

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, 11.12.2024

Recenzja pracy doktorskiej mgr inż. Stanisława Jagielskiego

pt. Modyfikacja mikrostruktury porowatej podłoży elektrody paliwowej płaskich ogniw stałotlenkowych wytwarzanych metodą wtrysku wysokociśnieniowego masy ceramicznej oraz badania eksperymentalne wpływu przeprowadzonych modyfikacji na proces elektrolizy pary wodnej w ogniwach SOE

Recenzja wykonana została na zlecenie prof. dra hab. inż. Tomasza Wiśniewskiego, Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Środowiska, Górnictwo i Energetyka w Politechnice Warszawskiej. Promotorem pracy doktorskiej jest prof. dr hab. inż. Jarosław Milewski.

1. Zasadność podjęcia tematu

Wzrost efektywności technologii pozyskiwania zielonego wodoru jest jednym z najbardziej oczekiwanych efektów badań prowadzonych obecnie w zakresie rozwoju technologii energetycznych. Tani oraz dostępny wodór jako nośnik energii produkowany w sposób niskoemisyjny jest szansą dla zdekarbonizowania wielu sektorów, w obrębie których występują trudności w obniżaniu śladu węglowego. W szczególności mowa tutaj o przemyśle nawozowym, hutnictwie oraz transporcie ciężkim. Zdecydowanie najbardziej rozwijaną metodą produkcji wodoru jest metoda elektrolizy, która wykorzystuje proces elektrochemiczny, w którym cząsteczka wody pod wpływem działania napięcia elektrycznego rozkłada się na podstawowe składniki, jakimi są wodór oraz tlen. Urządzenia, w których ów proces jest prowadzony nazywane są elektrolizerami. Ich podstawowa klasyfikacja oparta jest

na poziomach temperatur prowadzenia procesów. Choć najbardziej obecnie rozpowszechnionymi urządzeniami są elektrolizery niskotemperaturowe, wśród których wyróżniamy elektrolizery typu PEM oraz elektrolizery alkaliczne, to największe nadzieje na skok technologiczny, być może pozwalający na przełamanie progu rentowności, identyfikowane są w obszarze rozwoju elektrolizerów wysokotemperaturowych, którymi też Doktorant zajmuje się w swojej pracy naukowej. W swojej pracy doktorskiej podjął się on analiz ukierunkowanych na identyfikację wpływu modyfikacji mikrostruktury elektrody paliwowej ogniów stałotlenkowych na ich charakterystyki pracy. Praca tym samym wpisuje się w obszar badań o charakterze użytkowym, i jest tematycznie korzystnie usytuowana w zakresie działań mających wspierać obszar technologii energetycznych, jaki musi odpowiedzieć na cele formułowane w Unii Europejskiej, a szczególnie cel jakim jest osiągnięcie neutralności klimatycznej do roku 2050. Doktorant skoncentrował się na wąskim, ale także bardzo ważnym obszarze udogodnień technologicznych, jakie mogą stać u podstaw zwiększenia atrakcyjności elektrolizerów stałotlenkowych. Na uwagę zasługuje fakt, iż badania prowadzone były w Instytucie Energetyki, mającym doskonale, udokumentowane efekty prowadzonych aktywności w zakresie rozwoju technologii elektrolizerów stałotlenkowych. Bez wątplenia tematyka dysertacji wpisuje się w dyscyplinę naukową – inżynieria środowiska, górnictwo i energetyka.

2. Charakterystyka pracy

Rozprawa doktorska składa się z 7 rozdziałów, z których pierwszym jest Wstęp i cel pracy, a ostatnim Wnioski i podsumowanie. Przed częścią zasadniczą pracy znajduje się streszczenie w języku polskim oraz streszczenie w języku angielskim, jak również wykaz skrótów i symboli. Na końcu pracy Doktorant zestawił cytowaną w dysertacji literaturę, jak również spis rysunków i tabel. W spisie literatury zestawiono 168 pozycji literaturowych, z których zaledwie 3 to prace, których Doktorant był współautorem. Dobrą praktyką w przygotowywaniu prac doktorskich powinno być odnoszenie się do efektów prac własnych, publikowanych przez autorów dysertacji w literaturze przedmiotu. Niestety tego brakło w przekazanej mi do recenzji dysertacji.

