

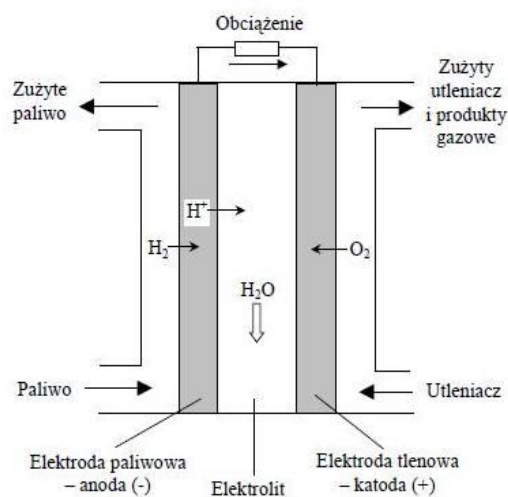
Bartosz CERAN*

BADANIA MODELOWE OGNIW PALIWOWYCH TYPU PEM

W artykule przedstawiono badania przeprowadzone na modelu ogniwa paliwowego typu PEM (ang. Proton Exchange Membrane) zaimplementowanego w środowisku Matlab/Simulink. Zbadano zużycie wodoru przez ogniwo paliwowe w funkcji obciążenia. Zasymulowano stany dynamiczne ogniwa paliwowego przy gwałtownej zmianie obciążenia oraz przy zwarciu w obwodzie zewnętrznym.

1. WSTĘP

Ogniwo paliwowe jest elektrochemicznym urządzeniem, które przetwarza energię chemiczną bezpośrednio w energię elektryczną. Brak pośrednich przemian przewodzących do powstania energii mechanicznej pozwala na uzyskanie wysokiej sprawności wytwarzania energii elektrycznej. Zasada działania ogniwa PEM została zilustrowana na rysunku 1.



Rys. 1. Zasada działania ogniwa paliwowego PEM [1]

2. SYMULACJE W ŚRODOWISKU MATLAB/SIMULINK

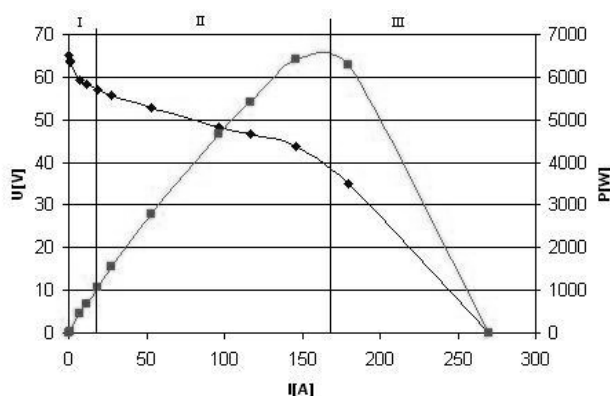
2.1. Charakterystyka zewnętrzna stosu i krzywa mocy

Biblioteka SimPowerSystems programu Matlab/Simulink pozwala na budowanie modeli ogniw paliwowych, dzięki którym można badać podstawowe ich właściwości [4].

W środowisku tym zasymulowano stos ogniw paliwowych typu PEM o następujących parametrach:

- moc znamionowa 6 kW,
- napięcie jałowe ogniwa 65 V,
- liczba ogniw 65,
- sprawność znamionowa 55 %,
- znamionowa temperatura pracy 65°C.

Na rysunku 2 przedstawiono charakterystykę napięciowo-prądową oraz krzywą mocy zasymulowanego ogniwa.



Rys. 2. Charakterystyka napięciowo-prądowa oraz krzywa mocy symulowanego stosu

—◆— $U=f(I)$ —■— $P=f(I)$

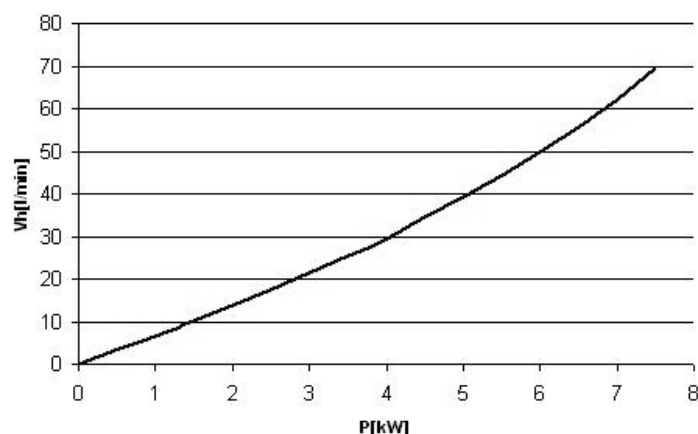
Na wykresie zostały zaznaczone 3 obszary [1]:

- I – obszar strat aktywacji, w którym występuje spadek napięcia wskutek strat aktywacji,
- II – obszar strat omowych, w którym występuje spadek napięcia spowodowany rezystancją wewnętrzną ogniwa,
- III – obszar strat transportu masy, w którym gazy dostarczane do ogniwa w kontakcie z katalizatorem i elektrodą są zużywane szybciej niż mogą do nich dotrzeć.

Analizując krzywe widać, że ogniwo paliwowe generuje różne wartości mocy przy różnych wartościach napięcia. Konieczne zatem jest stosowanie przetwornic energoelektronicznych, które będą utrzymywały stałą wartość napięcia u odbiorcy.

3. WYZNACZANIE ZUŻYCIA WODORU PRZEZ STOS W FUNKCJI OBCIĄŻENIA

Rysunek 3 przedstawia zależność zużycia wodoru przez zasymulowany stos w funkcji jego obciążenia.



Rys. 3. Zależność zużycia wodoru przez stos w funkcji jego obciążenia

Objętość zużywanego wodoru zależy od punktu pracy ogniwa, a konkretnie od wartości natężenia prądu płynącego w zewnętrznym obwodzie ogniwa.. Zużycie wodoru przez ogniwo, przy danym przepływie prądu, można wyznaczyć ze wzoru:

$$V_h = \frac{R \cdot I \cdot T \cdot t}{F \cdot p \cdot z} \cdot 10^3 [dm^3] \quad (1)$$

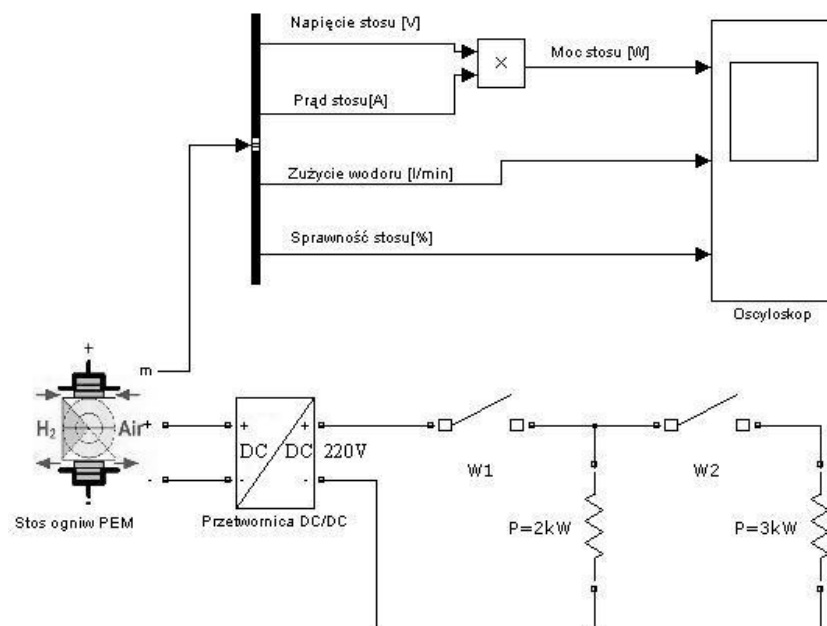
gdzie: V_h - objętość zużytego wodoru [dm³], R - indywidualna stała gazowa 8.314 [J/mol*K], p - ciśnienie otoczenia [Pa], F - stała Faradaya 96485 [C/mol], T - temperatura otoczenia [K], I - natężenie prądu stosu [A], t - czas pracy stosu, z - liczba elektronów koniecznych do uwolnienia cząstki.

