

dr hab. Yevgeniy Naumovich, prof. IEN-PIB
Zakład Wysokotemperaturowych Procesów
Elektrochemicznych,
Instytut Energetyki – Państwowy Instytut
Badawczy
ul. Augustówka 36, 02-981 Warszawa
yevgeniy.naumovich@ien.com.pl

Warszawa, 9 czerwca 2026 r.

POLITECHNIKA GDAŃSKA	
BIURO RADY DISCYPLINY NAUKOWEJ	
INŻYNIERIA MATERIAŁOWA	
Wpłynęło dnia	09.06.2026
L.dz.	26/2026
Podpis	

Recenzja rozprawy doktorskiej

"Struktura, chemia defektów i transport ładunku w perowskitach wykazujących mieszane przewodnictwo jonowo-elektronowe opartych na $Ba(Ce,Zr,Y)O_{3-\delta}$ i $Sr(Fe,Co)O_{3-\delta}$ "

mgr inż. Jagody Ewy Budnik.

Promotor: prof. dr hab. inż. Maria Gazda

Promotor pomocniczy dr inż. Tadeusz Miruszewski

Wysokotemperaturowa ceramika przewodząca protony stanowi obiecującą grupę materiałów do zastosowań związanych z wytwarzaniem i magazynowaniem czystej energii, przede wszystkim w oparciu o protonowe ceramiczne ogniwa elektrochemiczne, pracujące zarówno w trybie ogniwa paliwowego (PCFC), jak i elektrolizera (PCEC). Technologie PCFC i PCEC są obecnie postrzegane jako perspektywiczna alternatywa dla konwencjonalnych stałotlenkowych ogniw paliwowych (SOFC) i wysokotemperaturowych elektrolizerów (SOEC), oferując szereg potencjalnych korzyści wynikających z protonowego mechanizmu transportu ładunku.

Ogniwa PCFC wykazują istotne przewagi nad innymi technologiami elektrochemicznej konwersji energii, takimi jak ogniwa paliwowe z membraną do wymiany protonów (PEMFC), ogniwa paliwowe z kwasem fosforowym (PAFC), czy wysokotemperaturowe technologie wykorzystujące stopione węglany jako elektrolit (MCFC). Podobnie jak SOFC/SOEC, ogniwa PCFC/PCEC mogą pracować w sposób odwracalny, co oznacza możliwość wykorzystania tego samego urządzenia zarówno do produkcji energii elektrycznej, jak i do wytwarzania wodoru. Dodatkową zaletą ogniw PCFC jest możliwość osiągnięcia niemal całkowitego wykorzystania paliwa. W przypadku ogniw SOFC stopień wykorzystania paliwa jest ograniczony między innymi przez ryzyko utleniania niklu oraz występowanie anodowej polaryzacji dyfuzyjnej. Ponadto technologia PCFC nie wymaga obecności dodatkowego nośnika jonowego, w przeciwieństwie do ogniw MCFC, których działanie jest uzależnione od obecności CO_2 . W porównaniu z niskotemperaturowymi

ogniwami paliwowymi, takimi jak PEMFC czy PAFC, ogniwa PCFC/PCEC nie wymagają również stosowania katalizatorów opartych na metalach szlachetnych.

Pomimo znaczącego potencjału aplikacyjnego, rozwój oraz przemysłowe wdrożenie ogniw PCFC/PCEC napotyka szereg wyzwań związanych z właściwościami materiałów funkcjonalnych. W przeciwieństwie do technologii SOFC/SOEC, dla której dobrze ugruntowaną pozycję posiada elektrolit 8YSZ, w przypadku ogniw protonowych nie opracowano dotychczas materiału o porównywalnym stopniu dojrzałości technologicznej. Intensywnie badane elektrolity o strukturze perowskitu, bazujące głównie na układach $BaBO_3$ ($B=Ce, Zr$), wykazują problemy związane z odparowywaniem baru podczas procesu spiekania. Prowadzi to do zubożenia granic ziaren w kationy oraz wzrostu ich rezystywności, co niekorzystnie wpływa na właściwości transportowe materiału.

