



Fundusze Europejskie
dla Rozwoju Społecznego



Rzeczpospolita
Polska

Dofinansowane przez
Unię Europejską



NCBR
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

LABORATORIUM

MATERIAŁOZNAWSTWO ELEKTROTECHNICZNE

Ćwiczenie nr 12

Badanie wodorowych ogniw paliwowych

Lublin 2025 r.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Utwór dostępny jest na licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 4.0 Międzynarodowe.

Projekt pn. „*POLLUB zieloną transformację*” realizowany jest w ramach programu Fundusze Europejskie dla Rozwoju Społecznego 2021-2027 współfinansowanego ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego Plus zgodnie z umową nr FERS.01.05-IP.08-0049/23-00.

Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest określenie kluczowych parametrów pracy ogniwa wodorowego poprzez wyznaczenie jego charakterystyk prądowo-napięciowych oraz identyfikację punktu maksymalnej mocy. Zadanie umożliwia ocenę efektywności ogniwa oraz analizę jego działania w różnych warunkach pracy.

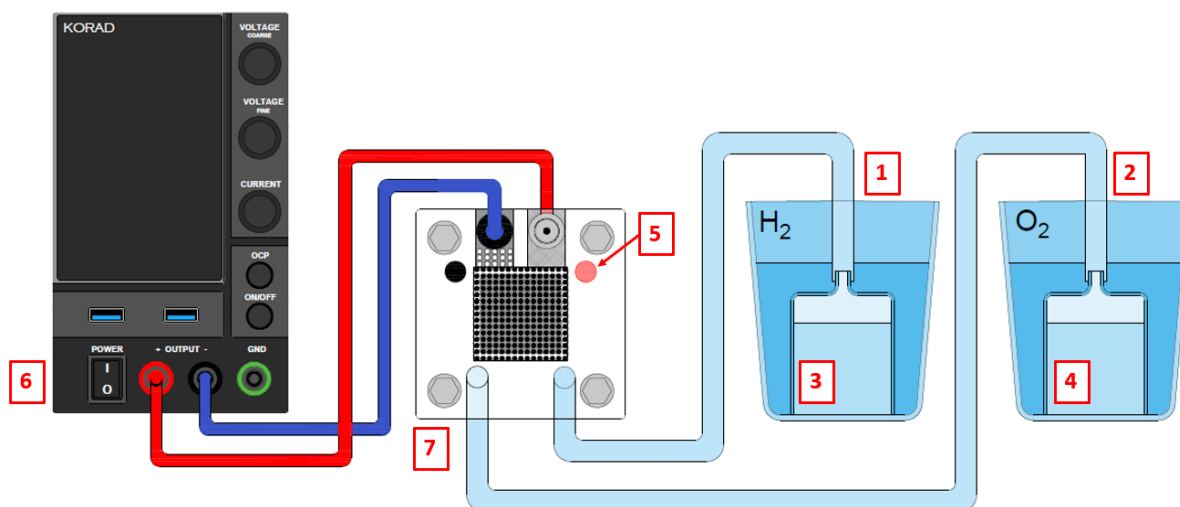
Zakres ćwiczenia

Zakres pracy obejmuje kilka kluczowych etapów, mających na celu kompleksowe zbadanie działania ogniwa wodorowego. Pierwszym krokiem jest obserwacja procesu generowania wodoru i tlenu za pomocą odwracalnego ogniwa wodorowego. W tym etapie wykorzystane zostaną pojemniki o objętości 60 ml do magazynowania wytworzonych gazów, co zapewni ich wystarczającą ilość do dalszych badań.

Następnie przeprowadzone zostanie wyznaczenie charakterystyk prądowo-napięciowych ogniwa w celu określenia punktu maksymalnej mocy. Wodór i tlen zgromadzone w poprzednim etapie posłużą jako paliwo do zasilania ogniwa, które zostanie poddane różnym obciążeniom za pomocą rezystora dekadowego. Zastosowanie zmiennych obciążeń pozwoli na wyznaczenie punktu pracy ogniwa, w którym osiąga ono maksymalną moc. Etap ten umożliwi szczegółową analizę zmian parametrów pracy ogniwa w zależności od warunków obciążenia, co pozwoli na lepsze zrozumienie jego efektywności.

