

Sprawozdanie z laboratorium proekologicznych źródeł energii

Temat:

Badanie ogniw paliwowych.

Michał Stobiecki, Michał Ryms
Grupa 5; sem. VI
Wydz. Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej

I. Wstęp teoretyczny

1. Rys historyczny

Ogniwa paliwowe zostały wynalezione w 1838 roku przez Christiana Friedrich Schoenbeina. Ich praktyczne zastosowanie przedstawił Sir William Grove już w 1845 roku, jednakże zainteresowanie ogniwami paliwowymi na szeroką skalę rozpowszechniło się dopiero po roku 1960, kiedy to NASA zaczęła stosować alkaliczne ogniwa w swoich promach kosmicznych.

2. Klasyfikacja i podział ogniw paliwowych

Ogniwa paliwowe, ze względu na ich budowę, podzielić można na ogniwa:

- z membraną polimerową;
 - **PEFC** - Polymer Electrolyte Fuel Cell
 - **PEMFC** - Proton Exchange Membrane Fuel Celltemperatura ich pracy oscyluje w obrębie 80°C (176 F)

- alkaliczne
 - **AFC** - Alkaline Fuel Celltemperatura ich pracy wynosi 100°C (212 F)

- z kwasem fosforowym
 - **PAFC** - Phosphoric Acid Fuel Celltemperatura ich pracy wynosi 200°C (392 F)

- ze stopionym węglanem
 - **MCFC** - Molten Carbonate Fuel Celltemperatura ich pracy wynosi 650°C (1202 F)

- ze stałym tlenkiem
 - **SOFC** – Solid Oxide Fuel Celltemperatura ich pracy wynosi 700°C (1292 F)

- rurowe ze stałym tlenkiem
 - **TSOFC** - Tubular Solid Oxide Fuel Celltemperatura ich pracy wynosi 1000°C (1832 F)

3. Reakcje zachodzące w ogniwach (H₂ / O₂)

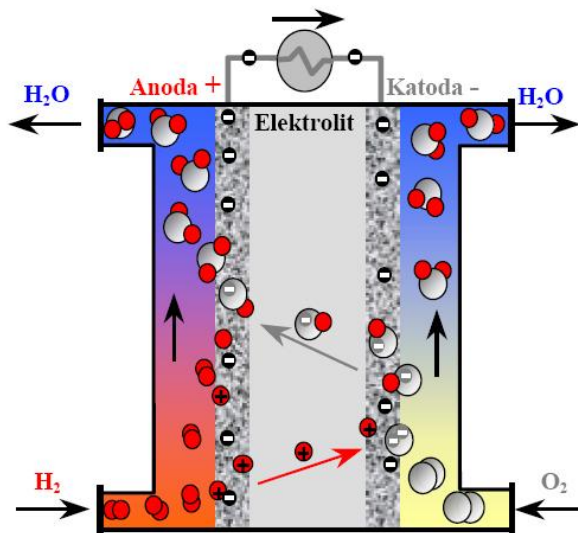
W ogniwach paliwowych zachodzą typowe reakcje utleniania i redukcji (redox), identyczne jak podczas spalania, z tą różnicą, że produktem oprócz spalin (para wodna lub CO₂) nie jest ciepło lecz prąd elektryczny.

Reakcje zachodzące w ogniwie:

- (Anoda +) utlenianie wodoru

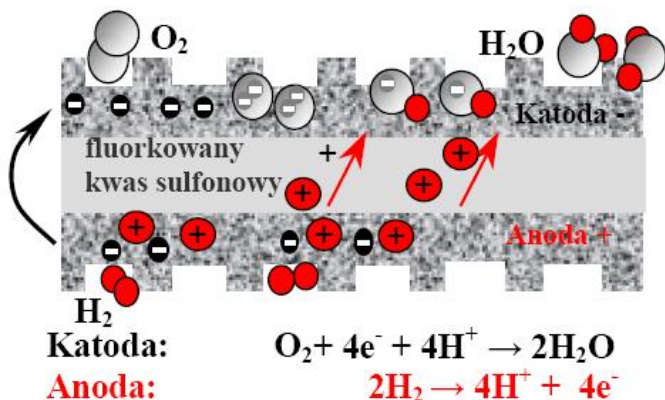
$$2 \text{H}_2 + 4 \text{OH}^- \rightarrow 4 \text{H}_2\text{O} + 4 \text{e}^-$$
- (Katoda -) redukcja tlenu

$$\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 4 \text{OH}^- - 4 \text{e}^-$$



4. Zasada działania badanego ogniwa polimerowego

Elektrolitem w ogniwach polimerowych jest membrana ze spolimeryzowanego fluorkowanego kwasu sulfonowego, pokryta porowatą platyną stanowiącą katalizator.