Dodatkowym wyzwaniem jest złożony mechanizm transportu ładunku w tego typu materiałach, obejmujący współwystępowanie przewodnictwa tlenowego i protonowego, sprzężonego z przewodnictwem elektronowym. Wzajemna konkurencja poszczególnych mechanizmów transportu utrudnia jednoznaczne określenie udziału poszczególnych nośników ładunku i prowadzi do komplikacji w definiowaniu liczb przenoszenia, które zależą między innymi od wilgotności środowiska gazowego. W konsekwencji badania nad transportem potrójnych nośników ładunku oraz identyfikacja czynników determinujących przewodnictwo częściowe w materiałach protonoprzewodzących odgrywają kluczową rolę w dalszym rozwoju technologii PCFC/PCEC. Zagadnienia te pozostają aktualnym i istotnym kierunkiem badań, którego postęp może w znaczący sposób przyczynić się do przyspieszenia wdrażania wysokotemperaturowych ogniw protonowych w praktycznych zastosowaniach energetycznych.

Autorka wybrała dwie grupy modelowe przewodników mieszanych, charakteryzujące się odmiennymi profilami liczb przenoszenia: elektrolitowe roztwory stałe $BaCe_{0,6}Zr_{0,2}Y_{0,2-x}M_xO_{3-\delta}$ ($M=Tb, Pr, Fe$) i elektrodopodobne pseudobinarne układy tlenkowe $Sr(Co,Fe)O_3$. Materiały te posłużyły jako modele do charakteryzacji tlenków potrójnie przewodzących (TCO).

W pracy Kandydatka sformułowała następujące hipotezy badawcze:

1. Odpowiednio dobrane domieszkowanie lub substytucja mogą być wykorzystane w celu modyfikacji przewodnictwa elektronowego w materiałach BCZYM oraz do zwiększenia stabilności struktury sieciowej względem niestechiometrii tlenowej w materiałach typu SFC.

2. Tlenek niklu (NiO) może pełnić funkcję dodatku spiekającego, wspomagającego proces zagęszczania badanych roztworów stałych.

3. Defekty związane z protonami wpływają na transport ładunku realizowany przez pozostałe nośniki obecne w materiale.

Program badań obejmował szereg istotnych zagadnień związanych z właściwościami analizowanych materiałów, w szczególności:

- Przygotowanie i charakterystyka jednofazowych materiałów ceramicznych na bazie roztworów stałych BCZYM i SFC.
- Wyznaczenie średnich stopni utlenienia kationów metali przejściowych oraz analiza ich środowisk koordynacyjnych.
- Określenie koncentracji nośników ładunku.
- Badania właściwości elektrycznych ceramiki BCZYM i SFC jako materiałów typu TCO.
- Ocena wpływu NiO na właściwości badanych materiałów ceramicznych.

Biorąc pod uwagę przedstawiony zakres badań, należy stwierdzić, że podjęta przez mgr inż. Jagodę Ewę Budnik tematyka dotycząca charakterystyki mieszanego transportu jonowego i elektronowego w ceramice tlenkowej o przewodnictwie protonowym jest naukowo uzasadniona, aktualna i istotna z punktu widzenia dalszego rozwoju technologii protonowych ceramicznych ogniw paliwowych i elektrolizerów (PCFC/PCEC). Uzyskane wyniki mogą przyczynić się do lepszego zrozumienia mechanizmów transportu ładunku w materiałach typu TCO, a tym samym wspierać rozwój nowoczesnych technologii energetycznych opartych na odnawialnych i niskoemisyjnych źródłach energii.

Rozprawa doktorska mgr inż. Jagody Ewy Budnik dotyczy zatem ważnego i aktualnego problemu naukowego o istotnym potencjale aplikacyjnym. Zakres tematyczny rozprawy jednoznacznie pozycjonuje ją w dyscyplinie naukowej Inżynieria Materiałowa.