Ostatni etap będzie polegał na ponownym wytworzeniu 60 ml wodoru, po czym ogniwo zostanie obciążone rezystancją wyznaczoną w poprzednim etapie jako optymalną dla osiągnięcia maksymalnej mocy. Na podstawie uzyskanych pomiarów zostanie obliczona sprawność ogniwa paliwowego. Pozwoli to na precyzyjne określenie efektywności przekształcania energii chemicznej w energię elektryczną przy pracy ogniwa w warunkach maksymalnej wydajności.

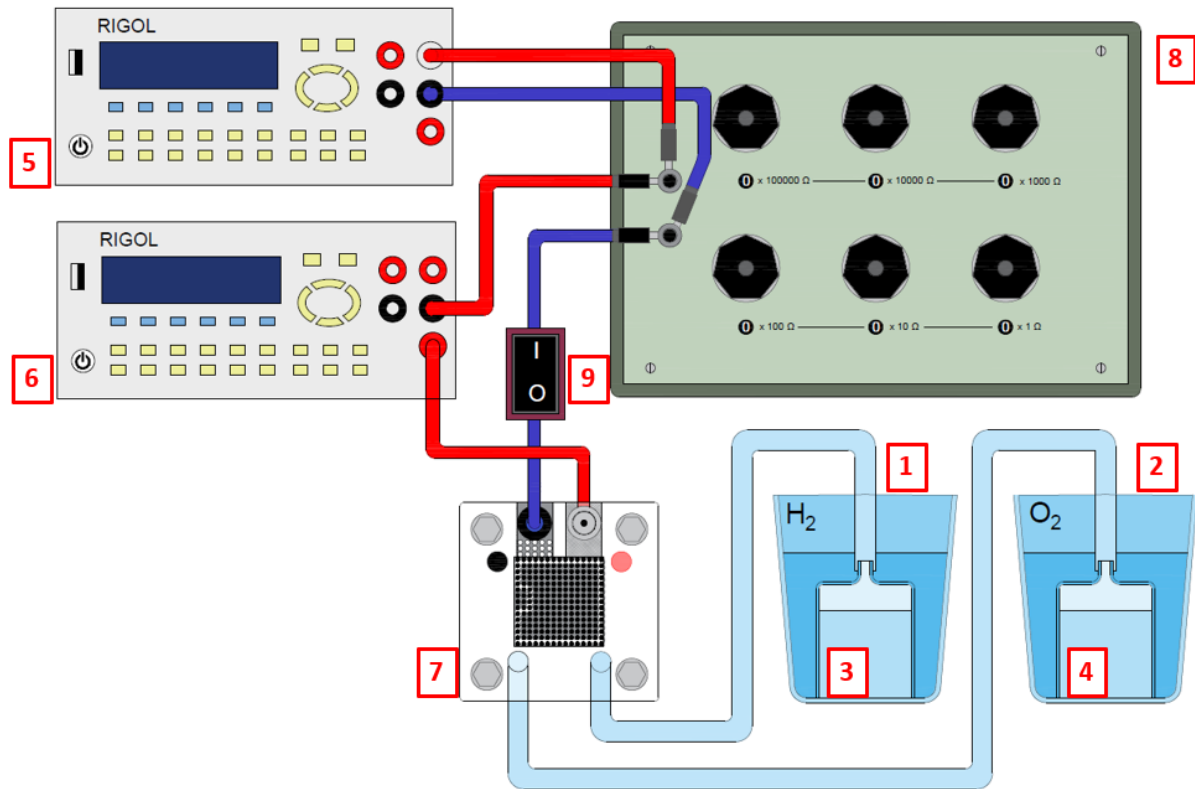
Stanowisko pomiarowe



Rysunek 1. Widok stanowiska laboratoryjnego do tworzenia wodoru i tlenu za pomocą odwracalnego ogniwa wodorowego

Oznaczenia do rysunku 1:

- 1 – zewnętrzny zbiornik do przechowywania wodoru,
- 2 – zewnętrzny zbiornik do przechowywania tlenu,
- 3 – wewnętrzny zbiornik do przechowywania wodoru,
- 4 – wewnętrzny zbiornik do przechowywania tlenu,
- 5 – zawór do nawadniania ogniwa wodorowego,
- 6 – zasilacz laboratoryjny,
- 7 – ogniwo wodorowe.



