



Prof. dr hab. Marek Wołczyrz  
Oddział Badań Strukturalnych  
Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych PAN  
we Wrocławiu

Wrocław, 29 grudnia 2023 r.

**OCENA OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO**  
**pt. „Fluorescencyjna spektroskopia rentgenowska w badaniach obiektów**  
**stopowych Ag-Cu oraz jej zastosowanie w archeometrii”**  
**a także całokształtu dorobku naukowego**  
**dr Anety Marii Gójskiej**  
w związku z postępowaniem o nadanie stopnia doktora habilitowanego

Dr Aneta Maria Gójska jest absolwentką Politechniki Radomskiej i Akademii Świętokrzyskiej w Kielcach. W roku 2011 obroniła pracę doktorską w dziedzinie nauk fizycznych pt. „Jonizacja atomów Si tarczy aerożelowej oraz wychwyty elektronu i jonizacja pocisków  $^3\text{He}$  podczas procesów zderzeniowych” wykonaną w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Otwocku. Promotorem pracy był prof. Marek Polasik. Od 2011 do 2019 r. Habilitantka była starszym specjalistą badawczo-technicznym, a od 2020 r. jest adiunktem w Narodowym Centrum Badań Jądrowych.

**1. Ocena osiągnięcia naukowego pt. „Fluorescencyjna spektroskopia rentgenowska w badaniach obiektów stopowych Ag-Cu oraz jej zastosowanie w archeometrii”.**

W ramach postępowania habilitacyjnego dr Aneta Gójska przedstawiła cykl 10 powiązanych tematycznie publikacji, które ukazały się w dobrych czasopiśmie anglojęzycznych o obiegu międzynarodowym w latach 2016 – 2023. Publikacje te, o średnim *impact factorze* 2.45, były cytowane do tej pory przynajmniej 27 razy, jeśli odliczy się autocytaty (dane wg Web of Science z grudnia 2023 r.). Prace są wieloautorskie, ale Habilitantka jest pierwszym autorem w sześciu z nich.

Habilitantka przygotowała dość obszerny, 44-stronicowy Autoreferat, w którym w przystępny sposób – chociaż w przypadku niektórych prac dość skrótowo – zarysowała koncepcję swoich badań oraz omówiła problematykę 10 załączonych publikacji.

Zestaw prac wchodzących w skład habilitacji można podzielić na dwie grupy:

- prace **A1**, **A2**, **B1** i **A4** (praca B1 została już przyjęta do druku w czasopiśmie *Measurements* i jest dostępna online) dotyczą fizycznych podstaw badań czystych metali i stopów z naniesioną warstwą srebrną metodami fluorescencyjnej spektroskopii rentgenowskiej i są naukowym wkładem Habilitantki do rozwoju tych badań;
- prace **A3**, **A5**, **A6**, **A7**, **A8** i **A9** przynoszą wyniki badań spektroskopowych, mikroskopowych i dyfrakcyjnych i innych, wybranych artefaktów archeologicznych i z pewnością przynoszą wyniki istotne dla archeologii.

Prace **A1**, **A2** i **B1** stanowią fizyczny trzon rozprawy. W pracach **A1** i **A2** Habilitantka testuje przydatność analizy wyznaczonych stosunków intensywności linii spektralnych  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  do określenia rodzaju i grubości warstwy przypowierzchniowych w stopach metali. Praca **B1** jest testem aplikacji zaproponowanej przez Habilitantkę metody do badań konkretnych modelowych próbek. Pewien niedosyt związany jest faktem, że metoda pomiaru stosunków intensywności linii nie jest już stosowana w żadnej z innych 6 prac archeometrycznych *sensu stricto*, czyli w pracach **A3**, **A5**, **A6**, **A7**, **A8** i **A9**.

W pracy **A1** opisano pomiary linii fluorescencji rentgenowskiej  $AgK_{\alpha}$  i  $AgK_{\beta}$  indukowanych lampą rentgenowską Rh dla czystego Ag i stopów Ag-Cu. Wyznaczano stosunki intensywności  $AgK_{\beta}/AgK_{\alpha}$ . Otrzymane wyniki eksperymentalne porównano z wynikami obliczeń metodą Diraca-Hartree-Focka uzyskanymi przy pomocy programu GRASP2018 oraz z dostępnymi literaturowo wartościami eksperymentalnymi. Stwierdzono silną zależność pomiędzy zmierzonymi współczynnikami  $K_{\beta 1,3}/K_{\alpha 1,2}$  i  $K_{\beta 1,2,3}/K_{\alpha 1,2}$  a składem stopu Ag-Cu. Dla obu stosunków zaobserwowano tę samą tendencję: spadek stosunków intensywności  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  wraz ze wzrostem zawartości Ag w stopie.