W rozdziale 1 Doktorant wskazuje na motywację, jaka stała u podstaw podjęcia się wyzwania badawczego. Doktorant wskazuje wodór, jako nośnik energii, który w przyszłości ma wypełnić miejsce po zredukowanych w gospodarkach paliwach kopalnych, jakimi są węgiel, gaz ziemny oraz ropa naftowa. Taki nośnik w szczególności, jak wskazuje Doktorant, ma rację rynkowego bytu z uwagi na przewidywany w przyszłości wzrost roli pogodozależnych źródeł energii, tj. wiatru oraz promieniowania słonecznego. Motywację swą słusznie Doktorant podbudowuje zobowiązaniami międzynarodowymi, które nakazują decydom krajowym prowadzenie polityki dekarbonizacyjnej. Doktorant całkiem słusznie wskazuje na

wodór jako bardzo ważny nośnik energii w kontekście potrzeb magazynowania energii elektrycznej. Technologie Power-to-Gas stanowią jedyne obecnie dostępne rozwiązanie umożliwiające na długookresowe magazynowanie, nawet bardzo dużych ilości energii. O ile można się zgodzić z taką argumentacją w kontekście potrzeby prowadzenia badań nad elastycznymi technologiami produkcji wodoru w oparciu o energię elektryczną produkowaną okresowo w nadwyżce do potrzeb, to trudno znaleźć argumenty, że to właśnie elektrolizery stałotlenkowe mogłyby spełniać ważną rolę w kształtowaniu się potencjału technologii Power-to-Gas.

Rozdział 2 przybliży czytelnikowi podstawowe informacje nt. procesu elektrolizy stałotlenkowej. Doktorant sprawnie przedstawia zasadę działania, a w tym podstawowe równania opisujące elektrochemiczne procesy identyfikowane w głównych elementach elektrolizera stałotlenkowego. W rozdziale tym Doktorant zestawia także ważne wskaźniki efektywności elektrolizerów, jakimi są sprawności, jak również współczynnik wykorzystania pary wodnej. Nie do końca wiadomo, w jakim celu definicje sprawności znalazły swoje miejsce w niniejszym rozdziale, skoro Doktorant ich nie komentuje, jak również nie wskazuje np. sprawności właściwych dla obecnie rozwijanych na świecie konstrukcji, jak również zdefiniowanych wielkości nie wykorzystuje w prowadzonych badaniach. W rozdziale Doktorant wskazuje zalety elektrolizerów stałotlenkowych, ale niestety brakuje mu obiektywizmu, co objawia się brakiem zestawienia w pracy wad tych urządzeń.

W Rozdziale 3 Doktorant sprawnie przeprowadza przegląd literatury, co ważne koncentrując się korzystnie wyłącznie na tych badaniach, które prowadzone były na świecie w obszarze, którym ściśle zajmował się Doktorant podczas swojego doktoratu. Tendencja do rozpraszania uwagi czytelnika przytaczaniem rezultatów mających marginalne znaczenie w kontekście prowadzonych badań, staje się coraz bardziej widocznym standardem w środowisku naukowym. Choć Doktorant zestawia w pracy szereg wyników badań prowadzonych wcześniej w różnych ośrodkach naukowych, ściśle powiązanych z jego obszarem badawczym, to niestety Doktorant nie powraca do nich w dalszych rozdziałach, które przytaczają wyniki jego badań własnych. W podsumowaniu przeglądu literaturowego, w świetle przytoczonych w rozdziale prac prowadzonych na świecie, Doktorant wskazuje w pięciu punktach walory swojej pracy w kontekście nowości naukowej.

Rozdział 4 przybliży metodykę prowadzenia badań, jak również stosowane w badaniach techniki pomiarowe. Metody wykorzystane przez Doktoranta są metodami standardowo stosowanymi w obszarze badań struktur materiałów porowatych oraz charakterystyk pracy ogniw stałotlenkowych. W rozdziale znajduje się skromny opis instalacji badawczej, jak również opis procedury eksperymentalnej. W rozdziale zabrakło informacji nt. sposobu prowadzenia pomiarów ciśnień gazów w trakcie prowadzenia prac eksperymentalnych.

Rozdział 5 stanowi jeden z dwóch najważniejszych rozdziałów dysertacji (obok Rozdziału 6). Zestawiono w nim informacje nt. sposobu wytwarzania ogniwo SOE o wymiarach 50 mm x 50 mm, które poddawane były badaniom struktur oraz badaniom eksperymentalnym prowadzonym przez Doktoranta. W rozdziale wskazano materiały porotwórcze, jakie Doktorant zastosował dla potrzeb modyfikowania mikrostruktury, w odniesieniu do grafitu płatkowego, który stanowi standardowy dodatek w produkcji ogniwo, także wytwarzanych w Instytucie Energetyki. W rozdziale Doktorant przybliży sposób wytwarzania ogniwo oraz parametry stosowane w ich produkcji. W rozdziale zestawione są wyniki badań mikrostruktury, które szczegółowo komentowane są przez Doktoranta w kontekście stosowanych parametrów produkcji.

