

Eksperyment dotyczący ogniwa paliwowego

Imię i nazwisko:

Data:

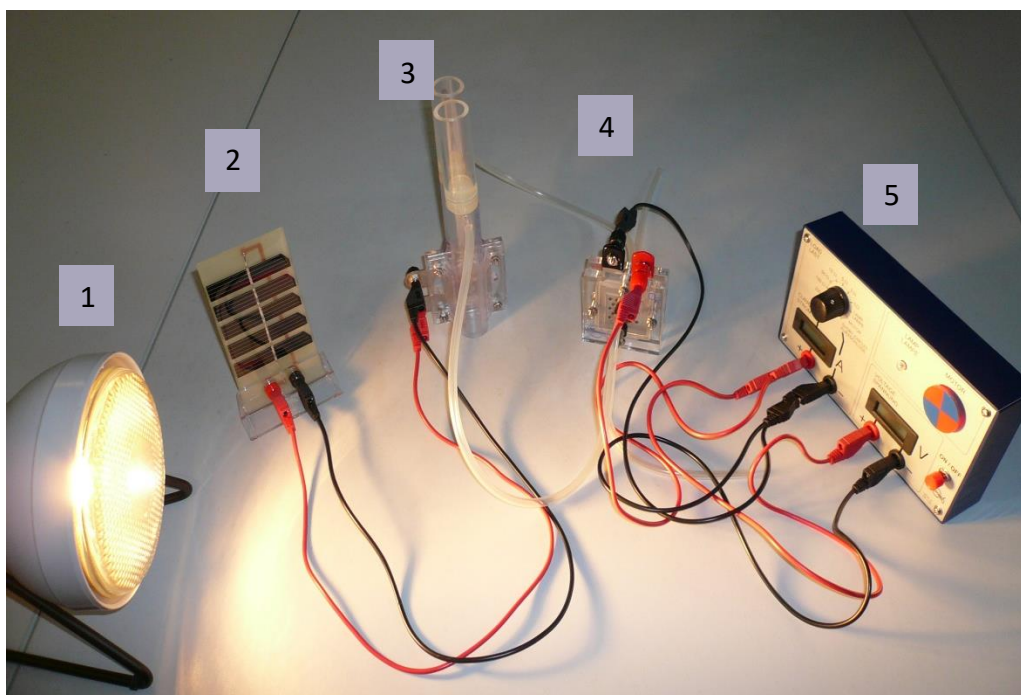
Cel doświadczenia

Niestety wodór, który jest niezbędny do wytwarzania energii elektrycznej za pomocą ogniwa paliwowego nie występuje w atmosferze w postaci czystego gazu. Jesteśmy więc zmuszeni produkować wodór różnymi technikami. Elektrolizer jest jedną z możliwości. W połączeniu z modułem fotowoltaicznym lub turbiną wiatrową przy jego pomocy możliwe jest wykorzystanie energii elektrycznej do pozyskania wodoru.

Mierząc napięcie i prąd, można określić moc, a także określić sprawność systemu lub jego komponentu. Można też stwierdzić, w jakich warunkach cały system pracuje najefektywniej.

Potrzebne materiały:

1. Lampa solarna 150 W
2. Moduł solarny
3. Elektrolizer z buforem
4. Ogniwo paliwowe PEM
5. Obciążenie elektroniczne połączone z woltomierzem i amperomierzem



Eksperyment dotyczący ogniwa paliwowego

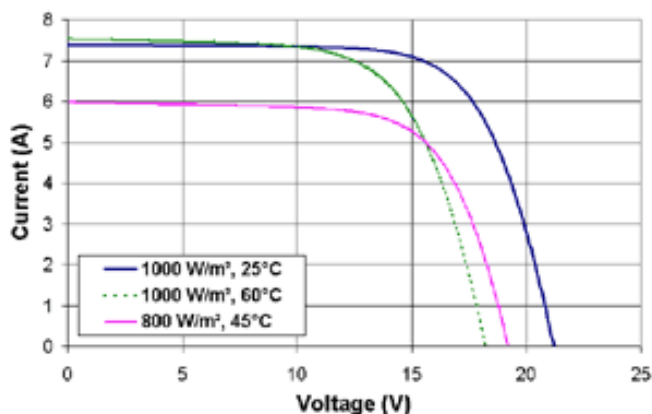
Imię i nazwisko:

Data:

Wprowadzenie

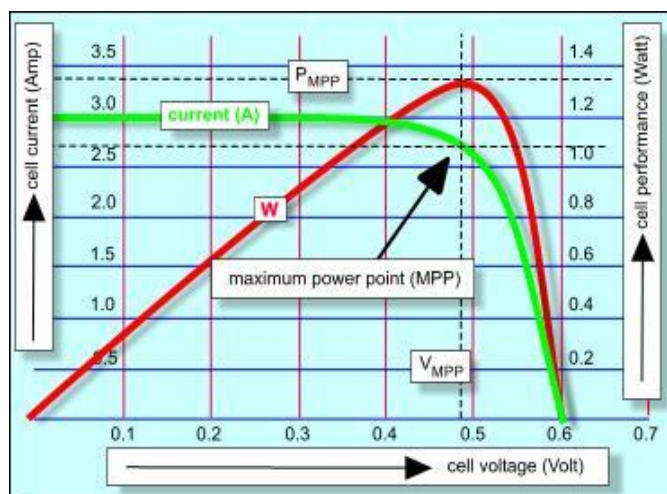
Moduł solarny

Moduł solarny składa się z pięciu ogniw krzemowych połączonych szeregowo. Natężenie prądu dla pojedynczego ogniwa jest takie jak natężenie prądu dla wszystkich ogniw połączonych szeregowo. Napięcie obwodu otwartego modułu solarnego wynosi około 2,6 V. Napięcie dla jednego ogniwa zawiera się w przedziale od 0,5 do 0,6 V. Na rysunku 1 przedstawiono przykładową charakterystykę modułu solarnego.



Rys 1. Typowa charakterystyka prądowo- napięciowa I/V modułu solarnego

Jak widać, temperatura oraz natężenie światła mają duży wpływ na moc wyjściową. Na rysunku 2 przedstawiono jeden ze sposobów zobrazowania maksymalnego punktu mocy. Ten punkt nosi nazwę MPP – Maximum Power Point.



Rys. 2. MPP – charakterystyka ogniwa solarnego

Eksperyment dotyczący ogniwa paliwowego

Imię i nazwisko:

Data:

Elektrolizer PEM

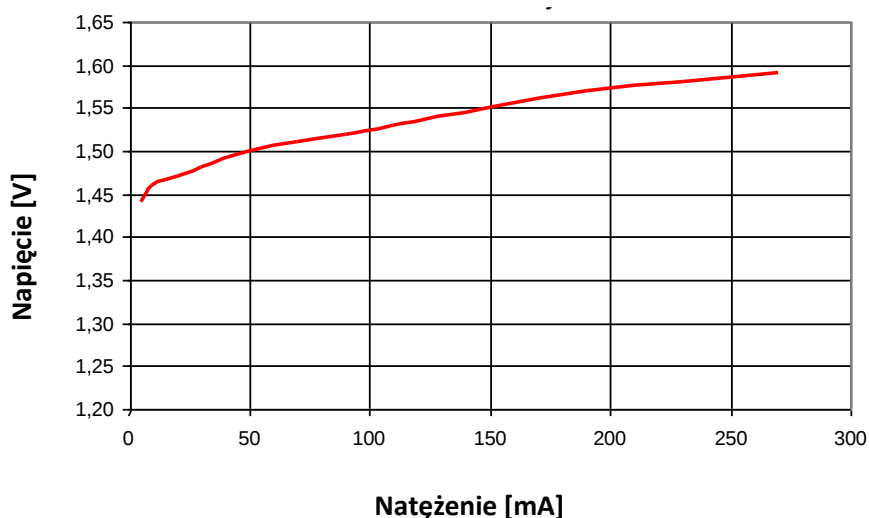
Za pomocą elektrolizera możliwe jest przekształcenie energii elektrycznej modułu słonecznego w wodór. W elektrolizerze powstają dwa gazy - wodór i tlen.

Wodór jest wytwarzany przez elektrochemiczne rozszczepianie cząsteczek wody. Elektrolizer składa się z dwóch elektrod, elektrolitu i membrany (gazoszczelnej, przewodzącej jony).



Stosunek wodoru do tlenu wynosi 2:1. Oznacza to, że powstaje dwa razy więcej wodoru niż tlenu.

Przykładową charakterystykę elektrolizera przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Przykładowa charakterystyka elektrolizera

Teoretyczne napięcie, przy którym woda jest rozszczepiana na wodór i tlen, wynosi 1,23 V. W praktyce istnieją dwa sposoby określania sprawności elektrolizera η_{ELY} . Dokładniejszy z nich zaprezentowano poniżej.