Praca **A2** przynosi symulacje numeryczne przy użyciu programu FLUKA linii fluorescencji  $CuK_{\alpha}$  i  $CuK_{\beta}$  indukowanych lampą rentgenowską Rh oraz promieniowaniem monoenergetycznym. Modelowano stosunki intensywności linii miedzi  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  dla pierwiastków czystych oraz stopów Ag-Cu. Wyniki porównano z dostępnymi literaturowymi wartościami eksperymentalnymi i teoretycznymi. Stwierdzono wyraźną zależność pomiędzy symulowanymi współczynnikami intensywności  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  a zawartością miedzi w stopie Ag-Cu: wraz ze wzrostem zawartości Cu współczynnik  $K_{\beta}/K_{\alpha}$  maleje.

Praca **B1** ma na celu pokazanie możliwości określenia rodzaju warstwy przypowierzchniowej i pomiaru jej grubości przy pomocy pomiarów ED-XRF (fluorescencja rentgenowska z dyspersją energii). Przeprowadzono pomiary oraz symulacje programem FLUKA służące wyznaczeniu stosunków intensywności linii  $CuK_{\alpha}/AgK_{\alpha}$  oraz  $AgK_{\beta}/AgK_{\alpha}$  i  $CuK_{\beta}/CuK_{\alpha}$  dla próbek miedzi pokrytych napyłaną warstwą srebra o różnej grubości. Wyniki wskazują na silną zależność tych stosunków od grubości warstwy srebra. Pomiary pokazały możliwości zastosowania metody opierającej się na analizie stosunków intensywności linii spektralnych w archeometrii.

Praca **A4**, wcześniejsza od poprzednich trzech, to publikacja opisująca i testująca współskonstruowany przez Habilitantkę kompaktowy system fluorescencji rentgenowskiej z dyspersją energii (ED-XRF). Jako źródło promieniowania rentgenowskiego wykorzystano srebrną lampę rentgenowską opracowaną w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w



Otwocku, a jako detektor zastosowano spektrometr Amptek SDD. Analizowano stopy srebra i miedzi. Jako próbki kalibracyjne wykorzystano referencyjne stopy Ag-Cu, co pozwoliło na oszacowanie granicy wykrywalności i granicy oznaczalności. Zawartość pierwiastków oznaczono metodą parametrów podstawowych (FP). Dane eksperymentalne dotyczące ograniczeń detekcji Ag i Cu wykazały, że opracowany w NCBJ system jest skutecznym narzędziem do analizy składu chemicznego monet historycznych i może być z powodzeniem stosowany w archeometrii. Systemu używała Habilitantka w pomiarach opisanych w pracach **A3, A5 i A8**.

Grupa prac: **A3, A5, A6, A7, A8 i A9** nie zawiera nowych wyników dotyczących metodologii badań, lecz składa się z publikacji z pogranicza fizyki, chemii, inżynierii materiałowej i archeologii, a więc lokuje się w dziedzinie archeometrii.

W pracy **A3** zaprezentowane są badania zestawu polskich zabytków archeologicznych odnalezionych podczas wykopalisk na Mazurach pochodzących z okresu wędrówek ludności w V-VI w. W badaniach zastosowano system fluorescencji rentgenowskiej z dyspersją energii (ED-XRF) opisany w pracy **A4**.

W pracy **A5** Habilitantka przy pomocy tego samego systemu badała i analizowała skład pierwiastkowy dwóch polskich monet historycznych z XIX i XX w. Wykonała również badania porównawcze przy pomocy komercyjnych aparatów: WD-XRF (fluorescencja rentgenowska z dyspersją długości fali), SEM-EDX (skaningowa mikroskopia elektronowa ze spektroskopią rentgenowską) oraz XRD (proszkowa dyfrakcja rentgenowska). Zastosowane metody pozwoliły na wyznaczenie zbliżonych wartości zawartości miedzi i srebra w stopach.

W pracy **A6** przebadano zbiór 26 zabytków z okresu kształtowania się pierwszego państwa polskiego w X-XI w. Zastosowano komercyjne przyrządy pomiarowe: SEM-EDX (skaningowa mikroskopia elektronowa ze spektroskopią rentgenowską) oraz spektrometrię mas z ablacją laserową w plazmie indukcyjnie sprzężonej (LA-ICP-MS), a otrzymane stosunki izotopowe ołowiu poddano obróbce metodą liniowej analizy dyskryminacyjnej (LDA). Wyniki badań dostarczyły informacji na temat stosowanych technik zdobniczych oraz pochodzenia surowego srebra.

