

Bartosz CERAN\*

## OGNIWA PALIWOWE W GENERACJI ROZPROSZONEJ

W artykule przedstawiono badania przeprowadzone na stosie ogniw paliwowych typu PEM (ang Proton Exchange Membrane) o mocy znamionowej 300W. Przedstawiono możliwości wykorzystania ogniw paliwowych w generacji rozproszonej.

### 1. GENERACJA ROZPROSZONA

Wytwarzanie energii w systemie rozproszonym jest obecnie dynamicznie rozwijającą się gałęzią elektroenergetyki. Generacja rozproszona to małe (w Polsce o mocy znamionowej do 50–150 MW) jednostki lub obiekty wytwórcze, przyłączane bezpośrednio do sieci rozdzielczych lub zlokalizowane w sieci elektroenergetycznej odbiorcy (za urządzeniem kontrolno-rozliczeniowym), nie podlegające centralnemu planowaniu rozwoju i dysponowaniu mocą[1].

Ze względu na moc zainstalowaną generację rozproszoną można podzielić na:

- mikrogenerację rozproszoną 1W –5 kW,
- małą generację rozproszoną 1 kW – 5 MW,
- średnią generację rozproszoną 5 – 50 MW,
- dużą generację rozproszoną 50 – 150 MW.

Odnawialne źródła energii elektrycznej ze względu na swoją niewielką moc jednostkową należą do rozproszonych źródeł energii elektrycznej. Źródła te pełnią coraz ważniejszą rolę w systemie elektroenergetycznym, zwłaszcza elektrownie wiatrowe i słoneczne. Wadą ich jest jednak, że pracują jedynie w sprzyjających warunkach atmosferycznych (odpowiednia siła wiatru, nasłonecznienie). Nie są zatem w pełni dyspozycyjne; wymagają uruchamiania i efektywnego sterowania w czasie rzeczywistym źródeł rezerwujących w szczytach zapotrzebowania oraz możliwości sterowania poborem w dolinach zapotrzebowania na energię elektryczną [2]. Rozwiązaniem tego problemu mogą być ogniwa paliwowe, zastosowane jako źródła współpracujące ze źródłami odnawialnymi i kompensujące ich wady.

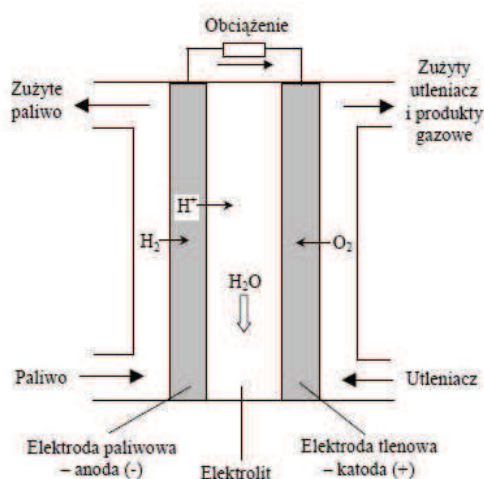
### 2. OGNIWO PALIWOWE TYPU PEM

Ogniwo paliwowe jest elektrochemicznym urządzeniem, które przetwarza energię chemiczną bezpośrednio w energię elektryczną. Brak pośrednich przemian

---

\* Politechnika Poznańska.

przewodzących do powstania energii mechanicznej pozwala na uzyskanie wysokiej sprawności wytwarzania energii elektrycznej. Zasada działania ogniwa paliwowego typu PEM (ang. Proton Exchange Membrane – ogniwo zasilane wodorem, w którym elektrolit został zastąpiony membraną polimerową) została zilustrowana na rys 1.



Rys. 1. Zasada działania ogniwa paliwowego [1]

Paliwo (wodór) doprowadzane jest w sposób ciągły do anody, a utleniacz dostarczany jest do katody. Elektrolitem w ogniwie paliwowym PEM jest membrana polimerowa przewodząca protony. Anoda jest katalizatorem dla dysocjacji wodoru na protony (jony  $H^+$ ) i elektrony. Zachodzi na niej reakcja rozpadu wodoru na jony i elektrony:

– reakcja na anodzie:  $2H_2 \rightarrow 4H^+ + 4e^-$

Jony  $H^+$  przechodzą przez membranę polimerową przewodzącą protony, która jest izolatorem dla elektronów. Elektrony przepływają przez zewnętrzny obwód tworząc prąd zewnętrzny ogniwa. Na katodzie protony i elektrony reagują z tlenem dając wodę, która jest jedynym produktem ubocznym ogniwa paliwowego PEM.

– reakcja na katodzie:  $O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$

Zatem w ogniwie następuje łączenie wodoru i tlenu w wodę z wydzieleniem się energii, czyli jedynym produktem ubocznym pracy ogniwa jest czysta woda.