Eksperyment dotyczący ogniwa paliwowego

Imię i nazwisko:

Data:

Przykład:

$$\eta_{ELY} = \frac{P_{\text{wodór}}}{P_{\text{Solar}}} = \frac{\left(\frac{V_{\text{wodór}} \cdot h_u \text{ wodór}}{t} \right)}{U_{\text{Solar}} \cdot I_{\text{Solar}}} = \frac{\left(\frac{1 \text{ ml} \cdot 10,8 \frac{\text{Ws}}{\text{ml}}}{42 \text{ s}} \right)}{1,6 \text{ V} \cdot 0,2 \text{ A}} = 0,80537 \rightarrow \text{około } 80 \%$$

V - objętość

h_u - dolny zakres wartości opałowej

t - czas

P - moc

I - natężenie prądu

U - napięcie

Ogniwo paliwowe

Reakcja w ogniwie paliwowym jest odwrotną reakcją do tej w elektrolizerze. Zasada działania jest pokazana na rysunku 4, a typowa charakterystyka ogniwa paliwowego na rysunku 5.

Ogniwo paliwowe PEM (Proton Exchange Membrane lub Polymer Electrolyte Membrane) wykorzystuje polimer stały jako elektrolit i jest jednym z najbardziej kompaktowych ogniw paliwowych. Jest często używany nawet w małych aplikacjach (również w pojazdach – samochody typu Toyota Mirai, Hyundai Nexo, ciężarówki, pociągi i łodzie podwodne (U212A)). Niska temperatura pracy wynosząca maks. 100°C umożliwia szybki rozruch i dogodniejszą eksploatację. Ogniwa paliwowe PEM mają zakres mocy od 1W do 250kW. Sprawność ogniwa paliwowego PEM przy zasilaniu wodorem i powietrzem mieści się w przedziale 40-50%.

Aby móc określić sprawność ogniwa paliwowego, potrzebna jest moc wyjściowa i wejściowa. Ogniwo paliwowe dostarcza energię elektryczną i jest zasilane energią zawartą w wodorze. Teoretyczne napięcie ogniwa wynosi około 1,23 V. Różnica między napięciem zmierzonym a teoretycznym w tym przypadku reprezentuje straty.

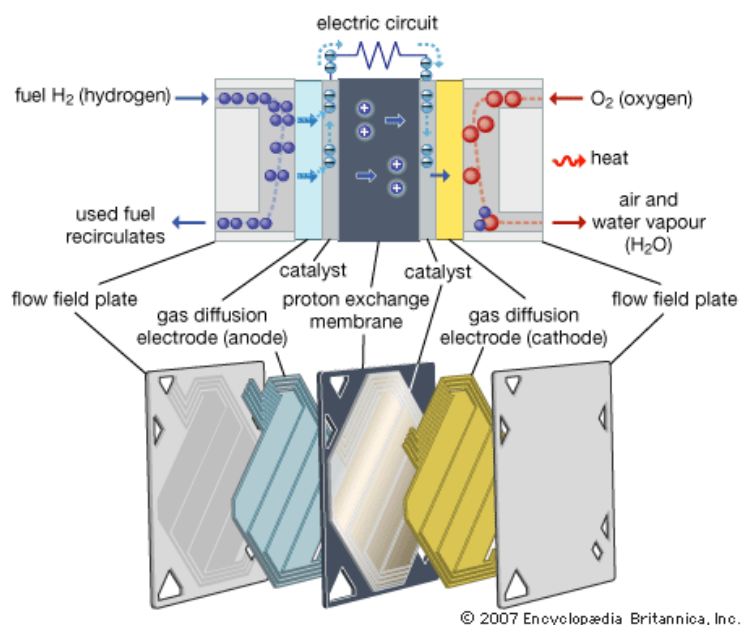
Przykład:

$$\eta_{FC} = \frac{P_{\text{ogniwo}}}{P_{\text{wodór}}} = \frac{U_{\text{ogniwo}} \cdot I_{\text{ogniwo}}}{\left(\frac{V_{\text{wodór}} \cdot h_u \text{ wodór}}{t} \right)} = \frac{0,6 \text{ V} \cdot 0,42 \text{ A}}{\left(\frac{1 \text{ ml} \cdot 10,8 \frac{\text{Ws}}{\text{ml}}}{20 \text{ s}} \right)} = 0,466 \rightarrow \text{około } 47 \%$$