Rysunek 2. Widok stanowiska laboratoryjnego do badania charakterystyki prądowo napięciowej ogniwa wodorowego w zależności od obciążenia oraz badania sprawności

Oznaczenia do rysunku 2:

- 1 – zewnętrzny zbiornik do przechowywania wodoru,
- 2 – zewnętrzny zbiornik do przechowywania tlenu,
- 3 – wewnętrzny zbiornik do przechowywania wodoru,
- 4 – wewnętrzny zbiornik do przechowywania tlenu,
- 5 – multimetr RIGOL wskazujący napięcie ogniwa,
- 6 – multimetr RIGOL wskazujący natężenie prądu ogniwa,
- 7 – ogniwo wodorowe,
- 8 – rezystor dekadowy,
- 9 – przełącznik do włączania ogniwa.

W niniejszym ćwiczeniu wykorzystano stanowisko, którego schemat przedstawiono na rysunku 1, do wytworzenia wodoru oraz tlenu, które będą wykorzystywane w dalszej części ćwiczenia. Stanowisko, przedstawione na rysunku 2, umożliwia wyznaczenie zależności prądowo-napięciowej ($I = f(U)$) ogniwa wodorowego,

korzystając z gazów wytworzonych w pierwszym etapie ćwiczenia. Proces ten pozwala na określenie punktu maksymalnej mocy ogniwa w zależności od obciążenia, co stanowi podstawę do dalszego badania i obliczeń sprawności ogniwa.

Wykonanie ćwiczenia

Przygotowanie ogniwa do tworzenia wodoru i tlenu

- przygotować stanowisko do wytwarzania gazów zgodnie z rysunkiem 1,
- sprawdzić stan połączeń węży odprowadzających gazy z ogniwa,
- na bocznej stronie zewnętrznego zbiornika do przechowywania wodoru (1) i zewnętrznego zbiornika do przechowywania tlenu (2) znajduje się naniesiona miarka objętości. Należy wlać odpowiednią ilość wody destylowanej do obu zbiorników, tak aby osiągnąć linię oznaczoną jako 0,
- zbiorniki wewnętrzne do przechowywania gazów (3, 4) wyposażone są w dwa rowki na spodzie, które umożliwiają odprowadzanie nadmiaru gazu. Ich zadaniem jest zapobieganie wzrostowi ciśnienia podczas procesu elektrolizy. Należy zamocować zbiorniki do przechowywania gazu do podstawy zbiornika na wodór (1) oraz zbiornika na tlen (2), upewniając się, że rowki pozostają odsłonięte. Przed rozpoczęciem procesu upewnij się, że oba zbiorniki (1, 2) są całkowicie wypełnione destylowaną wodą,
- strzykawka dołączona do zestawu powinna zostać ustawiona tak, aby tłok został przesunięty maksymalnie w jedną stronę, co otwiera całą przestrzeń wewnętrzną. Następnie tłok należy przesunąć do oporu w przeciwną stronę, zamykając przestrzeń. W ten sposób należy upewnić się, że wewnątrz strzykawki nie znajdują się żadne zanieczyszczenia, takie jak drobne ciała stałe czy płyny. Po wykonaniu tych czynności odwracalne ogniwo paliwowe może zostać przygotowane do nawodnienia,
- należy zdjąć czerwone mocowanie węża (5) przymocowanej do górnej prawej dyszy, a następnie włożyć końcówkę strzykawki do otwartego końca tej rurki. Powoli odciągnąć tłok strzykawki, umożliwiając zasysanie wody destylowanej ze zbiornika przechowywania tlenu przez gumową rurkę, co spowoduje wypełnienie wodą strony z tlenem w odwracalnym ogniwie paliwowym. Należy

zatrzymać ruch tłoka, gdy destylowana woda zacznie przedostawać się do strzykawki. Następnie należy odłączyć strzykawkę od gumowego węża i ponownie zamocować czerwony uchwyt w otworze,

