



Kraków 05.01.2025

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Adriana KOTERWY pt.:
„Charakterystyka i modyfikacja materiałów elektrodowych w celu
uzyskania platform biosensorycznych”

1. Podstawa opracowania

Recenzja została wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Nauk Chemicznych Uniwersytetu Gdańskiego. Podstawa prawna art. 187 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. „Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” (z późn. zm.).

Promotorem pracy doktorskiej był dr hab. Paweł Niedziałkowski, prof. Uniwersytetu Gdańskiego. Pracę doktorską Pan mgr Adrian Koterwa wykonał na Wydziale Chemii Uniwersytetu Gdańskiego w Katedrze Chemii Analitycznej. Podstawą przygotowania rozprawy doktorskiej mgr Adriana Koterwy jest cykl 4 artykułów opublikowanych w następujących czasopismach:

- 1) **Langmuir 2022, 38, 9597-9610**, *“Deciphering the Molecular Mechanism of Substrate-Induced Assembly of Gold Nanocube Arrays toward an Accelerated Electrocatalytic Effect Employing Heterogeneous Diffusion Field Confinement”*.
- 2) **Biosensors and Bioelectronics 2023, 238, 115561**, *“Discriminating macromolecular interactions based on an impedimetric fingerprint supported by multivariate data analysis for rapid and label-free Escherichia coli recognition in human urine”*.
- 3) **Electroanalysis 2023, 35, e202300095** *“An electrochemical biosensor for the determination of hormone Human Chorionic Gonadotropin(hCG)in human serum”*
- 4) **Applied Surface Science 574 (2022) 151587**, *“The role of electrolysis and enzymatic hydrolysis treatment in the enhancement of*

the electrochemical properties of 3D-printed carbon black/poly(lactic acid) structures”.

2. Ogólna charakterystyka pracy doktorskiej i tematyki badawczej

Projektowanie i rozwój biosensorów stały się w ostatnim dziesięcioleciu przedmiotem zainteresowania wielu badaczy ze względu na szeroki zakres zastosowań biosensorów, takich jak zdrowie i diagnostyka chorób, monitorowanie środowiska, monitorowanie jakości wody i żywności, a także dostarczanie leków. Zdolność do wykrywania nawet najmniejszych zmian fizjologicznych w ludzkim ciele z wysoką czułością i dokładnego monitorowania procesów, które wpływają na naturę człowieka i jego otoczenie, doprowadziła do ogromnej poprawy jakości życia. Biosensory są to nowatorskie narzędzia analityczne, które wykorzystują biologiczny system rozpoznawania do badania lub wykrywania cząsteczek.

Głównymi wyzwaniami związanymi z postępem badań w dziedzinie biosensorów są: (i) skuteczne wychwytywanie sygnałów biopoznawczych i przekształcanie ich w sygnały elektrochemiczne, elektryczne, optyczne, grawimetryczne lub akustyczne, (ii) poprawa wydajności przetwornika, tj. zwiększenie czułości, krótszy czas odpowiedzi, powtarzalność i niskie granice wykrywalności oraz (iii) miniaturyzacja urządzeń biosensorycznych przy użyciu technologii mikro- i nanofabrykacji. Wyzwaniom tym można sprostać poprzez zastosowanie nanomateriałów, które charakteryzują się wysokim stosunkiem powierzchni do objętości, dobrą przewodnością elektryczną, odpornością na wstrząsy. Najczęściej stosowanymi nanomateriałami w produkcji nanobiosensorów i biosensorów są nanocząstki (NPs) np. metali szlachetnych i tlenków metali, nanodruty (NWs) i nanopręty (NRs), nanorurki węglowe (CNTs) oraz kropki kwantowe (QDs). Co więcej, nanomateriały te mogą same działać jako elementy transdukcyjne.

W pracy doktorskiej Pan mgr Adrian Koterwa opracował metodykę modyfikacji wybranych elektrod i nanomateriałów, które stanowiły podstawę platformy biosensorycznej umożliwiającej wykrywanie bioanalitów takich jak uropatogenne szczepy bakterii *Escherichia coli* (EC) i hormonu ludzkiej gonadotropiny kosmówkowej (hCG). Skuteczność działania biosensora została potwierdzona metodami elektrochemicznymi (CV, EIS, DEIS). Do wykrywania hormonu ludzkiej gonadotropiny, Doktorant zastosował niekomercyjną elektrodę CB-PLA uzyskaną metodą druku 3D. Zastosowanie tego typu biosensora umożliwiło wykrywanie hormonu na bardzo niskim poziomie.