Rozprawa doktorska mgr inż. Jagody Ewy Budnik została przygotowana w języku angielskim. Praca liczy 188 stron, z czego zasadnicza część rozprawy (bez stron tytułowych, spisu treści, streszczenia itp.) obejmuje 167 stron. Rozprawa została podzielona na pięć rozdziałów, uzupełnionych o wyczerpujący wykaz symboli stosowanych w pracy oraz dodatkiem liczącym 20 stron. Bibliografia obejmuje 243 pozycje literaturowe. Dorobek naukowy związany bezpośrednio z tematyką rozprawy obejmuje cztery publikacje w czasopismach o wysokiej renomie naukowej, których współautorką jest Doktorantka, a także dwie dodatkowe publikacje poświęcone pokrewnej tematyce badawczej.

Pierwszy rozdział stanowi wprowadzenie do problematyki badawczej rozprawy. Zawiera przegląd aktualnego stanu wiedzy dotyczącego technologii opartych na ogniwach paliwowych oraz miejsca wysokotemperaturowych ceramicznych przewodników protonowych wśród współczesnych rozwiązań energetycznych. W tym rozdziale Autorka przedstawiła również cele oraz sformułowane hipotezy badawcze.

Rozdział drugi poświęcony jest podstawom teoretycznym dotyczącym właściwości tlenków o strukturze perowskitu. Omówiono w nim zagadnienia związane ze strukturą krystaliczną, chemią defektów, mechanizmami transportu jonów oraz mieszaną przewodnością jonowo-elektronową, ze szczególnym uwzględnieniem materiałów wykazujących przewodnictwo potrójne.

W rozdziale trzecim przedstawiono dwie grupy materiałów wybranych do badań: roztwory stałe $\text{BaCe}_{0,6}\text{Zr}_{0,2}\text{Y}_{0,2-x}\text{M}_x\text{O}_{3-\delta}$ ($\text{M} = \text{Tb}, \text{Pr}, \text{Fe}$), reprezentujące grupę materiałów elektrolitowych, oraz układy $\text{SrFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_{3-\delta}$, stanowiące modelowe materiały elektrodowe. W podrozdziale 3.1, Autorka dokonała szczegółowego przeglądu właściwości przewodników jonowych pochodzących z układu $\text{Ba}(\text{Ce},\text{Zr})\text{O}_3$, omawiając ich syntezę, strukturę krystaliczną, proces hydratacji oraz rolę podstawienia kationowego w pozycji B sieci perowskitu. Szczególną uwagę poświęcono znaczeniu itru jako domieszki. W podrozdziale 3.1.3 przedstawiono uzasadnienie zastosowania wtórnego podstawienia jonów Y metalami o zmiennej wartościowości. Z kolei rozdział 3.2 poświęcono materiałom na bazie SrFeO_3 , stanowiącym klasyczne przykłady przewodników mieszanych jonowo-elektronowych o złożonej chemii defektów oraz silnej zależności struktury od niestechiometrii tlenowej. Wskazano, że częściowe zastąpienie żelaza kobaltem może prowadzić do stabilizacji kubicznej struktury perowskitu. Wybór układu $\text{SrFe}_{1-x}\text{Co}_x\text{O}_{3-\delta}$ do badań został uzasadniony zarówno jego interesującymi właściwościami transportowymi, jak i możliwością występowania przewodnictwa protonowego.

