

### Recenzja

dorobku naukowego, dydaktycznego i organizacyjnego dr Elżbiety Regulskiej w związku z postępowaniem habilitacyjnym prowadzonym przez Radę Dyscypliny Nauki Chemiczne Uniwersytetu w Białymstoku

Po zapoznaniu się z materiałami przewodu habilitacyjnego oraz dorobkiem naukowym Pani dr Elżbiety Regulskiej, jestem głęboko przekonany, że wniosek o nadanie stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne zainteresowanej jest w pełni uzasadniony, co w dalszej części recenzji będę starał się uzasadnić.

Pani Elżbieta Regulska ukończyła studia magisterskie na Wydziale Biologiczno-Chemicznym Uniwersytetu w Białymstoku w roku 2010 uzyskując stopień mgr chemii. W roku 2015 na podstawie dysertacji pt. „Otrzymanie i zastosowanie nowych nanokompozytów na bazie pochodnych fulereny C<sub>60</sub> i tlenku tytanu jako potencjalnych fotokatalizatorów” (promotor: prof. dr hab. Joanna Karpińska, promotor pomocniczy: prof. dr hab. Marta Eliza Płońska-Brzezińska) oraz przeprowadzonego postępowania kwalifikacyjnego Rada Wydziału Biologiczno-Chemicznego Uniwersytetu w Białymstoku nadała Pani Elżbiecie Regulskiej stopień doktora nauk chemicznych w dyscyplinie chemia – praca doktorska z wyróżnieniem. W tym samym roku Pani dr Elżbieta Regulska została zatrudniona w Katedrze Chemii Analitycznej - Zakład Analiz Farmaceutycznych i Żywności, Wydziału Biologiczno-Chemicznego (obecnie Wydziału Chemii) Uniwersytetu w Białymstoku, gdzie pracuje do dnia dzisiejszego.

W dniu 28 października 2022 roku Pani dr Elżbieta Regulska za pośrednictwem Rady Doskonałości Naukowej zwróciła się do Rady Wydziału Chemii Uniwersytetu w Białymstoku o przeprowadzenie postępowania w sprawie nadania stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne, prezentując osiągnięcie naukowe będącego podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego pt. „Modyfikowane mieszane tlenki metali oraz aromatyczne związki

heterocykliczne zawierające fosfor w układzie pierścieni skondensowanych jako materiały funkcjonalne” – opartych o cykl dwunastu artykułów naukowych opublikowanych w latach 2018 – 2022, w czasopismach znajdujących się w bazie JCR

Zainteresowania naukowe kandydatki do stopnia naukowego doktora habilitowanego koncentrują się w obrębie czterech nurtów tematycznych:

- Kompozyty na bazie glinianu niklu i grafenowych kropek kwantowych jako fotokatalizatory, elektrokatalizatory oraz superkondensatory
- Mieszane tlenki o strukturze spinelu domieszkowane metalami ziem rzadkich jako fotokatalizatory rozkładu substancji toksycznych i antybiotyków
- Kompozyt na bazie tytanianu niklu i zredukowanego tlenku grafenu jako fotokatalizator, elektrokatalizator i superkondensator
- Aromatyczne związki heterocykliczne zawierające fosfor w układzie pierścieni skondensowanych jako materiały funkcjonalne

Wszystkie te cztery nurty tematyczne łączy wspólne hasło – nowe materiały funkcjonalne o dużym potencjalnym zastosowaniu w chemii analitycznej, medycynie, elektrotechnice czy też w elektronice.

