



**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
PANI MGR INŻ. MARTYNY ALEKSANDRY TRUKAWKI  
p.t. „PREPARATYKA I CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH NANOMATERIAŁÓW  
JAKO NOŚNIKÓW MOLEKULARNYCH”**

**przygotowanej pod kierunkiem naukowym Pani Promotor, Prof. dr. hab. Ewy  
Mijowskiej**

*Podstawą wydania opinii o rozprawie doktorskiej Pani mgr inż. Martyny Aleksandry Trukawki jest pismo Pana Dziekana Wydziału Technologii i Inżynierii Chemicznej, Prof. dr hab. Rafała Rakoczego z dnia 5 października 2021 roku (WTiCh/A/148/2021)*

Przedstawiona mi do recenzji praca doktorska Pani mgr inż. Martyny Aleksandry Trukawki stanowiąca podstawę w procedurze uzyskania stopnia doktora w dziedzinie nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria chemiczna doskonale wpisuje się w trendy jednej z najprężniej rozwijających się dziedzin współczesnej nauki - nanotechnologii. Praca przynosi twórcze rozszerzenie tematyki badawczej zespołu Pani Prof. dr. hab. Ewy Mijowskiej. Nanomateriały dwuwymiarowe są obecnie najczęściej eksplorowanymi związkami ze względu na unikatowe właściwości, a ich modyfikacje stanowią duże wyzwanie, którego to właśnie podjęła się Doktorantka.

Praca napisana jest w układzie standardowym. Rozpoczyna ją Spis treści, a następnie Wykaz skrótów i symboli, Streszczenie w języku polskim, *Abstract in English*, Część literaturowa, Część doświadczalna z Celem pracy, Podsumowanie i wnioski, Spis rysunków, Spis publikacji autorki i kończy Literatura.

Część literaturowa pracy składająca się z pięciu rozdziałów (58 stron) wskazuje na bardzo dobrą znajomość literatury przedmiotu (gargantuiczna wręcz liczba 305 pozycji).

Na początku tej części pracy Doktorantka zamieściła charakterystykę struktur płatkowych, metod ich otrzymywania oraz opisała ich właściwości fizykochemiczne, które uzasadniają celowość podjętych przez Nią badań bazujących na modyfikacji materiałów dwuwymiarowych. Autorka poświęciła też uwagę szerokiemu wachlarzowi zastosowań nanomateriałów 2D szczególnie w elektronice, biomedycynie i magazynowaniu energii. Doktorantka w drugim rozdziale przedstawiła otrzymywanie eskfoliowanego heksagonalnego azotku boru oraz jego możliwości aplikacyjne w medycynie i biologii (wersję tego rozdziału



w języku angielskim opublikowano w książce wydawnictwa IntechOpen *Biochemical Toxicology - Heavy Metals and Nanomaterials*). Trzeci rozdział dotyczył węglowych struktur płatkowych jako nośników molekularnych i ich biokompatybilności. W kolejnym rozdziale Pani mgr inż. Martyna Aleksandra Trukawka scharakteryzowała krzemionkowe struktury płatkowe i opisała ich zastosowanie w bioobrazowaniu, bioczuJNIkach, biokatalizie i teranostyce. Na koniec Autorka opisała metody charakterystyki nanomateriałów takie jak: transmisyjna mikroskopia elektronowa (TEM), mikroskopia sił atomowych (AFM), spektroskopia ramanowska, technika dyfrakcji promieni rentgenowskich (XRD), badania aktywności mitochondrialnej za pomocą testów WST-1 i CCK-8, badanie cytotoxycywności za pomocą testu LDH, badanie żywotności komórek za pomocą testu NRU, cytometria przepływowa i mikroskopia konfokalna. Jako czytelnik czuję się w pełni usatysfakcjonowana treścią eseju literaturowego.

Bardzo podoba mi się forma przedstawienia celu pracy, wyjątkowo precyzyjne ujęcie, które zawiera szerokie spektrum badań opisanych na 50 stronach. W części eksperymentalnej pracy Autorka zamieściła szczegółową metodykę badań: dokładnie opisała warunki prowadzonych eksperymentów oraz przedstawiła pełną charakterystykę właściwości otrzymanych nanomateriałów. Uważam, że nawet najlepiej i najdokładniej opisane czynności nie zobrazują tytanicznej pracy Doktorantki.

W rozdziale 7 Autorka opisuje otrzymywanie i charakterystykę eksfoliowanego heksagonalnego azotku boru oraz jego sfunkcjonalizowanych grupami hydroksylowymi i nanocząstkami złota analogów. Sprawdzone dla sfunkcjonalizowanych heksagonalnych azotków boru biokompatybilność trzema niezależnymi testami na liniach komórkowych MCF-7 (linia gruczolakoraka piersi) i L929 (linia mysich fibroblastów) w trzech punktach czasowych (24, 48 i 72 godziny). Do modyfikacji heksagonalnego azotku boru wybrano dwa leki: 10-hydroksykamptotecynę (HCPT) i azydotymidynę (AZT) i sprawdzono jak one uwalniają się z tych nanostruktur. Badania krótkoterminowe wykazały, że struktury z heksagonalnego azotku boru wykazują niską cytotoxycywność i mogą być stosowane jako nowy system dostarczania leków. Wyniki z tego rozdziału pracy doktorskiej zostały już zweryfikowane przez edytora i recenzentów czasopisma *Nanomaterials*, a co najważniejsze badania te docenione zostały przez naukowców, gdyż ta praca była cytowana 20 razy (bez autocytowań). Ponadto wyniki poszerzonych badań biologicznych *in vivo* niecytotoksycznych



sfunkcjonalizowanych grupami hydroksylowymi płatków heksagonalnego azotku boru na zaburzenia funkcji immunologicznych owadzych krwinek opublikowano w prestiżowym periodyku naukowym *Scientific Reports*. Publikację tę cytowano już 10 razy (bez autocytowań).

