

## Ćwiczenie:

### Testowanie ogniwa paliwowego wodorowego zasilanego energią pochodzącą z konwersji fotowoltaicznej

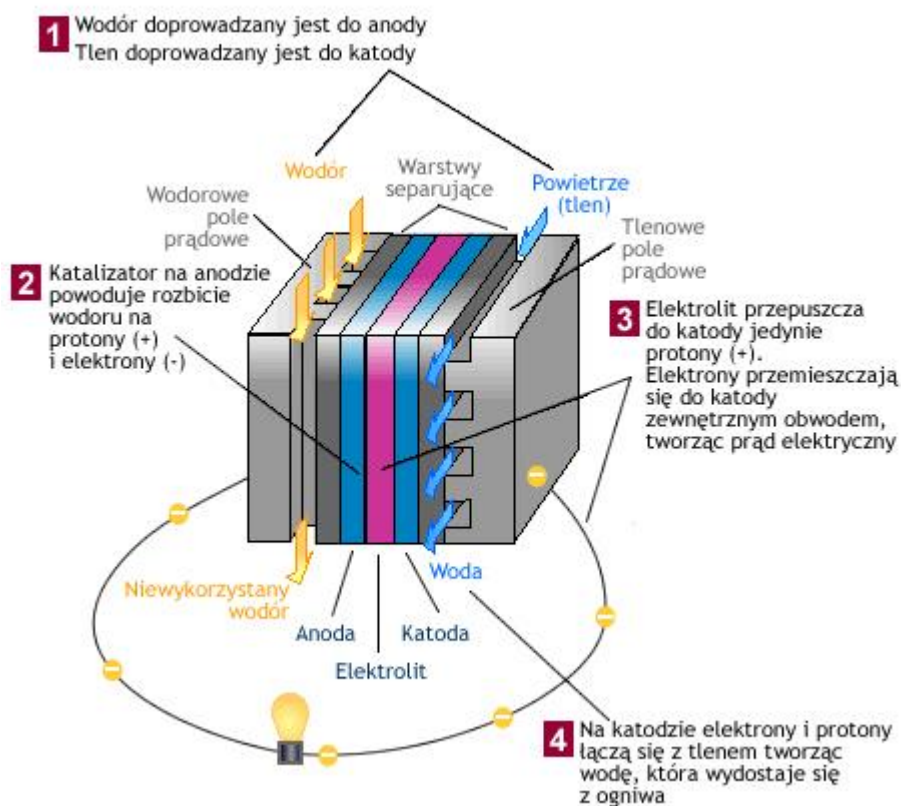
#### Wstęp

Ogniwo paliwowe jest urządzeniem elektrochemicznym, które wytwarza energię użyteczną (elektryczność, ciepło) w wyniku reakcji chemicznej wodoru z tlenem. Produktem ubocznym jest woda.

Ogniwo paliwowe zbudowane jest z dwóch elektrod: anody i katody. Elektrody odseparowane są przez elektrolit występujący w formie płynnej lub jako ciało stałe. Elektrolit umożliwia przepływ kationów, natomiast uniemożliwia przepływ elektronów.

Reakcja chemiczna zachodząca w ogniwie polega na rozdzieleniu atomu wodoru na proton i elektron na anodzie, a następnie na połączeniu substratów reakcji na katodzie. Procesom elektrochemicznym towarzyszy przepływ elektronu od anody do katody z pominięciem nieprzepuszczalnej membrany. W wyniku elektrochemicznej reakcji wodoru i tlenu powstaje prąd elektryczny, woda (postać ciekła lub para) i ciepło.

Paliwo, jakim jest wodór w stanie czystym lub jako składnik mieszaniny gazów - jest doprowadzany w sposób ciągły do anody, a utleniacz - tlen w stanie czystym lub mieszaninie (powietrze) - podawany jest w sposób ciągły do katody (rys.5.1).