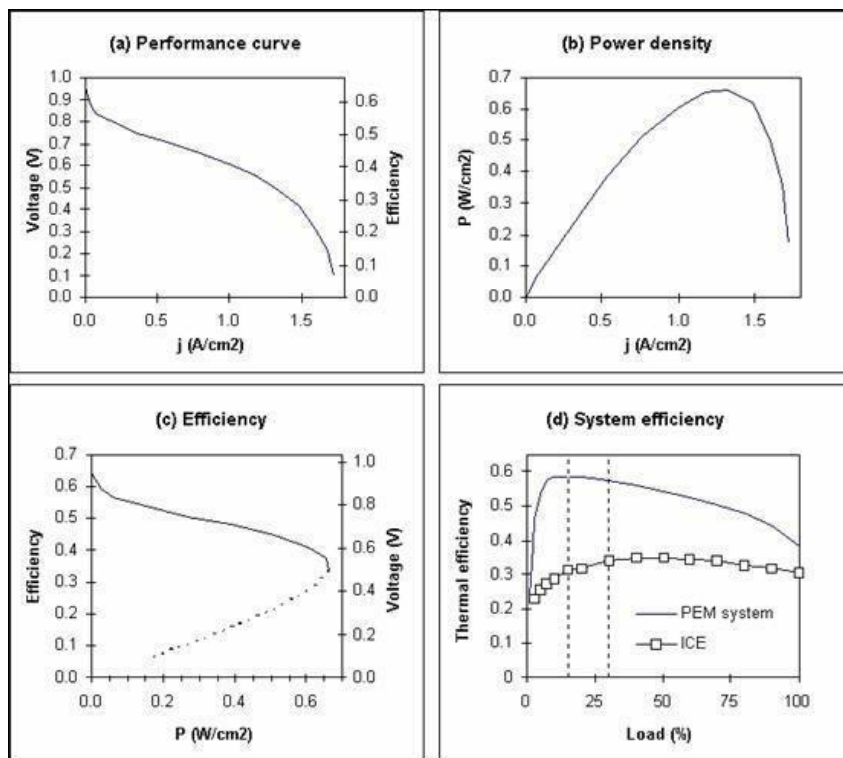
Eksperyment dotyczący ogniwa paliwowego

Imię i nazwisko:

Data:



Rys. 4. Budowa i zasada działania ogniwa paliwowego PEM



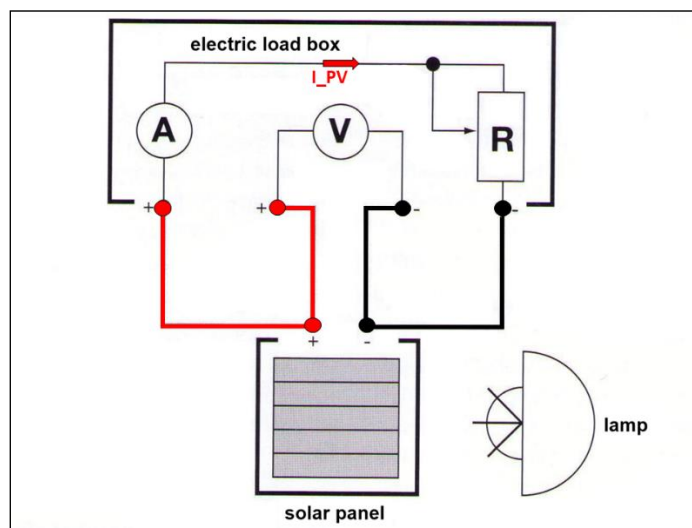
Rys. 5: Przykładowe charakterystyki ogniwa paliwowego PEM

Eksperyment dotyczący ogniwa paliwowego

Imię i nazwisko:

Data:

Przebieg ćwiczenia - Charakterystyka modułu fotowoltaicznego



Rys.6. Układ pomiarowy – charakterystyka modułu solarnego

Na początku moduł solarny należy podłączyć do obciążenia elektronicznego. Do tego celu należy wykorzystać różnokolorowe kable. Lampę o mocy 150 W należy umieścić w odległości co najmniej 30 cm od modułu (długość dłuższego boku kartki formatu A4).

Przed przystąpieniem do eksperymentu należy sprawdzić, czy przełącznik obciążenia znajduje się w pozycji "załączone". Zmierzone natężenie prądu powinno zawierać się w przedziale od 200 do 250 mA. Jeśli natężenie prądu jest zbyt niskie, można wyregulować pozycję lampy. Po prawidłowym podłączeniu modułu solarnego i obciążenia należy odczekać ok. 2 minuty - faza rozgrzewania. Dzięki temu zagwarantujemy możliwie stałą temperaturę modułu solarnego. Tabela 1 służy do zapisywania zmierzonych wartości.

