



Fot. 123rf

# DIAGNOSTYKA OGNIW PALIWOWYCH

dr inż. Łukasz Gawęł

Katedra Elektrochemii, Korozji i Inżynierii Materiałowej, Politechnika Gdańska

Rosnące zapotrzebowanie na zieloną energię elektryczną, ograniczenia związane z normami emisji spalin, większa świadomość ekologiczna społeczeństwa czy rozwój dolin wodorowych determinują fakt, że ogniwa paliwowe typu PEM będą stanowić ważne źródło energii elektrycznej w niedalekiej przyszłości.

Ogniwa paliwowe z membraną protonowymienną (ang. PEM – *Proton Exchange Membrane Fuel Cells*) to rodzaj urządzeń elektrochemicznych, które przetwarzają wodór i tlen na energię elektryczną. Produktami tego procesu są jedynie woda

i ciepło jako produkty uboczne. Ogniwa paliwowe PEM są obiecującą technologią dla szerokiego spektrum zastosowań, od elektroniki przenośnej do generatorów energii stacjonarnej czy wykorzystanie ich w układach dynamicznych, jak automotive.



Fot. 123rf

Metody diagnostyki ogniw paliwowych PEM są wykorzystywane do oceny ich wydajności, trwałości i niezawodności oraz do identyfikacji i rozwiązywania problemów z ich komponentami lub podsystemami

Aby zapewnić wymaganą wydajność, trwałość i niezawodność ogniwa paliwowego PEM stosuje się różnorodne metody diagnostyki, pozwalające na ocenę jego zachowania w różnych warunkach pracy. Na poprawną pracę ogniwa paliwowego wpływa wiele różnych czynników, które przed komercjalizacją danego układu muszą zostać bezwzględnie zweryfikowane. Badania nad komponentami ogniwa paliwowego, wpływem jakości dostarczanego paliwa, temperaturą, ciśnieniem, odpowiednim nawilżeniem w układzie, wydajnością układu chłodzenia, jak i wielu innych parametrów pracy są kluczowe, by w pełni wykorzystać potencjał danej konstrukcji i zapewnić długotrwałą i bezpieczną pracę urządzenia.

#### Kilka poziomów diagnostyki ogniw paliwowych

Diagnostykę ogniw paliwowych można prowadzić na kilku poziomach. Pierwszy z nich dotyczy badań nad zdolnością katalityczną „serca” ogniwa, czyli zespołu elektrod membranowych (ang. MEA – *Membrane Electrode Assembly*), na którą składa się membrana polimerowa, materiał katalityczny oraz warstwa gazodifuzyjna.

Kolejny poziom dotyczy bezpośrednio konstrukcji samego ogniwa, rodzaju wykorzystanych do jego budowy materiałów, właściwej dystrybucji reagentów do MEA czy odprowadzenia wody.

Ostatnim poziomem są badania całego układu, czyli ogniwa wraz z podsystemami, odpowiadającymi chociażby za kontrolę temperatury układu czy właściwe doprowadzenie reagentów do ogniwa.

Każda z metod diagnostycznych ma swoje zalety i wady, a naukowcy i inżynierowie muszą dobrać

prawidłowe metody diagnostyczne na podstawie swoich konkretnych celów badawczych i wymagań aplikacyjnych. Każdy z ośrodków naukowo-badawczych czy też zakładów komercyjnych, dysponuje własnymi procedurami testowymi mającymi na celu uzyskanie interesujących ich właściwości. Należy również podkreślić, iż wybór pojedynczej metody nie pozwala uzyskać pełnego spektrum informacji dot. właściwości danego ogniwa czy stosu ogniw. W tym artykule zostaną przedstawione tylko niektóre z najczęściej stosowanych metod diagnostycznych w badaniach i rozwoju ogniw paliwowych PEM. Zostały one podzielone na dwie grupy badań wydajnościowych i wytrzymałościowych, jednakże w rzeczywistości są one często łączone i wykorzystywane naprzemiennie.

#### Testy wydajnościowe

Badania wydajnościowe są używane do oceny efektywności i wydajności ogniw paliwowych PEM w różnych warunkach pracy. Testy te mogą być używane do optymalizacji projektowanego MEA, w celu zwiększenia jego wydajności, a także do porównania wydajności różnych systemów ogniw paliwowych względem siebie. Pozwalają one również na identyfikację problemów dotyczących komponentów ogniwa, czy też elementów podsystemu.

