

Dr hab. inż. Łukasz Bartela, prof. PŚ
Politechnika Śląska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Ul. Konarskiego 18, 44-100 Gliwice
lukasz.bartela@polsl.pl

Gliwice, 9.02.2024

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Krystiana Machaja

pt. Badania stosowalności technologii stałotlenkowych ogniw paliwowych oraz amoniaku jako paliwa w sektorze morkim

Recenzja wykonana została na zlecenie dra hab. inż. Bartosza Zajączkowskiego, prof. PWr, Zastępcy Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka w Politechnice Wrocławskiej. Promotorami pracy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Maciej Chorowski oraz prof. dr hab. inż. Jakub Kupecki.

1. Zasadność podjęcia tematu

W ujęciu globalnym obszar transportu odpowiedzialny jest za wolumen emisji gazów cieplarnianych odpowiadający emisjom wywiązywanym w obszarze szeroko pojętego przemysłu, bez uwzględniania w nim energetyki. Dotychczas obserwowane działania w zakresie legislacyjnych wdrożeń koncentrowały się głównie na implementacji mechanizmów rynkowych, których celem jest elektryfikacja oraz zwiększenie stosowalności biopaliw w ramach środków transportu lądowego. Dużo większym wyzwaniem jest ograniczanie emisji gazów cieplarnianych w ramach transportu morskiego oraz lotniczego, gdzie w szczególności odmienna jest, w stosunku do transportu lądowego, skala pojedynczych implementacji napędów oraz oczekiwania względem zasięgów transportowych, jak również bezpieczeństwa. Praca przedłożona do recenzji koncentruje się na stosowalności jako paliwa amoniaku, który może być produkowany w oparciu o proces syntezy ekologicznego wodoru wywiązywanego w procesach elektrolizy, oraz azotu, pozyskiwanego głównie w opanowanych w dużej skali fizycznych procesach separacji gazów atmosferycznych. Doktorant podjął się badania możliwości wykorzystywania amoniaku w ramach stosów stałotlenkowych ogniw paliwowych, co stanowić może w przyszłości interesującą alternatywę dla wykorzystywania amoniaku jako paliwa w silnikach tłokowych, szeroko badanych i pilotażowo implementowanych w środkach transportu. Kierunek badań należy uznać za właściwy nie tylko z uwagi na jego użyteczność w kontekście oczekiwanych ograniczeń emisji w transporcie morskim, ale również z uwagi na współpracę doktoranta z Instytutem Energetyki, mającego ambicje implementacji wysokotemperaturowych ogniw paliwowych, jak również wysokotemperaturowych elektrolizerów w wielu obszarach gospodarki. Dostęp doktoranta do wiedzy eksperckiej i narzędzi podlegających Instytutowi

Energetyki, jak również dostęp do środków finansowych uzyskanych w ramach wspólnych działań, pozwoliły na zaplanowanie oraz zrealizowanie ambitnych badań o wysokiej wartości rozwojowej.

Doktorant podjął się przeprowadzenia wieloaspektowych analiz na drodze przeprowadzenia stosownych prac analitycznych oraz eksperymentalnych, co ważne z wykorzystaniem wielu narzędzi badawczych oraz metod naukowych. Temat doktoratu wpisuje się w ważny nurt prac badawczo-rozwojowych, które są identyfikowane w literaturze przedmiotu, a które mają na celu wsparcie rozwoju technologii ukierunkowanych na ograniczanie szkodliwych emisji w transporcie. Ten kierunek działań jest bardzo mocno wspierany i promowany w Unii Europejskiej, co decyduje o tym, iż przeprowadzone przez Doktoranta prace wpisują się w zakres działań na rzecz ochrony klimatu.

2. Charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska składa się z 8 rozdziałów, a w tym wstępu oraz podsumowania. Pracę uzupełniają zamieszczone przed jej częścią zasadniczą: spis treści, spis tablic, wykaz skrótów oraz symboli, jak również streszczenia w języku polskim oraz angielskim. Na końcu rozprawy znajduje się bibliografia (nie została ona przytoczona w spisie treści), która odnosi się do 122 pozycji, z czego 5 pozycji to artykuły będące efektem zaangażowania badawczego Doktoranta.