Rys.5.1. Budowa i zasada działania ogniwa paliwowego wodorowego [2]

Ogniwa paliwowe PEM (ang. Proton Exchange Membrane lub Polimer Electrolyte Membrane) zasilane są czystym wodorem lub reformatem. Membraną ogniwa PEM jest materiał polimerowy (np. nafion). Charakterystyczną cechą ogniw PEM jest duża sprawność (35-65%) konwersji energii chemicznej na elektryczną oraz mała ilość wydzielanego ciepła. Zaletą ogniwa PEM jest dobra nadążność ogniwa w systemach poddawanych zmiennym obciążeniom oraz krótki czas rozruchu (do 60 s.), co wynika z niskiej temperatury reakcji zachodzącej w ogniwie (60 - 100°C). Ogniwa PEM są stosowane głównie jako źródło energii w pojazdach z napędem elektrycznym oraz do budowy stacjonarnych i przenośnych generatorów energii [1,2].

### Opis stanowiska pomiarowego

W skład stanowiska do badań ogniwa paliwowego wchodzi:

- moduł fotowoltaiczny:  $P = 0.48\text{W}$ ,  $U = 2.4\text{V}$ ,  $I_{SC} = 200\text{mA}$  (STC); lub opcjonalnie 2 moduły PV:  $P = 5\text{W}$ ,  $U = 21\text{V}$ ,  $I_{SC} = 340\text{mA}$  (STC),
- elektrolizer (napięcie robocze: 1.4 - 1.8V, prąd: 0 – 500mA) z zasobnikami gazu i rurkami przelewowymi,
- ogniwo paliwowe wodorowe (PEM): napięcie: 0.4 - 1.0V, prąd do 1A,
- moduł pomiarowy z obciążeniami (rezystancyjnym, diodą i silnikiem elektrycznym),
- przewody pomiarowe,
- wężyki silikonowe,
- zatyczki,
- woda destylowana,
- stoper.

Wszystkie elementy powinny być połączone zgodnie ze specyfikacją instrukcji do ćwiczenia, temperatura otoczenia podczas pracy układu powinna zawierać się w zakresie:  $10 \div 35^\circ\text{C}$ . Nie wolno doprowadzić do nagrzania się powierzchni modułu solarnego powyżej  $60^\circ\text{C}$ . Do ćwiczeń należy używać wyłącznie wody destylowanej. Nie należy rozpoczynać pomiarów bez sprawdzenia połączeń przez prowadzącego zajęcia.

### Przebieg ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest przebadanie systemu ogniwa paliwowego wodorowego zasilanego wodorem i tlenem pochodzącymi z procesu elektrolizy wody destylowanej. Ćwiczenie oraz sprawozdanie końcowe należy wykonywać według wskazówek.

#### Eksperyment nr 1

#### Rozruch ogniwa paliwowego oraz wyznaczenie jego charakterystyk pracy

Elementy stanowiska należy połączyć wstępnie tak jak na rysunku 5.2, a następnie wykonać badania i pomiary zgodnie z instrukcją szczegółową.

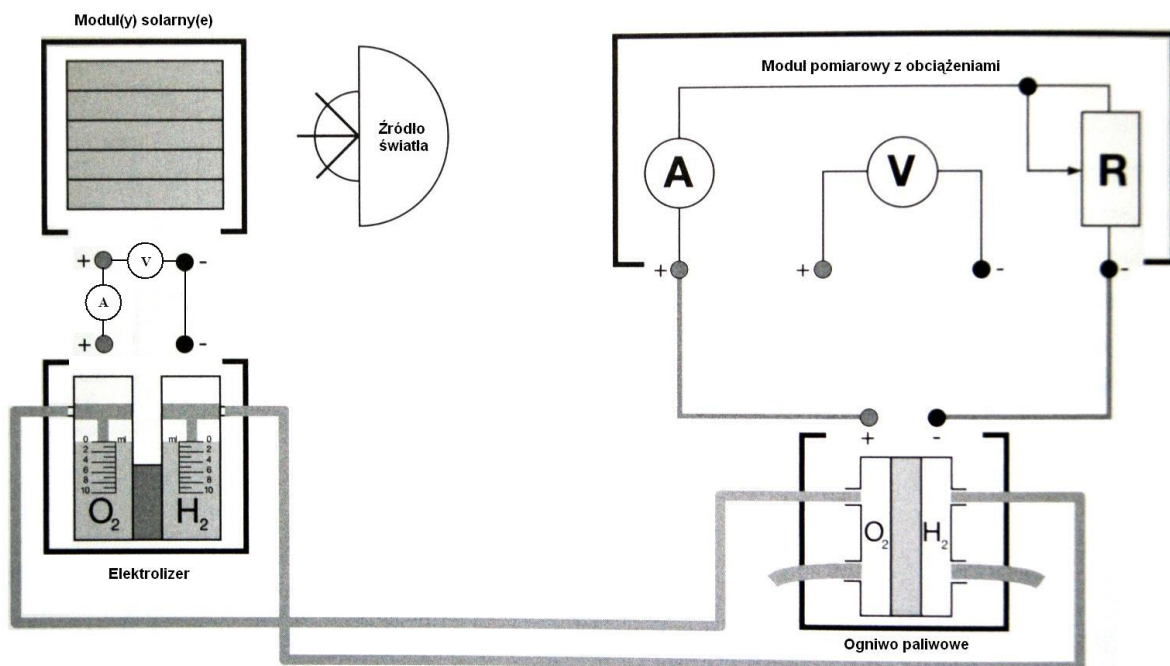
Instrukcja szczegółowa:

1. Oświetlić wstępnie moduł(y) fotowoltaiczny(e) (w taki sposób, aby uzyskać prąd zwarcia  $I_z$  o wartości rzędu  $100 \div 200\text{mA}$  – według wskazówek prowadzącego zajęcia) – zanotować wartość gęstości mocy promieniowania  $E$  [ $\text{W}/\text{m}^2$ ] przy powierzchni modułu(ów) PV, prądu zwarcia  $I_z$  oraz zmierzyć i obliczyć pole powierzchni  $S$  modułu(ów) (ogniw fotowoltaicznych).

$$E = \quad I_z = \quad S =$$

$$( E_1 = \quad E_2 = \quad )$$

2. Wyłączyć oświetlenie modułu(ów) fotowoltaicznego(ych).
3. Połączyć moduł(y) fotowoltaiczny(e) z elektrolizerem (odpowiednio bieguny dodatnie ze sobą i ujemne ze sobą).
4. Odłączyć dłuższe wężyki od ogniwa paliwowego.
5. Napęlić obydwie zbiorniczki elektrolizera wodą destylowaną do poziomu znacznika 0 ml.
6. Za pomocą dłuższych wężyków połączyć wyjście gazowe wodoru elektrolizera z wejściem gazowym wodoru (położone wyżej) ogniwa paliwowego. Analogicznie połączyć wyjście z wejściem tlenowym.



Rys.5.2. Schemat połączeń stanowiska do wstępnego oczyszczenia układu

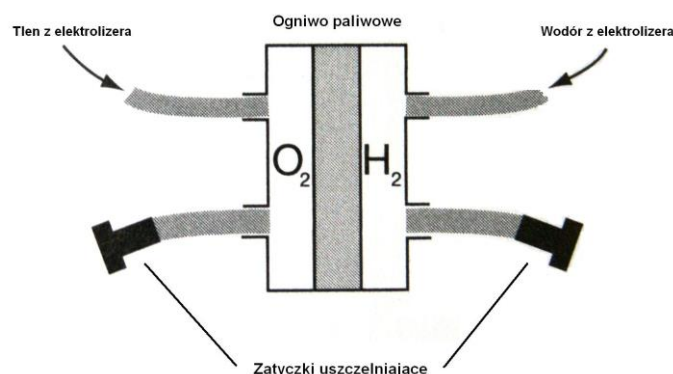
*Rozruch ogniwa wodorowego*

7. Ustawić potencjometr w pozycji „OPEN” oraz załączyć oświetlenie modułu fotowoltaicznego.
8. Proces tworzenia gazu (od momentu pojawienia się pierwszych pęcherzyków wodoru) utrzymać przez 5 minut.
9. Po tym czasie za pomocą potencjometru w module pomiarowym ustawić obciążenie na wartość 3Ω i kontynuować proces przez 3 minuty.
10. Zanotować wartość prądu  $I_{3\Omega}$  płynącego przez obciążenie na początku i końcu powyższego okresu czasu.

$$I_{3\Omega(\text{pocz.})} = \quad I_{3\Omega(\text{po 3 min.})} =$$

11. Po 3 minutach ustawić potencjometr w pozycji „OPEN”. Pozostawić proces na kolejne 3 minuty.

12. Po tym czasie odłączyć na krótki okres czasu moduł(y) fotowoltaiczny(e) od elektrolizera. W tym czasie umieścić zatyczki na końcach krótkich wężyków wychodzących z ogniwa paliwowego zgodnie z rysunkiem 5.3.