Istnieje kilka różnych rodzajów badań wydajnościowych, które są powszechnie stosowane do diagnostyki ogniw paliwowych typu PEM. Jednym z podstawowych typów badań są badania krzywej polaryzacyjnej. Polegają one na pomiarze spadku napięcia ogniwa paliwowego pod wpływem zmiany obciążenia, w różnych warunkach pracy ogniwa. Nim otrzymujemy spektrum informacji dot. zachowania ogniwa przy różnym obciążeniu oraz różnych parametrach pracy ogniwa, takich chociażby jak temperatura, ciśnienie gazów, czy poziom nawilżenia membrany. W związku z powyższym, można zdefiniować i dobrać parametry pracy ogniwa paliwowego w zależności od obciążenia, pod jakim pracuje ogniwo, bądź też pod jaką wielkość mocy jest projektowane. Pozwala na optymalizację procesu, a co za tym idzie również na zmniejszenie kosztów i prawidłowe zaprogramowanie kontrolera układu, by ograniczać straty występujące w systemie.

Często wykorzystywaną techniką badawczą jest również elektrochemiczna spektroskopia impedancyjna (EIS). Metoda EIS polega na pomiarze impedancji ogniwa paliwowego poprzez pobudzenie układu sygnałem przemiennym o zmiennej częstotliwości. Ten rodzaj testów pozwala na identyfikację elementów ogniwa paliwowego ograniczających wydajność. Dzięki tej technice można zidentyfikować chociażby, czy problem z wydajnością występuje po stronie anody, katody czy też membrany. Można również uzyskać informację, czy skutkiem spadku wydajności są ograniczenia dyfuzyjne, czy też katalizator uległ degradacji. Niestety występują pewne ograniczenia dotyczące tej techniki. Podstawowym jest brak możli-



wości jej wykorzystania przy dynamicznych zmianach parametrów pracy. W związku z powyższym, podczas pomiaru trzeba zapewnić możliwie jak najbardziej stabilne warunki pracy. Jest to również technika skomplikowana pod względem interpretacyjnym. Wymaga ona posiadania od operatora odpowiedniej wiedzy i doświadczenia w tym zakresie.

Rozwinięciem tej klasycznej techniki impedancyjnej jest technika Dynamicznej Elektrochemicznej Spektroskopii Impedancyjnej (DEIS). Technika ta z powodzeniem została zaimplementowana do badań wydajnościowych ogniw paliwowych typu PEM przez naukowców z Politechniki Gdańskiej. Podstawową różnicą pomiędzy nią a techniką klasyczną jest sposób uzyskania danych. W przypadku techniki DEIS możliwym jest pomiar przy zmiennych warunkach pracy, dzięki czemu można obserwować zmiany zachowania poszczególnych komponentów ogniwa w trakcie dynamicznej jego pracy. Dzięki niej można między innymi badać zmiany dotyczące membrany, kinetyki reakcji, jakości dostarczanego paliwa, czy aktywności katalizatorów. Poprzez analizę odpowiedzi impedancyjnej ogniw paliwowych w różnych warunkach pracy, naukowcy i inżynierowie mogą zidentyfikować ograniczenia lub problemy wydajności, które mogą wpływać na efektywność i niezawodność technologii oraz opracować strategie poprawy jej parametrów.

Odpowiednie rozprrowadzenie gazów reakcyjnych, jak i szybkość odprowadzenia produkowanej wody jest równie istotnym badaniem wydajności ogniw paliwowych. W tym celu można wykonać badania szybkości gazów w warstwie dyfuzyjnej ogniwa paliwowego, która odpowiada za prawidłową dystrybucję substratów i produktów całej powierzchni elektrod.

Równie ważnym testem jest badanie przenikalności gazów przez membranę protonowymienną.