Praca doktorska Pana mgr Adriana Koterwy wpisuje się w tematykę badań naukowych, poświęconych projektowaniu i rozwojowi biosensorów. Wybór tematyki badawczej uważam za właściwy i bardzo interesujący, ze względu na jej wartość naukową, poznawczą oraz przyszłościowe możliwości aplikacyjne.

Cel i zakres pracy doktorskiej

Celem pracy doktorskiej mgr Adriana Koterwy było opracowanie metody modyfikacji materiałów elektrodowych, które stanowiły podstawę do produkcji elektrochemicznych biosensorów pozwalających na detekcję uropatogennych szczepów bakterii *Escherichia coli* (EC) i hormonu ludzkiej gonadotropiny kosmówkowej (hCG). We wszystkich zaprojektowanych biosensorach modyfikację wybranych materiałów elektrodowych wykonano przy użyciu nanosześcińców złota (AuNCs).

Zakres prac obejmował modyfikację powierzchni elektrod z węgla szklanego (GC), złota (Au) i elektrody z tlenku cyny i indu (ITO). Powierzchnia tych elektrod została zmodyfikowana poprzez naniesienie nanosześcińców złota (AuNCs) przy użyciu metody „drop casting”. Tak przygotowane podłoża następnie były używane do dalszej modyfikacji przy użyciu biocząsteczek. Właściwości elektrokatalityczne elektrod przed i po modyfikacji, zbadano przy użyciu technik elektrochemicznych takich jak cykliczna woltamperometria (CV) i elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna (EIS). Ponadto, Doktorant zbadał również wpływ wskaźnika powierzchniowo czynnego (CTAB) na oddziaływanie wskaźnika redoks ($K_3[Fe(CN)_6]$, $K_4[Fe(CN)_6]$) z powierzchniami badanych elektrod. Do detekcji uropatogennych bakterii *Escherichia coli* (EC) zastosował biosensor, który zbudowany był z elektrody z węgla szklanego pokrytego samoorganizującymi się warstwami AuNCs i podwójną nicią dsDNA, która powstała w procesie hybrydyzacji. Sensor ten umożliwił detekcję bakterii *Escherichia coli* (EC) w roztworze soli fizjologicznej oraz próbkach ludzkiego moczu. Do wykrywania na powierzchni elektrod dużych biocząsteczek zastosowano technikę dynamicznej elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (DEIS).

Badania wykonane w pracy doktorskiej Pana Adriana Koterwy obejmowały konstrukcję platformy biosensorycznej, którą uzyskano modyfikując złotą elektrodę syntetycznym oligopeptydem (PPLRINRHILTR). Platforma ta, została użyta do wykrywania hormonu ludzkiej gonadotropiny kosmówkowej (hCG), w roztworze buforu fosforanowego i w roztworze ludzkiej surowicy. Do selektywnego

wykrywania hormonu (hCG) użyto zmodyfikowanych niekomercyjnych elektrod CB-PLA. Elektrody te uzyskano metodą druku 3D, następnie były one aktywowane elektrochemicznie i enzymatycznie z wykorzystaniem proteiny K. Modyfikację powierzchni elektrod CB-PLA wykonano przy użyciu nanosześcianów złota i przeciwciał.

Do badania i charakterystyki materiałów elektrodowych niemodyfikowanych i modyfikowanych zastosowano techniki elektrochemiczne, które umożliwiły zbadanie kinetyki przeniesienia ładunku, wyznaczenie aktywnej elektrochemicznie powierzchni i oporu przeniesienia ładunku. Sprawdzone również wpływ modyfikacji elektrod na rozkład pola dyfuzyjnego i wyznaczono parametr heterogenicznej stałej szybkości przenoszenia elektronów. Powierzchnię modyfikowanych i funkcjonalizowanych materiałów elektrodowych badano przy użyciu mikroskopowych technik takich jak skaningowy mikroskop elektronowy (SEM), mikroskop sił atomowych (AFM). Zastosowanie tych technik badawczych pozwoliło na zbadanie wielkości nanomateriałów, morfologii i topografii powierzchni biosensorów. Dyfrakcję rentgenowską (XRD) zastosowano do wyznaczenia składu fazowego badanego materiału. Zawartość węglowego napełniacza w elektrodach CB-PLA wyznaczono przy zastosowaniu analizy termogravimetrycznej. Przy użyciu rentgenowskiej spektroskopii fotoelektronów (XPS) uzyskano informacje o wiązaniach chemicznych powstających na czystych i modyfikowanych materiałach elektrodowych. Do oceny skuteczności adsorpcji nanostruktur złota na powierzchni elektrod zastosowano spektroskopię UV-vis. Energia adsorpcji nanostruktur złota na powierzchni elektrod została obliczona dzięki badaniom teoretycznym, w których wykorzystano teorię funkcjonału gęstości (DFT).