We wstępie do pracy (Rozdział 1) Doktorant w pierwszej kolejności przybliży motywację dla podjęcia się badań w obszarze wykorzystania amoniaku jako paliwa dla transportu morskiego. Argumentuje to głównie koniecznością poszukiwania alternatyw dla szeroko tutaj wykorzystywanego oleju opałowego, co jest też zbieżne z proekologicznymi oczekiwaniami organizacji, a w tym organizacji międzynarodowych zajmujących się gospodarką morską. W Sekcji 1.1 Doktorant poddał klasyfikacji paliwa „o wysokim potencjale wdrożenia w transporcie”. Niefortunny wszystkie analizowane w sekcji paliwa Doktorant sklasyfikował jako paliwa syntetyczne. O ile do paliw syntetycznych zaliczyć można LNG oraz CNG, ale tylko pod warunkiem, że metan będący podstawą ich produkcji jest wytwarzany w oparciu o syntezę wodoru i dwutlenku węgla (lub tlenku węgla) to błędnie tutaj wydaje się być sklasyfikowanym LPG, który w rzeczywistości jest skroplonym produktem pobocznym rafinacji ropy naftowej. Doktorant w Sekcji 1.1 podaje szereg argumentów, które wydają się przemawiać za amoniakiem, jako paliwem właściwym dla wykorzystywania w transporcie morskim. W Sekcji 1.2 Doktorant charakteryzuje różne rozwiązania mające potencjał w zakresie energetycznego wykorzystania amoniaku, w szczególności skupiając się na ogniwach paliwowych. W tym rozdziale po raz pierwszy pojawiają się wskazania na wyzwania techniczne, jakie stoją przed efektywnym wykorzystaniem amoniaku w stałotlenkowych ogniwach paliwowych. W całym Rozdziale 1 Doktorant sprawnie odwołuje się do działań badawczych, jakie były efektem prac innych badaczy na całym

świecie. Doktorant przywołał dane nie odnosząc się krytycznie do ich charakteru. W Sekcji 1.2 przykładowo wskazać można na bardzo szerokie zakresy wartości dla gęstości mocy (Tabela 4) zaczerpnięte z literatury dla stosów ogniwi paliwowych stałotlenkowych oraz typu PEM. W oparciu o przytoczone dane bardzo trudno jest ocenić te technologie na tle silników tłokowych, które dla odmiany zostały scharakteryzowane precyzyjnie podanymi wartościami gęstości mocy. W opinii recenzenta w przypadku Rozdziału 1 niepotrzebne było jego uporządkowanie w wydzielonych sekcjach.

Rozdział 2 nosi tytuł „Przegląd literaturowy”. W tym rozdziale rozprawy Doktorant bardziej szczegółowo koncentruje się na wynikach badań podstawowych oraz prac badawczo-rozwojowych, jakie prowadzone były przez innych badawczy w obszarze wykorzystania amoniaku jako paliwa dla pojedynczych ogniwi stałotlenkowych (Seksja 2.1.1), jak również w stosach tych ogniwi (Seksja 2.1.2). W podsumowaniu Rozdziału 2 (Seksja 2.2) Doktorant sygnalizuje potrzebę przeprowadzenia prac badawczych w zakresie możliwości bezpośrednio zasilania stałotlenkowego ogniwa paliwowego amoniakiem, a więc i pracy ogniwa z wewnętrznym krakingiem NH_3 w części anodowej. Alternatywnie Doktorant wskazuje możliwość dekompozycji amoniaku w dodatkowym, zewnętrznym reaktorze, zabudowanym przed wprowadzeniem paliwa do stosu ogniwi. W rozdziale, podobnie jak w całej objętości pracy, znajduje się spora ilość błędów natury stylistycznej.