Praca **A7** opisuje badania uchwytu tarczy znalezionej na rzymskim cmentarzu kultury przeworskiej w Czersku w środkowej Polsce. Artefakt został poddany specjalistycznym analizom z wykorzystaniem różnych technik w celu ujawnienia technologii srebrzenia. W badaniach wykorzystano szereg uzupełniających się metod analitycznych, takich jak spektrometria mas z ablacją laserową w plazmie indukcyjnie sprzężonej (LA-ICP-MS), skaningowa mikroskopia elektronowa z promieniowaniem rentgenowskim z dyspersją energii (SEM-EDX), dyfrakcja promieni rentgenowskich (XRD) oraz obrazowanie neutronowe (NI). Zidentyfikowano dwie technologie srebrzenia: srebrzenie foliowe i obróbkę mechaniczną elementów srebrnych. Na podstawie specyficznej korelacji maksymalnych zawartości srebra, miedzi i cyny w warstwach zewnętrznych stwierdzono, że powierzchnia płyt ażurowych została w pierwszej kolejności pokryta stopem z dodatkiem wysokiej zawartości cyny i miedzi jako lutowia. Następnie nałóżono na niego cienką srebrną folię. Natomiast grzebień uchwytu tarczowego zdobiono techniką bezlutowniczą, czyli kuciem i młotkowaniem.



W pracy **A8** opisano badania fibuli (zapinki) z VI w. znalezionej w Radziejowie. Artefakt został poddany analizom fizycznym w celu określenia technologii jej wykonania. W tym celu zbadano skład chemiczny i pierwiastkowy stopu. Zastosowano kilka uzupełniających się technik fizykochemicznych, takich jak: mikroskopia optyczna (OM), skaningowa mikroskopia elektronowa ze spektroskopią rentgenowską z dyspersją energii (SEM-EDX), analiza fluorescencji rentgenowskiej z dyspersją energii (ED-XRF) – pomiar zrealizowany na urządzeniu opisanym w pracy **A4**, proszkowa dyfrakcja rentgenowska (XRD) oraz badania mikrotwardości. Badania wykazały, że zapinkę wykonano z mosiądzu (4–17% Zn) z domieszką Sn (2–12%). Zastosowano dwie technologie: odlewanie kabłąka oraz formowanie części z miejscem dla sprężynki. Powierzchnia artefaktu została ocynowana w procesie zanurzania na gorąco. Analizy wykazały, że zabytek został odlany i ozdobiony metodą stemplowania powierzchniowego w temperaturze około 500°C.

W pracy **A9** zaprezentowano wyniki badań pięciu lunuli (fragmentów biżuterii) pochodzących z IX w. i znalezionych w Wielkopolsce. Rodzaje lutowania stosowane w celu mocowania granulek i drutu do powierzchni artefaktu badano za pomocą mikroskopii optycznej (OM), skaningowej mikroskopii elektronowej ze spektroskopią rentgenowską z dyspersją energii (SEM-EDX), mikrospektroskopii Ramana i proszkowej dyfrakcji rentgenowskiej (XRD). Wyniki potwierdziły zastosowanie lutowania chemicznego przy pomocy związków Cu z dodatkiem kleju żywicznego.

Jako niespecjaliście trudno ocenić mi znaczenie wyników prac **A3** i **A5-A9** dla polskiej i światowej archeometrii, ale prace te wydają się prezentować rzetelne i wyczerpujące, najczęściej komplementarne badania fizykochemiczne obiektów archeologicznych. Sama Habilitantka, zresztą, stara się oszczędzić czytelnikowi Autoreferatu, w tym Recenzentowi, zbyt wielu archeometrycznych szczegółów prac **A3** oraz **A6-A9**, pisząc o nich w swoim opracowaniu nader skrótowo i traktując, chyba, jako rutynowe prace archeometryczne. Nieco więcej miejsca poświęca w swoim Autoreferacie pracy **A5**, której jest pierwszą autorką (w odróżnieniu od prac **A6-A9**), i w której stosuje aż 4 komplementarne techniki badawcze, w tym system ED-XRF zbudowany NCBJ. Habilitantka pisze, że „praca **A5** jest pierwszą na świecie pracą ukazującą porównanie metod spektroskopowych stosowanych w archeometrii i jasno pokazuje, że otrzymany wynik zależy od użytej techniki analizy”. Powyższe stwierdzenie nie jest precyzyjne, bo kilka linijek wyżej sama Autorka pisze, że niespójność pomiędzy wynikami uzyskanymi za pomocą ED-XRF i WD-XRF a SEM-EDX i XRD jest rezultatem różnic w głębokości oddziaływania. Dlatego, jak miemam, poszczególne techniki pomiarowe dostarczają precyzyjnych informacji, tyle, że to niejednorodności warstw przypowierzchniowych badanych próbek są powodem owych różnic.