– reakcja sumaryczna:  $2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + \text{energia}[1]$

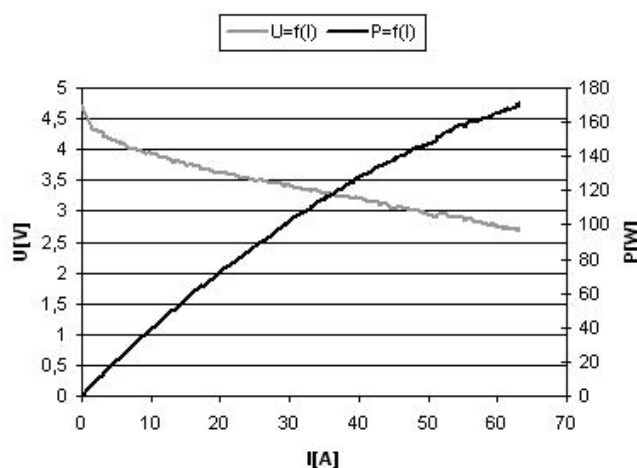
Do zalet ogniw paliwowych należą: wysoka sprawność, bardzo mała emisja gazów cieplarnianych, niski poziom hałasu, modułowa budowa, możliwość pracy z niskimi obciążeniami, możliwość pracy rewersyjnej, bardzo dobre możliwości regulacji. Główną wadą są wysokie koszty pojedynczych ogniw paliwowych, których elektrody muszą być pokrywane platyną, aby mogły spełniać funkcję produkcji energii elektrycznej.

### 3. PRACA SYSTEMU STOSU OGNIW PALIWOWYCH TYPU PEM

Poniżej zaprezentowano wyniki badań przeprowadzonych na stosie ogniw paliwowych typu PEM o następujących parametrach:

- moc znamionowa 300 W,
- napięcie jałowe pojedynczej celki 0.9 V,
- nominalna temperatura pracy 60°C,
- liczba celek – 5.

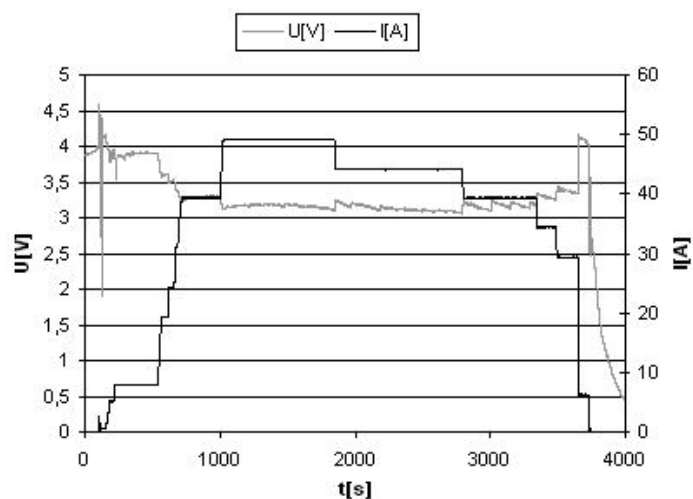
Stos zasilano czystym wodorem i powietrzem. Poniżej przedstawione zostały charakterystyka zewnętrzna i krzywa mocy stosu. (Rys.2.)



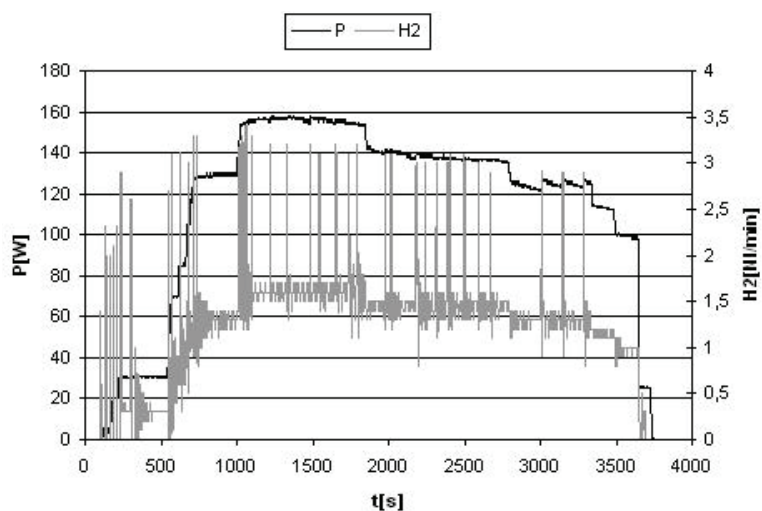
Rys. 2. Charakterystyka zewnętrzna i krzywa mocy stosu

Dalsze pomiary przeprowadzono, w różnych punktach odcinka prostego charakterystyki  $U = f(I)$ , tzn. w obszarze „strat omowych” ogniwa paliwowego [1]. Na rysunku przedstawiono przebiegi mierzonego napięcia i prądu oraz produkowanej mocy i zużytego paliwa (wodoru).