Opisane w rozdziale 8 wyniki eksperymentów dotyczące otrzymania metodą solwotermalną i charakterystyki płatków węglowych jako karbonizatów sieci metaliczno-organicznej zawierającej jony kobaltu(II) zostały już w części opublikowane w *Environmental Sciences Europe*. W publikacji tej wykazano skuteczność płatków węglowych jako wydajnego adsorbenta barwników azowych. Doktorantka wykorzystwała do zbadania biologicznego potencjału aplikacyjnego skarbonizowanych CoOF's dwa leki: 10-hydroksykamptotecynę (HCPT) oraz metotreksat (MTX), aby wykazać ich możliwości transportu/uwalniania. W określeniu efektywności tej modyfikacji wykorzystano spektroskopię FTIR i analizę termogravimetryczną celem określenia ilości zaadsorbowanych leków. Przeprowadzone badania wskazują na obiecujące wyniki w stosunku do uwalniania się 10-hydroksykamptotecyny (HCPT) przez 7 godzin. Badania cytotoksyczności testem WST-1 nie spełniły oczekiwanych rezultatów, ale pozwoliły stwierdzić, że węglowe warstwy struktury CoOF zapobiegały toksyczności nanocząstek kobaltu znajdujących się między nimi.

Z prawdziwą satysfakcją stwierdzam, iż istotnym sukcesem Doktorantki był kierowanie projektem, który uzyskał finansowanie z Narodowego Centrum Nauki w konkursie PRELUDIUM 11 „Funkcjonalizowane mezoporowate nanopłatki krzemionkowe - biocharakterystyka i właściwości fizykochemiczne” i właśnie wyniki jego realizacji zawiera rozdział 9 pracy doktorskiej oraz publikacja, którą ogłoszono w *Applied Sciences*. Do funkcjonalizacji mezoporowatych płatków krzemionkowych bazujących na dwóch matrycach: tlenku grafenu ( $mSiO_2$  po GO) i warstwowym podwójnym wodorotlenku magnezu i glinu ( $mSiO_2$  po LDH Mg/Al) zastosowano kwas foliowy. Obie matryce modyfikowano metotreksatem i zaobserwowano na profilach uwalniania leku, że uwalnia się on zbyt szybko. Badania testem WST-1 wskazują, że czyste jak i sfunkcjonalizowane płatki krzemionkowe nie powodują spadku żywotności badanych komórek. Sfunkcjonalizowane kwasem foliowym płatki z matrycy tlenku grafenu wydają się być obiecującym nanomateriałem do zastosowań biomedycznych, gdyż na podstawie analizy danych z cytometrii przepływowej jak i zdjęć z mikroskopu konfokalnego widać wyraźnie, że lepiej wnikają do komórek nowotworowych.



Pracę doktorską kończy rozdział „Podsumowanie i wnioski”, w którym Doktorantka wykazuje największe osiągnięcia swojej dysertacji, Spis rysunków, Spis publikacji własnych Autorki i Literatura składająca się ze 362 pozycji literaturowych.

Reasumując, chciałabym zwrócić uwagę, że odzwierciedleniem nowości naukowej i efektywności sformułowanych zadań jest publikacja uzyskanych wyników w czterech pracach naukowych opublikowanych w bardzo dobrych czasopismach o cyrkulacji międzynarodowej (IF~18) i jednego rozdziału w książce. Ponadto Pani mgr inż. Martyna Aleksandra Trukawka jest współautorką dziewięciu innych publikacji z listy filadelfijskiej (IF~39). Biorąc pod uwagę te bardzo dobre dane bibliometryczne Doktorantki należy tym bardziej docenić Jej trud włożony w opisanie wyników badań w formie tradycyjnej, a nie przedstawienie rozprawy, jako cyklu publikacji. Mój szczerzy aplauz dla osiągnięć Doktorantki właściwie nie powinien być dla mnie zaskoczeniem, gdyż pracę doktorską wykonywała Ona pod kierunkiem naukowym uznanej specjalistki w nanotechnologii Pani Profesor Ewy Mijowskiej, której bezprecedensowe osiągnięcia naukowe są wysoko cenione przez światową społeczność naukową. Dlatego dziękuję Wysokiej Radzie Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego za zaszczyt bycia recenzentem omawianej pracy.

Praca doktorska Pani mgr inż. Martyny Aleksandry Trukawki spełnia wszelkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim, wobec czego przedkładam wniosek o dopuszczenie Kandydatki do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Ponadto, biorąc pod uwagę bardzo pozytywną ocenę zamieszczoną powyżej, zwracam się z wnioskiem o wyróżnienie, gdyż otrzymane przez Doktorantkę nanostruktury płatkowe są przykładem eleganckiego wprzęgnięcia nanotechnologii w zrozumienie i zaprojektowanie nowych biomateriałów, ale nade wszystko ważnych i skądinąd odważnych ich modyfikacji. Duży potencjał aplikacyjny tych hybryd w biomedycynie może stanowić podstawy pod bardziej zaawansowane prace naukowe. Dysertacja Pani mgr inż. Martyny Aleksandry Trukawki z naddatkiem spełnia zwyczajowe wymagania stawiane pracom doktorskim.

*prof. dr hab. Violetta Patroniak*

Poznań, 2021.11.30