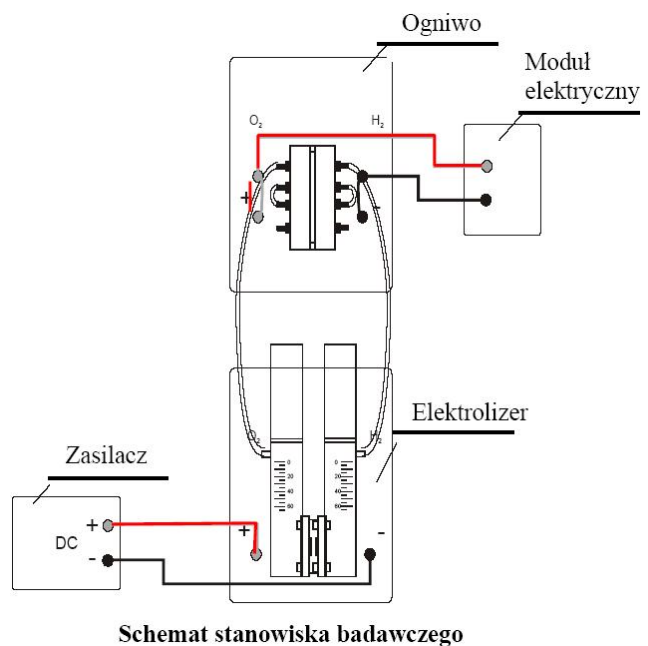
Elektrody stanowią dwie kartki grafitowanego papieru teflonowane na zewnątrz. Całość jest sprasowana pod ciśnieniem w podwyższonej temperaturze i ma grubość 1mm. Kanalikami w elektrodach poprowadzone są substraty i czynnik chłodzący, a odprowadzana ciepła woda.

Reakcje zachodzące na elektrodach przedstawiono na rysunku obok.

W ogniwach tych panuje stosunkowo niska temperatura (w zakresie 70 - 150 °C) oraz ciśnienie w granicach 0,10 - 1,0 MPa, co w praktyce umożliwia ich łatwy rozruch ogniwa. Kolejną zaletą jest stały elektrolit w ogniwie i towarzysząca mu wysoka gęstość prądu. Wadą badanego rozwiązania jest wrażliwość na tlenek węgla (CO) zatruwający platynę.

II. Budowa stanowiska pomiarowego oraz przebieg ćwiczenia

Stanowisko składa się z dwóch odwracalnych ogniw paliwowych (Reversible Fuel Cell) typu polimerowego, membranowego (PEMFC). Ich cechą możliwość pracy naprzemiennie jako elektrolizer lub jako ogniwo paliwowe. Zasilacz stabilizowanego prądu stałego zasila dolne ogniwo, pracujące jako elektrolizer. Wytworzony, w wyniku elektrolitycznego rozkładu wody, wodór i tlen zasilają górne ogniwo paliwowe, które produkuje prąd elektryczny, mierzony i wykorzystany w module elektrycznym. Należy pamiętać, że wodór wraz z tlenem tworzy mieszaninę wybuchową, dlatego podczas wykonywania ćwiczenia należało zachować szczególną ostrożność.

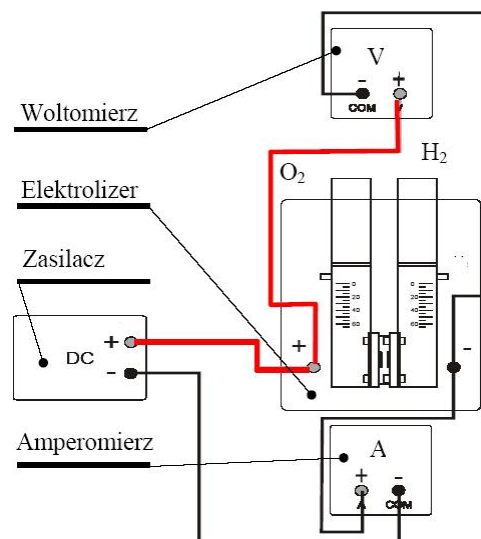


1. Wyznaczanie krzywej charakterystyki elektrolizera

a) podłączenie aparatury

w celu podłączenia aparatury wykonano następujące czynności:

- upewniono się, że zasilacz prądu stałego nie jest włączony.
- następnie, ustawiono wszystkie regulatory napięcia i natężenia w pozycji zerowej.
- używając kabli połączono aparaturę jak na schemacie obok.
- równoległe do elektrolizera podłączono woltomierz.
- sprawdzono poziom wody destylowanej w elektrolizerze, który powinien być w granicach 0-20 ml po stronie O₂ oraz 20-40 ml po stronie H₂.
- po włączeniu zasilacza przestrzegano, by prąd nie był większy od $I=4A$, a napięcie od $U=2V$, gdyż groziłoby to paleniem elektrolizera.



a) pomiar

w celu dokonania pomiaru wykonano następujące czynności:

- przekręcając regulator napięcia powoli w do wartości 1,9 V, szczytano 20 pomiarów napięcia i natężenia w 5 sekundowych odstępach.
- po zakończeniu pomiarów, przekręcono regulator napięcia elektrolizera tak by wartość nie przekraczała 0.1 V.

b) wyniki

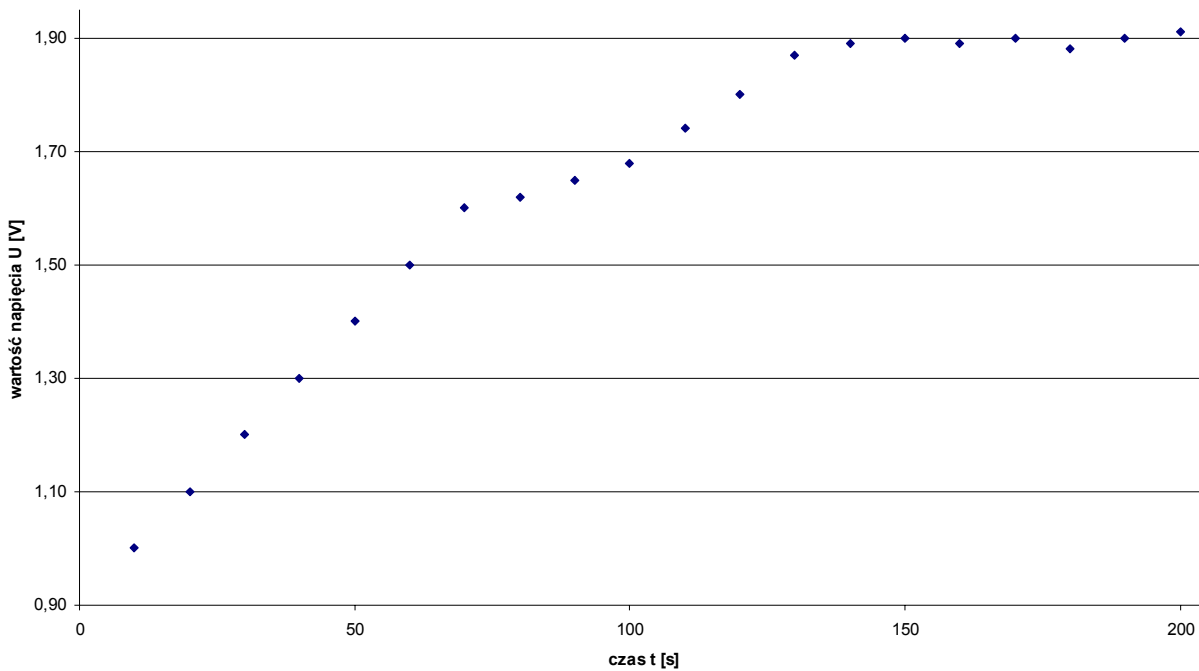
w celu dokonania pomiaru wykonano następujące czynności:

Tabela pomiarów wyznaczania charakterystyki elektrolizera

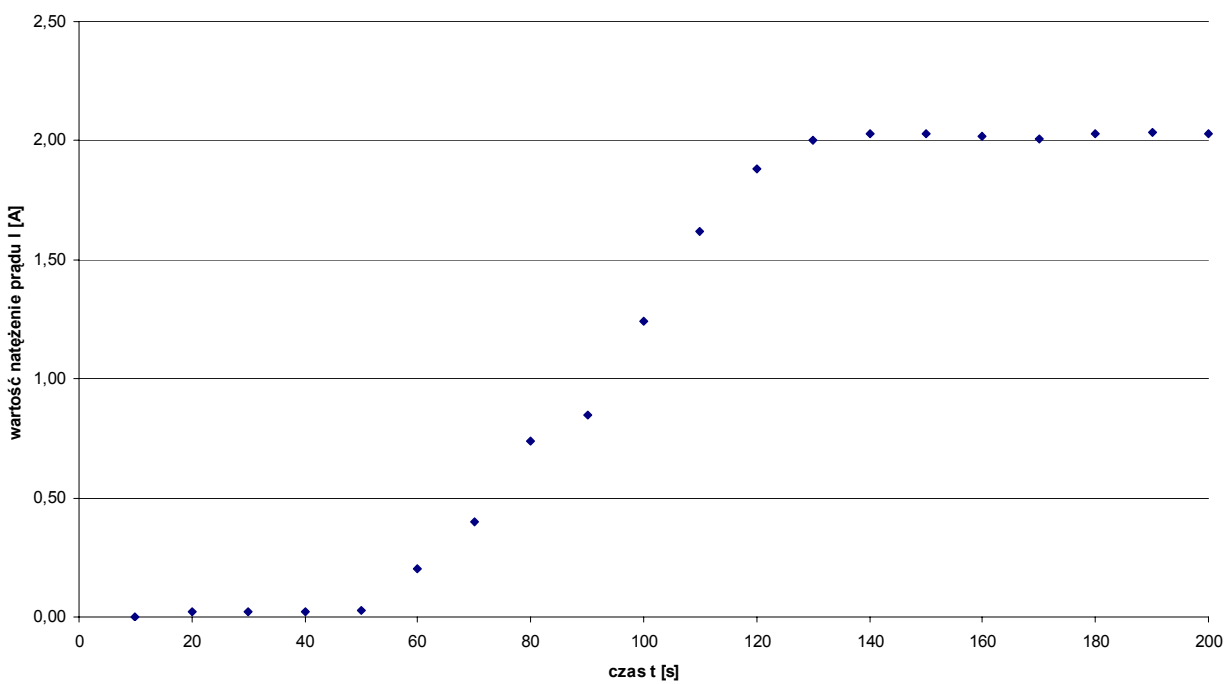
Pomiar	Czas t [s]	Napięcie [V]	Natężenie I [A]	Moc P [W]
1	10	1,00	0,00	0,00
2	20	1,10	0,02	0,02
3	30	1,20	0,02	0,02
4	40	1,30	0,02	0,03
5	50	1,40	0,03	0,04
6	60	1,50	0,20	0,30
7	70	1,60	0,40	0,64
8	80	1,62	0,74	1,20
9	90	1,65	0,85	1,40
10	100	1,68	1,24	2,08
11	110	1,74	1,62	2,82
12	120	1,80	1,88	3,38
13	130	1,87	2,00	3,74
14	140	1,89	2,03	3,84
15	150	1,90	2,03	3,86
16	160	1,89	2,02	3,82
17	170	1,90	2,01	3,82
18	180	1,88	2,03	3,82
19	190	1,90	2,04	3,87
20	200	1,91	2,03	3,88

- zamieszczone poniżej wykresy zależności napięcia od czasu i natężenia od czasu oraz charakterystykę I·U elektrolizera utworzono na podstawie wyników z powyższej tabeli.

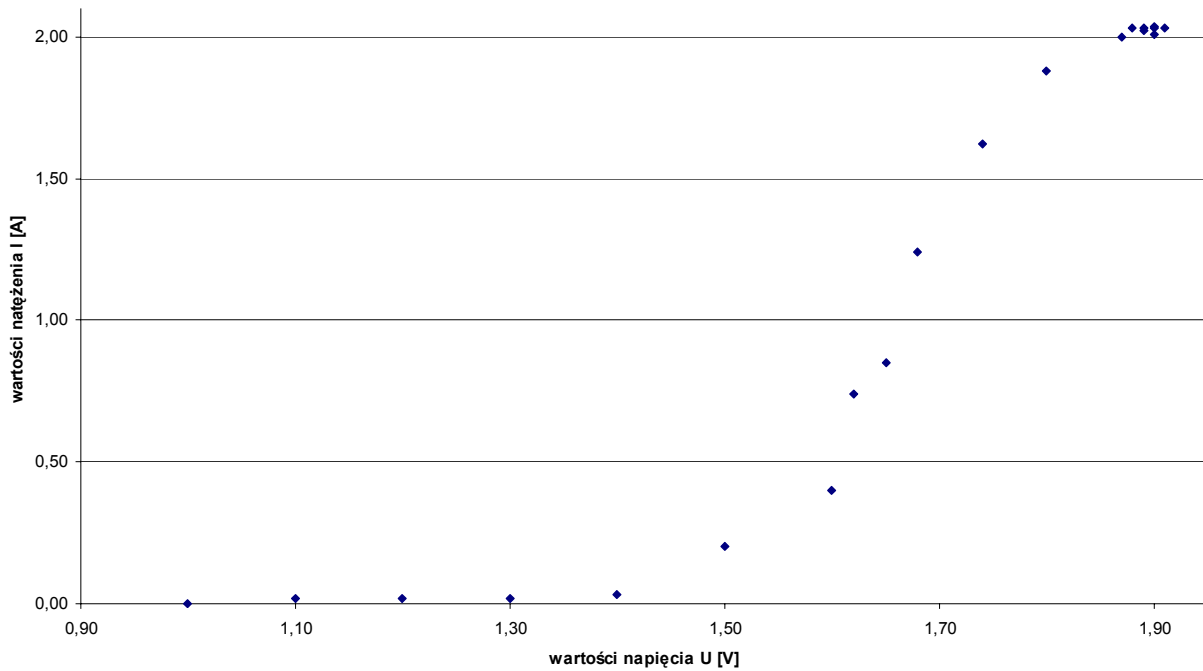
Wykres zależności napięcia od czasu dla elektrolizera