W Rozdziale 3. Doktorant bardzo zgrabnie formułuje trzy podstawowe cele doktoratu, jak również jedną podstawową hipotezę badawczą oraz dwie hipotezy dodatkowe. Podstawowym celem jest przeprowadzenie analiz pracy stosów SOFC w warunkach dynamicznej zmiany przepływu paliwa oraz obciążenia. Drugim celem jest określenie możliwości pracy ogniwi wytworzonych w Instytucie Energetyki przy ich bezpośrednim zasilaniu amoniakiem, a więc z krakingiem wewnętrznym, wraz z porównaniem charakterystyk pracy tak działających ogniwi z charakterystykami uzyskanymi dla pracy w warunkach wstępnego krakingu zewnętrznego. Celem trzecim jest udoskonalenie oprogramowania otwartego o formuły matematyczne istotne z punktu widzenia modelowania pracy ogniwi z uwzględnieniem procesu krakingu wewnętrznego. Dla osiągnięcia sformułowanych celów badawczych Doktorant identyfikuje łącznie sześć działań badawczych, które porządkuje w trzech obszarach, tj. obszarze badań podstawowych, obszarze badań rozwojowych oraz w analizach post-mortem. W finale Rozdziału 3. Doktorant formułuje hipotezę badawczą, która wskazuje na możliwość stosowania amoniaku jako paliwa dla stosów ogniwi stałotlenkowych zarówno z wykorzystaniem, jak i bez wykorzystania zewnętrznego reformera. Dodatkowo stawia hipotezę o możliwości podniesienia sprawności elektrycznej netto instalacji zaopatrzonej w stos ogniwi SOFC dzięki właściwościom endotermicznym amoniaku, co w oparciu o bilans zysków cieplnych ma prowadzić do zmniejszenia zapotrzebowania na czynnik chłodzący. Ostatnia postawiona hipoteza dotyczy wpływu jakie mają parametry pracy ogniwa oraz ich

cechy na stopień konwersji amoniaku, jak również możliwość ich uszkodzenia na skutek pojawienia się naprężeń termicznych.

W Rozdziale 4. zawarto opis metodologii oraz metodyki prowadzenia badań ogniów oraz stosów SOFC. W rozdziale znaleźć można schemat prowadzenia procesu badawczego, jak również opisy zastosowanych metod pomiarowych i stanowiska pomiarowego. Doktorant w sposób wyczerpujący opisuje sposób prowadzenia pomiarów wielkości elektrycznych, łącznie z metodologią określania niepewności pomiarowych przy różnych natężeniach przepływów objętościowych podawanych gazów anodowych oraz katodowych. Brak za to w rozprawie szczegółowych informacji na temat sposobów prowadzenia pomiarów przepływów objętościowych paliwa oraz powietrza wprowadzanych do stosu. Pomiarów tych wielkości wydają się być kluczowe dla charakteru badań przeprowadzonych w ramach doktoratu. Brak w pracy opisu sposobu identyfikacji potencjalnych nieszczelności sugeruje, że stos SOFC charakteryzuje się naturalną gazoszczelnością. Literatura przedmiotu wskazuje jednak, że eksploatacja stosów ogniów stałotlenkowych, szczególnie w nietypowych warunkach pracy, może prowadzić do pojawiania się mikropęknięć, co też może prowadzić do niekontrolowanych przecieków gazów. Wydaje się również, iż w sposób marginalny potraktowano monitorowanie zmian ciśnienia gazów anodowych oraz katodowych, które mogą być pierwszym symptomem potencjalnie mogących zaistnieć podczas eksploatacji nieprzewidywalnych zjawisk, mogących prowadzić do uszkodzeń elementów stosu. Zgodnie ze schematem stanowiska badawczego, jakie przedstawia Rys. 19, pomiary spadków ciśnień były realizowane. W pracy jednak Doktorant nie odnosi się do rezultatów tych pomiarów. Czy ich znaczenie jest marginalne w kontekście prowadzonych analiz? Czy za wystąpienie stanów awarii stosów na skutek niszczenia ogniów paliwowych, w warunkach pracy właściwych dla prowadzenia krakingu wewnętrznego, nie mógł odpowiadać towarzyszący dekompozycji amoniaku duży przyrost objętości gazów? Wydaje się, iż pomiary ciśnienia byłyby kluczowe dla przyjęcia, bądź też obalenia tak sformułowanej hipotezy.

