dr hab. Taras Parashchuk
Katedra Chemii Nieorganicznej
Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Recenzja pracy doktorskiej

mgr. inż. Bartłomieja Lemieszka

„Development and characterization of advanced materials for next generation solid oxide cells"

Przedłożona mi do oceny rozprawa doktorska mgr. inż. Bartłomieja Lemieszka dotyczy opracowania i charakterystyki materiałów funkcjonalnych przeznaczonych do nowej generacji ogniw ze stałym tlenkiem (SOC), ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązań umożliwiających obniżenie temperatury ich pracy. Badania koncentrują się na dwóch grupach materiałów: powłokach ochronnych stosowanych na metalicznych interkonektach oraz materiałach elektrod tlenowych. Niewątpliwie rozwój nowych materiałów pozwalających na efektywną i stabilną pracę ogniw SOC w niższych temperaturach ma istotne znaczenie zarówno poznawcze, jak i praktyczne, ponieważ może prowadzić do ograniczenia procesów degradacyjnych, zmniejszenia kosztów urządzeń oraz poszerzenia możliwości ich zastosowania. Praca doktorska mgr. inż. Bartłomieja Lemieszka została wykonana pod kierunkiem dr. hab. inż. Sebastiana Molina na Politechnice Gdańskiej.

Podstawowym zadaniem postawionym przed Doktorantem było opracowanie i zbadanie materiałów przeznaczonych do średnio- i niskotemperaturowych ogniw SOC. Pierwszy kierunek badań obejmował opracowanie powłok ochronnych dla metalicznych interkonektów, opartych na tlenkach metali ziem rzadkich oraz bezkobaltowym spinelu $CuMn_{1.7}Fe_{0.3}O_4$. Drugi dotyczył materiałów elektrod tlenowych na bazie $La_{0.6}Sr_{0.4}CoO_{3-\delta}$ oraz tlenków prazeodymu, przeznaczonych do pracy w temperaturach nieprzekraczających 600 °C. Realizacja tych zadań obejmowała przygotowanie materiałów i warstw, ich szczegółową charakterystykę strukturalną i chemiczną, badania stabilności oraz pomiary właściwości elektrycznych i elektrochemicznych. Ważnym elementem pracy była również weryfikacja wybranych rozwiązań w pełnych ogniwach.

Zasadniczą część wynikową rozprawy stanowi cykl pięciu wieloautorskich artykułów naukowych opublikowanych w czasopismach indeksowanych w bazie Journal Citation Reports. W czterech z pięciu prac mgr inż. Bartłomiej Lemieszek jest pierwszym autorem, natomiast we wszystkich pięciu pełni funkcję autora korespondencyjnego. Okoliczność tę należy uznać za istotne

potwierdzenie jego wiodącego udziału w realizacji badań, analizie i interpretacji wyników, a także w przygotowaniu manuskryptów i przeprowadzeniu procesu publikacyjnego. Co więcej, w rozprawie Doktorant w zwięzły, ale wystarczająco jasny sposób przedstawił swój indywidualny wkład w powstanie każdej z publikacji, wskazując równocześnie zakres zaangażowania pozostałych współautorów. Dzięki temu możliwa jest jednoznaczna ocena jego rzeczywistego udziału w pracach stanowiących podstawę dysertacji.