Rozdział czwarty zawiera opis metod eksperymentalnych zastosowanych w pracy. Dobór wykorzystanych technik niezbędnych do scharakteryzowania ceramiki tlenkowej jako niedoskonałego kryształu i TCO należy uznać za właściwy i adekwatny do realizacji założonych celów badawczych. Materiały otrzymywano metodą reaktywnego spiekania w stanie stałym oraz metodą współstrącania. Charakterystykę strukturalną próbek przeprowadzono z wykorzystaniem dyfrakcji rentgenowskiej (XRD), spektroskopii absorpcyjnej promieniowania rentgenowskiego (XAS) oraz pomiarów gęstości. Do analizy chemii defektów wykorzystano miareczkowanie jodometryczne i analizę termogravimetryczną, umożliwiające określenie stopni utlenienia metali wielowartościowych oraz zmian stechiometrii tlenowej. Właściwości transportowe badano za pomocą czteropunktowych pomiarów przewodnictwa stałoprądowego, spektroskopii impedancyjnej oraz techniki relaksacji przewodnictwa elektrycznego (ECR). Opis zastosowanych metod jest bardzo szczegółowy, miejscami nawet nadmiernie rozbudowany, jednak pozwala na pełne zrozumienie procedur badawczych wykorzystanych w pracy. Wszystkie zastosowane techniki zostały szeroko, a nawet nadmiernie opisane.

Rozdział piąty zawiera główne wyniki naukowej rozprawy. **Sekcja 5.1** poświęcona jest roztworom stałym z grupy BCZYM. Przedstawiono w niej wyniki badań strukturalnych opartych na analizie XRD, które między innymi potwierdziły powstawanie kubicznej struktury perowskitu, korzystny wpływ dodatku NiO jako środka spiekającego na proces zagęszczania ceramiki oraz uzyskanie wystarczająco wysokiej gęstości względnej próbek. Autorka przeprowadziła szczegółową analizę chemii defektów punktowych w badanych tlenkach, stosując połączenie miareczkowania jodometrycznego do wyznaczenia stopni utlenienia kationów wielowartościowych oraz analizę termogravimetryczną do pomiaru absorpcji wody. Na podstawie uzyskanych wyników wykazano, że częściowe podstawienie itru kationami wielowartościowymi nie prowadzi

do zwiększenia zdolności materiałów do hydratacji. Badania przewodnictwa, przeprowadzone w różnych warunkach, w tym relaksacji w wilgotnym powietrzu, dostarczyły obszernego zbioru danych dotyczących wpływu domieszkowania na mechanizmy transportu ładunku w materiałach o charakterze elektrolitowym. **Sekcja 5.2** przedstawia wyniki uzyskane dla stałych roztworów z układu SFC. Niestechiometrię tlenową analizowano przy użyciu metod analogicznych do zastosowanych dla materiałów BCZYM, rozszerzając badania o spektroskopię absorpcji promieniowania rentgenowskiego. Połączenie danych uzyskanych metodami XAS i miareczkowania jodometrycznego umożliwiło niezależne określenie stopni utleniania żelaza i kobaltu. Analiza widm XANES została wykorzystana do szczegółowego opisu stanu defektów punktowych oraz oceny stabilności struktury perowskitu. Uzyskane wyniki pozwoliły określić rolę kobaltu w stabilizacji struktury kubicznej. Wykazano ponadto, że badane materiały ulegają hydratacji, której efektem jest obniżenie całkowitej przewodności elektrycznej, związane przede wszystkim ze zmniejszeniem ruchliwości nośników dziurowych. Ponadto, zgodnie z analizą danych ECR, hydratacja wykazała niekorzystny wpływ na szybkość wymiany powierzchniowej. Podsumowując, rozdział piąty zawiera kompleksową prezentację wyników badań przeprowadzonych przez Doktorantkę oraz ich pogłębioną analizę, stanowiącą zasadniczy wkład naukowy rozprawy.

Rozdział The Conclusions (Podsumowanie) stanowi syntetyczne podsumowanie najważniejszych wyników uzyskanych w ramach realizacji pracy doktorskiej. Autorka w sposób przejrzysty zestawiała i uogólniała rezultaty przeprowadzonych badań, odnosząc je do postawionych celów i hipotez badawczych.

Pierwszy wniosek dotyczył wpływu domieszkowania kationami o zmiennej wartościowości na właściwości transportowe materiałów z grupy BCZYM.

