



UNIwersytet
Warszawski

Wydział Chemii



Warszawa, 06.01.2026 r.

dr hab. Dorota Matyszevska, prof. ucz.
Wydział Chemii,
Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych,
Uniwersytet Warszawski
ul. Żwirki i Wigury 101
02-089 Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Elżbiety Jarosińskiej

„Opracowanie elektrochemicznych macierzy czujnikowych do monitorowania hodowli komórkowych”

Recenzowana rozprawa doktorska mgr. inż. Elżbiety Jarosińskiej została przygotowana w Instytucie Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk pod kierunkiem prof. dr. hab. Andersa Martina Jönssona-Niedziółki oraz dr. inż. Emilii Witkowskiej-Nery. Celem pracy było przygotowanie zintegrowanej macierzy czujników opierających się na pomiarach elektrochemicznych, umożliwiającej jednoczesną analizę stężenia tlenu oraz glukozy w trójwymiarowej hodowli komórkowej na rusztowaniach hydrożelowych. W pracy skupiono się szczególnie na zapewnieniu powtarzalnego sygnału czujników tlenu, a także zaproponowano warstwę przeciwporostową, która zabezpiecza powierzchnię elektrod przed niekorzystną adsorpcją na powierzchni czujnika i tym samym umożliwia długoterminowe pomiary w pożywcze hodowlanej. Z pewnością podjęta tematyka jest istotna, ponieważ hodowle komórkowe są niezbędnym etapem badań w trakcie testowania nowych leków oraz opracowania szczepionek dzięki możliwości uzyskania powtarzalnych wyników przy relatywnie niskim koszcie. Niestety tradycyjne hodowle dwuwymiarowe nie odzwierciedlają w sposób wystarczający warunków *in vivo*. Z tego względu konieczne jest opracowanie nie tylko hodowli trójwymiarowych, ale także czujników pozwalających na pomiar parametrów metabolicznych w tego typu hodowlach. Obiecującym rozwiązaniem tego problemu mogą być elektrochemiczne czujniki tlenu i glukozy, których zaletą jest możliwość miniaturyzacji oraz integracji w układach mikroprzepływowych.

Rozprawa doktorska mgr. inż. Elżbiety Jarosińskiej została przygotowana w formie monografii obejmującej 200 stron, podzielonej na 6 głównych rozdziałów poprzedzonych wstępem, w którym Doktorantka ogólnikowo nakreśla cel pracy, choć brakuje jasno sformułowanej hipotezy badawczej, która stanowiłaby punkt wyjścia dla prowadzonych badań. Pierwszy rozdział pracy jest swego rodzaju wprowadzeniem literaturowym do metod hodowli komórkowych oraz wykorzystywanych metod badawczych. W kolejnych rozdziałach prezentowane są uzyskane wyniki badań dotyczących i) zastosowania polimerów i związków makrocyclicznych w czujnikach tlenu; ii) porównania różnych materiałów o potencjalnych właściwościach przeciwporostowych; iii) wykorzystania napyłanych elektrod złotych do konstrukcji macierzy czujnikowych do pomiarów zawartości tlenu, glukozy i adhezji komórek w dwuwymiarowych hodowlach komórkowych; iv) zastosowania hydrożelu jako rusztowania w trójwymiarowych hodowlach komórkowych oraz monitorowania zmian zawartości tlenu w tego typu układach. Każdy z tych rozdziałów poprzedzony jest krótkim wprowadzeniem, następnie wymienione są materiały, odczynniki i metody badań, uzyskane wyniki i ich dyskusja, a na końcu znajdują się wnioski i osobny spis literatury dla każdego rozdziału. Taki układ pracy sprawia, że każdy rozdział opisujący wyniki eksperymentalne stanowi zamkniętą całość, natomiast w ostatnim rozdziale pracy umieszczone jest ogólne podsumowanie wyników i perspektywy kontynuacji badań.