Rozprawa liczy łącznie 213 stron. Pierwsze piętnaście stron zawiera dokumenty formalne, streszczenia w języku angielskim i polskim, podziękowania, spis treści oraz wykaz stosowanych symboli i skrótów. Zamieszczonym w rozprawie pięciu opublikowanym artykułom naukowym (128 stron) towarzyszy 85-stronicowa część opisowa napisana w języku angielskim. Zawiera ona wprowadzenie do tematyki ogniw ze stałym tlenkiem, omówienie zasad ich działania i podstaw elektrochemicznych, przegląd stosowanych materiałów oraz analizę aktualnego stanu wiedzy w zakresie zagadnień będących przedmiotem rozprawy. W dalszej części Autor przedstawia motywację do podjęcia badań, definiuje ich cele i dwie hipotezy badawcze oraz szczegółowo opisuje metody otrzymywania i charakteryzacji badanych materiałów. Każda z pięciu publikacji została poprzedzona krótkim omówieniem jej najważniejszych wyników, wskazaniem elementów nowości naukowej oraz określeniem indywidualnego wkładu Doktoranta w wykonane badania i przygotowanie artykułu. Po cyklu publikacji zamieszczono podsumowanie najważniejszych osiągnięć rozprawy, wykaz ośmiu innych publikacji Doktoranta w czasopismach z listy JCR oraz informacje o jego aktywności konferencyjnej i wygłoszonym wykładzie zaproszonym. Część opisowa zawiera 25 ilustracji i pięć tabel, natomiast bibliografia rozprawy obejmuje 202 pozycje literaturowe.

Część opisową rozprawy otwiera wprowadzenie do problematyki energetycznej i roli technologii wodorowych (Rozdz. 1). Doktorant przedstawia tu wzrost światowego zapotrzebowania na energię, ograniczenia związane z wykorzystaniem paliw kopalnych oraz znaczenie odnawialnych źródeł energii. Na tym tle wskazuje wodór jako potencjalny nośnik energii, a ogniwa ze stałym tlenkiem jako rozwiązanie umożliwiające zarówno wytwarzanie energii elektrycznej w trybie SOFC, jak i produkcję wodoru w odwróconym trybie pracy SOEC. W Rozdz. 2 przedstawione zostały podstawowe typy ogniw paliwowych, ich zasady działania, zakresy temperatur pracy oraz najważniejsze zalety i ograniczenia. Rozdz. 3 poświęcony jest rozwojowi technologii SOC, w tym kolejnym generacjom ogniw i stopniowemu obniżaniu temperatury ich pracy. Autor pokazuje przy tym, że zmiana temperatury pracy pociąga za sobą konieczność modyfikacji zarówno konstrukcji ogniwa, jak i stosowanych w nim materiałów. W Rozdz. 4 Doktorant szczegółowo omawia zasadę działania ogniwa SOC oraz funkcję jego podstawowych elementów: elektrolitu, elektrody paliwowej, elektrody tlenowej i interkonektu. Następnie, w Rozdz. 5, przedstawia trzy główne źródła strat napięcia – polaryzację aktywacyjną, straty omowe oraz straty koncentracyjne – i ich wpływ na charakterystykę prądowo-napięciową ogniwa. Rozdz. 6 poświęcono spektroskopii impedancyjnej. Autor omawia podstawy tej metody, interpretację widm impedancyjnych oraz

możliwość rozdzielania procesów odpowiedzialnych za poszczególne składowe rezystancji ogniwa. Jest to istotna część przewodnika, ponieważ spektroskopia impedancyjna stanowi później jedną z podstawowych metod oceny właściwości opracowanych elektrod.

Najbardziej bezpośrednio z tematyką rozprawy związany jest Rozdz. 7, zawierający przegląd materiałów stosowanych w ogniwach SOC. Doktorant omawia kolejno materiały elektrolitowe, materiały elektrod paliwowych i tlenowych oraz materiały stosowane jako powłoki ochronne metalicznych interkonektów. Szczególną uwagę poświęca dwóm zagadnieniom rozwijanym następnie w części eksperymentalnej. Pierwszym są powłoki ochronne dla stalowych interkonektów, ze szczególnym uwzględnieniem tlenków metali ziem rzadkich oraz spineli Cu–Mn i ich pochodnych. Autor omawia tu problem wysokotemperaturowego utleniania stali, wzrostu rezystancji warstwy tlenkowej oraz migracji chromu, która może prowadzić do degradacji elektrody tlenowej. Drugim zagadnieniem są materiały elektrod tlenowych do ogniw pracujących w obniżonych temperaturach, przede wszystkim $La_{0.6}Sr_{0.4}CoO_{3-\delta}$ oraz tlenki prazeodymu. Wskazano, że obniżenie temperatury pracy SOC prowadzi do silnego wzrostu oporu polaryzacyjnego elektrody tlenowej, a zatem wymaga poszukiwania materiałów o większej aktywności katalitycznej i odpowiedniej mikrostrukturze. Rozdział 7 kończy się analizą aktualnego stanu badań oraz wskazaniem luk, które stały się bezpośrednią podstawą pracy doktorskiej. W przypadku interkonektów Doktorant zwraca uwagę na stosunkowo niewielką liczbę badań dotyczących powłok ochronnych pracujących w zakresie około 600–700 °C oraz możliwość zastąpienia powszechnie stosowanych materiałów zawierających kobalt rozwiązaniami bezkobaltowymi. W odniesieniu do elektrod tlenowych wskazuje natomiast na potrzebę opracowania materiałów i metod ich nanoszenia zapewniających wysoką aktywność elektrochemiczną w temperaturach nieprzekraczających 600 °C.