Drugi wniosek odnosi się do roli kobaltu w stabilizacji struktury kubicznej w roztworach stałych SFC

Trzeci wniosek opisuje wpływ protonów na właściwości elektryczne badanych materiałów BCZYM i SFC.

Czwarty wniosek podsumowuje korzystny wpływ dodatku NiO jako środka spiekającego na proces zagęszczania ceramiki.

Rozdział zawiera także informację na temat finansowania badań przez Narodowe Centrum Nauki.

Rozdział Literature (Literatura) obejmuje 247 pozycji bibliograficznych opublikowanych w latach 1961–2026. Zakres wykorzystanej literatury należy uznać za bardzo szeroki i w pełni wystarczający do realizacji podjętej tematyki badawczej. Bibliografia obejmuje zarówno klasyczne pozycje stanowiące podstawę teoretyczną omawianych zagadnień, jak i najnowsze publikacje odnoszące się do aktualnego stanu wiedzy.

List of Figures (Lista rysunków) zawiera 63 pozycje.

List of Tables (Lista tabel) obejmuje 17 pozycji.

W Appendix (Dodatek) Autorka zgromadziła materiały uzupełniające, oddzielając je od głównej prezentacji wyników. Dodatek zawiera 17 rysunków i 4 tabele.

Komentarze i pytania dotyczące rozprawy:

1. NiO został użyty jako środek spiekający w grupach materiałów BCZYM i SFC. W przypadku BCZYM motywacja jego zastosowania jest oczywista, natomiast w przypadku SFC wymaga ono dodatkowego wyjaśnienia. NiO wskazuje zdolność rozpuszczania się w strukturze perowskitu SrFeO_3 , a zatem można oczekiwać analogicznego zachowania również w materiałach SFC, co potencjalnie może wpływać na ich właściwości fizykochemiczne i transportowe. Ponadto nie jest oczywiste, dlaczego zastosowanie środka spiekającego było konieczne w przypadku materiałów SFC, które z reguły osiągają wysokie zagęszczenie już podczas spiekania w temperaturach poniżej 1300°C .
2. Jednym z zastosowanych kationów podstawiających w materiałach BCZYM był Fe. Jakie przesłanki zdecydowały o wyborze właśnie tego pierwiastka? Czy rozważano wykorzystanie innych metali przejściowych, takich jak Mn, Co, Cr lub V, które również charakteryzują się zmienną wartościowością i mogłyby wpływać na właściwości transportowe materiału?
3. Strona 9: "Brownmillerites can be imagined as structures composed of two alternating perovskite layers of tetrahedral and octahedral symmetry." To nie jest do końca poprawne sformułowanie. W strukturze brownmillerytu występują naprzemiennie warstwy zawierające kationy B w koordynacji tetraedrycznej oraz warstwy, w których kationy te występują w koordynacji oktaedrycznej (lub lokalnie piramidalnej), a nie warstwy o „symetrii tetraedrycznej i oktaedrycznej”. Proszę o odniesienie się do tej kwestii.
4. Strona 28: Akapit zaczynający się od słów "MIEC materials can be divided into categories based on the relative contributions of ionic and electronic charge carrier concentrations." Jego treść wydaje się niejednoznaczna, a przedstawiona klasyfikacja może prowadzić do nadmiernych uproszczeń. Przykładowo $\text{La}_{0,6}\text{Sr}_{0,4}\text{CoO}_3$ jest klasycznym materiałem MIEC o wysokiej przewodności typu p i umiarkowanej, ale nie niskiej (prawdopodobnie porównywalnej z 8YSZ) przewodności jonowej. Zgodnie z najnowszymi osiągnięciami techniki jest szeroko stosowany jako elektroda powietrzna SOFC/SOEC. Materiał ten znacząco różni się zarówno od układów $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{CrO}_3$, jak i od materiałów na bazie CeO_2 , a współczynniki przenoszenia jonów dla $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{CoO}_3$ są niskie ze względu na bardzo wysoką przewodność elektronową. W związku z tym proszę o doprecyzowanie przedstawionej klasyfikacji oraz jej kryteriów.
5. Strona 64: Autorka użyła dwóch różnych pakietów oprogramowania do analizy ECR? Jakie były przesłanki zastosowania dwóch odmiennych narzędzi analitycznych i czy uzyskiwane wyniki były ze sobą w pełni zgodne?
6. Strona 84: Krzywe relaksacji przedstawione na rysunku 5.10.a wykazują nietypowy przebieg. W klasycznym przypadku krzywe relaksacyjne mają charakter monotonicznego wzrostu lub zaniku sygnału. Jaka jest fizyczna

