

Gliwice, 28.07.2025 r.

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Denisa Kopca zatytułowanej
"Synthesis and characterization of carbon cathode materials
for secondary lithium-oxygen cells"

dotycząca spełnienia warunków określonych w art. 187 ustawy z dnia 20. lipca 2018 r. –
Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2020, poz. 85, z późniejszymi zmianami)
przygotowana w odpowiedzi na pismo Przewodniczącej Rady Dyscypliny Naukowej
Inżynieria Chemiczna (Politechnika Wrocławska)
Pani prof. dr hab. inż. Izabeli Michalak

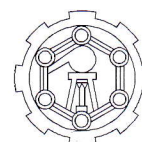
Przedstawiona do oceny rozprawa dotyczy wytwarzania i charakterystyki nowych
materiałów elektrodowych. Praca doktorska została wykonana pod kierunkiem
Pana dr. hab. Krzysztofa Kierzka, prof. PWr, który w tym postępowaniu pełnił rolę
promotora.

Rozprawa została przygotowana w sposób tradycyjny. Jej rdzeń stanowi osiem
rozdziałów, tj. wprowadzenie (Rozdział 1), przegląd literaturowy (Rozdział 2), cele
pracy (Rozdział 3), zakres tematyczny prowadzonych badań (Rozdział 4), metodologia
(Rozdział 5), dyskusja wyników (Rozdział 6), podsumowanie oraz wnioski (Rozdział 7)
jak również bibliografia (Rozdział 8). Wszystkie wyżej wymienione części rozprawy to
łącznie 155 stron tekstu, które zostały poparte 234 źródłami literaturowymi.

O aktualności poruszanych w rozprawie zagadnień dobrze świadczy to jak niedawno zostały wydane artykuły stanowiące bibliografię. 216 z nich zostało wydane w XXI wieku, z czego lwią część w ostatnich latach, co podkreśla że tematyka zarządzania energią elektryczną (w tym za pomocą ogniw litowo-powietrznych) jest ważna oraz jak najbardziej współczesna.

Rozdział 1: Pierwsza część pracy w zwięzły sposób nakreśla problematykę badawczą rozpatrywaną w ramach doktoratu. Postępująca elektryfikacja, w tym w szczególności obszaru związanego z motoryzacją, stawia coraz większe wymagania przed materiałami. Dzięki swoim obiecującym właściwościom, przewiduje się, że ogniwa litowo-powietrzne mogą wnieść istotny wkład w rozwój tej tematyki. W tym rozdziale, kandydat do stopnia doktora w precyzyjny sposób określa jak prowadzone przez Niego badania wpasowują się we wskazany obszar. Rozwój metod syntezy oraz modyfikacji bardziej konkurencyjnych materiałów katodowych w formie materiałów węglowych, prowadzony przez autora został również przez Niego odpowiednio uzasadniony.

Rozdział 2: Część teoretyczna bardzo dobrze zarysowuje merytoryczne aspekty związane z pracą. Po ogólnej prezentacji koncepcji elektrochemicznego generowania energii elektrycznej, doktorant wskazał kluczowe informacje dotyczące baterii na bazie litu, które były obiektem przeprowadzonych innowacyjnych prac. Następnie, wnikliwie zaprezentował tematykę dotyczącą baterii metal-powietrze, wyszczególniając ich główne typy, wady i zalety, ale przede wszystkim także wyzwania związane z ich rozwojem.



Na szczególne docenienie zasługuje prezentacja stanu techniki baterii litowo-powietrznych, które zostały opisane w wielu konfiguracjach z odpowiednim odniesieniem do artykułów naukowych, lektura których może dostarczyć więcej informacji zainteresowanym czytelnikom. Co za tym idzie, rozprawa doktorska stanowi przystępne wprowadzenie do tematu, szczególnie dla osób zaczynających swoją karierę naukową w tym obszarze elektrochemii.