Mierzone napięcie jest sumą algebraiczną napięć wszystkich pięciu pojedynczych ogniw. Stos ogniw paliwowych szybko dostosowuje się do zmiany obciążenia, tzn. wraz ze wzrostem obciążenia, moc generowana wzrasta w bardzo krótkim czasie (sygnał czarny). Proporcjonalnie do wzrostu obciążenia, zwiększa się zużycie paliwa - wodoru. Widoczne „piki” na zarejestrowanym przebiegu zużytego wodoru, są efektem automatyki systemu ogniw PEM, która co pewien czas wykonuje tzw. „przepłukiwanie” anody. Co pewien czas otwiera się na krótką chwilę elektrozawór na wylocie wodoru z ogniwa. „Przepłukiwanie” ma na celu oczyszczenie anody z wszelkich zanieczyszczeń, które powodują pogorszenie pracy ogniwa.



Rys. 4. Przebiegi mierzonego napięcia i natężenia prądu



Rys. 5. Przebiegi generowanej mocy i zużywanego paliwa

Sprawność wytwarzania mocy elektrycznej przez ogniwo można obliczyć ze wzoru 1.

$$\eta_{el} = \frac{P_{sr\_el}}{V_{sr\_H2} \cdot Q_{wH2}} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:  $V_{sr\_H2}$  [ $\text{Nm}^3/\text{min}$ ] – średnie zużycie wodoru przez stos,  $Q_{wH2}$  [ $\text{MJ}/\text{Nm}^3$ ] – wartość opałowa wodoru,  $P_{sr\_el}$  – średnia wartość generowanej mocy elektrycznej.

$$\eta_{el} = 60 \cdot 1000 \frac{155,66W}{1,68 \frac{Nm^3}{min} \cdot 10,8 \frac{MJ}{Nm^3}} 100 = 51,47\%$$

Obliczona średnia wartość sprawności wytwarzania energii elektrycznej przez stos wynosi 51,47%.

Zużycie wodoru oraz zapotrzebowanie powietrza przez stos ogniw można wyznaczyć z poniższych zależności

$$V_{H_2} = 60 \cdot 22,42 \frac{I \cdot n_{ogniw}}{2 \cdot F} \left[ \frac{Nm^3}{min} \right] \quad (2)$$

$$V_{pow} = 60 \cdot \frac{22,42}{0,21} \cdot \lambda \cdot \frac{I \cdot n_{ogniw}}{4 \cdot F} \left[ \frac{Nm^3}{min} \right] \quad (3)$$

gdzie:  $V_{H_2}$  [ $Nm^3/min$ ] – średnie zużycie wodoru przez stos,  $V_{pow}$  [ $Nm^3/min$ ] – rzeczywista ilość powietrza dostarczana do stosu ogniw,  $I$  [A] – natężenie prądu elektrycznego,  $n_{ogniw}$  – liczba ogniw w stosie,  $F = 96485$  [C/mol] - stała Faradaya,  $\lambda$  – współczynnik nadmiaru powietrza doprowadzanego do stosu.

#### 4. WSPÓLPRACA OGNIWA ZE ŹRÓDŁAMI ROZPROSZONYMI

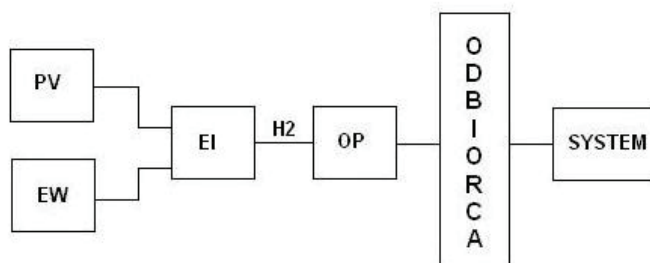
Elektrownie wiatrowe i słoneczne pracujące w systemie nie są w pełni dyspozycyjne, wymagają uruchamiania źródeł rezerwowych, które mogły by pokryć zapotrzebowanie na energię przy braku dobrych warunków atmosferycznych (dobre nasłonecznienie, odpowiednia prędkość wiatru). Elektrownie ciepłe, ze względów technologicznych, nie nadają się do szybkich zmian mocy generowanej, w krótkich odstępach czasu. Rolę takiego źródła może spełnić ogniwo paliwowe typu PEM zlokalizowane blisko źródeł odnawialnych, ponieważ szybko dostosowuje się do zmiany obciążenia. Poniżej przedstawiono możliwości zastosowania ogniwa paliwowego PEM w generacji rozproszonej.