W dalszej części pracy, w Rozdziale 5., Doktorant przedstawia modele matematyczne, które posłużyły mu do przeprowadzenia zaplanowanych badań numerycznych, mających na celu odwzorowanie warunków pracy ogniów SOFC z uwzględnieniem zjawisk termodynamicznych oraz mechaniki płynów. Doktorant celem opracowania modeli, łącznie z implementacją własnych kodów mających uwzględnić zjawisko krakingu wewnętrznego, wykorzystał środowisko OpenFoam. W rozdziale przedstawiono szczegółowo model matematyczny, a w tym wykorzystywane równania oraz schemat blokowy realizowanych obliczeń ukierunkowanych dla iteracyjnego określania wartości prądu i napięcia. W pracy Doktorant podjął się również analiz systemowych, które m. in. miały na celu określenie wielkości magazynu bateryjnego, którego integracja z systemem SOFC jest wymagana dla utrzymywania ogniów paliwowych w korzystnych zakresach obciążeń. Algorytm wykorzystywany dla doboru wielkości magazynu bateryjnego został przedstawiony w Sekcji

5.2. W Sekcji 5.3 przedstawiono z kolei model całej instalacji SOFC, a więc systemu uwzględniającego dmuchawę, wymienniki ciepła oraz opcjonalny reaktor zewnętrzny. Przytoczony opis oraz założenie wskazują na to, iż Doktorant prowadził obliczenia wyłącznie w trybie projektowym. Co więcej wydaje się, iż założenia do analiz mają często charakter życzeniowy. Dotyczy to przykładowo założenia dotyczącego całkowitej dekompozycji amoniaku w reaktorze i/lub w stosie. Pojawia się pytanie: na ile całkowita dekompozycja amoniaku jest fizykalnie możliwa do uzyskania w instalacji wykorzystującej komponenty o realnych, a więc i ekonomicznie uzasadnionych wielkościach?

W Rozdziale 6 przedstawiono plan badawczy. Tutaj również Doktorant zestawia szerzej założenia liczbowe do analiz. W Tabeli 18 zestawiono założenia dla części eksperymentalnej, w której stopy SOFC miały być badane w różnych stanach pracy. Jednym ze stanów pracy jest „praca na OCV” z wykorzystaniem amoniaku jako paliwa. Dlaczego dla takiego stanu pracy zakłada się obciążenie prądowe o wartości 24 A?

Wyniki badań eksperymentalnych oraz numerycznych zestawiono w pracy w Rozdziale 7. Generalnie rezultaty nie budzą zastrzeżeń. Doktorant na bieżąco komentuje prezentowane charakterystyki oraz wyniki zestawione tabelarycznie. Podczas analizy wyników pojawiły się pewne niejasności oraz zagadnienia dyskusyjne. Na Rys. 28 przedstawiono wyniki przeprowadzonej walidacji eksperymentalnej dla modelu numerycznego. Dla jakiej grubości warstwy nośnej anody przeprowadzono obliczenia? Na ile prowadzone analizy numeryczne, jak również badania eksperymentalne, w których ogniwa podczas ich pracy utrzymuje się w laboratoryjnych warunkach pieca, oddają realne warunki pracy w warunkach właściwych dla instalacji zabudowanej na pokładzie statku lub barki? Urządzenie pracujące w temperaturze około 700 °C narażone jest na wysoki stopień rozpraszania ciepła, nawet przy zastosowaniu grubych warstw izolacji termicznej. Uniknięcie wpływu niekorzystnego działania mostków termicznych w urządzeniach o stosunkowo wysokiej masie jest niebywale trudne. Czy przyjęcie adiabatycznego warunku brzegowego nie jest zbyt dużym uproszczeniem? Na ile nieuwzględnienie w analizach potencjalnie mogących się pojawić nierównomierności w rozkładzie temperatur w materiałach wykorzystanych w stosie może przyczynić się do braku identyfikacji potencjalnie niszczących naprężeń termicznych, szczególnie w przypadku kruchych materiałów ceramicznych? W kolejnych kampaniach eksperymentalnych, po zdiagnozowaniu problemów związanych z uszkodzaniem ogniw, przy ich pracy w warunkach krakingu wewnętrznego, zdecydowano się na ograniczenie liczby wykorzystywanych w stosie ogniw. Czy nie byłoby zasadne prowadzenie analiz od samego początku z wykorzystaniem np. 4 ogniw? Dlaczego zdecydowano się na prowadzenie analiz z wykorzystaniem aż 10, a później 9 sztuk ogniw? W Sekcji 7.4.4 Doktorant zestawia założenia do analiz oraz wyniki analiz ukierunkowanych na określenie sprawności łańcucha Power-to-Ammonia-to-Power. Dla potrzeb przeprowadzenia analizy zakłada się między innymi sprawność elektrolizy (bardziej słuszne wydaje się stosowanie tutaj pojęcia

„sprawności elektrolizera” lub nawet „sprawności generatora wodoru”) na poziomie 87%. Czy nie jest to wartość zbyt wysoka? Wydaje się, że uwzględnia ona także ciepło jako produkt użyteczny. Jeśli tak jest, to czy jest to uzasadnione? Takie założenie wydaje się niewłaściwe, tym bardziej, że uzyskany wynik analizy przyrównuje się do sprawności silnika Diesla na poziomie 45%.