Oprócz diagnostyki samego stosu czy pojedynczego ogniwa paliwowego, ważna jest również ocena komponentów systemów wspomagających działanie układu ogniwa paliwowego, (ang. BoP – *Balance of Plant components*). System wspomagający obejmuje wiele podsystemów i komponentów, takich jak sprężarka powietrza, nawilżacze, systemy zarządzania wodą czy systemy zarządzania ciepłem, które są kluczowe dla utrzymania właściwych warunków

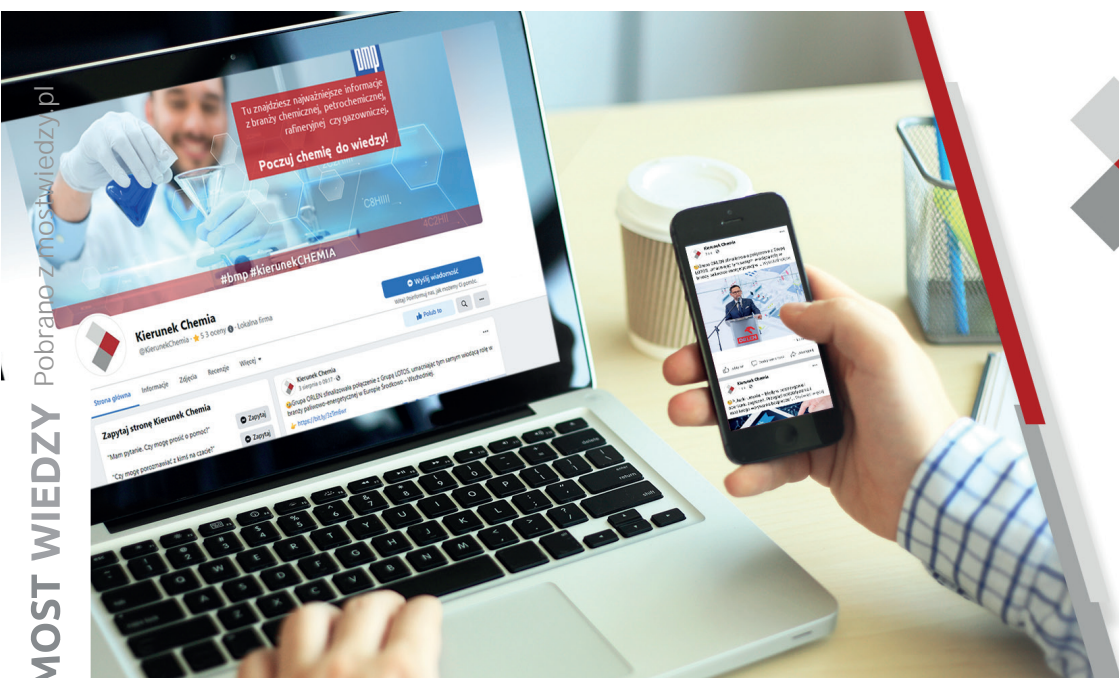
”

Można zdefiniować i dobrać parametry pracy ogniwa paliwowego w zależności od obciążenia, pod jakim pracuje ogniwo, bądź też pod jaką wielkość mocy jest projektowane

pracy w stosie ogniwa paliwowego. Jednym z ważnych aspektów badań układów wspomagających jest ocena ogólnej wydajności i efektywności systemu. Polega to na pomiarze wydajności i sprawności układu ogniwa paliwowego jako całości, w tym komponentów BOP, w różnych warunkach pracy.

Testy wydajnościowe są *de facto* pierwszym etapem, który należy przeprowadzić w przypadku budowy i konstrukcji systemów ogniw paliwowych typu PEM. Kolejnym, niezbędnym krokiem są badania wytrzy-

REKLAMA



**Kierunek  
Chemia**



**POLUB  
NASZ PROFIL**



MOST WIEDZY Pobrano z mostwiedzy.pl

małościowe, dzięki którym można uzyskać informacje na temat zmian wydajności i trwałości ogniw w czasie eksploatacji.

### Testy wytrzymałościowe

Testy wytrzymałościowe są kluczowym elementem procesu diagnostyki i walidacji technologii ogniw paliwowych typu PEM. Służą one do oceny długoterminowej wydajności i niezawodności ogniw paliwowych w rzeczywistych warunkach pracy oraz do identyfikacji i możliwości rozwiązywania problemów z ich komponentami lub podsystemami, które nie występują na wczesnym etapie badań. Jest to szczególnie istotne dla zastosowań komercyjnych i przemysłowych, gdzie ogniwo paliwowe są stawiane warunki zapewnienia niezawodnej pracy i bezpieczeństwa przez tysiące godzin.