W zakresie badań kompozytów na bazie glinianu niklu habilitantka zaproponowała otrzymanie  $\text{NiAl}_2\text{O}_4$  metodą współstrącaniową. Na drodze analizy termicznej (DSC, TGA) wykazała, że minimalna temperatura, która pozwala na przemianę struktury amorficznej w krystaliczną wynosi  $400^\circ\text{C}$ . Dzięki pomiarom techniką rentgenowskiej dyfraktometrii proszkowej udowodniłam, że kalcynacja w temperaturze  $800^\circ\text{C}$  prowadzi do zaniku dodatkowej fazy pochodzącej od  $\text{NiO}$  i utworzenia jednorodnego materiału o strukturze spinelu. Z kolei poprzez pomiary techniką spektroskopii w podczerwieni z transformacją Fouriera wykazała, iż powierzchnia  $\text{NiAl}_2\text{O}_4$  jest pokryta grupami hydroksylowymi; co jest bardzo istotną właściwością w kontekście zastosowania w fotokatalizie. Grafenowe kropki kwantowe otrzymała na drodze pirolizy kwasu cytrynowego. Materiał kompozytowy uzyskała poprzez wprowadzenie glinianu niklu w formie krystalicznej do mieszaniny reakcyjnej w trakcie syntezy grafenowych kropek kwantowych. Habilitantka wykazała między innymi aktywność elektrokatalityczną kompozytu  $\text{NiAl}_2\text{O}_4/\text{GQDs}$ . W tym miejscu należy podkreślić, że współpraca habilitantki z grupą prof. Tomasza Hryszko z Uniwersytetu Medycznego w Białymstoku skutkowałą opracowaniem przez dr Elżbietę Regułą nowego sensora do oznaczania glukozy w płynach biologicznych, takich jak krew (osocze, surowica). Metodę detekcji glukozy oparła o technikę różnicowej voltamperometrii pulsowej. Opracowany czujnik charakteryzuje się zakresem liniowości ( $0.25 - 5 \text{ mM}$ ), który pozwala określać

stężenie glukozy w płynach ustrojowych człowieka. Sensor posiada także satysfakcjonującą granicę wykrywalności ( $LOD = 0.06 \text{ mM}$ ) i jest odporny na działanie interferentów.

W zakresie badań mieszanych tlenków o strukturze spinelu domieszkowanych metalami ziem rzadkich, habilitantka zakładała, że domieszkowanie to zwiększy aktywności fotokatalityczną glinianu niklu. W toku prowadzonych badań habilitantka udowodniła, że spośród badanych metali ziem rzadkich domieszkowanie erbem dało największy wzrost fotokatalitycznej aktywności półprzewodników Er-NA oraz Er-CA. Fotokatalizatory te przejawiały szereg korzystnych właściwości, które sprzyjają fotokatalitycznej aktywności. Posiadały one bowiem najmniejsze wartości przerw energetycznych, wysoką powierzchnię właściwą, największą objętość porów i tworzyły najtrwalsze zawiesiny w roztworach wodnych. Ponadto wykazała na przykładzie degradacji oksatetracykliny w roztworze wodnym, że aktywność fotokatalityczną nowych materiałów można wykorzystać jako wydajną metodę eliminacji antybiotyków ze środowiska.

Celem badań kompozytów na bazie tytanianu niklu i zredukowanego tlenku grafenu było zbadanie czy możliwe jest wykazanie synergicznych właściwości kompozytu na bazie tytanianu niklu oraz zredukowanego tlenku grafenu (rGO). W toku badań wykazano, że wprowadzenie rGO znacząco zwiększa powierzchnię właściwą, zmniejsza opór przenoszenia ładunku na elektrodzie modyfikowanej kompozytem  $NiTiO_3/rGO$  i zapobiega rekombinacji pary dziura-elektron po wzbudzeniu  $NiTiO_3$  promieniowaniem widzialnym. Wyniki przeprowadzonych badań aktywności fotokatalitycznej  $NiTiO_3/rGO$  przez habilitantkę pokazały wielofunkcyjny charakter tego materiału.

Habilitantka pokazała, że ten kompozyt pozwolił na fotokatalityczny rozkład nizatydyny na poziomie 85%, podczas gdy w obecności samego  $NiTiO_3$  obserwowano jedynie 35%-owy rozkład leku.

Aromatyczne związki heterocykliczne zawierające fosfor w układzie pierścieni skondensowanych jako materiały funkcjonalne to według subiektywnej opinii recenzenta najciekawszy fragment opiniowanej rozprawy habilitacyjnej.