- prawidłowe nawodnienie musi zostać zapewnione, ponieważ proces elektrolizy opiera się na rozszczepianiu wody dostarczanej do ogniwa. Woda jest absorbowana przez membranę znajdującą się wewnątrz ogniwa, dlatego konieczne jest, aby była obecna przez cały czas trwania elektrolizy. Wyschnięcie membrany może spowodować trwałe uszkodzenie odwracalnego ogniwa paliwowego,
- należy pozostawić odwracalne ogniwo paliwowe na około 5 minut, pozwalając membranie na wchłonięcie wystarczającej ilości destylowanej wody,
- zaleca się przeprowadzenie kontroli poprawności połączeń wszystkich przewodów, aby upewnić się, że zostały one właściwie podłączone zgodnie ze schematem. Należy pamiętać o tym, aby przewody były właściwie połączone, ponieważ odwrotna polaryzacja może doprowadzić do całkowitego i nieodwracalnego **uszkodzenia** ogniwa paliwowego,
- włączyć zasilacz laboratoryjny (6) poprzez ustawienie przycisku „power” w pozycji 1,
- ustawić napięcie wynoszące 2 V oraz ograniczyć wartość natężenia prądu do 0,7 A, następnie uruchomić zasilacz przyciskiem ON/OFF,
- podczas prawidłowego działania ogniwa należy zaobserwować pojawiające się pęcherzyki gazu wewnątrz ogniwa. Gazy gromadzą się w zbiornikach: w zbiorniku do przechowywania wodoru (3) oraz w zbiorniku do przechowywania tlenu (4), wypierając wodę, co powoduje wzrost poziomu wody w tych zbiornikach,
- proces tworzenia gazów należy zakończyć w chwili, gdy ilość zmagazynowanego wodoru wyniesie 60 ml. W takiej sytuacji należy wyłączyć zasilacz laboratoryjny (6), poprzez ustawienie przycisku *power* w pozycji 0.

Zbadanie charakterystyki prądowo napięciowej oraz określenie maksymalnego punktu mocy w zależności od obciążenia ogniwa

- przygotować stanowisko do badania charakterystyk prądowo napięciowych zgodnie z rysunkiem 2,
- upewnić się, że przełącznik (9) jest ustawiony w pozycji 0,
- sprawdzić stan połączeń węży odprowadzających gazy z ogniwa,
- upewnić się, że multimetr (6) jest ustawiony do pomiaru natężenia prądu elektrycznego ogniwa,
- upewnić się, że multimetr (5) jest ustawiony do pomiaru napięcia elektrycznego ogniwa,
- rezystor dekadowy (8) należy ustawić w taki sposób, aby rezystancja wynosiła 100000 Ω. Jest to wykonywane za pomocą pokręteł,
- należy przełącznikiem (9) włączyć ogniwo, odczytać wartości napięcia oraz natężenia prądu ogniwa z multimetrów (5) i (6) oraz zanotować wynik w tabeli 1,
- następnie wybrać kolejną wartość rezystancji z tabeli 1, ustawić tę wartość na rezystorze dekadowym (8) i analogicznie do poprzedniego punktu, wyniki napięcia oraz natężenia prądu ogniwa zanotować w tabeli 1.
- w ten sam sposób należy dokonać pomiarów dla pozostałych wartości rezystancji umieszczonych w tabeli 1.

Przygotowanie stanowiska do wyznaczenia sprawności ogniwa wodorowego

- aby obliczyć sprawność ogniwa należy wytworzyć tyle wodoru, aby jego ilość wynosiła 60 ml. Kroki niezbędne do wytworzenia gazów zostały opisane w punkcie „Przygotowanie ogniwa do tworzenia wodoru i tlenu”,
- podczas procesu tworzenia wodoru, należy znaleźć moc maksymalną ogniwa P_{max} . W tym celu, należy obliczyć moc dla każdej wartości rezystancji i wyniki zapisać w tabeli 1 korzystając ze wzoru:

$$P = U \cdot I$$

gdzie: P – moc ogniwa, U – napięcie ogniwa, I – natężenie prądu ogniwa.