Rys.5.3. Sposób zamontowania zatyczek na krótkich wężykach odprowadzających gaz z ogniwa paliwowego (magazynowanie gazów)

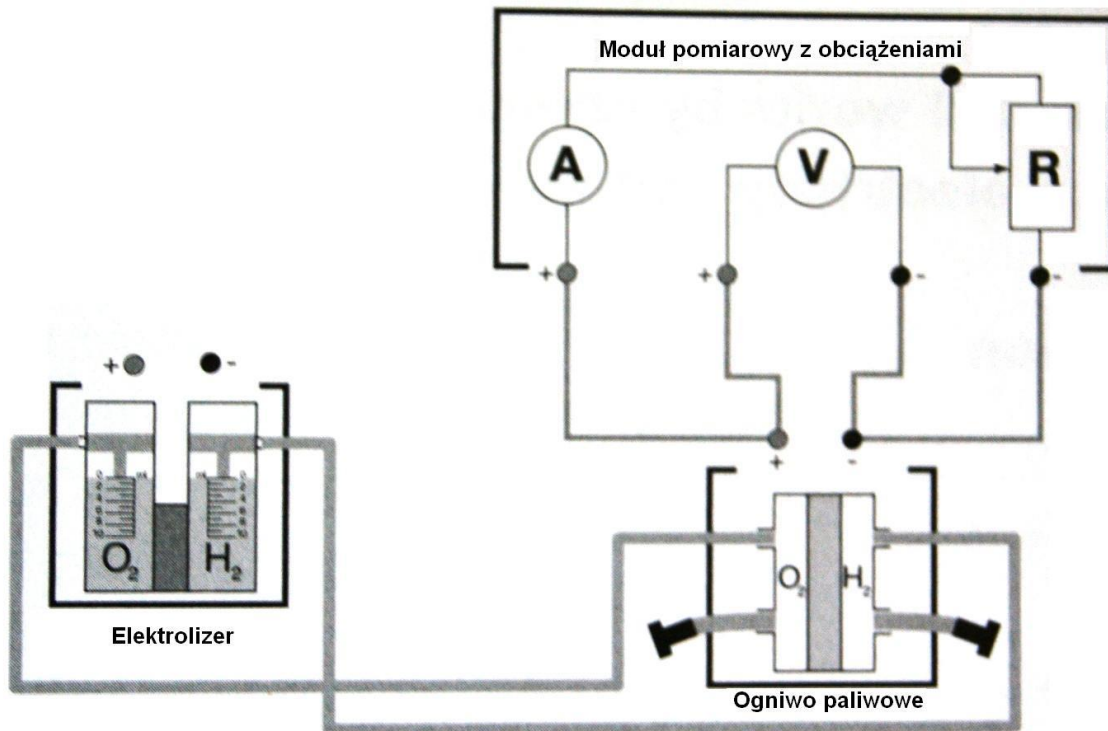
*Wyznaczanie charakterystyk pracy ogniwa wodorowego*

13. Podłączyć ponownie moduł(y) PV do elektrolizera. Zanotować w tabeli 5.I wartości prądu i napięcia modułu(ów) PV na początku oraz w momencie zgromadzenia 10 ml wodoru. Zanotować całkowity czas magazynowania wodoru  $T_H$ .

Tabela 5.I  
Wyniki pomiarów prądu i napięcia ogniwa fotowoltaicznego zasilającego elektrolizer nieobciążony

Czas $t$ [s]	$I_{PV}$ [A]	$U_{PV}$ [V]	$P_{PV}$ [W]
0			
$T_H = \dots$			

14. Po tym czasie odłączyć moduł(y) solarny(e) od elektrolizera oraz podłączyć woltomierz do zacisków ogniwa paliwowego (rys.5.4).