Wraz z syntezą 2,4,6-trifenylofosfininy, fosforowy analog pirydyny i jej wyższe homologi zostały po raz pierwszy opisane przez G. Markla w 1966 r., a wkrótce potem zbadane głównie przez Dimrotha i Bickelhauptę i później także przez grupy Mathey i Le Floch. Te niezwykle związki fosforu posiadają (pre)zdefiniowane właściwości elektroniczne, steryczne i koordynacyjne, które różnią się od klasycznych pochodnych fosfin. Związki te przez długi czas były traktowane jako "chemiczne ciekawostki", a ich badania koncentrowały się głównie na ich syntezie oraz rozważaniach teoretycznych, podczas gdy ich potencjał jako

ligandów w katalizie homogenicznej przez wiele lat nie były badane. Dzisiaj w wyniku szeregu badań ich niezwykle właściwości: steryczne, elektroniczne i koordynacyjne w porównaniu z klasycznymi trójwartościowymi układami fosforu doprowadziły do szerokiej aplikacji tych związków głównie w katalizie homogenicznej.

W roku 2017 dr Elżbieta Regulska dołączyła do zespołu prof. Carlosa Romero-Nieto początkowo w Heidelbergu a następnie na Uniwersytecie w Kastylii-La Mancha (Universidad de Castilla-La Mancha, Hiszpania), gdzie rozpoczęła szeroko zakrojone badania w zakresie chemii, fizykochemii oraz właściwości biologicznych związków fosforoorganicznych posiadających skondensowane układy aromatyczne z sześciocyklowymi i siedmiocyklowymi pierścieniami z atomem fosforu jako heteroatomem. W pierwszym etapie tych badań opracowała syntezę kompleksów 7-tlenku 7-fenyl-7H-benzo[4,5]fosfinolino[2,3-c]tiofenu oraz 7-tlenku 10-metylo-7-fenyl-7,10-dihydrobenzo[4,5]fosfinolino[3,2-b]pirolu z tris(pentafluorofenyl)boranem. Otrzymała krystaliczne kompleksy, których struktury określiła na podstawie badań XRD. Ponadto pokazała możliwość zastosowania kompleksu 7-tlenku 10-metylo-7-fenyl-7,10-dihydrobenzo[4,5]fosfinolino[3,2-b]pirolu z tris(pentafluorofenyl)boranem w organicznych diodach elektroluminescencyjnych. W kolejnym etapie badań opracowała metodę syntezy układów fosfafenalenowych zawierających w swej konstytucji fragment pirydynowy jak również pirolowy, przeprowadziła ich dokładną analizę strukturalną a następnie zajęła się badaniem fosfafenalenów posiadających w swej konstytucji fragment pirolu jako materiałów luminescencyjnych o działaniu przeciwnowotworowym. Dr Elżbieta Regulska udowodniła na podstawie wyników swych badań, że rodzaj pierścienia skondensowanego z układem fosfafenalenowym znacząco wpływał na bioaktywność związku. A pierścień pirolu znacząco podnosił aktywność cytotoksyczną tej klasy związków. Ponadto wykazała, że kompleksy złota i struktur fosfafenalenowych są wchłaniane przez komórki nowotworowe w relatywnie krótkim czasie. Innymi słowy, bioaktywność i właściwości spektroskopowe otrzymanych struktur czynią te związki potencjalnymi kandydatami na leki przeciwnowotworowe. Kolejnym bardzo ciekawym etapem badań habilitantki były struktury zawierające pięć liniowo skondensowanych aromatycznych pierścieni sześciocyklowych, w tym dwa pierścienie heterocykliczne z atomem fosforu jako heteroatomem. Liniowo skondensowane węglowodory aromatyczne mają szczególne znaczenie ze względu na ich potencjał aplikacyjny w urządzeniach elektronicznych. Problem polega na tym, że wraz ze wzrostem liczby skondensowanych pierścieni trwałość takich układów drastycznie spada. Dr Elżbieta Regulska opracowała oryginalną metodę syntezy pochodnych difosfapentaarenów

zawierających zarówno ugrupowania P=O jak i P=S. Wyniki badań tej klasy związków pokazały, że wydajność kwantowa fluorescencji difosfapentaarenów była niższa niż difosfaheksaarenów, wcześniej opisana przez zespół Carlosa Romero-Nieto. Jednakże badane difosfapentaareny o charakterze czwartorzędowych soli fosfoniowych wykazywały dobrą rozpuszczalność tak w wodzie jak i w szeregu rozpuszczalnikach organicznych co więcej jedna z tych soli w roztworze wodnym wykazała wysoką wydajność kwantową fluorescencji co jest istotne w kontekście potencjalnych zastosowań w bioobrazowaniu.