przyczyna obserwowanego zachowania oraz w jaki sposób przeprowadzono dopasowanie modelu do danych eksperymentalnych?

7. W rozprawie nie przedstawiono obrazów mikrostruktury badanej ceramiki uzyskanych metodą SEM. Tymczasem jakość mikrostruktury, stopień zagęszczenia oraz obecność ewentualnej porowatości mogą mieć istotny wpływ na interpretację wyników pomiarów transportowych, w szczególności badań ECR. Czy wykonano obserwacje SEM badanych materiałów, a jeśli tak, dlaczego nie zostały one zamieszczone w rozprawie?

Uwagi redakcyjne i edytorskie:

Uwaga ogólna: Autorka używa terminu "electron hole". Określenie to nie jest powszechnie używane w literaturze przedmiotu. Bardziej właściwe wydaje się stosowanie terminu hole lub electron vacancy, w zależności od kontekstu.

Uwaga ogólna: Rozdział "Conclusions" sprawia wrażenie niewystarczająco uporządkowanego. Bardziej przejrzysta struktura, wyraźnie odnosząca poszczególne wnioski do celów i hipotez badawczych, zwiększyłaby czytelność tej części pracy.

Strona 17: Zdanie "The lattice diffusion occurs through the movement of point defects". budzi wątpliwości językowe. Bardziej naturalnym sformułowaniem wydaje się "Diffusion in the crystal lattice occurs through the movement of point defects" lub równoważna konstrukcja.

Równ. 2.25: Zastosowanie symbolu „Q” do oznaczenia energii aktywacji jest nietypowe.

Strona 24: Zdanie "Electronic conductivity is related to the transport of electrons and electron holes, while ionic conductivity describes the movement of ionic species such as cations, anions, and protons." jest nieprecyzyjne, ponieważ protony można uważać zarówno za kationy, jak i aniony.

Strona 28: Określenie "calcium-substituted chromate lanthanide" – wydaje się niepoprawne terminologicznie. Chromian jest solą taką jak $A^{II}CrO_4$.

Strona 41: W zdaniu "At 800 °C, the ionic conductivity ranges from ≈ 0.1 S/cm to ≈ 1.2 S/cm for $SrFeO_{3-\delta}$ and $SrFe_{0.67}Co_{0.33}O_{3-\delta}$, respectively. Taking into the account the total electrical conductivity ($\sim 10^{-2}$ S/cm)," – występuje prawdopodobnie błąd typograficzny. Może, powinno być " $\sim 10^2$ S/cm"?

Strona 41: Stwierdzenie "Moreover, Teraoka et al. investigated the oxygen permeation rate through $SrFe_{0.2}Co_{0.8}O_{3-\delta}$ ceramic membranes, which was two orders of magnitude higher compared to YSZ." – jest niejasne. Prawdopodobnie chodziło o przewodnictwo tlenu.

Table 4.4. Wartość “ 10^{-4} electrochemical reactions” - dla reakcji elektrochemicznej jest to po prostu dolna granica pojemności.