Zakres prac badawczych wykonanych przez Pana Adriana Koterwę był bardzo duży. Zastosowanie technik elektrochemicznych i nieelektrochemicznych, pozwoliło Doktorantowi na szczegółową charakterystykę modyfikowanych i niemodyfikowanych materiałów elektrodowych używanych do wytwarzania biosensorów.

Ocena merytoryczna pracy

W pracy doktorskiej znajduje się krótkie wprowadzenie, część literaturowa, cel pracy, metodologia. W części eksperymentalnej, Doktorant w sposób syntetyczny opisuje badania jakie wykonał i dołącza 4 publikacje, które wchodzi w skład rozprawy doktorskiej. Ponadto dodane zostały również informacje

uzupełniające badania przedstawione w poszczególnych publikacjach. W pracy wykorzystano 131 pozycji literaturowych. Strona graficzna pracy jest bardzo dobra. W pracy znajdują się oświadczenia współautorów publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej. Pan mgr Adrian Koterwa przedstawia również swój dotychczasowy dorobek naukowy obejmujący współautorstwo w publikacjach nie wchodzących w skład pracy doktorskiej, referaty wygłoszone na konferencjach, udział w grantach.

W części literaturowej liczącej 23 strony, Pan mgr Adrian Koterwa wprowadza czytelnika w zagadnienia związane charakterystyką biosensorów elektrochemicznych i ich zastosowaniem. Przedstawia budowę biosensora elektrochemicznego i opisuje różne klasyfikacje biosensorów. W rozdziale 1.3, Doktorant przedstawia charakterystykę biosensorów elektrochemicznych na bazie DNA, przeciwciał, peptydów i białek. Autor opisuje budowę biosensora na bazie DNA oraz techniki immobilizacji nici DNA na powierzchni platformy sensorycznej. Nici DNA mogą być unieruchamiane na powierzchni elektrody poprzez oddziaływania elektrostatyczne ujemnie naładowanej grupy fosforanowej z dodatnio naładowaną powierzchnią. Immobilizacja nici DNA może również zachodzić poprzez tworzenie wiązań kowalencyjnych i niekowalencyjnych. W metodzie tworzenia wiązań kowalencyjnych przeprowadza się modyfikację na końcach 3' i 5' łańcucha DNA grupą tiolową lub aminową. Niekowalencyjna metoda wiązania DNA z powierzchnią elektrody zachodzi poprzez utworzenie kompleksu z awidyną lub streptawidyną obecnych na powierzchni zmodyfikowanej elektrody. W dalszej części rozdziału, Pan Adrian Koterwa opisuje konstrukcję i zasadę działania immunosensorów oraz metody immobilizacji przeciwciał na powierzchni elektrod. Opisuje również metody modyfikacji powierzchni biosensorów na bazie peptydów i białek. Ponieważ peptydy są związkami nieaktywnymi elektrochemicznie, konieczne jest wykonanie modyfikacji powierzchni za pomocą pochodnych tioli, amin, aby uzyskać układ, który zapewni transfer elektronów między powierzchnią elektrody a analitem.

W rozdziale 2 Pan mgr Adrian Koterwa opisuje materiały elektrodowe używane do produkcji platform biosensorycznych. Platforma biosensoryczna powinna być biokompatybilna z wykrywanym materiałem i nie mogą się tworzyć bariery dyfuzyjne podczas detekcji elektrochemicznej. Materiały elektrodowe stosowane do wytwarzania platform biosensorycznych muszą wykazywać bardzo dobre przewodnictwo elektryczne, muszą cechować się wysoką czułością i