W Rozdziale 6 Doktorant prezentuje kluczowe dla wykazania efektów modyfikacji struktury charakterystyki pracy ogniwo stałotlenkowych. W obszernym rozdziale zestawiono charakterystyki napięciowo-prądowe dla ogniwo pracujących w różnych warunkach, tj. różnych gęstościach prądu elektrolizy, różnych temperaturach oraz różnych stężeniach pary wodnej w paliwie. Rozdział jest bogaty w treść, a w szczególności w formułowane na bieżąco wnioski. Choć uzasadnione jest prowadzenie przede wszystkim badań w kontekście uzyskiwanych charakterystyk elektrycznych pracujących ogniwo o odmiennych mikrostrukturach podłoża elektrody, to w tym aspekcie brakuje w mojej opinii zwrócenia uwagi w dysertacji także na inne kwestie, a w szczególności wytrzymałość oraz trwałość stosów o różnych charakterystykach strukturalnych.

W ostatnim rozdziale dysertacji Doktorant formułuje szereg wniosków o charakterze ogólnym, odnosząc się jednak do wybranych rezultatów przeprowadzonych prac. Rozdział tym samym pozwala czytelnikowi na uszeregowanie zakresu przeprowadzonych przez Doktoranta wieloaspektowych badań.

Praca w mojej opinii jest bardzo interesująca i doskonale wpisuje się w potrzeby obecnie prowadzonych prac rozwojowych w obszarze energetyki. Praca ma charakter eksperymentalny. Po zapoznaniu z treścią dysertacji uznaję, że uzyskane przez Doktoranta rezultaty badań materiałowych oraz pomiarów stanowiskowych pozwoliły na właściwą ocenę jakościową wybranych sposobów modyfikacji mikrostruktury porowatej podłoża elektrody paliwowej płaskich ogniwo stałotlenkowych. Szkoda, że Doktorant nie rozszerzył prac o badania wytrzymałościowe. Przedstawiona do oceny dysertacja stanowi dowód na to, iż Doktorant posiada wszelkie predyspozycje do prowadzenia prac naukowych na wysokim poziomie.

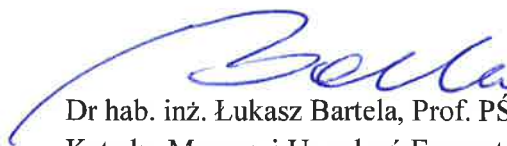
3. Uwagi o charakterze redakcyjnym

Rozprawa została przekazana do recenzji w formie monografii o objętości 200 stron. Pracę czyta się dobrze. Jest ona napisana językiem technicznym. Na uwagę zasługuje niewielka liczba błędów natury stylistycznej. W treści zidentyfikowałem nieliczne tzw. „literówki”. Na uznanie zasługuje prosta, a zarazem bardzo dobra konstrukcja pracy, w której czytelnik potrafi się łatwo odnaleźć. Doktorant nie ma tendencji do zbaczania z kursu obranego na uzyskanie postawionego sobie celu.

4. Podsumowanie

Po zapoznaniu z pracą doktorską przygotowaną przez Pana Stanisława Jagielskiego uznaję, iż Doktorant ma wszelkie predyspozycje do prowadzenia wysokojakościowych prac badawczych. Przeprowadzenie prac eksperymentalnych, jak również prac mających na celu wytworzenie elektrod o różnych zmodyfikowanych podłożach elektrody, wymagało od Doktoranta posiadania dużej wiedzy oraz umiejętności. Uzyskane rezultaty nie budzą zastrzeżeń. Uważam, że cel główny pracy został osiągnięty. Uzyskana rezultaty stanowią materiał o dużym znaczeniu użytkowym.

Pomimo sformułowania uwag krytycznych przedstawioną pracę oceniam wysoko. W mojej ocenie rozprawa doktorska mgr inż. Stanisława Jagielskiego pt. *Modyfikacja mikrostruktury porowatej podłoży elektrody paliwowej płaskich ogniw stałotlenkowych wytwarzanych metodą wtrysku wysokociśnieniowego masy ceramicznej oraz badania eksperymentalne wpływu przeprowadzonych modyfikacji na proces elektrolizy pary wodnej w ogniwach SOE* spełnia wymogi określone w Ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. 2023, poz. 742). 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