Pracę zamyka Rozdział 8, który zawiera zwięzłe podsumowanie przeprowadzonych prac. Doktorant przedstawia w treści podstawowe efekty przeprowadzonych prac eksperymentalnych oraz analiz numerycznych z podkreśleniem najważniejszych własnych osiągnięć. Po lekturze całości pracy należy uznać, iż Doktorant osiągnął sformułowane cele.

3. Uwagi o charakterze redakcyjnym

Rozprawa została przekazana do recenzji w formie zwartej monografii w formacie A4 o objętości 151 stron. Praca jest napisana językiem technicznym. Błędy natury merytorycznej, stanowiące podstawę do dyskusji podczas obrony doktoratu, wskazano w punkcie 2. Niestety praca zawiera dużą liczbę błędów natury redakcyjnej oraz stylistycznej. Błędy znalezione na etapie czytania pracy zestawiam poniżej:

- na stronie 34, w pierwszym akapicie jest „niezwierającymi”, a powinno być „niezawierającymi”;
- na stronie 37, w pierwszym akapicie występuje błąd stylistyczny w zdaniu „Gdyż wymogi redukcji emisji oraz sugestie...”;
- na stronie 39, w pierwszym akapicie jest „wdra-żaniem”, a powinno być „wdrażaniem”;
- na stronie 39, w drugim akapicie jest „tempera-turze”, a powinno być „temperaturze”;
- na stronie 40, w pierwszym akapicie jest „powie-trzem”, a powinno być „powietrzem”;
- na stronie 40, w pierwszym akapicie jest „rektora”, a powinno być „reaktora”;
- na stronie 41, w pierwszym akapicie jest „umożliwiający”, a powinno być „umożliwiających”;
- Doktorant wykorzystuje błędnie pojęcie „urządzenia” również w odniesieniu do maszyn;
- na stronie 43, w pierwszym akapicie występuje błąd stylistyczny w zdaniu „Wskazując amoniak jako paliwo...”;
- na stronie 44, w drugim akapicie jest „jedna”, a powinno być „jedno”;
- na stronie 47, w pierwszym akapicie występuje niepoprawny związek wyrazowy „... nazywane określane...”;
- na stronie 48, w drugim akapicie występuje błąd stylistyczny w zdaniu „W 2010 została opublikowana praca...”;
- na stronie 48, w drugim akapicie jest „uproszczenie”, a powinno być „uproszczeniem”;
- na stronie 48, w drugim akapicie jest „instalacji zasilanego NH₃”, a powinno być „instalacji zasilanej NH₃”;
- na stronie 49, jest „pracujący przez w trybie”, a powinno być „pracujący w trybie”;