selektywnością, oraz powinny posiadać grupy funkcyjne zdolne do modyfikacji i przyłączania biomolekuł. Do konstrukcji biosensorów najczęściej stosowane są materiały węglowe (węgiel szklisty, grafen, tlenek grafenu, sadza, nanorurki), elektrody metaliczne (Pt, Ag, Au), elektrody tlenkowe takie jak mieszanina tlenków indu i cyny (ITO), tlenek molibdenu (III), tlenek tytanu (IV). Doktorant opisuje właściwości poszczególnych materiałów elektrodowych podkreślając ich zalety i wady. Elektrody z węgla szklistego posiadają bardzo dobre właściwości mechaniczne, elektryczne, obojętność chemiczną, istnieje możliwość modyfikacji ich powierzchni z utworzeniem wiązań kowalencyjnych. Elektrody złote posiadają zdolność do tworzenia samoorganizujących się warstw z związków organicznych, co daje następnie możliwość do dalszej modyfikacji powierzchni. Nanoamateriały złota takie jak nanocząstki, nanogwiazdy, nanosfery, nanosześciany charakteryzują się dużą czułością w wykrywaniu różnych analitów oraz posiadają duże powinowactwo do grup aminowych.

Poszukiwanie nowych materiałów elektrodowych jest tematem badań wielu zespołów badawczych na świecie. Intensywny rozwój technologii addytywnych sprawił, że elektrody uzyskiwane w druku 3D są również bardzo interesującymi materiałami elektrodowymi umożliwiającymi wykrywanie różnych analitów. Doktorant wykazał, że elektroda CB-PLA uzyskana w druku 3D wykazuje dużą powierzchnię aktywną, wysoką przewodność cieplną i elektryczną. Dzięki temu elektrody tego typu, po uprzedniej aktywacji powierzchni, mogą być z powodzeniem stosowane do wykrywania różnego rodzaju analitów.

W rozdziale 3 Pan Koterwa opisuje właściwości, występowanie i metody wykrywania uropatogennych szczepów bakterii *Escherichia coli* (EC). Dotychczas najczęściej stosowaną techniką detekcji uropatogennych bakterii *Escherichia coli* jest reakcja łańcuchowa polimerazy (PCR). Technika ta jest czasochłonna w związku z tym poszukuje się nowych rozwiązań umożliwiających detekcję bakterii w krótkim czasie. Przedmiotem badań Doktoranta było oznaczenie stężenia hormonu ludzkiej gonadotropiny kosmówkowej. Hormon ten jest oznaczany w moczu przy użyciu testów ciążowych. Stężenie tego hormonu można wyznaczyć we krwi, ale diagnostyka ta wymaga zastosowania kosztownej aparatury. Ponieważ, testy ciążowe wykazują poziom czułości i swoistości na stosunkowo niskim poziomie, poszukuje się alternatywnych technik umożliwiających detekcję hormonu hCG.

Na podstawie przeglądu literatury, Pan mgr Adrian Koterwa uznał za uzasadnione podjęcie badań mających na celu skonstruowanie elektrochemicznego biosensora, który pozwoliłby na szybkie oznaczenie stężenia bakterii *Escherichia coli* (EC) i hormonu ludzkiej gonadotropiny (hCG). Część literaturowa jest dobrze opisana, pozwala ona na zrozumienie tematyki badawczej będącej przedmiotem rozprawy doktorskiej.

W kolejnym rozdziale, Doktorant opisuje cel pracy doktorskiej i zadania badawcze, które zostały wykonane, aby osiągnąć zamierzony cel. W rozdziale 4, Pan Adrian Koterwa w sposób syntetyczny opisuje techniki badawcze stosowane podczas realizacji pracy doktorskiej. Techniki badawcze zostały prawidłowo dobrane do wykonania zaplanowanych zadań badawczych. Zastosowano techniki elektrochemiczne (CV, EIS, DEIS), mikroskopowe (SEM, AFM), spektroskopowe (XPS, UV-vis).