Page 62: Podpis rysunku “Figure 4.12. Sample with applied electrodes, prepared for the electrical measurement using the 2-point EIS.” – może sugerować wykorzystanie elektrochemicznej spektroskopii impedancyjnej. Bardziej precyzyjne byłoby wskazanie, że chodzi o pomiar impedancji realizowany w konfiguracji dwuelektrodowej.

Page 87: W zdaniu “In the case of BCZYFe₂ in the 550 – 850 °C range, the activation energies of surface exchange of oxygen are (0.60 ± 0.05) eV and (1.14 ± 0.10) eV for hydration and dehydration, respectively, while for the hydrogen – (0.34 ± 0.04) eV and (1.00 ± 0.13) eV for hydration and dehydration, respectively.” - występuje prawdopodobnie błąd redakcyjny

Page 108: Ostatni akapit jest trudny do interpretacji, ponieważ nie jest jasne, do którego elementu przedstawionych wyników odnosi się określenie “feature”. Wymaga ono doprecyzowania.

Page 117: W zdaniu “Cobalt was established as a stabilising centre for oxygen vacancies, governing the covalency of TM-O bonds of both transition metal” – bardziej trafne wydaje się określenie kobaltu jako stabilizującego otoczenia lub stabilizującego sąsiada wakuu tlenowego niż jako „centrum stabilizującego”.

Wniosek

Rozprawa doktorska mgr inż. Jagody Ewy Budnik stanowi uporządkowaną, szczegółową i przejrzystą prezentację oryginalnych wyników naukowych uzyskanych przez Autorkę. Praca została oparta na szerokim i aktualnym przeglądzie literatury przedmiotu, obejmującym zarówno podstawy teoretyczne, jak i najnowsze osiągnięcia w obszarze materiałów o mieszanym przewodnictwie jonowo-elektronowym. Zastosowana metodologia badawcza jest właściwie dobrana do postawionych celów naukowych, a jej opis cechuje się wysokim poziomem szczegółowości. Wnioski wyciągnięte z zebranych wyników są trafnie i poprawnie sformułowane. Cele badawcze należy uznać za w pełni osiągnięte. Dowody hipotez naukowych Autorki oparte są na uzyskanych wynikach eksperymentalnych i są zgodne z opublikowanymi danymi. Kluczowe wyniki zostały już opublikowane, powiązane artykuły są odpowiednio i jasno cytowane w tekście rozprawy. Rozprawa doktorska mgr inż. Jagody Ewy Budnik wyraźnie mieści się w dyscyplinie **Inżynieria Materiałowa** i reprezentuje wysoki poziom merytoryczny odpowiadający aktualnym światowym standardom badań w tej dziedzinie. Przedstawione w niniejszej recenzji uwagi mają charakter głównie dyskusyjny lub redakcyjny i nie wpływają na wysoką ocenę wartości naukowej rozprawy.

W związku z powyższym oświadczam, że rozprawa doktorska mgr inż. Jagody Ewy Budnik pt.: "Struktura, chemia defektów i transport ładunku w perowskitach wykazujących mieszane przewodnictwo jonowo-elektronowe opartych na $\text{Ba}(\text{Ce}, \text{Zr}, \text{Y})\text{O}_{3-\delta}$ i $\text{Sr}(\text{Fe}, \text{Co})\text{O}_{3-\delta}$ " spełnia, a nawet przewyższa, wymagania ustawowe dla rozpraw doktorskich, zawarte w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Poz. 1668) i wnoszę o dopuszczenie Doktorantki do dalszych etapów przewodu doktorskiego oraz do publicznej obrony rozprawy.

Jednocześnie, mając na uwadze wysoki poziom naukowy rozprawy, wartość uzyskanych wyników, ich aktualność oraz dorobek publikacyjny Doktorantki, występuję z wnioskiem o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr inż. Jagody Ewy Budnik.



Digitally signed by
Yevgeniy Naumovich
Date: 2026.06.09
09:22:30 +02'00'

dr hab. Yevgeniy Naumovich, prof.
IEN-PIB.