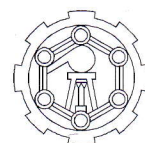
Jedną z najważniejszych części tego rozdziału jest opis dokumentujący perspektywę wykorzystania materiałów węglowych (sadzy, węgla aktywnego, nanowłókien węglowych, nanorurek węglowych oraz aerożeli węglowych) jako katody w systemach magazynowania energii. Każdorazowo, przedstawione informacje w zadowalający sposób obejmują metody otrzymywania takich materiałów jak również ich potencjał aplikacyjny w kontekście rozwijanego zastosowania. Aczkolwiek, biorąc pod uwagę, że w dyskusji wielokrotnie pojawia się grafen, drobnym mankamentem jest brak przedstawienia metod syntezy oraz głównych właściwości tego materiału. Tę część dysertacji zwięźsza precyzyjny opis katalizatorów, których główną rolą jest poprawa zdolności materiału do prowadzenia transformacji elektrochemicznych.

W świetle powyższego, należy uznać, że doktorant wykazał się odpowiednim zrozumieniem tematu oraz znajomością najnowszej literatury, a, co za tym idzie, posiada ogólną wiedzę teoretyczną z tym związaną, spełniając zarazem jeden z ustawowych warunków wymaganych od kandydatów do stopnia doktora.

Rozdział 3: W tym rozdziale znajduje się prezentacja głównych celów pracy, którym, jak uprzednio zasygnalizowano, jest synteza nowych materiałów katodowych dla baterii litowo-powietrznych. Doktorant skupił się na badaniu wpływu modyfikacji warunków syntezy na strukturę otrzymanego materiału oraz jego właściwości, celem poprawy użyteczności baterii litowo-powietrznych. Dodatkowymi aspektami wpływającymi na charakterystykę elektrochemiczną materiałów, które wzięto pod uwagę, były modyfikacja ich powierzchni oraz porowatości. Owe cele zostały przedstawione w sposób klarowny, a zakres zaplanowanych prac był odpowiednio szeroki by przygotowana rozprawa doktorska osiągnęła oczekiwaną głębię analizy. Tym niemniej, w tej części zabrakło mi przedstawienia w sposób ilościowy jakie parametry operacyjne powinny wykazywać projektowane baterie by były konkurencyjne względem stanu techniki. Jestem ciekawy opinii doktoranta na ten temat, którą chciałbym poznać podczas obrony pracy.

Rozdział 4: W tym kolejnym krótkim rozdziale doktorant zarysował ogólny zakres pracy by przedstawić jak świeżo opisane cele badawcze wpisują się w ogólną wizję doktoratu. Podsumowanie zostało przygotowane sumienne i nie budzi zastrzeżeń.

Rozdział 5: Ta część prezentuje metodykę badań wyselekcjonowaną do osiągnięcia obranych przez siebie zamierzeń badawczych. Dobór technik eksperymentalnych jest poprawny i bardzo wszechstronny (skaningowa mikroskopia elektronowa, spektroskopia fotoelektronów w zakresie promieniowania X, spektroskopia Ramana, dyfrakcja rentgenowska, analiza pierwiastkowa, etc.).



Ponadto, na uwagę zasługuje szczegółowy opis syntezy wytwarzanych przez siebie materiałów oraz technik modyfikacji ich powierzchni, które zostały później wykorzystane w bateriach. Dzięki temu, że opis ten jest zrozumiały, istnieje możliwość przeprowadzenia analogicznych prac przez innych naukowców, co jest kluczowe by móc dalej rozwijać przedstawione koncepcje. Jednak, pomimo zawarcia wielu szczegółów, które mogą ułatwić realizację takich aktywności, w niektórych kwestiach, precyzja opisu nie jest wystarczająco wysoka. Przykładowo, „in order to obtain final catalyst with the Ni content of 14 wt. %, the appropriate amounts of alumina powder (Sigma Aldrich, particles size <50 nm) and Ni precursor have been mixed” – nie wiadomo jakie to są te odpowiednie ilości. Podanie przynajmniej zakresu w tym miejscu byłoby pomocne by nie szukać później tego typu informacji w pozostałych częściach rozprawy. Abstrahując od tych drobnych niedociągnięć, spektrum przeprowadzonych prac na polu syntezy i charakterystyki materiału jest imponujące.