Poszukując nowych materiałów funkcjonalnych na bazie aromatycznych związków heterocyklicznych z atomem fosforu w układzie pierścieni skondensowanych, habilitantka opracowała oryginalną metodę syntezy nowych pochodnych fosfepinowych. Zaprojektowane struktury zawierały siedmioczłonowy pierścień heterocykliczny z atomem fosforu skondensowany z pierścieniami benzenowymi. Na uwagę zasługuje fakt, że otrzymane nowe fosfepiny charakteryzowały się dużą trwałością, chiralną strukturą oraz atrakcyjnymi właściwościami optycznymi (niebieska luminescencja oraz wysoka wydajność kwantowa). Podsumowując ten fragment obszernych badań dr Elżbiety Regulskiej należy stwierdzić, że habilitantka pokazała, iż aromatyczne związki heterocykliczne z atomem fosforu w układzie pierścieni skondensowanych mogą być post-funkcjonalizowane, wykazują luminescencję oraz skłonność do samoorganizacji a więc mogą służyć jako materiały funkcjonalne. Otrzymane przez habilitantkę związki pozwalają na konstrukcję organicznych diod elektroluminescencyjnych ora mogą znaleźć zastosowanie jako chiralne fotokatalizatory. Na szczególną uwagę zasługują otrzymane związki wykazujące właściwości przeciwnowotworowe.

Na ogólny dorobek naukowy Pani Elżbiety Regulskiej składa się 27 oryginalnych publikacji, które były cytowane 257 razy ( bez autocytowań) a **IIH** wynosi 11 ( Web of Science na dzień 8.02.2023). Te 27 w/w prace były publikowane w czasopismach z tzw. listy filadelfijskiej. Zgodnie z wykazem osiągnięć naukowych , zawartym w materiałach habilitacyjnych Pani Elżbieta Regulska przed doktoratem opublikowała 10 prac naukowych, natomiast po doktoracie 22, ponadto jest autorem lub współautorem 7 rozdziałów w monografiach naukowych. Wyniki swoich prac naukowych habilitantka prezentowała na 17 krajowych i międzynarodowych konferencjach naukowych.

O znaczącym udziale koncepcyjno-intelektualnym Pani dr Elżbiety Regulskich w cytowanych powyżej publikacjach świadczy fakt, że w większości tych publikacji habilitantka jest albo pierwszym bądź też autorem korespondencyjnym. W wykazie publikacji habilitantka określa precyzyjnie swój udział w konkretnych publikacjach. W tym miejscu recenzent zwraca uwagę

na pewną dyskrepancję. Habilitantka swój udział w publikacji „Post-Functionalization and Properties of Diphosphapentaarenes” *Chemistry A European Journal*, 2022 określa na 70% kiedy w tekście oryginalnej publikacji jest adnotacja, że dla dwójki pierwszych autorów ( Elżbieta Regulska i Philip Hindenberg ) cyt. „*These authors contributed equally to the work*” koniec cytatu.

Kolejna uwaga recenzenta dotyczy afiliacji Pani Elżbiety Regulskiej w cytowanych wyżej publikacjach, gdzie autorce przypisany jest Organisch-Chemisches Institut, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg lub Faculty of Pharmacy, University of Castilla-La Mancha – brak adnotacji np. *on leave from Institute of Chemistry, University of Białystok (Poland)*.

### **Działalność dydaktyczna i organizacyjna**

Pani dr Elżbieta Regulska podczas swojego zatrudnienia na Uniwersytecie w Białymstoku prowadziła szeroką gamę zajęć: laboratoryjnych, terenowych, konwersatoriów oraz wykładów tak w języku polskim jak i angielskim. Była opiekunem 9 prac licencjackich oraz 10 prac magisterskich. Była członkiem komitetów organizacyjnych 7 konferencji naukowych.