Na tej podstawie w Rozdz. 8 Doktorant formułuje cel rozprawy oraz dwie hipotezy badawcze. Pierwsza zakłada możliwość otrzymania skutecznych powłok blokujących dyfuzję chromu poprzez połączenie cienkich warstw tlenków metali ziem rzadkich z bezkobaltowym spinelem $CuMn_{1.7}Fe_{0.3}O_4$. Druga hipoteza dotyczy zwiększenia aktywności reakcji redukcji tlenu w niskotemperaturowych ogniwach SOC poprzez optymalizację sposobu wytwarzania elektrod opartych na LSC i PrO_x. W mojej ocenie przejście od przeglądu literatury do zdefiniowania problemu naukowego jest logiczne, a sformułowane cele i hipotezy wynikają bezpośrednio ze wskazanych wcześniej ograniczeń obecnie stosowanych materiałów.

Rozdz. 9 rozprawy, liczący 24 strony, poświęcony jest sposobom otrzymywania badanych materiałów oraz metodom zastosowanym do ich charakterystyki. W pierwszej części Doktorant opisuje procedury przygotowania poszczególnych rodzajów warstw. Tlenki metali ziem rzadkich La_2O_3, CeO_2, Y_2O_3 i Gd_2O_3 nanoszono na stal Crofer 22 APU metodą elektrolityczną, natomiast spinel $CuMn_{1.7}Fe_{0.3}O_4$ otrzymywano metodą zol-żel, a następnie nanoszono metodą osadzania elektroforetycznego. Warstwy elektrodowe LSC i PrO_x przygotowywano metodą spin-coating z

wykorzystaniem opracowanych roztworów prekursorowych. Osobną grupę próbek stanowiły porowate szkielety CGO, do których metodą infiltracji wprowadzano LSC, PrO_x lub ich mieszaninę. Opisy są wystarczająco szczegółowe i zawierają informacje o składzie roztworów, parametrach nanoszenia oraz warunkach obróbki cieplnej, co pozwala na odtworzenie najważniejszych etapów procesu technologicznego.

Znacznie obszerniejszą część Rozdz. 9 stanowi opis metod badawczych. Do identyfikacji faz i analizy zmian strukturalnych Doktorant wykorzystał dyfrakcję rentgenowską, w tym pomiary wysokotemperaturowe oraz pomiary w geometrii GIXRD. Informacji o składzie chemicznym powierzchni i stopniach utlenienia dostarczyła spektroskopia fotoelektronów XPS, natomiast szczególnie ważną rolę w pracy odegrały badania XAS/XAFS prowadzone na liniach PIRX i ASTRA Narodowego Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS w Krakowie. Pozwoliły one na analizę lokalnego otoczenia atomowego oraz średnich stopni utlenienia kobaltu i prazeodymu, również w materiałach częściowo amorficznych. Charakterystykę strukturalną uzupełniały spektroskopia Ramana, w tym pomiary wysokotemperaturowe i obrazowanie konfokalne, spektroskopia FTIR oraz mikroskopia elektronowa SEM-EDS, wykorzystywana przede wszystkim do oceny mikrostruktury warstw i rozkładu pierwiastków.