- na stronie 50, w pierwszym akapicie jest „podnosi sprawność systemu do 6%”, a powinno być „podnosi sprawność systemu o 6%”;
- na stronie 53, w pierwszym akapicie występuje błąd stylistyczny w zdaniu „Co jednak może nie spotkać...”;
- na stronie 53, w trzecim akapicie jest „duże zróżnicowaniu grubości”, a powinno być „duże zróżnicowanie grubości”;
- na stronie 54 występuje powtórzenie „na metodzie na metodzie”;
- na stronie 54, w drugim akapicie jest „wzrost strumień wolumetrycznego”, a powinno być „wzrost strumienia wolumetrycznego”;
- na stronie 62, w pierwszym akapicie jest „poruszony naukowców”, a powinno być „poruszony przez naukowców”;
- na stronie 70, w pierwszym akapicie jest „jest niedokładnie”, a powinno być „jest niedokładne”;
- na stronie 70, w trzecim akapicie występuje błąd stylistyczny w zdaniu „Jest to istotne również z perspektywy...”;
- w opisie Rys. 21 brakuje odniesienia do wykresu (a) oraz wykresu (b);
- na stronie 73, w trzecim akapicie jest „Jednak o funkcja”, a powinno być „Jednak funkcja”;
- na stronie 74, w pierwszym akapicie jest „gęstość ora prędkość”, a powinno być „gęstość oraz prędkość”;
- na stronie 76, w drugim wierszu jest „Jeżeli $60\% \leq SC < 80\%$ ”, a powinno być „Jeżeli $35\% \leq SC < 60\%$ ”;
- na stronie 80 jest „Rzeczywista praca dmuchawy”, a powinno być np. „Rzeczywisty pobór mocy efektywnej”;
- na stronie 86, w drugim akapicie występują powtórzenia „Tabela 14 Tabela 14” oraz „Tabela 15Tabela 15”;
- na stronie 91, w pierwszym akapicie występuje błąd stylistyczny w zdaniu „Oznacza to, że bezpośredni ...”;
- na stronie 92, w trzecim akapicie jest „zasalania”, a powinno „zasilania”;
- na stronie 104, w trzecim akapicie jest „Po upływie o. 12 godzin...”, a powinno być zapewne „Po upływie ok. 17 godzin...”;
- na stronie 110, w drugim akapicie występuje błąd stylistyczny w zdaniu „W czasie eksperymentu zmiana temperatury gazów...”;
- na Rys. 42 dla oznaczenia dwóch wykresów wykorzystano literę b);
- niestety Rys. 49 przedstawia fotografie bardzo słabej jakości;
- na stronie 130, w drugim akapicie występuje błąd stylistyczny w zdaniu „Co stanowi zaletę względem...”;
- na stronie 131, w trzecim akapicie jest „amoniaku ogniwach”, a powinno być „amoniaku w ogniwach”;
- na stronie 136, zdanie w drugim akapicie jest niedokończone;

– na stronie 140, w drugim akapicie jest „z zmianą”, a powinno być „ze zmianą”.

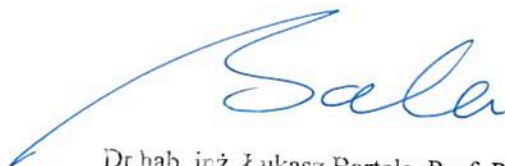
4. Podsumowanie

Podsumowując, stwierdzam, iż przedstawiona mi do recenzji praca doktorska mgr inż. Krystiana Machaja w istotny sposób rozwija tematykę związaną ze stosowaniem alternatywnych napędów oraz paliw energetycznych w sektorze transportu morskiego. Wykorzystanie amoniaku dla zasilania stałotlenkowych ogniw paliwowych może być interesującą alternatywą dla stosowania silników tłokowych, szczególnie dla potrzeb transportu pełnomorskiego.

Doktorant dla osiągnięcia postawionych celów przeprowadził kompleksowe badania, posiłkując się zarówno wynikami zaplanowanych i przeprowadzonych przez siebie prac eksperymentalnych, jak również wynikami wielowątkowych analiz numerycznych.

Z treści rozprawy wnioskuję, iż Doktorant posiada wiedzę teoretyczną w obszarze termodynamiki oraz mechaniki płynów, jak również elektrochemii, co też pozwoliło mu w finale aktywności badawczej na udowodnienie sformułowanych tez badawczych. Na podkreślenie zasługuje szczególnie wkład jaki jest wynikiem prac doktoranta w obszarze rozwinięcia modeli matematycznych o opisy procesów związanych ze zjawiskiem krakingu wewnętrznego amoniaku na materiale aktywnym anody ogniw paliwowych. Doktorant przeprowadził analizy, które pozwoliły zdobyć nową wiedzę, która została upowszechniona na drodze publikacji wyników w uznanych czasopismach naukowych.

Pragnę podkreślić, iż sformułowane przeze mnie uwagi krytyczne odnoszące się do rozprawy nie mają wpływu na pozytywną jej ocenę. Będąc przedmiotem oceny rozprawa doktorska mgr inż. Krystiana Machaja pt. *Badania stosowalności technologii stałotlenkowych ogniw paliwowych oraz amoniaku jako paliwa w sektorze morskim* spełnia wymogi określone w Ustawie o Stopniach Naukowych i Tytule Naukowym oraz Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki. W związku z powyższym stawiam wniosek o skierowanie rozprawy doktorskiej do publicznej obrony.



Dr hab. inż. Łukasz Bartela, Prof. PŚ
Katedra Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Śląska