Eksperyment dotyczący ogniwa paliwowego

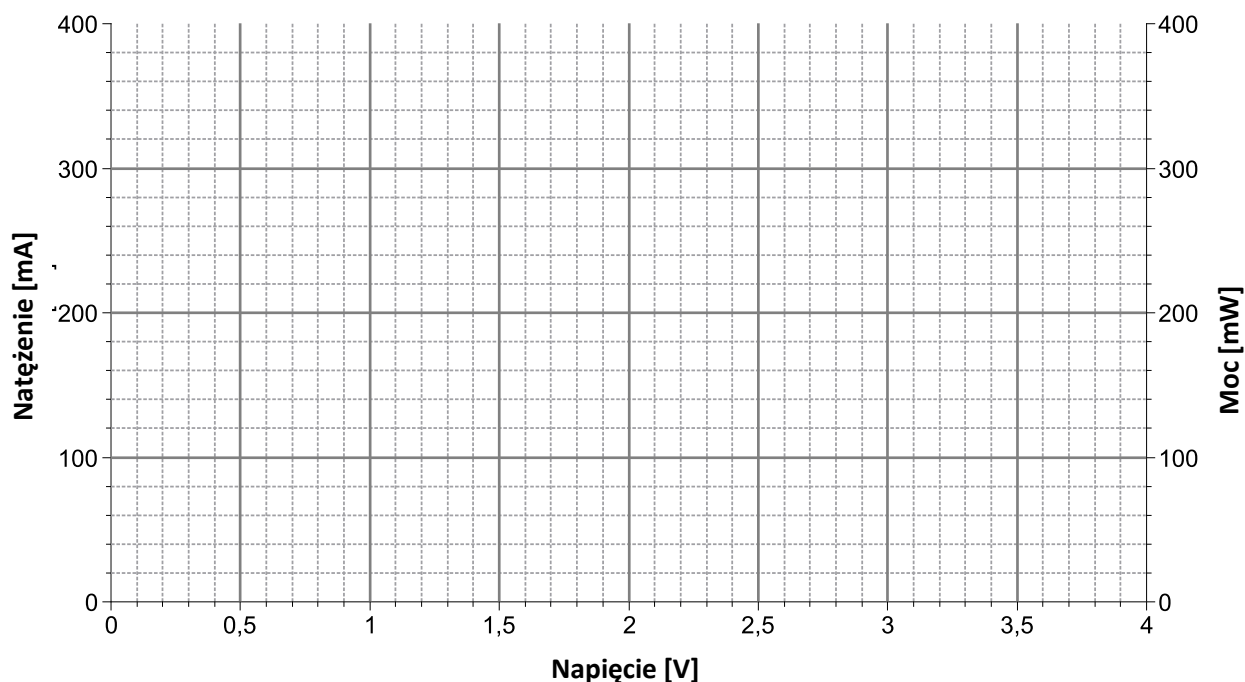
Imię i nazwisko:

Data:

Tabela 1: Wyniki pomiarów dla modułu fotowoltaicznego

Obciążenie	Napięcie [V]	Natężenie [mA]	Moc [mW]
Załączone			
LAMPA			
1 Ω			
3 Ω			
5 Ω			
10 Ω			
50 Ω			
100 Ω			
200 Ω			
Otwarte			

- **Obliczenie:** moc elektryczna modułu solarnego
- **Narysuj wykres** mocy i natężenia prądu w funkcji napięcia
- **Zaznacz na wykresie** maksymalny punkt mocy MPP

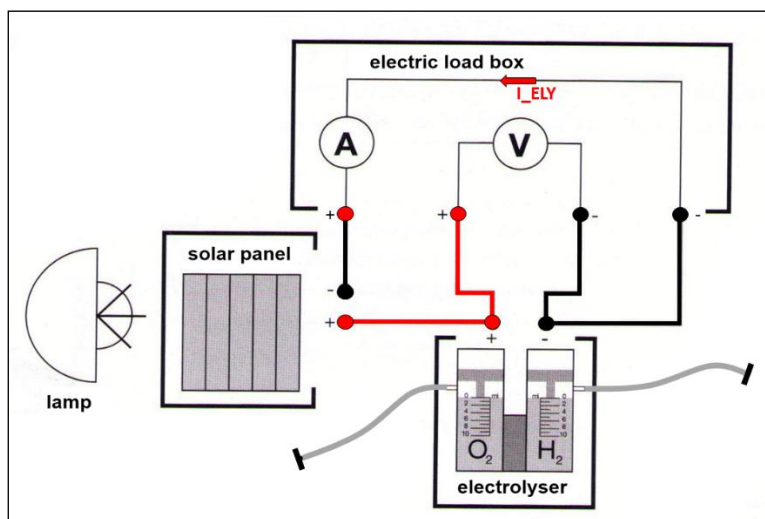


Eksperyment dotyczący ogniwa paliwowego

Imię i nazwisko:

Data:

Przebieg ćwiczenia - Charakterystyka elektrolizera



Rys. 7: Układ pomiarowy – elektrolizer

Rysunek 7 pokazuje, jak podłączyć elektrolizer do obciążenia i modułu solarnego. Podczas podłączania modułów mogą wystąpić problemy z polaryzacją. W przypadku problemów należy zwrócić się o pomoc do nauczyciela. Przełącznik wyboru obciążenia musi znajdować się w pozycji załączone. Do elektrolizera podłączone są dwa długie węży. Końce tych węży są zamknięte zaślepkami uszczelniającymi. Podczas eksperymentu może się zdarzyć, że zatyczki uszczelniające będą musiały zostać na krótki czas usunięte.

Teraz można włączyć lampę. Obracając lampę na boki, ustawia się po kolei natężenia prądu, zaczynając od 5 mA, a zmierzone wartości zapisuje się w tabeli 2.

Aby obliczyć sprawność elektrolizera, należy zmierzyć czas potrzebny do wytworzenia 1 ml wodoru. Do tego celu służy dodatkowa skala na elektrolizerze znajdująca się nad butlą z wodorem. Pomiary czasu są przeprowadzane dopiero od wartości natężenia 150 mA.

Eksperyment dotyczący ogniwa paliwowego

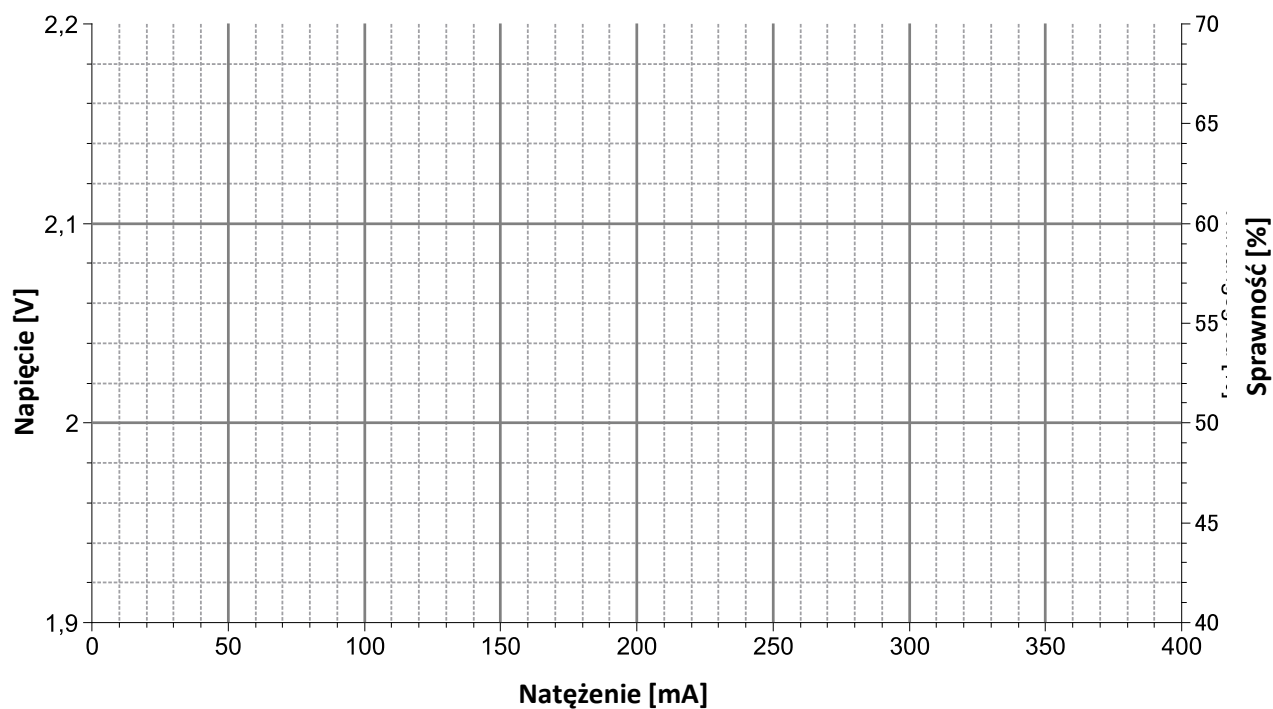
Imię i nazwisko:

Data:

Tabela 2: Wyniki pomiarów dla elektrolizera

Natężenie [mA]	Napięcie [V]	Moc P_{in} (el) [mW]	Wodór [ml]	Czas [s]	Moc P_{out} (chem) [mW]	Sprawność [%]
5						
150			1			
190			1			
230			1			
250			1			

- **Obliczenie:** moc wejściowa (elektryczna) P_{in} , moc wyjściowa (chemiczna) P_{out} oraz sprawność
- **Narysuj wykres:** zależności natężenia od napięcia
- **Narysuj wykres:** zależności sprawności od mocy

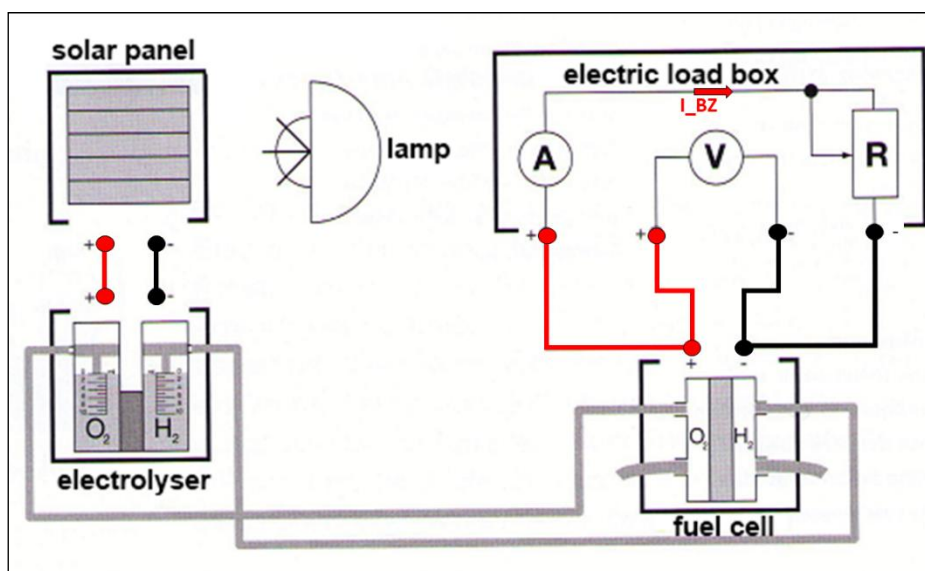


Eksperyment dotyczący ogniwa paliwowego

Imię i nazwisko:

Data:

Przebieg ćwiczenia - Charakterystyka ogniwa paliwowego



Rys. 8: Układ pomiarowy – ogniwo paliwowe

Do tego eksperymentu potrzebna jest lampa, moduł solarny, elektrolizer, obciążenie elektroniczne i ogniwo paliwowe. Wszystkie elementy są ze sobą połączone, jak pokazano na rysunku 8. Ważne jest, aby upewnić się, że wodór i tlen są prawidłowo podłączone. **Przełącznik wyboru obciążenia musi być na początku ustawiony w pozycji otwartej.**

1. Przełącznik wyboru obciążenia w pozycji otwartej, węże otwarte (bez wtyczek)
2. Sprawdzenie obwodu przez nauczyciela → wtedy można włączyć lampę.
3. Początkowo napięcie ogniwa paliwowego wynosi 0 V. Z czasem napięcie wzrośnie do wartości co najmniej 0,7 V. Jeśli napięcie wzrośnie do wartości powyżej 0,8 V lub pozostanie na poziomie nieco poniżej 0,8 V przez dłuższy okres ok. 2 minut, doświadczenie można kontynuować.
4. Teraz przełącznik wyboru obciążenia ustawiamy na opór 5 Ω na 3 minuty, a następnie przełączamy z powrotem do pozycji otwartej.
5. Teraz końce krótkich węży można zamknąć zatyczkami uszczelniającymi. Jeśli zbiornik wodoru jest napełniony wodorem do poziomu 10 ml, lampę można wyłączyć, a połączenie elektryczne między modułem solarnym a elektrolizerem można rozłączyć.
6. Przeprowadzenie pomiaru i zapisanie zmierzonych wartości w tabeli 3.