Rys.5.4. Układ końcowy do wyznaczania charakterystyki prądowo-napięciowej ogniwa paliwowego

15. Wypełnić tabelę 5.II, rozpoczynając pomiary od obciążenia „OPEN”, wartości prądu i napięcia zanotować około 10-20 sekund po nastawieniu danego obciążenia (w momencie ustalenia w przybliżeniu stałej wartości prądu).
16. Na końcu dokonać pomiarów dla żaróweczki, silniczka i stanu zwarcia (0 Ω).
17. Po skończeniu pomiarów nastawić obciążenie „OPEN” i wyjąć zatyczki z krótszych wężyków (w celu usunięcia zapasu wodoru z elektrolizera).

Tabela 5.II

Wyniki pomiarów i obliczeń do wyznaczania charakterystyk ogniwa paliwowego w trybie „off-line”

Obciążenie [Ω]	$I$ [A]	$U$ [V]	$P$ [W]
∞			
200			
100			
50			
10			
5			
3			

1			
żarówka			
silnik			
0			

18. Podłączyć ponownie moduł(y) PV do elektrolizera (rys. 5.2) oraz umieścić zatyczki na końcach krótkich wężyków wychodzących z ogniwa paliwowego zgodnie z rysunkiem 5.3.
19. Załączyć oświetlenie modułu(ów) PV.
20. Wypełnić tabelę 5.III wartościami prądów i napięć, rozpoczynając pomiary dla każdego obciążenia po usunięciu zapasu wodoru i tlenu z elektrolizera. Wyniki notować po ustabilizowaniu wskazań mierników.
21. Sprawność  $\eta_1$  oznacza sprawność konwersji fotowoltaicznej modułu(ów) PV,  $\eta_2$  - sprawność procesu elektrolizy i ogniwa wodorowego, zaś  $\eta_3$  - sprawność całego procesu włącznie z konwersją fotowoltaiczną, zgodnie ze wzorami:

$$\eta_1 = \frac{U_{PV} I_{PV}}{ES} 100 \quad [\%] \quad \eta_2 = \frac{UI}{U_{PV} I_{PV}} 100 \quad [\%] \quad \eta_3 = \frac{UI}{ES} 100 \quad [\%]$$

Tabela 5.III

Wyniki pomiarów i obliczeń do wyznaczania charakterystyk i parametrów ogniwa paliwowego pracującego w trybie „on-line”

Obc. [Ω]	Moduł(y) PV			Obciążone ogniwo paliwowe			Sprawności		
	$I_{PV}$ [A]	$U_{PV}$ [V]	$P_{PV}$ [W]	$I$ [A]	$U$ [V]	$P$ [W]	$\eta_1$ [%]	$\eta_2$ [%]	$\eta_3$ [%]
∞									
200									
100									
50									
10									
5									
3									
1									
żarówka									
silnik									
0									

## Sprawozdanie z przebiegu ćwiczenia

Sprawozdanie z przebiegu ćwiczenia powinno zawierać:

- wartość gęstości mocy promieniowania  $E$  z pkt 1, prądy  $I_{3\Omega}$  z pkt 10 oraz czas  $T_H$  z pkt 13 instrukcji ćwiczenia,
- przykładowe obliczenia parametrów z tabel 5.I, 5.II i 5.III (z dyskusją jednostek),
- wypełnione tabele,
- przebiegi graficzne (w jednym układzie współrzędnych) charakterystyk  $U=f(I)$  dla pomiarów z tabeli 5.II przebiegu ćwiczenia oraz dla pomiarów z tabeli 5.III (bez punktów dla żarówki i silnika),
- przebiegi graficzne (w jednym układzie współrzędnych) charakterystyk  $P=f(I)$  dla pomiarów z tabeli 5.II przebiegu ćwiczenia oraz dla pomiarów z tabeli 5.III (bez punktów dla żarówki i silnika),
- punkty pomiarowe dla żarówki i silnika naniesione osobno na odpowiednich charakterystykach (z tabel 5.II i 5.III),
- wartości sprawności  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  i  $\eta_3$  przedstawione graficznie (np. w postaci słupków) dla wszystkich badanych obciążeń (z tabeli 5.III),
- wartości średnie sprawności  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  i  $\eta_3$ ,
- wnioski do ćwiczenia.

## Bibliografia

1. Chmielniak T.J.: Technologie energetyczne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
2. Jastrzębska G.: Odnawialne źródła energii i pojazdy proekologiczne, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, wyd. II, Warszawa 2009.
3. <http://www.ogniwa-paliwowe.com/>