedzictwa kulturowego.

Do obowiązków recenzenta należy jednak nie tylko wskazanie na zalety pracy, ale również zwrócenie uwagi na możliwe dalsze udoskonalenia proponowanej techniki pomiarowej, a także wskazanie na niektóre mankamenty rozprawy.

Udoskonalony przez Autora system obrazowania rozkładu pierwiastków, jest naturalnym rozwinięciem opracowanego w ramach wcześniejszych projektów systemu DETART, który został zastosowany do badania obiektów płaskich oraz obiektów trójwymiarowych. Wydaje się jednak, że wysiłki Autora skupiły się na ewolucyjnym rozwoju systemu i wydają się dość konserwatywne z punktu widzenia pytania badawczego. Bardzo szkoda, że Autor, mając do dyspozycji tak prototypowy w skali światowej system, nie podjął wysiłków nakierowanych na znalezienie zupełnie nowych obszarów zastosowania albo na rozwiązanie palącego pytania z humanistyki reprezentowanej przez historię sztuki, archeologię lub konserwację. Czy naprawdę nie było żadnych pytań badawczych związanych z nowo otwartą wystawą "XX + XXI. Rzeźba" w Muzeum Narodowym w Krakowie? Dlatego dość krytycznie oceniam interdyscyplinarny wymiar pracy, który ograniczył się tylko do obrazowania kilku obiektów MNK, chyba zresztą dość przypadkowo wybranych. Pobieżne przeszukanie pracy według haseł „historyk” „kustosz”, „konserwacja” daje tylko 5 wyników,

co wskazuje na dość małe otwarcie Autora na współpracę między reprezentantami różnych dyscyplin.

Rozumiejąc ograniczenia mobilności systemu (*notabene* nie znalazłem w pracy informacji o masie systemu, co nie pozwala na wyobrażenie sobie jego mobilności) żałuję, że Autor nie podjął wysiłku do rozwiązania innego problemu muzealnictwa, związanego z obecnością szkodliwych substancji biobójczych w obiektach dziedzictwa stosowanych w przeszłości do ochrony zbiorów muzealnych przed owadami. Jest tajemnicą poliszynela, że wiele obiektów muzealnych zawiera w sobie kancerogenne metale ciężkie będące często składnikami substancji biobójczych. Tym samym ryzyko chorób nowotworowych jest wysokie u pracowników muzeum. Użycie systemu DETART do przesiewowego obrazowania pierwiastków w magazynie muzealnym np. magazynie rzeźby, byłoby przełomem w rozwiązaniu problemu tysięcy muzeów na świecie. Zastosowanie takie mogłoby wypromować „ośrodek krakowski” w skali globalnej. Zdaje sobie sprawę, że w takim przypadku zakres pracy uległby znacznemu poszerzeniu, rozbudowując jeszcze bardziej znaczący już dorobek Autora. Uwaga powyższa nie umniejsza bynajmniej wartości recenzowanej pracy, stanowi jedynie zachętę do bardziej aktywnego szukania ciekawych problemów badawczych przez Autora.

Praca byłaby bardziej kompletna gdyby Autor:

- podał zależność parametrów pracy układu od wilgotności względnej oraz formułę wprowadzanej korekty,
- podał informacje na stronie 38, ile wynosi procentowy udział fałszywych sygnałów,
- wyjaśnił, co powoduje brak poprawy energetycznej zdolności rozdzielczej w przypadku zastosowania ksenonu – strona 59,
- podjął próbę interpretacji, dlaczego wyniki dla ołowiu analizy ROI i NMF są zantykorelowane z analizą PCA dając obraz negatywny – strona 88, rysunek 5.6.

Autor nie ustrzegł się również pewnej niewielkiej liczby uchybień natury redakcyjnej, ale ogólnie praca pod względem redakcyjnym jest na bardzo wysokim poziomie. Oto kilka przykładów:

- na str. 78 i następnych, w opisie rysunków niepoprawnie występuje duża litera w wyrazie „Względna”;
- na str. 79 rysunek 4.11 zawiera prawdopodobnie niewłaściwy rozkład rtęci dla 8 minut ekspozycji;

Przedstawiona wyżej lista drobnych uchybień nie wpływa jednak decydująco na całościową ocenę pracy. Stwierdzam, że rozprawa „*Rozwój systemu detekcyjnego do obrazowania przestrzennego rozkładu pierwiastków metodą fluorescencji rentgenowskiej*” spełnia wymogi stawiane w art. 13 ust.1 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki t.j. Dz. U. z 2017 r. poz. 1789 w związku z art. 179 ust. 1 i ust. 2 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. Na tej podstawie wnoszę do Rady Dyscypliny Nauki Fizyczne Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie o dopuszczenie mgr inż. Bartłomieja Łacha do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Prof. dr hab. Łukasz Bratasz  
Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni  
im. Jerzego Habera PAN

Kraków 08.06.2022.