W celu wyznaczenia wartości P_{\max} należy z obliczonych wartości wybrać wartość największą która jest tzw. punktem pracy ogniwa,

- po wykonaniu obliczeń i wytworzeniu dokładnie 60 ml wodoru należy przygotować stanowisko do badania sprawności ogniwa wodorowego zgodnie z rysunkiem 2.
- na rezystorze dekadowym należy ustawić wartość rezystancji, dla której obliczono P_{\max} . Następnie przełącznikiem (9) należy włączyć ogniwo oraz zacząć mierzyć czas stoperem.
- czas należy mierzyć do momentu skończenia się wodoru w zbiorniku (3), wynik należy zanotować w tabeli 2,
- po zakończeniu ćwiczenia należy wyłączyć ogniwo przełącznikiem (9).
- zanotować w tabeli 3 parametry atmosferyczne panujące w laboratorium.

Tabela 1. Wyniki pomiarów natężenia prądu oraz napięcia w funkcji rezystancji dla ogniwa wodorowego.

L.P.	Rezystancja	Natężenie prądu	Napięcie	Moc
	Ω	A	V	W
1.	100000			
2.	10000			
3.	1000			
4.	800			
5.	600			
6.	400			
7.	200			
8.	100			
9.	50			
10.	10			

Tabela 2. Wyniki pomiaru czasu trwania pracy ogniwa w warunkach punktu maksymalnej pracy.

Rezystancja	Natężenie prądu	Napięcie	Moc	Czas
Ω	A	V	W	s

Tabela 3. Parametry atmosferyczne potrzebne do obliczenia liczby moli wodoru.

Objętość wodoru V	Ciśnienie P	Temperatura
m^3	Pa	K
0,00006		

Opracowanie wyników

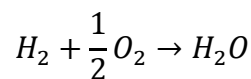
Na podstawie uzyskanych wyników należy obliczyć sprawność ogniwa wodorowego według wzoru:

$$\eta = \frac{E_{el}}{E_{ch}} \cdot 100\%$$

gdzie: η – sprawność, E_{el} – energia elektryczna ogniwa, E_{ch} – energia chemiczna paliwa. W pierwszym kroku należy obliczyć energię chemiczną ogniwa na podstawie entalpii reakcji:

$$E_{ch} = n \cdot \Delta H$$

gdzie: n – liczba moli paliwa, ΔH – entalpia reakcji (J/mol). Dla ogniwa wodorowego reakcja to:



Entalpia reakcji ΔH wynosi 286 kJ/mol. Liczbę moli paliwa obliczamy według wzoru:

$$n = \frac{PV}{RT}$$

gdzie: P – ciśnienie w Pa, V – objętość wodoru w m^3 , R – stała gazowa (8,314 J/(mol·K)), T – temperatura w K. Następnie należy obliczyć energię elektryczną E_{el} . Aby to zrobić należy skorzystać ze wzoru:

$$E_{el} = P \cdot t$$

gdzie: P – moc w W, t – czas w s. Dodatkowo po obliczeniu sprawności należy przedstawić charakterystykę mocy w funkcji rezystancji. Następnie należy opracować wnioski z wykonanego ćwiczenia.

Wykonanie sprawozdania

Sprawozdanie powinno zawierać:

- stronę tytułową,
- schematy układów pomiarowych,
- tabelę wyników pomiarów natężenia prądu oraz napięcia w funkcji rezystancji dla ogniwa wodorowego wraz z obliczonymi mocami,
- wynik maksymalnego punktu mocy ogniwa wodorowego,
- charakterystykę mocy w funkcji rezystancji $P(R)$ ogniwa,
- obliczenia sprawności η ogniwa,
- uwagi i wnioski z przeprowadzonych pomiarów.