Streszczenie rozprawy doktorskiej

„Modelowanie systemów wyposażonych w ogniwa paliwowe przy zastosowaniu symulatora procesowego"

mgr inż. Mateusz Palus

Zachodniopomorski uniwersytet technologiczny w Szczecinie

Wydział Technologii i Inżynierii Chemicznej

promotor dr hab. inż. Paulina Pianko-Oprych, prof. ZUT

Jedną z przyszłościowych technologii produkcji energii elektrycznej są niewątpliwie ogniwa paliwowe konwertujące energię chemiczną paliwa bezpośrednio w energię elektryczną. Konwersja bezpośrednia pozwala na uzyskanie sprawności rzędu 47 [%]. Systemy kogeneracyjne bazujące na ogniwach paliwowych pracują ze sprawnością nawet 85 [%]. Należy jednak zaznaczyć, że znaczna temperatura pracy stałotlenkowego ogniwa paliwowego typu SOFC (ang. Solid Oxide Fuel Cell) może powodować problemy dotyczące rozszerzalności temperaturowej struktur ogniwa, których grubości sięgają rzędu mikrometrów. Wyznaczenie i utrzymanie optymalnych warunków pracy pojedynczego ogniwa, jak i ich stosów oraz pozostałych komponentów, wchodzących w skład systemów do produkcji energii elektrycznej i ciepła wymaga zatem zastosowania nowoczesnych narzędzi badawczych w postaci symulatorów procesowych. Wyniki symulacji numerycznych z jednej strony pozwalają znacząco obniżyć koszty projektowania i testowania nowych rozwiązań w laboratoriach, a z drugiej pozwalają na rozpatrzenie znacznie większej liczby parametrów operacyjnych wpływających na pracę tych systemów w krótszym czasie.

Biorąc pod uwagę powyższe, zdecydowano, że celem niniejszej rozprawy doktorskiej było przeprowadzenie modelowania numerycznego systemów zasilania wyposażonych w wysokotemperaturowe, stałotlenkowe ogniwa paliwowe typu SOFC pracujących w stanie ustalonym i nieustalonym z wykorzystaniem nowoczesnego narzędzia projektowego reprezentowanego przez symulator procesowy. Praca została podzielona na siedem głównych rozdziałów.

Rozdział pierwszy zawiera krótkie wprowadzenie do analizowanego zagadnienia, obejmujące charakterystyki ogniw paliowych typu SOFC i podstawy modelowania systemów wyposażonych w ogniwa za pomocą symulatora procesowego. Wskazano wady i zalety wymienionego narzędzia badawczego.

Rozdział drugi zawiera podsumowanie aktualnego stanu wiedzy na temat wykorzystania symulatorów procesowych w procesie modelowania systemów do produkcji energii elektrycznej i cieplnej wyposażonych w ogniwa paliwowe typu SOFC. W celu lepszego zrozumienia poruszanego zagadnienia dokonano przeglądu podstawowych typów ogniw paliwowych i ich charakterystyk. Przedstawiono składowe komponenty kompletnego systemu zasilania, a także zilustrowano działanie symulatora procesowego. Podsumowanie rozdziału stanowi opis wniosków wyciągniętych na podstawie przeprowadzanego przeglądu literaturowego. Zidentyfikowano lukę badawczą, której zapełnienie może przyczynić się do rozwoju nauki. Wynikiem przeglądu literaturowego było sformułowanie szczegółowych celów i tez badawczych rozprawy doktorskiej, które przedstawiono w kolejnym rozdziale.

W rozdziale trzecim sformułowano główny cel rozprawy doktorskiej, jakim było przeprowadzenie modelowania procesów transportu masy, energii oraz reakcji elektrochemicznych w systemie do produkcji energii elektrycznej i ciepła wyposażonym w dwa stosy wysokotemperaturowych, ceramicznych, stałotlenkowych ogniw typu SOFC o różnej liczbie ogniw w każdym ze stosów za pomocą symulatora procesowego. Dodatkowym aspektem nowości było zastosowanie dwóch odrębnych podsystemów reformingu paliwa. Osiągnięcie założonego celu wymusiło zdefiniowanie celów szczegółowych. Cele szczegółowe pozwoliły finalnie na osiągnięcie celu głównego i były realizowane etapowo.

