



Politechnika Łódzka

Wydział Chemiczny

dr hab. Ewa Chrzescijanska, profesor uczelni
Instytut Chemii Ogólnej i Ekologicznej
Wydział Chemiczny
Politechnika Łódzka
e-mail: ewa.chrzescijanska@p.lodz.pl

Łódź, 12 sierpnia 2026 r.

RECENZJA

**rozprawy doktorskiej Pana mgr Bartłomieja Bartona pod tytułem
„Elektrochemiczne narzędzia diagnostyczne w pomiarach gazowego nadtlenu
wodoru”**

Podstawą wydania opinii o rozprawie doktorskiej mgr. Bartłomieja Bartona jest pismo Pana Profesora dr. hab. Rafała Głowackiego, Przewodniczącego Komisji Uniwersytetu Łódzkiego ds. stopni naukowych w dyscyplinie nauki chemiczne z dnia 01 lipca 2026 r.

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska została wykonana w Katedrze Chemii Nieorganicznej i Analitycznej, Wydziału Chemii Uniwersytetu Łódzkiego pod kierunkiem dr hab. Dariusza Guziejewskiego, prof. Uniwersytetu Łódzkiego.

Tematykę badań, których wyniki zawarto w wytypowanych oryginalnych publikacjach, przedstawiono w 41-stronnicowym autoreferacie z 77 cytowanymi do wcześniejszych i równolegle publikowanych prac własnych i innych autorów.

Wybrany własny dorobek publikacyjny stanowiących podstawę do napisania niemniejszej rozprawy o nadanie stopnia doktora Pana mgr Bartłomieja Bartona zawarty w autoreferacie stanowi głównie cztery oryginalne publikacje z badań własnych opublikowanych w latach 2023-2026, w czasopismach znajdujących się na liście filadelfijskiej o dobrej reputacji i wysokim impact factorze, takich jak: Journal of

ul. Żeromskiego 114, 90-924 Łódź, budynek A34
tel. +48 42 631-31-00, w3w3d@adm.p.lodz.pl
www.chemia.p.lodz.pl
Adres do korespondencji:
ul. Żeromskiego 116, 90-924 Łódź



Electroanalytical Chemistry (*Elsevier*), Ionics (*Springer*), Electroanalysis (*Wiley-VCH GmbH*), Microchemical Journal (*Elsevier*).

Tematyka badawcza pracy podejmuje bardzo ważny aspekt dotyczący opracowania nowych elektrochemicznych metod detekcji nadtlenu wodoru w fazie gazowej oraz określeniu wpływu czynników na właściwości analityczne opracowywanych układów pomiarowych z możliwością ich wykorzystania bezpośrednio w miejscu oznaczania. Badania dotyczyły mechanizmów procesów elektrodowych elektroredukcji nadtlenu wodoru w obecności elektrokatalizatora w postaci jonów Cu(II), ocenę możliwości zastosowania elektrod sitodrukowanych (SPE) niemodyfikowanych i z modyfikatorami takimi jak: ftalocyjaniną kobaltu lub błękitem pruskim na ich powierzchni aktywnej, określenie wpływu składu elektrolitu podstawowego na właściwości analityczne stosowanych sensorów. Nowością pracy było opracowanie i zastosowanie nowatorskiego układu pomiarowego na granicy trzech faz: ciekłej, stałej i gazowej umożliwiającego bezpośrednią detekcję gazowego nadtlenu wodoru oraz zastosowanie zaawansowanych nowoczesnych technik elektroanalitycznych, w tym głównie różnicowej woltamperometrii fali prostokątnej (DSWV) oraz elektrochemicznej spektroskopii faradajowskiej (EFS) mających na celu zwiększenie czułości i poprawy parametrów detekcyjnych.

Autoreferat obejmuje wprowadzenie, tematykę i cel badań, układ pomiarowy, podsumowanie badań własnych, najważniejsze osiągnięcia naukowe, bibliografie, jest napisany ciekawie i z dobrą znajomością aktualnego stanu wiedzy.

Wprowadzenie przekonująco pokazuje wagę dokładnej detekcji nadtlenu wodoru w fazie gazowej nie tylko ze względu diagnostyki medycznej, ale również bezpieczeństwa publicznego biorąc pod uwagę jego występowanie i zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu, między innymi farmaceutycznym, medycznym, spożywczym, papierniczym, tekstylnym, paliwowym. Wśród stosowanych metod analitycznych Doktorant podkreśla znaczenie opracowania nowych układów elektroanalitycznych, które umożliwią, czułą i wiarygodną detekcję nadtlenu wodoru w fazie gazowej bezpośrednio w miejscu występowania.

W rozdziale **Tematyka i cel badań** Doktorant przejrzysto i jasno formuje cel pracy i opisuje realizację swoich badań, które są podzielone na kilka etapów. Poszczególne zadania badawcze zostały dobrze zaplanowane i są w pełni uzasadnione.