W rozdziale 5 znajdują się 4 publikacje powiązane tematycznie i stanowiące cykl prac wchodzących w skład rozprawy doktorskiej. W pierwszym artykule opublikowanym w **Langmuir 2022, 38, 9597-9610**, zbadano właściwości elektrokatalityczne elektrody z węgla szklanego (GC), elektrody z tlenku cyny i indu (ITO) i elektrody złotej (Au), na które naniesiono nanosześciany złota (AuNCs). Udowodniono, że nanosześciany złota (AuNCs) znacznie wpływają na wydajność elektrochemiczną badanych elektrod. Ponadto w pracy zbadano również wpływ związku powierzchniowoczynnego (CTAB) na oddziaływanie wskaźnika redoks ($K_3[Fe(CN)_6]$, $K_4[Fe(CN)_6]$) z powierzchniami elektrod. Nanoszenie nanosześcianów złota metodą „drop casting” na powierzchnię elektrod ITO, GC i Au doprowadziło do różnych mechanizmów niejednorodnego przenoszenia ładunku. Na podstawie badań CV i SECM udowodniono, że elektroda z węgla szklanego pokryta nanosześcianami złota (AuNCs), wykazała szybszy transfer elektronów i najwyższą heterogeniczną stałą szybkości reakcji w porównaniu do pozostałych badanych elektrod. Obecność związku powierzchniowoczynnego CTAB zmniejsza lokalną stałą kinetyczną, ponieważ wyrównanie poziomów energetycznych dla transferu elektronów jest zmienione, tak że adsorpcja żelazocyjanku jest energetycznie bardziej wymagająca, jak pokazano w wynikach DFT. W publikacji 1 wykazano również, że lokalnie efekty kinetyczne i dyfuzyjne mogą działać synergicznie lub antagonistycznie, w zależności od rozmieszczenia przestrzennego CTAB. Symulacje DFT wykazały, że zwiększony efekt elektrokatalityczny jest napędzany przez specyficzną adsorpcję żelazicyjanku i

CTAB na elektrodach, ujawniając mechanizm ISET na elektrodach Au i ITO oraz mechanizm OSET na elektrodzie z węgla szklanego (GC).

W artykule 2 (**Biosensors & Bioelectronics, 2023, 238, 115561**) opracowano metodykę modyfikacji powierzchni elektrod i wytworzenia biosensora, który umożliwiał wykrywanie dużych biocząsteczek. Zasada działania biosensora polega na rozróżnianiu obecności analitu nie tylko za pomocą silnych sił międzycząsteczkowych, ale także słabych sił kulombowskich, mierzonych w różnych warunkach polaryzacji elektrody. Do skonstruowania platformy biosensorycznej wykorzystano elektrodę z węgla szklanego GC zmodyfikowaną samoorganizującymi się warstwami AuNCs. Następnie użyto zmodyfikowanej łańcuchem alkiloliolowym struktury ssDNA o znanej sekwencji do utworzenia podwójnej nici dsDNA na elektrodzie, która powstała w procesie hybrydyzacji. Taką platformę biosensoryczną zastosowano do wykrywania uropatogennych szczepów bakterii *Escherichia coli* (UPEC-57) w roztworach soli fizjologicznej (PBS) i rzeczywistych próbkach ludzkiego moczu za pomocą polimerazy RNA.

W artykule 3 (**Electroanalysis, 2023, 35, 1-9**) zastosowano elektrochemiczną platformę biosensoryczną do wykrywania hormonu ludzkiej gonadotropiny kosmówkowej (hCG). Zmodyfikowaną elektrodę złotą za pomocą syntetycznego oligopeptydu (PPLRINRHILTR) użyto do oznaczenia stężenia hormonu ludzkiej gonadotropiny. Biosensor był testowany na każdym etapie modyfikacji, przy użyciu elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej (EIS). Zdolność biosensora do wykrywania hCG zbadano w roztworze buforu fosforanowego oraz w roztworze ludzkiej surowicy. Uzyskany biosensor wykazuje czułość na hCG w zakresie stężeń od 1×10^{-12} M do 1×10^{-7} M.

W artykule 4 (**Applied Surface Science, 574, 2022, 151587**) przedstawiono optymalizację oraz porównano metody aktywacji powierzchni elektrod CB-PLA drukowanych w technologii 3D. Aktywację elektrod przeprowadzono na drodze elektrochemicznej w środowisku kwaśnym (1M HCl) i zasadowym (1M NaOH), oraz wykonano aktywację enzymatyczną za pomocą proteiny K. Sprawdzone również, efektywność jednoczesnego przeprowadzenia hydrolizy enzymatycznej i aktywacji elektrochemicznej w środowisku alkalicznym. Udowodniono, że aktywacja elektrochemiczna przeprowadzona w środowisku alkalicznym była najskuteczniejsza, generując największą powierzchnię aktywną elektrochemicznie i wzrost szybkości transferu elektronów. Elektrody CB-PLA były modyfikowane za pomocą AuCNs i przeciwciał monoklonalnych oddziałujących z

hormonem gonadotropiny ludzkiej (hCG). Dzięki takiej modyfikacji uzyskano biosensor umożliwiający detekcję hormonu (hCG).