Osobną grupę stanowiły badania właściwości funkcjonalnych. Odporność korozyjną powłok na stali Crofer 22 APU oceniano na podstawie zmian masy próbek podczas długotrwałego utleniania wysokotemperaturowego, a ich właściwości elektryczne na podstawie pomiarów rezystancji powierzchniowej ASR. Przewodnictwo elektryczne cienkich warstw PrO_x wyznaczano metodą Van der Pauwa. Właściwości elektrochemiczne elektrod badano przede wszystkim za pomocą spektroskopii impedancyjnej na komórkach symetrycznych w zakresie temperatur 300–600 °C. Doktorant analizował wpływ grubości warstw i temperatury ich obróbki, a także zmian ciśnienia parcjalnego tlenu oraz obecności H_2O i CO_2. Do interpretacji złożonych widm impedancyjnych zastosowano również analizę rozkładu czasów relaksacji DRT. Ostatecznym etapem badań była charakterystyka pełnych ogniw przygotowanych na bazie komercyjnych półogniw Elcogen, obejmująca pomiary impedancyjne i charakterystyki prądowo-napięciowe.

Dobór metod eksperymentalnych oceniam jako bardzo dobry. Na szczególne uznanie zasługuje połączenie klasycznych metod strukturalnych i mikrostrukturalnych z zaawansowanymi technikami spektroskopowymi oraz pomiarami elektrochemicznymi. Dzięki temu Doktorant nie ograniczył się do stwierdzenia, że dana modyfikacja materiału poprawia lub pogarsza jego właściwości, lecz w wielu przypadkach podjął próbę wyjaśnienia obserwowanych zmian poprzez analizę struktury, stanu chemicznego i mikrostruktury. Istotne jest również to, że badania na modelowych układach symetrycznych zostały uzupełnione pomiarami pełnych ogniw, co pozwala lepiej ocenić praktyczne znaczenie proponowanych rozwiązań.

Jak już wcześniej wskazano, mgr inż. Bartłomiej Lemieszek jest autorem korespondencyjnym wszystkich pięciu publikacji stanowiących podstawę rozprawy, a w czterech z nich jest

jednocześnie pierwszym autorem. W tym miejscu warto tę okoliczność ponownie podkreślić, ponieważ ma ona istotne znaczenie dla oceny samodzielności naukowej Doktoranta. Zakres jego zaangażowania, szczegółowo przedstawiony w dysertacji, obejmował przygotowanie materiałów i warstw, realizację części badań eksperymentalnych, analizę i interpretację wyników, a także przygotowanie manuskryptów oraz prowadzenie procesu publikacyjnego. W mojej ocenie wszystkie te elementy jednoznacznie potwierdzają wiodący udział mgr. inż. Bartłomieja Lemieszka w pracach tworzących cykl publikacyjny i pozwalają wysoko ocenić jego kompetencje badawcze oraz stopień samodzielności naukowej.

O randze uzyskanych wyników świadczy również poziom czasopism, w których zostały opublikowane. Prace stanowiące podstawę rozprawy ukazały się w uznanych czasopismach o międzynarodowym zasięgu, w tym International Journal of Hydrogen Energy, Journal of the European Ceramic Society, Applied Surface Science oraz Chemical Engineering Journal. Część z nich jest już cytowana, co potwierdza zainteresowanie uzyskanymi wynikami w środowisku naukowym.