Opis wykonanych prac przedstawiono w rozdziale czwartym ukazującym badania własne. W ramach pierwszego etapu przeprowadzono badania wstępne, których efektem było zdefiniowanie w symulatorze procesowym modelu matematycznego w stanie ustalonym dla prostego systemu zasilania zawierającego pojedynczy stos ogniw SOFC. System ten nazwano jako system A. Zdefiniowano zestaw równań matematycznych, umożliwiających oszacowanie charakterystyki prądowo-napięciowej pojedynczego ogniwa dla różnych wartości parametrów operacyjnych. Uzyskane wyniki symulacji numerycznych dla charakterystyk prądowo-napięciowych, I-V, porównano z dostępnymi danymi pomiarowymi i stwierdzono zgodność wyników na akceptowalnym poziomie. W ramach kolejnego etapu, po weryfikacji poprawności predykcji modelowania przystąpiono do dalszych etapów badań, polegających na analizie numerycznej systemu A w stanie nieustalonym. Zadanie to wymagało ponownego właściwego zdefiniowania modelu matematycznego systemu zasilania, pracującego w tym przypadku w warunkach nieustalonych. Potwierdzenie zgodności wyników symulacji dla systemu zasilania opisanego jako system A zarówno w stanie ustalonym, jak i nieustalonym stanowiło punkt wyjściowy do opracowania modeli matematycznych w stanie ustalonym

i nieustalonym dla systemu złożonego z dwóch stosów ogniw paliwowych typu SOFC nazwanego jako system B i przedstawionego w badaniach zasadniczych. Poprawność zdefiniowanych modeli matematycznych potwierdzono poprzez porównanie wyników symulacji z danymi literaturowymi lub uzyskanymi od partnerów wspólnie realizowanego Europejskiego projektu STAGE-SOFC. Rozdział ten zamyka się przedstawieniem wyników analiz wpływu wybranych parametrów operacyjnych na pracę obu systemów. W ramach przeprowadzonych symulacji numerycznych uzyskano charakterystyki prądowo-napięciowe dla stosów ogniw paliwowych, pracujących pod różnymi obciążeniami. Przeprowadzono analizę takich zagadnień, jak zachowanie systemów zasilania pracujących ze zmienną wartością współczynnika wykorzystania paliwa oraz dla różnych wartości stosunków molowych reagentów. Wykonane analizy numeryczne miały na celu określenie optymalnych warunków pracy systemów zasilania prostego, A, i złożonego, B.

Rozdział piąty stanowi podsumowanie oraz wnioski końcowe. Na postawie analizy wyników własnych wykazano, że zastosowanie symulatorów procesowych może być z sukcesem stosowane do przewidywania poszczególnych parametrów pracy systemów zasilania z wykorzystaniem ogniw paliwowych typu SOFC zarówno w celu optymalizacji, jak i w badaniu zachowania systemów w warunkach granicznych. Z powodzeniem zdefiniowano w komercyjnym symulatorze procesowym własny model dynamiczny dla obu systemów zasilania A i B, wraz z implementacją niezbędnych równań matematycznych, umożliwiających obliczenie charakterystyki prądowo-napięciowej ogniwa SOFC. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że wzrost ciśnienia oraz temperatury w ogniwie miało pozytywny wpływ na wielkość generowanej mocy, przy czym wykazano, że temperatura robocza stosu miała większy wpływ niż ciśnienie. W przypadku systemu B stwierdzono, że zbliżone wartości napięcia pojedynczego ogniwa w obu stosach nie występowały w całym zakresie gęstości prądu, lecz wraz z jego wzrostem różnica ta zwiększała się z powodu znaczącego spadku napięcia w drugim stosie. Na podstawie analizy wyników własnych wskazano obszary, które powinny być tematem dalszych badań.

W rozdziale szóstym przedstawiono wykaz literatury, w rozdziale siódmym publikacje własne autora. Załączniki A i B zawierają kody obliczeniowe, służące do obliczeń charakterystyki prądowo-napięciowej ogniw w modelach dynamicznych, odpowiednio dla systemu A oraz B.

1 lutego 2021 r.