Oceniając poziom merytoryczny pracy doktorskiej stwierdzam, że przedstawione wyniki badań istotnie poszerzają dotychczasową wiedzę z zakresu projektowania platform biosensorycznych. Wartość merytoryczną pracy oceniam bardzo wysoko. Doktorant udowodnił, że modyfikacja powierzchni elektrod za pomocą AuNCs, biomolekuł (DNA, peptydy, przeciwciała) pozwala na wytworzenie selektywnych czujników elektrochemicznych. Detekcja analitu na drodze elektrochemicznej jest czuła i szybka, w związku z tym tego typu biosensory mogą zostać wykorzystane jako alternatywne czujniki w stosunku do powszechnie stosowanych procedur diagnostycznych, które czasami są bardzo czasochłonne.

Dorobek naukowy Pana mgr Adriana Koterwy obejmuje współautorstwo w: 4 publikacjach wchodzących w cykl rozprawy doktorskiej, 4 publikacjach nie wchodzących w skład rozprawy doktorskiej i współautorstwo w dwóch rozdziałach w monografiach. Doktorant jest również współautorem 19 referatów wygłoszonych na konferencjach krajowych i zagranicznych, 18 prezentacji posterowych. Ponadto Pan Adrian Koterwa był kierownikiem dwóch grantów realizowanych w ramach Inicjatywy Doskonałości Uczelnia Badawcza (IDUB) w Uniwersytecie Gdańskim i był stypendystą w jednym projekcie finansowanym przez NCN (OPUS 19). Moim zdaniem jest to bardzo dobry dorobek naukowy na tym etapie kariery naukowej.

Tematyka pracy doktorskiej Pana mgr Adriana Koterwy jest bardzo ciekawa, a poziom merytoryczny badań jest bardzo dobry, ale nasuwają się dodatkowe pytania:

- *Jakie polimery oprócz PLA można zastosować do wytwarzania elektrod za pomocą druku 3D, i czy te polimery nadają się do wytwarzania biosensorów?*
- *Jakie są zalety i wady zastosowania biosensorów elektrochemicznych do oznaczania stężenia bakterii *Escherichia coli* (EC) i hormonu (hCG)?*
- *Czy elektroda srebrna nadawałaby się do wytwarzania biosensora umożliwiającego detekcję bakterii *Escherichia coli* (EC) lub innych typów bakterii?*

Podsumowanie i wniosek końcowy

Przedstawioną do recenzji pracę doktorską mgr Adriana Koterwy uważam za bardzo wartościową pod względem naukowym. Materiał eksperymentalny jest bardzo bogaty, a wyniki są wartościowe i oryginalne. Na podstawie oświadczeń współautorów można stwierdzić, że udział Doktoranta w przygotowaniu publikacji wchodzących w skład rozprawy doktorskiej jest istotny. Założone cele pracy zostały osiągnięte. Pytania, które zamieściłam w recenzji mają charakter dyskusyjny i nie umniejszają wysokiej wartości merytorycznej pracy doktorskiej Pana mgr Adriana Koterwy.

Stwierdzam, że w mojej opinii recenzowana praca doktorska spełnia wymogi formalne i zwyczajowe stawiane dysertacjom doktorskim, oraz spełnia zapisy ustawy z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (DZ. U. z 2023 r., poz 742 z późn. Zm.). Wnoszę o dopuszczenie Pana mgr Adriana Koterwy do publicznej obrony pracy doktorskiej.

Wniosek o wyróżnienie pracy doktorskiej

Oceniam bardzo wysoko poziom naukowy wykonanych prac w ramach rozprawy doktorskiej. Prowadzone badania miały charakter interdyscyplinarny. Zaproponowane rozwiązania dotyczące modyfikacji powierzchni materiałów elektrodowych za pomocą AuNCs i biocząstek mają charakter nowatorski. Doktorant jest współautorem 4 publikacji związanych z tematyką pracy doktorskiej. Trzy z tych publikacji są sklasyfikowane w kwartylu Q1 według bazy Scopus, a jedna jest sklasyfikowana w Q2. W trzech publikacjach, Doktorant jest pierwszym autorem. Na tej podstawie, wnioskuję do Komisji Doktorskiej i Rady Dyscypliny Nauki Chemiczne Uniwersytetu Gdańskiego o wyróżnienie pracy doktorskiej mgr Adriana Koterwy.

Prof. dr hab. Halina Krawiec