Na podstawie przedstawionych rezultatów można stwierdzić, że niestety nie udało się Doktorantce w pełni zrealizować zamierzonego, bardzo ambitnego celu, czyli opracować w pełni działającą, stabilną matrycę czujnikową umożliwiającą długoterminowe pomiary tlenu, glukozy oraz adhezji komórek zarówno w hodowlach dwu-, jak i trójwymiarowych. Zadanie to z pewnością jest niezmiernie trudne ze względu na liczne wyzwania eksperymentalne związane m.in. z bardzo dużym stopniem skomplikowania pomiarów w hodowlach komórkowych. Niemniej jednak, pomimo niepełnego sukcesu, w mojej opinii udało się Doktorantce uzyskać ciekawe wyniki stanowiące oryginalne osiągnięcie, co stanowi solidną podstawę do kontynuacji badań mających na celu dalszą optymalizację matryc czujnikowych.

Do najważniejszych osiągnięć zaprezentowanych w przedstawionej rozprawie niewątpliwie należy:

- zweryfikowanie właściwości przeciwporostowych wybranych warstw ochronnych przeciwdziałających adsorpcji substancji biologicznych obecnych w pożywce hodowlanej, a także pokazanie ich wpływu na warstwy modyfikujące obecne na powierzchni elektrody na przykładzie próbnika redoks - syryngaldazyny;
- przygotowanie macierzy czujnikowej zastosowanej do równoczesnego monitorowania parametrów metabolicznych takich jak poziom tlenu, glukozy oraz adhezji komórek w dwuwymiarowej hodowli komórek raka wątroby (HepG2);
- przygotowanie trójwymiarowej hodowli komórek raka wątroby (HepG2) z wykorzystaniem wybranego rusztowania hydrożelowego (żelatyny metakryloilowej, GelMa) oraz zastosowanie zaproponowanej matrycy czujnikowej do monitorowania parametrów metabolicznych, w szczególności do oznaczania tlenu.

Oceniając stronę językową pracy należy zwrócić uwagę na błędy językowe, powtórzenia lub nielogiczne stwierdzenia wynikające z ominięcia fragmentów tekstu, co może utrudniać zrozumienie pojedynczych zdań, ale nie rzutuje na zrozumienie istoty przekazywanych treści. Natomiast niektórych błędów po prostu dobrze byłoby uniknąć – np. błędnego użycia słowa „*absorpcja*” w rozdziale 3 (str. 108 i 112), w którym Autorka opisuje warstwy przeciwporostowe mające za zadanie przeciwdziałać *adsorpcji* obecnych w pożywce substancji biologicznych na powierzchni elektrod. Być może błędy te wynikają z pośpiechu lub niedostatecznie uważnej korekty tekstu przed przygotowaniem końcowej wersji rozprawy – myślę, że warto zwrócić nieco większą uwagę na tę kwestię w przyszłości przy okazji przygotowywania kolejnych tekstów naukowych. Natomiast warto zaznaczyć, że warstwa edycyjna pracy jest na wysokim poziomie, a praca jest przygotowana z dbałością o ten aspekt, co w znaczący sposób ułatwia odbiór np. prezentowanych wykresów, zdjęć i tabel. Chciałabym jednak zaznaczyć, że wspomniane niedociągnięcia językowe, które wymieniam z recenzenckiego obowiązku, nie powodują obniżenia całościowej oceny rozprawy i Doktorantka nie musi się do nich ustosunkowywać w trakcie obrony.