##### – Źródła odnawialne pracujące na elektrolizer

Energia ze źródeł odnawialnych wykorzystywana jest do procesu elektrolizy (rozkładu wody na wodór i tlen). Wodór jest wykorzystywany w ogniwie paliwowym do wytwarzania energii elektrycznej, w okresie, gdy jest ona potrzebna odbiorcy.

Cechy układu:

- posiada możliwość magazynowania energii w postaci wodoru,
- wykorzystanie do procesu elektrolizy energii powstałej ze źródeł odnawialnych (technologia bez emisyjna),
- niska sprawność układu.

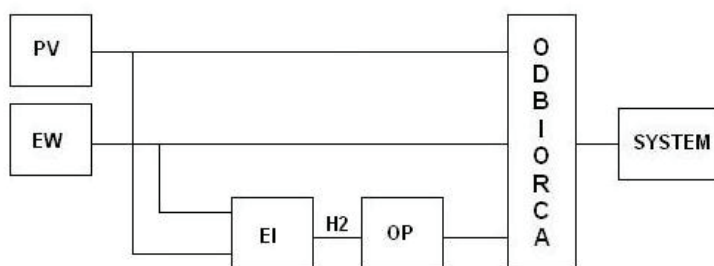


Rys. 7. Źródła odnawialne pracujące na elektrolizer – schemat blokowy.  
 OP- ogniwo paliwowe, PV – ogniwo fotowoltaiczne, EW – elektrownia wiatrowa  
 EI - elektrolizer

#### – Źródła odnawialne pracujące na elektrolizer z możliwością bezpośredniego zasilania odbiorcy

Cechy układu:

- możliwość zasilania odbiorcy energią elektryczną wytworzoną w odnawialnych źródłach (efektywniejsze wykorzystanie energii),
- nadmiar energii wykorzystywany do zasilania elektrolizera i magazynowany w postaci wodoru.



Rys. 8. Źródła odnawialne pracujące na elektrolizer z możliwością bezpośredniego zasilania odbiorcy

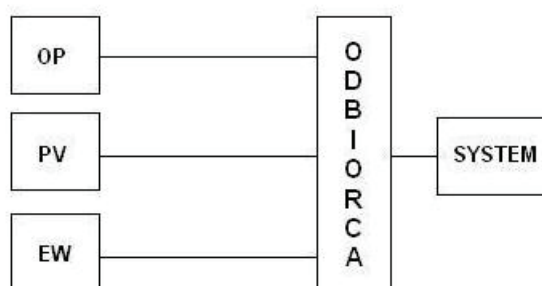
#### – Ogniwo paliwowe pracujące równoległe ze źródłami odnawialnymi

Cechy układu:

- możliwość zasilania odbiorcy energią elektryczną wytworzoną w odnawialnych źródłach (efektywniejsze wykorzystanie energii),
- przy braku sprzyjających warunków atmosferycznych, niedobór wytworzonej energii kompensowany jest pracą ogniwa paliwowego,
- konieczność dostarczania wodoru do ogniwa paliwowego.

Wodór można wyprodukować różnymi metodami. Oprócz elektrolizy można stosować proces gazyfikacji paliw stałych. Istnieją także komercyjne systemy ogniwo paliwowych typu PEM wyposażone w wewnętrzny reforming paliwa, które są zasilane czystym metanem. Rozwiązuje to problem z magazynowaniem wodoru, jednak sprawność układu jest mniejsza oraz instalacja powoduje emisję CO<sub>2</sub>.

W dalszej pracy, autor zajmie się analizą energetyczną przedstawionych układów, aby odpowiedź na pytanie, który układ ma największą szansę na zrealizowanie w praktyce.



Rys. 6. Ogniwo paliwowe pracujące równolegle ze źródłami odnawialnymi – schemat blokowy. OP- ogniwo paliwowe, PV – ogniwo fotowoltaiczne, EW – elektrownia wiatrowa

## LITERATURA

- [1] Paska J., Wytwarzanie rozproszone energii elektrycznej i ciepła – Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2010, s. 118-124.
- [2] Szczerbowski R., “Generacja rozproszona oraz sieci Smart Grid – wirtualne elektrownie” Polityka Energetyczna, Tom 14, Zeszyt 2, 2011.
- [3] Nowicki M., Nadchodzi era Słońca – Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.

## FUEL CELLS IN DISTRIBUTED GENERATIONS

In this article there the results of the tests on the fuel cell stack with a rated power 300W has been presented. The possibilities in the use of PEM fuel cells in distributed generation has been studied.