Za najważniejsze oryginalne osiągnięcia naukowe mgr. inż. Bartłomieja Lemieszka, przedstawione w rozprawie doktorskiej, uważam:

- opracowanie bezkobaltowych, dwuwarstwowych powłok ochronnych CMFO–RE_2O_3 dla metalicznych interkonektów SOC oraz wykazanie ich wysokiej skuteczności w ograniczaniu korozji i migracji chromu podczas długotrwałej pracy w temperaturze 700 °C;
- wykazanie, że zastosowanie bardzo cienkiej warstwy Y_2O_3 lub Gd_2O_3 w połączeniu z przewodzącym spinelem $CuMn_{1.7}Fe_{0.3}O_4$ pozwala jednocześnie ograniczyć rozwój warstwy tlenkowej i utrzymać bardzo małą rezystancję powierzchniową, poniżej 10 mΩ·cm^2 po 4000 godzinach utleniania;
- wykazanie, że częściowo amorficzny $La_{0.6}Sr_{0.4}CoO_{3-\delta}$ może charakteryzować się lepszymi właściwościami elektrochemicznymi niż jego krystaliczny odpowiednik, oraz powiązanie tej poprawy z obniżeniem średniego stopnia utlenienia kobaltu o około 0,5;
- określenie wpływu temperatury obróbki cieplnej na strukturę, średni stopień utlenienia prazeodymu oraz właściwości elektrochemiczne PrO_x, a także wykazanie, że optymalna temperatura przygotowania tego materiału wynosi około 500 °C, a nie 600 °C, jak wcześniej często przyjmowano;
- pokazanie, że współistnienie kilku faz tlenków prazeodymu nie wyklucza uzyskania bardzo dobrych właściwości elektrochemicznych, a zmiany ich udziału oraz stopnia utlenienia Pr mają bezpośrednie znaczenie dla aktywności elektrody;
- opracowanie elektrod opartych na porowatym szkielecie CGO infiltrowanym materiałem aktywnym oraz wykazanie możliwości ograniczenia ilości materiału elektrodowego przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej aktywności elektrochemicznej;

- eksperymentalne potwierdzenie skuteczności opracowanych rozwiązań w pełnych ogniwach, w tym uzyskanie dla układu z infiltrowanym LSC około 8 % wzrostu gęstości mocy w temperaturze 600 °C oraz dla elektrody PrO_x około 40 % poprawy w temperaturze 500 °C względem odpowiednich ogniw referencyjnych.

Warto również wskazać wnioski z badań Doktoranta, których znaczenie wydaje się wykraczać poza bezpośredni zakres badanych materiałów. W mojej opinii należą do nich:

- pokazanie, że właściwości elektrod tlenowych dla niskotemperaturowych ogniw SOC zależą nie tylko od składu chemicznego, lecz również od stopnia krystaliczności, lokalnej struktury i stanu utlenienia kationów;
- wykazanie, że połączenie cienkiej warstwy o właściwościach barierowych z dobrze przewodzącym materiałem może być skuteczną strategią ochrony metalicznych interkonektów;
- potwierdzenie, że stosunkowo proste metody przygotowania warstw, takie jak spin-coating, osadzanie elektrolityczne i infiltracja, mogą prowadzić do materiałów o dobrych właściwościach funkcjonalnych i mają potencjał do dalszego rozwoju technologicznego.

Choć moim zasadniczym zadaniem jest ocena wartości naukowej rozprawy doktorskiej przedłożonej przez mgr. inż. Bartłomieja Lemieszka, warto również zwrócić uwagę na Jego dotychczasowy dorobek naukowy. Według danych bazy Scopus obejmuje on obecnie 17 dokumentów indeksowanych w 16 źródłach, a indeks Hirscha Doktoranta wynosi 6. Liczba cytowań jego prac systematycznie rośnie, co wskazuje, że uzyskane wyniki są zauważane i wykorzystywane przez innych badaczy. Poza pięcioma artykułami stanowiącymi podstawę dysertacji mgr inż. Bartłomiej Lemieszek jest współautorem kolejnych publikacji w uznanych czasopismach o międzynarodowym zasięgu, takich jak ACS Applied Materials & Interfaces, Journal of Power Sources, Journal of Energy Chemistry, Applied Surface Science, International Journal of Hydrogen Energy, Journal of the European Ceramic Society, Energy & Fuels czy Bioelectrochemistry. Dorobek ten pokazuje, że Jego aktywność naukowa wyraźnie wykracza poza prace włączone do rozprawy doktorskiej.