Zależność ta jest wprost proporcjonalna, tzn. im większy prąd generuje ogniwo, tym więcej zużywa wodoru. Zgodnie z charakterystyką $U=f(I)$ stosu natężenie prądu osiągnie największą wartość przy zwarciu. Zatem w stanie zwarcia ogniwo będzie zużywało najwięcej paliwa.

4. BADANIE DYNAMIKI STOSU OGNIW PRZY ZMIANIE OBCIĄŻENIA

Na rysunku 4 przedstawiono model układu pomiarowego służący do badania dynamiki ogniwa przy zmianie obciążenia. Stos ogniw paliwowych typu PEM zasila, poprzez przetwornicę napięcia stałego DC-DC, odbiorniki o mocach 2kW i 3kW, przy napięciu stałym 220V. W chwili 1,2 s został załączony odbiornik 2kW,

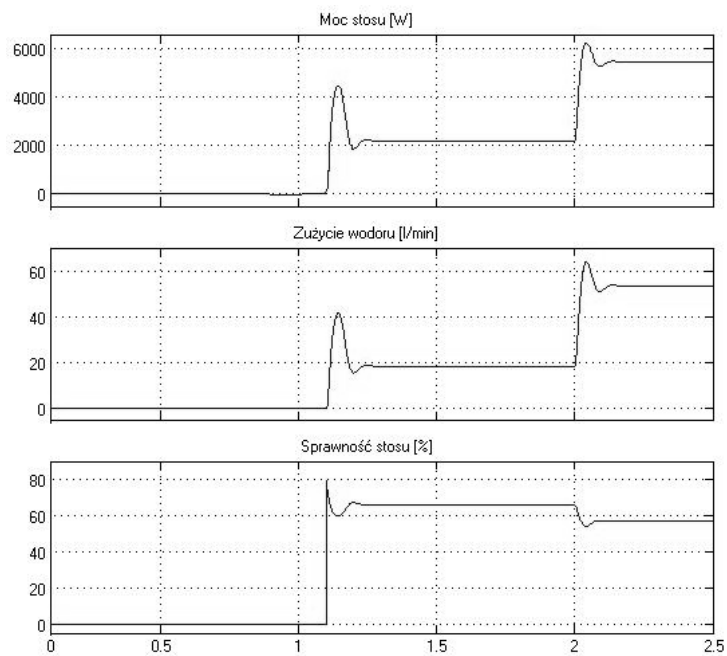
a w chwili 2s odbiornik 3kW. Za pomocą oscyloskopu zarejestrowano następujące sygnały: moc stosu, zużycie wodoru w czasie i sprawność stosu (rys. 5).



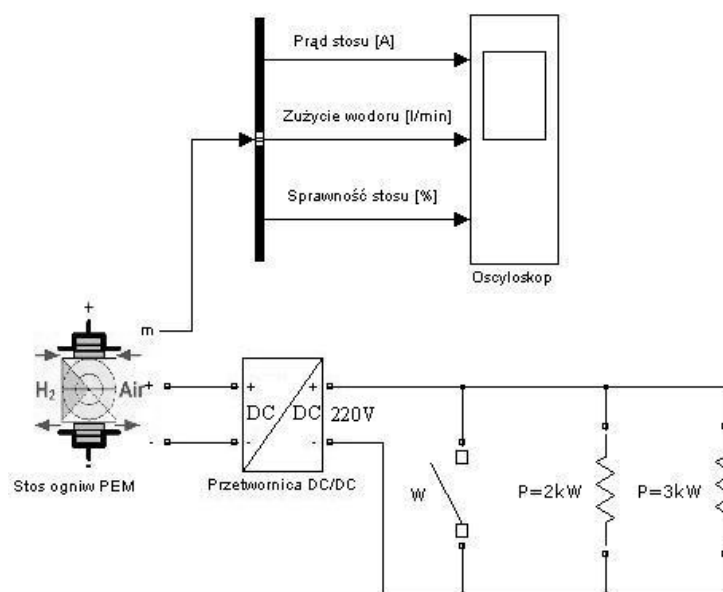
Rys. 4. Badanie dynamiki stosu przy zmianie obciążenia