W rozdziale *Układ pomiarowy* Doktorant przedstawił precyzyjne opisy stosowanych układów pomiarowych. W zależności od charakteru prowadzonych eksperymentów szczegółowo opisał konfiguracje stosowanych elektrod w pomiarach.

Wykonane badania i ich opis zaprezentowany w niniejszym Autoreferacie rozprawy doktorskiej w rozdziale *Podsumowanie badań własnych* dowodzą wysokich umiejętności eksperymentatorskich oraz dogłębnej analizy obserwowanych zależności. Wyniki opisane w recenzowanej pracy doktorskiej są interesujące i znaczące. Oceniana dysertacja jest napisana logicznie, zawiera odpowiednie rysunki i wzory strukturalne oraz wyniki zebrane w tabeli.

Badania były podzielone na kilka etapów, które pozwoliły na sformułowanie najważniejszych osiągnięć naukowych. W pierwszym etapie opisane są procesy elektrokatalityczne redukcji nadtlenu wodoru w obecności jonów miedzi(II) oraz w obecności kwasu poliakrylowego (PAA). Otrzymane wyniki potwierdziły, że obecność PAA powodowała stabilizację pośrednich jonów Cu^+ , tym samym zmieniając przebieg procesów redoks i poprawiając właściwości elektrokatalityczne układu $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$ względem redukcji H_2O_2 . Otrzymane wyniki ukierunkowały podstawy do opracowania układu do elektrochemicznej detekcji gazowego nadtlenu wodoru w obecności PAA i jonów miedzi(II).

W kolejnym etapie badań Doktorant zastosował komercyjnie dostępne elektrody sitodrukowane firmy DropSens. Przed rozpoczęciem badań właściwych została wykonana charakterystyka elektrochemiczna niezmodyfikowanej elektrody sitodrukowanej (SPE), która potwierdziła mechanizm elektrochemiczny zachodzący na jej powierzchni taki sam jak dla klasycznej dyskowej elektrody z węgla szklistego. Połączenie właściwości sorpcyjnych PAA z elektrokatalitycznym działaniem jonów miedzi(II) pozwoliło na skuteczne oznaczenie nadtlenu wodoru z fazy gazowej oraz dobrej powtarzalności wyników pomiarów z wysoka czułością. Wykazano istotny wpływ rodzaju zastosowanego modyfikatora na powierzchni elektrod sitodrukowanych (ftalocyjaniny kobaltu(II) i błękitu pruskiego) na przebieg procesów elektrokatalitycznych i tym samym detekcji nadtlenu wodoru. Kluczowym aspektem i istotnym osiągnięciem badań było zastosowanie modyfikacji powierzchni elektrody błękitem pruskim i wprowadzenie jonów miedzi(II), co pozwoliło na zaobserwowanie efektu synergicznego pomiędzy modyfikatorem powierzchni elektrody a mediatorem

redoks czyli jonami miedzi(II) i wzrostu sygnału detekcji nadtlenu wodoru. To osiągnięcie umożliwiło poprawę parametrów detekcyjnych opracowanego sensora do oznaczania śladowych ilości gazowego nadtlenu wodoru.

Doktorant wykazał w swoich badaniach także wpływ rodzaju polielektrolitu na przebieg procesów elektrokatalitycznych oraz możliwości detekcji nadtlenu wodoru. Najbardziej korzystne właściwości były osiągnięte dla układów z zastosowaniem polielektrolitu: kwasu poli(2-akrylamidu-2-metylo-propansulfonowego (pAMPS) i kopolimeru poli(akrylamidu-co-kwasu akrylowego) (pAAmAA), natomiast największą czułość i najlepszą powtarzalność detekcji nadtlenu wodoru zaobserwowano dla analitu z zastosowaniem pAMPS o pH 2.

Jak już wspomniałam, najważniejszym osiągnięciem niniejszej rozprawy doktorskiej było opracowanie nowego układu pomiarowego bezpośredniej detekcji gazowego nadtlenu wodoru na granicy trzech faz (gazowej, ciekłej i stałej - TPB), czego efektem było skrócenie czasu analizy, uzyskanie wysokiej czułości oraz selektywności oznaczanego analitu. Ważnym elementem tych badań był wybór odpowiedniej elektrody zapewniającej stabilność formowania granicy faz wspierania elektroredukcji nadtlenu wodoru, a także weryfikacja składu elektrolitu podstawowego i zastosowanie oprócz klasycznej woltamperometrii prostokątnej bardziej zaawansowanych technik, w tym elektrochemicznej spektroskopii faradajowskiej (EFS) i różnicowej woltamperometrii prostokątnej (DSWV), co stanowiło bardzo skuteczne, czułe narzędzie detekcji nadtlenu wodoru w fazie gazowej.

Podjęta przez Doktoranta tematyka jest aktualna i ważna oraz doskonale wpisuje się w trendy światowe, gdyż opracowane metody detekcji nadtlenu wodoru umożliwią jego oznaczanie bezpośrednio w miejscu jego występowania z wysoką czułością i dobrą powtarzalnością.