Ponadto Habilitantka pisze: „Analizy doprowadziły to do przełomowego odkrycia: stosowanie różnych metod technologicznych w produkcji wczesnośredniowiecznych monet. Jeden z denarów składa się ze stopu Ag-Cu, drugi natomiast został wytworzony za pomocą platerowania rdzenia na bazie Cu-Zn za pomocą arkusza srebra. Dotychczas uważano, że takie monety były jednorodnymi stopami Ag-Cu. Oznacza to, że potrzebne są bardziej dogłębne badania nad historią i technologią bicia monet w Polsce we wczesnym

średniowieczu.” Recenzentowi wypada przyjąć słowa Habilitantki – *nomen omen* – za dobrą monetę i wyrazić swoje uznanie.

**Podsumowując:** cykl 10 prac stanowiących osiągnięcie naukowe dr Anety Marii Gójskiej to dobre prace opublikowane w dobrych czasopismach. Widać jednak w tym zestawie pewne pęknięcie. 3-4 z nich mają charakter metodologicznych prac fizycznych, lecz zaproponowana i rozwijana w nich metoda nie jest stosowana w pozostałych 6 pracach o charakterze aplikacyjnym. Te z kolei są rzetelnymi pracami z dużym komponentem fizykochemicznym przejawiającym się sporą liczbą zastosowanych komplementarnie metod i pokazują biegłość Habilitantki w posługiwaniu się technikami właściwymi archeometrii.

Warto podkreślić, że tematyka omawiana w prezentowanych 10 pracach, to tematyka nowa dla Habilitantki, mająca swój początek ok. 2016 r. To wtedy Habilitantka rozpoczęła prace z użyciem fluorescencyjnej spektroskopii rentgenowskiej ukierunkowane na uzyskanie wyników interesujących w badaniach archeometrycznych.

Tak więc, **cykl 10 prac stanowiących osiągnięcie naukowe dr. Anety Marii Gójskiej stanowi istotny wkład w rozwój nauki z pogranicza fizyki (spektrometria rentgenowska i archeologii (archeometria)).**

## 2. Ocena istotnej aktywności naukowej Habilitantki

Dorobek naukowy dr Anety Gójskiej obejmuje 10 publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej, 4 inne publikacje z lat 2015-2019 oraz 179 wieloautorskich publikacji wydanych w latach 2013-2018, będących pokłosiem 5 krótkoterminowych wizyt w ośrodku Joint European Torus w Culham, Anglia, w ramach Europejskiego Programu Badań Fuzyjnych EURATOM w latach 2011-2014.

Globalne indeksy naukometryczne Habilitantki są imponujące: indeks Hirscha 32, całkowita liczba cytowani 3779. Zdaniem Recenzenta należy żałować, że Habilitantka porzuciła obiecującą karierę fizyka wysokich energii, ale z uznaniem trzeba przyjąć odważną decyzję zmiany tematyki badawczej, dostosowującą ją do krajowych możliwości aparaturowych.

Na wystąpienia konferencyjne Habilitantki składają się 2 referaty wygłoszone przez nią na zaproszenie: 1 na międzynarodowej konferencji w kraju, 1 na konferencji krajowej, jeden komunikat oraz 16 plakatów prezentowanych głównie na konferencjach zagranicznych.

Habilitantka była w latach 2014-19 wykonawcą w projektach NCN: OPUS „Pochodzenie i obieg srebra w Polsce wczesnośredniowiecznej z wykorzystaniem analiz izotopowych ołowiu” oraz HARMONIA: „Kontakty handlowe regionu Murcji (Hiszpania) ze światem śródziemnomorskim w starożytności na podstawie źródeł archeologicznych i historycznych”. Była także wykonawcą w 6 innych projektach, w tym w ramach współpracy z sektorem gospodarczym:

- Projekt: „Na granicy światów. Obozowisko kultury magdaleńskiej w Ćmielowie, woj. Świętokrzyskie”, MKiDN, 2019