”

Badania wydajnościowe są używane do oceny efektywności i wydajności ogniw paliwowych PEM w różnych warunkach pracy

Istnieje kilka różnych rodzajów testów wytrzymałościowych, które są powszechnie stosowane do oceny wydajności i niezawodności ogniw paliwowych PEM. Wśród nich znajdują się między innymi długoterminowe badania w stanie ustalonym. Polegają one na poddaniu ogniwa paliwowego stałemu obciążeniu prądowemu przez długi okres czasu. Ten rodzaj testów służy do oceny długoterminowej stabilności i wytrzymałości ogniw paliwowych wykorzystywanych w układach stacjonarnych, gdzie najważniejszym jest praca w stanie ustalonym. Ponadto, można dzięki nim uzyskać informacje na temat najbardziej optymalnych warunków pracy danej konstrukcji, a co za tym idzie informację na temat ewentualnej zmiany charakterystyki pracy urządzenia i wydajności w dłuższym okresie czasu.

Kolejnymi badaniami wytrzymałościowymi ogniw paliwowych typu PEM są testy starzeniowe. Polegają one na poddaniu stosu ogniw paliwowych serii różnych cykli obciążenia przez dany okres czasu. Cykle obciążenia można dostosować, aby symulować różne warunki pracy, takie jak praca w stanie ustalonym lub dynamiczne zmiany obciążenia. Można również zastosować chociażby specjalne cykle imitujące pracę rzeczywistego układu automotive, dzięki czemu można zaobserwować degradację ogniw wykorzystywanych w układach dynamicznych. Warto tu również wymienić testy Start-Stop, które służą do oceny trwałości ogniw paliwowych w warunkach częstych uruchomień

i wyłączeń, które mogą powodować stres i degradację elementów ogniw paliwowych. Badania Start-Stop są niezwykle istotne, gdyż pozwalają one na identyfikację i rozwiązywanie problemów z komponentami (lub podsystemami) ogniw paliwowych, które mogą nie być widoczne podczas innych rodzajów testów. Ponadto testy cykliczne dotyczą również innych parametrów pracy ogniwa, jak chociażby zmiana temperatury pracy ogniwa, nawilżenia ogniwa, czy zmiana prędkości przepływu reagentów.

Innym ważnym aspektem są testy wytrzymałościowe urządzeń peryferyjnych. Głównym kierunkiem badań urządzeń BOP jest ocena trwałości i niezawodności samych ich komponentów. Polega to na poddaniu poszczególnych komponentów szeregowi różnych metod testowych, takich jak cykle termiczne, testy drgań i testy przyspieszonego starzenia, w celu symulacji rzeczywistych warunków pracy, jakim będą one poddane w ciągu całego okresu eksploatacji. Testując trwałość i niezawodność komponentów BOP, inżynierowie mogą zidentyfikować ewentualne rodzaje uszkodzeń lub problemy, które mogą wpłynąć na długoterminową wydajność i niezawodność układu ogniwa paliwowego jako całości.

Testy wytrzymałościowe są istotnym elementem procesu diagnostyki i walidacji układów ogniw paliwowych typu PEM. Korzystając z tych metod, naukowcy i inżynierowie mogą ocenić długoterminową wydajność i niezawodność ogniw paliwowych w realistycznych warunkach pracy po dłuższym czasie eksploatacji, a także zidentyfikować i rozwiązać ewentualne problemy z ich komponentami lub podsystemami, które mogą wystąpić w przyszłości. Jest to kluczowe dla rozwoju i optymalizacji technologii ogniw paliwowych oraz dla zapewnienia, że są one w stanie sprostać wymaganiom aplikacji komercyjnych i przemysłowych, w tym również wymaganiom bezpieczeństwa.

\*\*\*

Metody diagnostyki ogniw paliwowych PEM są niezbędnymi narzędziami do rozwoju i optymalizacji tej technologii. Metody te są wykorzystywane do oceny wydajności, trwałości i niezawodności ogniw paliwowych PEM oraz do identyfikacji i rozwiązywania problemów z ich komponentami lub podsystemami. W miarę jak technologia ogniw paliwowych PEM będzie się rozwijać, prawdopodobnie będą opracowywane nowe, ulepszone metody i procedury diagnostyki, umożliwiające uzyskanie potrzebnych informacji do poprawy wydajności i niezawodności tej technologii. Ponadto, w miarę jak rośnie zapotrzebowanie na rozwiązania czystej energii, technologie ogniw paliwowych PEM będą odgrywać coraz ważniejszą rolę w zaspokajaniu tego zapotrzebowania, co czyni rozwój i optymalizację metod diagnostycznych ogniw paliwowych PEM kluczowym obszarem badań i rozwoju. ■