Na szczególną uwagę zasługuje praca Pani dr Elżbiety Regulskiej w zakresie promocji Wydziału Chemii macierzystego Uniwersytetu jak i popularyzacji nauki i technologii. Aktywnie uczestniczyła między innymi w wielu wydarzeniach skierowanych do uczniów liceów, gimnazjów, a także szkół podstawowych w ramach Podlaskiego Festiwalu Nauki i Sztuki, Międzynarodowego Roku Chemii i Roku Marii Skłodowskiej-Curie, Marcowych Spotkań z Nauką, Pikniku Młodych Naukowców, Nocy Szalonego Chemika, Dnia Młodego Chemika, Dni Akademickich na białostockim rynku, Festiwalu Innowatorów czy też w programie edukacyjnym „Archimedes”.

Pani dr Elżbieta Regulska kierowała 3 naukowymi projektami krajowymi oraz była wykonawcą w 1 projekcie krajowym oraz w 7 międzynarodowych.

Habilitantka podczas swej nie tak długiej działalności naukowej wykazała się wyjątkową zdolnością nawiązywania kontaktów naukowych oraz współpracy naukowej; w tym miejscu wymienić należy m. in. Universidad de Castilla-La Mancha, Albacete, Hiszpania; Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Niemcy; University of Texas at El Paso, USA; Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Niemcy czy też Uniwersytet Medyczny w Białymstoku.

## **Podsumowanie**

Jako podsumowanie oceny materiałów dotyczących przewodu habilitacyjnego dr Elżbiety Regulskiej, przedstawiam poniżej zestawienie pozytywnych i negatywnych wniosków z tej oceny.

Po stronie pozytywów należy uwzględnić:

1. Niezmiernie aktualny i ważny temat działalności naukowej
2. Znaczące powiększenie dorobku naukowego po uzyskaniu stopnia naukowego doktora ( z 10 przed doktoratem do 29 po doktoracie).
3. Po uzyskaniu stopnia naukowego doktora opublikowała 18 prac w czasopismach z tzw. Listy Filadelfijskiej o wysokiej wartości IF (Web of Science 08.02.2023)
4. Habilitantka występowała w 10 projektach badawczych jako wykonawca w tym w 3 jako kierownik projektu
5. Wyniki badań naukowych habilitantki posiadają ogromny potencjał aplikacyjny
6. Habilitantka posiada wyjątkową zdolność nawiązywania współpracy z ośrodkami naukowymi tak w kraju jak i za granicą
7. Kandydatka do stopnia doktora habilitowanego posiada znaczący dorobek dydaktyczny jak i organizacyjny

Po stronie elementów negatywnych:

BRAK

## **Konkluzja**

Na podstawie wnikliwej analizy przedłożonego cyklu 12 publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe będące podstawą ubiegania się o nadanie stopnia doktora habilitowanego pt.

„Modyfikowane mieszane tlenki metali oraz aromatyczne związki heterocykliczne zawierające fosfor w układzie pierścieni skondensowanych jako materiały funkcjonalne” oraz całości dorobku naukowego Habilitantki, jak również Jej dorobku dydaktycznego i organizacyjnego, jednoznacznie stwierdzam, że dr Elżbieta Regulska spełnia wszystkie warunki dla nadania Jej stopnia doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne, określone w ustawie Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce z dnia 20 lipca 2018 r. (Dz. U. 2022 poz. 574 art. 219) .

Pani dr Elżbieta Regulska zdecydowanie powiększyła swój dorobek naukowy w okresie po uzyskaniu stopnia doktora nauk chemicznych. Realizowała oryginalny, innowacyjny program badawczy o znacznym potencjale aplikacyjnym.

W subiektywnej ocenie recenzenta do najważniejszych osiągnięć tego programu badawczego należy zaliczyć szeroko zakrojone multidyscyplinarne badania aromatycznych związków

heterocyklicznych zawierających atom fosforu w układzie pierścieni skondensowanych jako materiały funkcjonalne.

Biorąc pod uwagę wszystkie wyżej przedstawione argumenty z głębokim przekonaniem stawiam wniosek do Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Uniwersytetu w Białymstoku o nadanie Pani dr Elżbiecie Regulskiej stopnia naukowego doktora habilitowanego w dziedzinie nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne.