Natomiast w trakcie czytania rozprawy nasunęło mi się kilka ogólnych komentarzy i pytań dotyczących zaprezentowanych wyników i kierunków dalszych badań. Mam nadzieję, że poniższe uwagi będą podstawą do ciekawej dyskusji z Doktorantką w trakcie publicznej obrony:

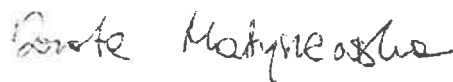
1. Jaka jest odtwarzalność samej metody produkcji macierzy czujnikowych wykorzystanych do pomiarów w hodowlach komórkowych? Czy ten aspekt ma znaczący wpływ na pomiary i ich odtwarzalność, czy też inne aspekty (jeśli tak, to jakie) decydują w głównej mierze o problemach związanych z odtwarzalnością pomiarów i stabilnością czujników? Proszę o ogólny komentarz i podsumowanie.
2. Czy podejmowane były próby wykorzystania warstw przeciwpoporostowych opisanych w rozdziale 3 w opracowanych macierzach czujnikowych zastosowanych w monitorowaniu hodowli dwu- i trójwymiarowych (rozdział 4 i 5)? Czy możliwe jest ich zastosowanie i czy mogłoby ono wpłynąć np. na zwiększenie stabilności i czułości tych czujników?
3. W rozdziale 4 zaproponowano zastosowanie czujnika wykorzystującego oksydazę glukozową do pomiarów glukozy w hodowlach dwuwymiarowych. Niestety zaproponowany czujnik nie pozwolił na wiarygodne pomiary ze względu na opisane w rozdziale 4.4.1.3 problemy. Czy w świetle tych problemów Doktorantka mogłaby zaproponować konkretny sposób, w jaki można byłoby ulepszyć ten czujnik, aby faktycznie możliwe było jego efektywne wykorzystanie do monitorowania poziomu glukozy przy równoczesnym monitorowaniu tlenu w hodowlach komórkowych?
4. Proszę o komentarz dotyczący wykorzystania pomiarów impedancyjnych w monitorowaniu adhezji komórek w związku z obserwowanymi problemami związanymi np. z brakiem powtarzalności tych pomiarów. Czy Autorka może przedyskutować główne przyczyny tych problemów i wskazać ewentualne sposoby udoskonalenia tego typu czujników?

Podsumowując ocenę przedstawionej pracy doktorskiej można stwierdzić, że wyniki ujęte w ramach niniejszej rozprawy stanowią wartościowy wkład do dziedziny naukowej związanej z

konstrukcją czujników, które mogą znaleźć zastosowanie w monitorowaniu hodowli komórkowych. Uzyskano ciekawe rezultaty, które dają solidną podstawę do kontynuacji badań dotyczących macierzy czujnikowych służących do monitorowania parametrów metabolicznych w trójwymiarowych hodowlach komórkowych.

Warto także na koniec podsumować działalność naukową mgr. inż. Elżbiety Jarosińskiej. Doktorantka jest współautorką jednej pracy, której wyniki są przedstawione w rozprawie oraz dwóch prac, których tematyka jest powiązana z rozprawą, a także jest współautorką trzech kolejnych publikacji spoza tematyki ściśle dotyczącej projektu doktorskiego. W ramach przygotowywania pracy doktorskiej mgr inż. Elżbieta Jarosińska brała udział w projekcie LIDER finansowanym przez NCBiR. Ponadto warto także zaznaczyć, że Doktorantka odbyła dwa zagraniczne staże badawcze na Uniwersytecie Leibnitz w Hanowerze w Niemczech oraz na Uniwersytecie Presbiteriana Mackenzie w São Paulo w Brazylii, co potwierdza Jej zaangażowanie, chęć rozwoju i zdobywania doświadczenia naukowego.

Podsumowując, można stwierdzić, że przedstawiona do oceny rozprawa doktorska mgr. inż. Elżbiety Jarosińskiej spełnia wymogi zwyczajowe oraz formalne stawiane rozprawom doktorskim zgodnie z ustawą z 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2024 poz. 1571 art. 187). W związku z tym **wnoszę do Rady Naukowej Instytutu Chemii Fizycznej PAN o dopuszczenie mgr. inż. Elżbiety Jarosińskiej do dalszych etapów postępowania o nadanie Jej stopnia doktora nauk chemicznych.**



dr hab. Dorota Matyszevska, prof. ucz.