Przeprowadzone badania i ich opis zaprezentowany w niniejszej rozprawie doktorskiej dowodzą wysokich umiejętności eksperymentatorskich oraz dogłębnej analizy obserwowanych zależności i współzależności. Wyniki opisane w recenzowanej pracy doktorskiej są interesujące i znaczące. Oceniana dysertacja jest napisana logicznie, zawiera odpowiednie rysunki i wzory strukturalne oraz wyniki zebrane w tabeli. Jednakże Autor nie ustrzegł się drobnych nieścisłości i błędów, które nie mają większego wpływu

na moją **jednoznacznie wysoką ocenę** przedstawionej mi do recenzji pracy, jednakże z obowiązku recenzenta czuję się zobowiązany do ich przedstawienia:

1. Pan w początkowym etapie (i w następnych etapach też) badał procesy elektrokatalityczne redukcji nadtlenu wodoru w elektrolicie podstawowym (KNO_3) w obecności miedzi(II) i kwasu poliakrylowego (PAA) metodami CV i SWV. W opisie na stronie 23 użył Pan stwierdzenia „Charakter uzyskiwanych sygnałów wskazywał na występowanie regeneracyjnego mechanizmu redoks typu EC',.....”. Czy mógłby Pan nam przybliżyć, wyjaśnić takie stwierdzenie.
2. Czy stosowane elektrody sitodrukowane firmy DropSens w badaniach były używane jednorazowo?
3. w rozprawach naukowych pisanych w j. polskim jako separatorów dziesiętnych używa się raczej znaków przecinka, a nie kropek – autor konsekwentnie stosuje „kropki”, opisy osi na rysunkach w języku angielskim
4. Tabela 1, Kolumna 1, strona 41 – nieścisłość w trzech ostatnich wierszach tabeli, niezgodna ze skrótami podanymi na stronie 8. Czy zamiast TPh-GC rod (ten skrót jest użyty w publikacji) nie powinno być THB-GCER?
5. Numeracja odnośników literaturowych jest nieścisła. Przeskok z 72 (str. 33) na 77 (str. 36). Brakująca numeracja odnośników jest chronologicznie dalej uwzględniona w tabeli 1.
6. Str. 53, wykaz publikacji niewchodzących w skład niniejszej rozprawy, przy drugiej pozycji brak tytułu czasopisma.

Pomimo powyższych uwag, oceniam, że praca napisana jest ogólnie poprawnym językiem i dobrze się ją czyta. Omówione wyżej nieliczne błędy edytorskie czy „nieścisłości” natury merytorycznej nie wpływają na mój jednoznacznie pozytywny odbiór recenzowanej dysertacji. Doktorant wykazał się doskonałą znajomością elektrochemii, elektrokatalizy, a także chemii fizycznej (w tym w szczególności elektrokatalizy kinetycznej), a uzyskane wyniki mają z całą pewnością potencjał do ich praktycznego wykorzystania chociażby w konstrukcji sensorów gazowych charakteryzujących się wysoką czułością. Na szczególną uwagę zasługuje w mojej ocenie ogrom pracy, jaki doktorant włożył w szczegółowe opisanie i interpretacje odnośnie przeprowadzonych wielu niezwykle czasochłonnych eksperymentów, tym samym poszerzając wiedzę dotyczącą metod i mechanizmów detekcji nadtlenu wodoru.

Pozostały dorobek naukowy Doktoranta oceniam także wysoko. Poza 4 publikacjami stanowiące podstawę rozprawy doktorskiej, doktorant wykazuje współautorstwo w trzech publikacjach opublikowanych w czasopismach Microchemical Journal, Environmental Science and Pollution Research, Contributions, section of Natural, Mathematical and Biotechnical Sciences. Ponadto, istotnym elementem są zgłoszenia patentowe, udział w projekcie NCN OPUS LAP 20 jako stypendysta, odbyte staże naukowe, szkolenia letnie, wystąpienia konferencyjne ustne i posterowe na konferencjach zagranicznych i krajowych, członek konferencji naukowych, czynny udział w organizacji Dnia Otwartego Wydziału Chemii UŁ.

Z całym przekonaniem stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny Rozprawa Doktorska spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (tekst jednolity: Dz. U. z 2022 r. poz. 574 z późn. zm.) i zwracam się z wnioskiem do Przewodniczącego Komisji Uniwersytetu Łódzkiego ds. stopni naukowych w dyscyplinie nauki chemiczne o dopuszczenie Pana mgr. Bartłomieja Bartona do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora.

Ponadto, w uznaniu wysokiego poziomu naukowego i merytorycznego przeprowadzonych badań, interesujących rozwiązań metodologicznych detekcji nadtlenu wodoru, oraz doskonałego dorobku naukowego Pana mgr Bartłomieja Bartona, udokumentowanego licznymi publikacjami w prestiżowych czasopismach naukowych, zgłaszam wniosek do Przewodniczącego Komisji Uniwersytetu Łódzkiego ds. stopni naukowych w dyscyplinie nauki chemiczne o wyróżnienie Rozprawy Doktorskiej.

Chrześcijańska Ewa