Doktorant aktywnie prezentuje również wyniki swoich badań na konferencjach krajowych i międzynarodowych. W rozprawie wymieniono liczne prezentacje posterowe i ustne, a na szczególną uwagę zasługuje także wygłoszenie w 2025 roku wykładu zaproszonego w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk. Całość tego dorobku, wraz z rosnącą liczbą cytowań i indeksem Hirscha równym 6, stanowi dodatkowy argument przemawiający za wysoką oceną aktywności, dojrzałości i samodzielności naukowej mgr. inż. Bartłomieja Lemieszka.

Reasumując ocenę rozprawy doktorskiej mgr. inż. Bartłomieja Lemieszka pragnę podkreślić, że zawiera ona szereg ciekawych i wartościowych wyników naukowych, dobrze osadzonych w aktualnym stanie wiedzy dotyczącym materiałów dla ogniw ze stałym tlenkiem. Na szczególną

uwagę zasługuje sposób, w jaki Doktorant przeprowadził przegląd literatury – nie ograniczył się do prostego zestawienia dotychczasowych osiągnięć, ale konsekwentnie wskazywał ograniczenia obecnie stosowanych rozwiązań i na tej podstawie zdefiniował konkretne problemy badawcze. W mojej opinii rozprawa wypełnia kilka istotnych luk, zwłaszcza w zakresie ochrony metalicznych interkonektów w obniżonych temperaturach pracy oraz projektowania aktywnych elektrod tlenowych dla ogniw SOC pracujących poniżej 600 °C.

Wyniki uzyskane przez Doktoranta pokazują, że skuteczna poprawa właściwości materiałów dla SOC wymaga jednoczesnego uwzględnienia ich składu chemicznego, struktury, mikrostruktury, stanu utlenienia pierwiastków oraz sposobu wytwarzania warstw. Dobrym potwierdzeniem tego podejścia są zarówno bezkobaltowe powłoki ochronne o bardzo małej rezystancji po długotrwałym utlenianiu, jak i częściowo amorficzne warstwy LSC oraz elektrody PrOx, które wykazały wysoką aktywność elektrochemiczną w temperaturach znacznie niższych od typowych dla klasycznych ogniw SOC. Szczególnie ważne jest również to, że część opracowanych rozwiązań została zweryfikowana nie tylko na modelowych próbkach i komórkach symetrycznych, ale również w pełnych ogniwach.

Można oczekiwać, że zarówno zgromadzony materiał eksperymentalny, jak i przedstawione w rozprawie zależności pomiędzy strukturą, stanem chemicznym i właściwościami elektrochemicznymi badanych materiałów będą stanowiły wartościowy punkt odniesienia w dalszych pracach nad nisko- i średniotemperaturowymi ogniwami ze stałym tlenkiem. Oceniając formę redakcyjną rozprawy doktorskiej chcę podkreślić, że została ona przygotowana starannie, ma logiczny układ i dobrą szatę graficzną.

Na tle bardzo pozytywnej oceny rozprawy chciałbym zwrócić uwagę na kilka kwestii o charakterze dyskusyjnym. Pierwsza z nich dotyczy zakresu wykorzystania wyników dyfrakcji rentgenowskiej. Sam Autor wskazuje XRD jako jedną z podstawowych i najczęściej stosowanych metod badawczych w rozprawie, jednak w przedstawionych pracach metoda ta została wykorzystana głównie do jakościowej identyfikacji faz. Wydaje się, że część uzyskanych danych mogła dostarczyć również dodatkowych informacji strukturalnych. W związku z tym, a także w odniesieniu do kilku innych aspektów pracy, chciałbym zadać Doktorantowi następujące pytania:

- Czy dla próbek o dobrej krystaliczności rozważano bardziej szczegółową analizę XRD, obejmującą wyznaczenie parametrów sieciowych oraz ilościową analizę faz metodą Rietvelda? Jeżeli nie, to jakie były główne ograniczenia takiego podejścia?
- W przypadku układów wielofazowych, czy na podstawie uzyskanych dyfraktogramów możliwe byłoby ilościowe określenie udziału poszczególnych faz i wykorzystanie tych informacji do lepszego powiązania zmian strukturalnych z właściwościami elektrochemicznymi?