W momencie załączenia pierwszego odbiornika moc stosu wzrosła do 4,5kW i po czasie 0,1s ustaliła się na poziomie 2kW. Stos pracuje ze sprawnością wytwarzania mocy elektrycznej 66%. Zużycie wodoru ustaliło się na poziomie 18 l/min. Po czasie 2 s, kiedy został załączony drugi odbiornik, zmienił się punkt pracy stosu. Moc wzrosła do wartości 6,2 kW i po 0.1s ustaliła się na poziomie 5kW. Wraz z ustaleniem się nowego punktu pracy stosu zmieniła się sprawność wytwarzania mocy elektrycznej – 57% i zużycie paliwa 53 l/min. W obu przypadkach punkt pracy znajduje się w obszarze strat omowych, który jest obszarem pracy ogniwa.

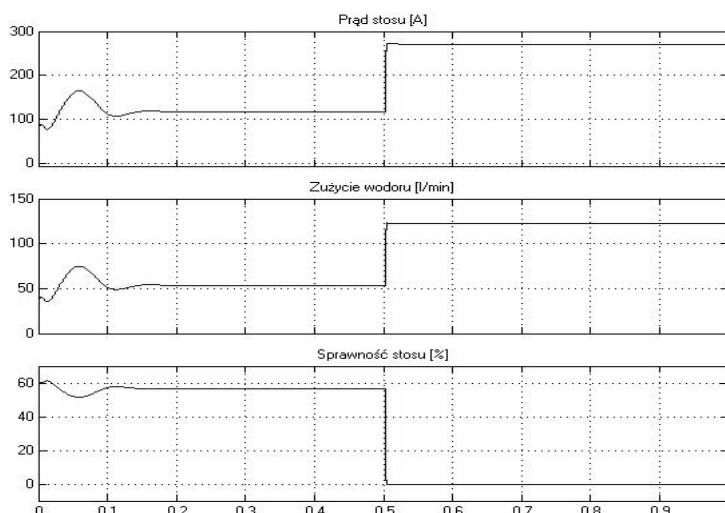
W kolejnym etapie symulacji zbadano zachowanie się stosu przy zwarciu w obwodzie zewnętrznym – rys. 6. Wyłącznik „W” został zamknięty w czasie 0.5 s. Za pomocą oscyloskopu zarejestrowano następujące sygnały: natężenie prądu stosu, zużycie wodoru w czasie i sprawność stosu. Wyniki symulacji przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 5. Wyniki symulacji przy zmianie obciążenia stosu



Rys. 6. Badanie dynamiki stosu przy zwarciu



Rys. 7. Wyniki symulacji przy zwarceniu stosu

Przy zwarceniu punkt pracy ogniwa ustalił się w trzecim obszarze charakterystyki $U = f(I)$, gdzie prąd generowany jest maksymalny i wynosi 270 A, a wartość napięcia stosu jest równa zero. Tak wysokiej wartości natężenia prądu odpowiada wysokie zużycie paliwa - 123 l/min. Ponieważ ogniwo nie oddaje mocy, sprawność jest równa 0.

5. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono badania przeprowadzone na modelu stosu ogniw paliwowych typu PEM zaimplementowanego w środowisku Matlab/Simulink. Zbadano zużycie wodoru przez stos w funkcji jego obciążenia. Zasymulowano stany dynamiczne ogniwa paliwowego przy gwałtownej zmianie obciążenia oraz przy zwarceniu w obwodzie zewnętrznym.

LITERATURA

- [1] Paska J., Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła – Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2010, s. 118-124.
- [2] Chmielnik T. - Technologie energetyczne Warszawa: WNT 2008.
- [3] Odnawialne i niekonwencjonalne źródła energii: Poradnik Kraków: Tarbonus 2008.
- [4] Matlab/Simulink: Help - Fuel Cell Stack.

MODELLING STUDIES OF PEM FUEL CELLS

In this article there the model of a fuel cell implemented in the Matlab/Simulink environment has been presented. A voltage - current characteristic of a fuel cell stack and curve of power has been presented. The influence of load change of a working cell on has been studied.