Uwaga: Podczas rejestrowania odczytów natężenia i napięcia należy również zmierzyć czas potrzebny do zużycia 1 ml wodoru. Dotyczy to tylko obciążenia 50 Ω , 10 Ω , 5 Ω , 3 Ω i 1 Ω .

Eksperyment dotyczący ogniwa paliwowego

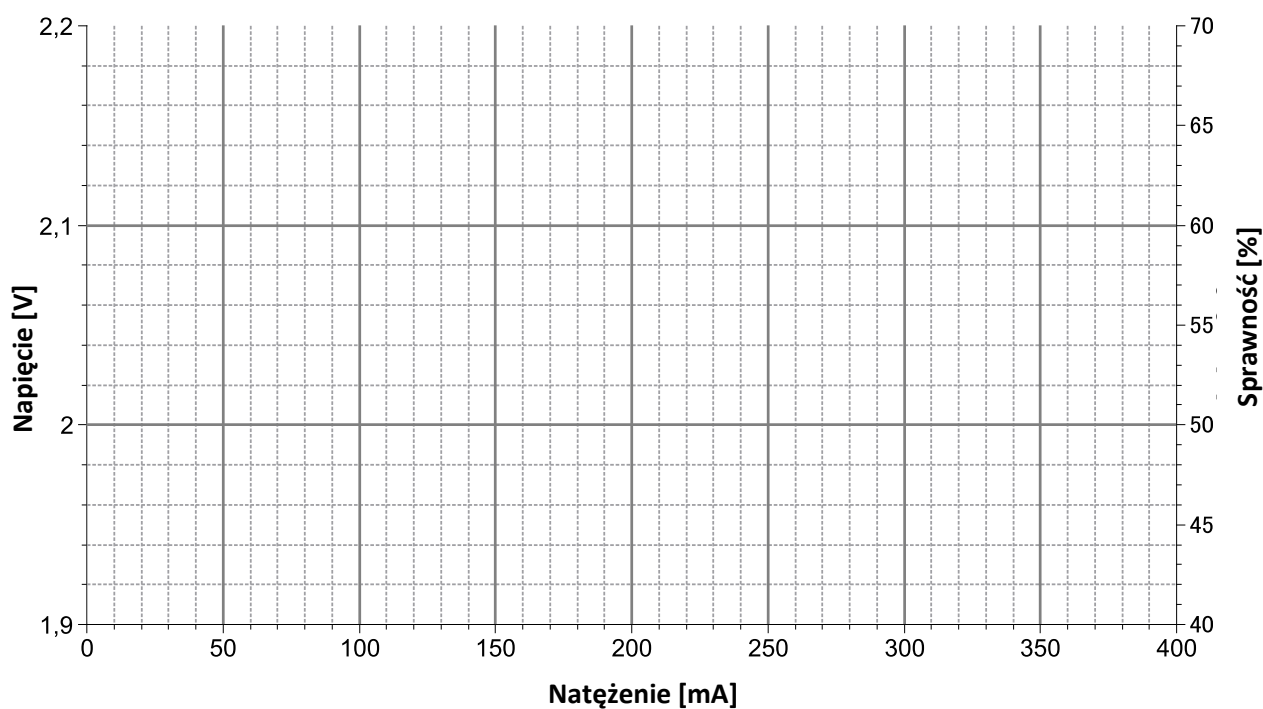
Imię i nazwisko:

Data:

Tabela 3: Wyniki dla ogniwa paliwowego

Obciążenie	Napięcie [V]	Natężenie [mA]	Czas [s] do uzyskania 1 ml H ₂	P _{in} (el) [mW]	P _{out} (chem) [mW]	Sprawność [%]
„Otwarte“						
200 Ω						
100 Ω						
50 Ω						
10 Ω						
5 Ω						
3 Ω						
1 Ω						
Lampa						

- **Obliczenie:** moc wejściowa (elektryczna) P_{in} , moc wyjściowa (chemiczna) P_{out} oraz sprawność
- **Narysuj wykres:** zależności napięcia i sprawności w funkcji natężenia



Eksperyment dotyczący ogniwa paliwowego

Imię i nazwisko:

Data:

Analiza

- **Oblicz:** sprawność całkowitą przy założonej sprawności modułu fotowoltaicznego na poziomie 17%
- Czy system pracuje w optymalnym punkcie pracy? Jeśli nie, co trzeba zrobić, aby to zmienić?