Rozdział 6: Ta sekcja, stanowiąca clou rozprawy doktorskiej, także z dużą szczegółowością przedstawia wyniki prac badawczych wskazanych materiałów. Zostały one gruntownie przebadane pod wieloma kątami, co zaowocowało uzyskaniem głębokiego zrozumienia jak ich skład i mikrostruktura wpływają na właściwości. Prezentacja danych zarówno w formie wykresów jak i towarzyszących im tabeli zdecydowanie ułatwia interpretację otrzymanych wyników z perspektywy ilościowej. Ponadto, docenić należy szeroko zakrojoną analizę mikrostruktury materiału za pomocą SEM oraz XPS, co pozwoliło uzyskać kluczowe dane dotyczące mikrostruktury, składu pierwiastkowego powierzchni oraz stanu chemicznego pierwiastków, na bazie których wyciągnięto kluczowe wnioski dla tego doktoratu.

Z analogiczną skrupulatnością prowadzona była charakterystyka elektrochemiczna, dzięki której możliwe było ocenienie wartości aplikacyjnej proponowanego rozwiązania. Co za tym idzie, wyniki doktoratu wnoszą istotny wkład w rozwój zarówno badań podstawowych jak i stosowanych. Nadto, przedmiotem rozprawy doktorskiej jest oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, co wypełnia kolejny warunek ustawowy stawiany kandydatom do stopnia doktora.

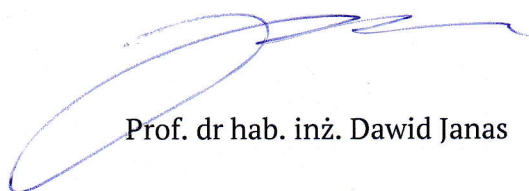
Niemniej jednak, chciałbym prosić doktoranta o doprecyzowanie czy weryfikowano jak bardzo powtarzalne wyniki daje zastosowanie określonych warunków syntezy materiału bądź modyfikacji ich powierzchni. Synteza oraz obróbka nanomateriałów często skutkuje otrzymaniem produktów różnej jakości pomimo zastosowania tych samych parametrów eksperymentalnych, a w doktoracie nie znalazłem informacji dotyczącej obranego podejścia statystycznego by zaradzić temu problemowi.

Rozdział 7: Doktorat kończy rozdział z podsumowaniem wyników prowadzonych badań oraz wniosków wyciągniętych w trakcie pracy naukowej. Doktorant szczegółowo streścił główne osiągnięcia wypracowane w ramach doktoratu, podkreślając swój wkład w m.in. syntezę nanomateriałów, modyfikację ich powierzchni oraz porowatości, jak również ich wykorzystanie w elektrochemii. Co więcej, krótko zasygnalizował jakie badania należałoby prowadzić by poziom gotowości technologicznej rozwijanej koncepcji ulegał dalszemu zwiększeniu. Jedynym elementem podsumowującym jakiego w mojej ocenie zabrakło, w tym bądź innym miejscu doktoratu, jest zestawienie dorobku naukowego kandydata by zapoznać się z tym co już opublikował oraz na jakich wydarzeniach naukowych prezentował wyniki swoich prac.

Co nie umniejsza wartości merytorycznej doktoratu, znalazły się w nim nieliczne błędy edytorskie. Na przykład, odnośnikowi literaturowemu nr 21 brak tytułu czasopisma oraz informacji bibliograficznych (ten sam problem dotyczy m.in. publikacji nr 65, 108, itd.), niektóre z odsyłaczy DOI kierują do niewłaściwych plików (odnośniki literaturowe nr 2, 13, 19, 64, itd.), a dla części z zacytowanych publikacji wskazany zakres stron nie jest poprawny (e.g. odnośniki literaturowe nr 78, 218, 220, itd.).

Pomowując, chciałbym zaznaczyć, że wszystkie obrane cele badawcze zostały osiągnięte, a jakość rozprawy doktorskiej jest wysoka. W związku z tym, na podstawie oceny przedstawionej pracy, jednoznacznie stwierdzam, że zaopiniowana rozprawa doktorska spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20. lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2020, poz. 85, z późniejszymi zmianami). W związku z tym, wnioskuję do Rady Dyscypliny Inżynieria Chemiczna Politechniki Wrocławskiej o przyjęcie pracy i przeprowadzenie dalszych etapów postępowania doktorskiego.

Z wyrazami szacunku



Prof. dr hab. inż. Dawid Janas