- W przypadku materiałów częściowo amorficznych, jakie informacje o stopniu krystaliczności można było uzyskać z XRD i gdzie pojawiały się główne ograniczenia tej metody? W jakim zakresie zastosowanie XAFS pozwoliło te ograniczenia uzupełnić?
- W pracy wykonano również wysokotemperaturowe pomiary XRD. Czy dla odpowiednio krystalicznych próbek rozważano wykorzystanie zmian parametrów sieciowych z temperaturą do oszacowania rozszerzalności cieplnej lub dokładniejszego śledzenia przemian fazowych? Czy taka informacja byłaby istotna z punktu widzenia kompatybilności materiałów w ogniwie?
- W przypadku materiałów elektrodowych testy stabilności prowadzono do 225 godzin. Które z badanych rozwiązań, zdaniem Doktoranta, ma największy potencjał do długotrwałej pracy i jakie mechanizmy degradacji mogą ograniczać jego zastosowanie?
- W pracy zastosowano kilka stosunkowo prostych metod otrzymywania warstw, m.in. osadzanie elektrolityczne, spin-coating oraz infiltrację. Która z tych metod wydaje się najbardziej odpowiednia z punktu widzenia ewentualnego skalowania procesu i jakie problemy technologiczne mogą pojawić się przy przejściu do większej skali?
- W bibliografii wzory chemiczne zostały zapisane bez indeksów dolnych, co stanowi drobne uchybienie edytorskie i warto byłoby ujednolicić ten zapis. Zwracam również uwagę, że w części opisowej rozprawy użyto wcześniejszej angielskiej nazwy AGH „AGH University of Science and Technology", podczas gdy aktualna oficjalna nazwa uczelni brzmi „AGH University of Krakow".

Wszystkie powyższe uwagi i pytania nie zmieniają mojej bardzo wysokiej oceny rozprawy i mają przede wszystkim charakter dyskusyjny.

Opinia końcowa:

Stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska mgr. inż. Bartłomieja Lemieszka zawiera oryginalne rozwiązania istotnych problemów naukowych związanych z rozwojem materiałów dla nowej generacji ogniw ze stałym tlenkiem. Rozprawa potwierdza szeroką wiedzę Doktoranta w zakresie prowadzonych badań, a także jego umiejętność samodzielnego planowania, prowadzenia i interpretacji wyników pracy naukowej. Tym samym spełnia wymagania określone w art. 187 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce. Na tej podstawie wnoszę do Rady Dyscypliny Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Gdańskiej o dopuszczenie mgr. inż. Bartłomieja Lemieszka do dalszych etapów postępowania w sprawie nadania stopnia doktora, w tym do publicznej obrony rozprawy doktorskiej.

Jednocześnie uważam, że rozprawa wyraźnie wykracza ponad poziom przeciętny. Za taką oceną przemawiają wysoki poziom naukowy i oryginalność uzyskanych wyników, spójność całego

programu badawczego oraz opublikowanie wyników w uznanych czasopismach o międzynarodowym zasięgu. Istotne znaczenie ma również wiodący udział Doktoranta w realizacji badań, analizie i interpretacji wyników oraz przygotowaniu publikacji. Na szczególne podkreślenie zasługują szeroki zakres zastosowanych metod badawczych, umiejętne powiązanie badań strukturalnych i materiałowych z oceną właściwości funkcjonalnych oraz weryfikacja wybranych rozwiązań w pełnych ogniwach. Całość świadczy o wysokiej dojrzałości naukowej Doktoranta. Z tych względów wnioskuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Bartłomieja Lemieszka.

Kraków, 7 września 2026 r.

Signed by / Podpisano przez:

Taras Parashchuk
Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

Date / Data: 2026-09-07 13:37