- Projekt: „Ocena i monitoring zmian stanu różnorodności biologicznej w Puszczy Białowieskiej na podstawie wybranych elementów przyrodniczych i kulturowych – kontynuacja”, 2019
- Projekt CU-NAA „Oznaczanie składu pierwiastkowego rudy miedzi w warunkach dołowych w oparciu o metody rentgenowskie”, 2014, 2015
- Zadanie „Badanie materiałów scyntylacyjnych do kamery gamma monitorującej plazmę wysokotemperaturową w Tokamakach” w projekcie EUROfusion – JET 1, 2014, 2015
- Projekt: „Modułowe elementy z betonu ciężkiego z powierzchnią licową "surową" lub z kamienia naturalnego na potrzeby osłon dla urządzeń emitujących promieniowanie jonizujące, promieniowanie gamma oraz strumienie prędkich neutronów - wykonanie eksperymentalnych testów osłon betonowych (z trzech typów betonów) dla wysokoenergetycznych neutronów”, 2013
- Projekt AiD "Rozwój specjalizowanych systemów wykorzystujących akceleratorzy i detektory promieniowania jonizującego do terapii medycznej oraz wykrywania materiałów niebezpiecznych i odpadów toksycznych", 2008-2013

Dr Aneta Gójska odbyła latach 2011–2014 pięć krótkoterminowych pobytów badawczych w Joint European Torus, Culham, Anglia (łącznie ponad 3 miesiące), w 2017 roku spędziła 5 dni w Centrum Mikroanalizy Instytutu Josefa Stefana w Ljublanie, Słowenia, a na przełomie 2022 i 2023 roku 3 miesiące w Katedrze Fizyki Wydziału Mechanicznego Uniwersytetu Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu.

**Podsumowując: publikacyjny i konferencyjny dorobek Habilitantki jest znaczny i spełnia wymagania stawiane kandydatom w postępowaniu habilitacyjnym, a prace wykonawcy w grantach NCN świadczą o jej umiejętnościach badawczych.**

### **3. Dorobek dydaktyczny, popularyzatorski i organizacyjny Habilitantki; współpraca międzynarodowa**

Dorobek dydaktyczny dr Anety Gójskiej jest niewielki.

Habilitantka była promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim Eweliny Miśty-Jakubowskiej. Dysertacja zatytułowana „Mikroanaliza wczesnośredniowiecznych zabytków zawierających stopy srebra” została obroniona w lutym 2021 w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Otwocku. Trzy prace wchodzące w skład dysertacji doktorskiej weszły również do habilitacyjnego zestawu prac dr Anety Gójskiej.

Habilitantka opiekowała się jedną praktykantką i wygłosiła referat w ramach Dni Otwartych NCBJ.

Bardzo szkoda, że Habilitantka nie została zaangażowana w wykłady dla studium doktoranckiego/szkoły doktorskiej, i nie prowadziła prac magisterskich. Nie jest to korzystna sytuacja dla potencjalnego promotora i opiekuna naukowego studentów i doktorantów, chociaż wydaje się, że współpraca z dr Miśtą-Jakubowską przy pracy nad jej dysertacją na

temat archeometrycznych badań stopów srebra układała się bardzo dobrze i przyniosła dobre efekty.

Jedynym przejawem działalności organizacyjnej Habilitantki, to organizacja Dni Otwartych NCBJ w 2015 r.

Habilitantka ma dobre doświadczenia w pracy w międzynarodowych zespołach badawczych. Wizytowała wielokrotnie ośrodek Joint European Torus w Culham, pracowała także w Centrum Mikroanalitycznym Instytutu Josefa Stefana w Ljublanie.

**Podsumowując: Habilitantka legitymuje się niezbyt dużym dorobkiem dydaktycznym i popularyzatorskim. Za to ma dobre doświadczenia we współpracy z zagranicznymi ośrodkami naukowymi.**

### 3. Konkluzja

Na podstawie oceny przedstawionego w ramach habilitacji przez dr Anetę Marię Gójską cyklu 10 powiązanych tematycznie publikacji pod wspólnym tytułem „**Fluorescencyjna spektroskopia rentgenowska w badaniach obiektów stopowych Ag-Cu oraz jej zastosowanie w archeometrii**” oraz całokształtu jej dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego uważam, że **spełniają one warunki określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (Dz. U. z 2018 r. poz. 1668 z późn. zm.) i wnoszę do Wysokiej Komisji, a poprzez nią do Rady Naukowej Narodowego Centrum Badań Jądrowych, o przyznanie dr Anecie Marii Gójskiej stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk fizycznych.**

Marek Węgrz