Wykres zależności natężenia prądu od czasu dla elektrolizera



Krzywa charakterystyki elektrolizera



c) wnioski

- analizując powyższe wykresy zaobserwowano prawidłowość, której podlega proces elektrolizy.

Początkowo reakcja nie zachodzi, aż do uzyskania pewnej granicznej wartości napięcia, przy której zaczynamy obserwować zjawisko odrywania się od elektrody pęcherzyków gazu (H_2), świadczących o zapoczątkowaniu procesu elektrolizy wody. W obserwowanym doświadczeniu graniczna wartość napięcia wyniosła około 1,3V.

W miarę wzrostu napięcia w elektrolizerze następuje wzrost natężenia prądu, aż do wartości granicznej, która w badanym przypadku wyniosła 2V. Po osiągnięciu tej wartości natężenie już nie wzrasta, a sama reakcja stabilizuje się na tym poziomie.

Maksymalne natężenie uzyskiwane na elektrolizerze osiąga zatem wartość 2V.

2. Określanie wydajności produkcji wodoru (Prawo Faradaya)

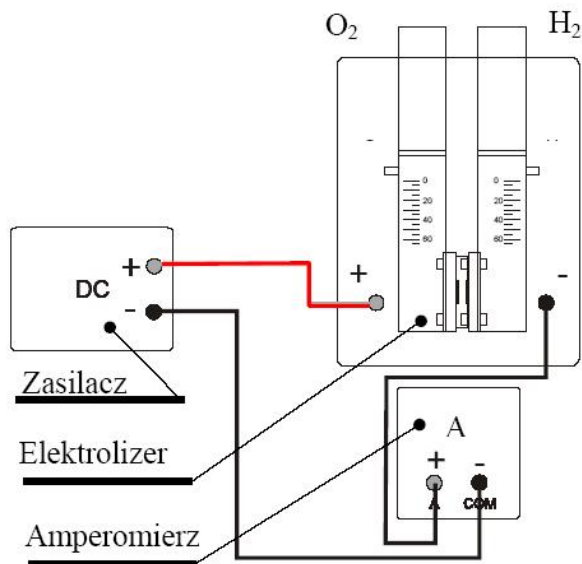
a) podłączenie aparatury

- sposób połączenia podany jest na schemacie obok.

b) pomiar

w celu dokonania pomiaru wykonano następujące czynności:

- upewniono się czy pokrętła natężenia prądu ustawione są na maksymalną wartość.
- sterując regulatorem napięcia ustawiono wartość natężenia $I=850\text{mA}$.
- sprawdzono, że obydwa cylindry elektrolizera są napełnione do poziomu 0ml., po czym założono zacisk na gumowy przewód wylotu H_2 .
- zebrano wyniki objętości produkowanego wodoru w czasie $t = 90\text{ s}$, co 15 s.
- po zdjęciu zacisku ustawiono nowe natężenia $I=950\text{mA}$ i 650mA , powtarzając każdorazowo pomiary.
- po wykonanych pomiarach zmierzono napięcie i zdjęto zacisk.



c) wyniki

- otrzymane objętości wyprodukowanego wodoru w funkcji czasu, dla poszczególnych wartości natężenia, zebrano w poniższych tabelach:

Tabela pomiarów wydajności produkcji wodoru 850 mA

Czas t [s]	Objętość H ₂ V [ml]
15	8
30	9
45	10
60	11
75	12
90	13

Tabela pomiarów wydajności produkcji wodoru 950mA

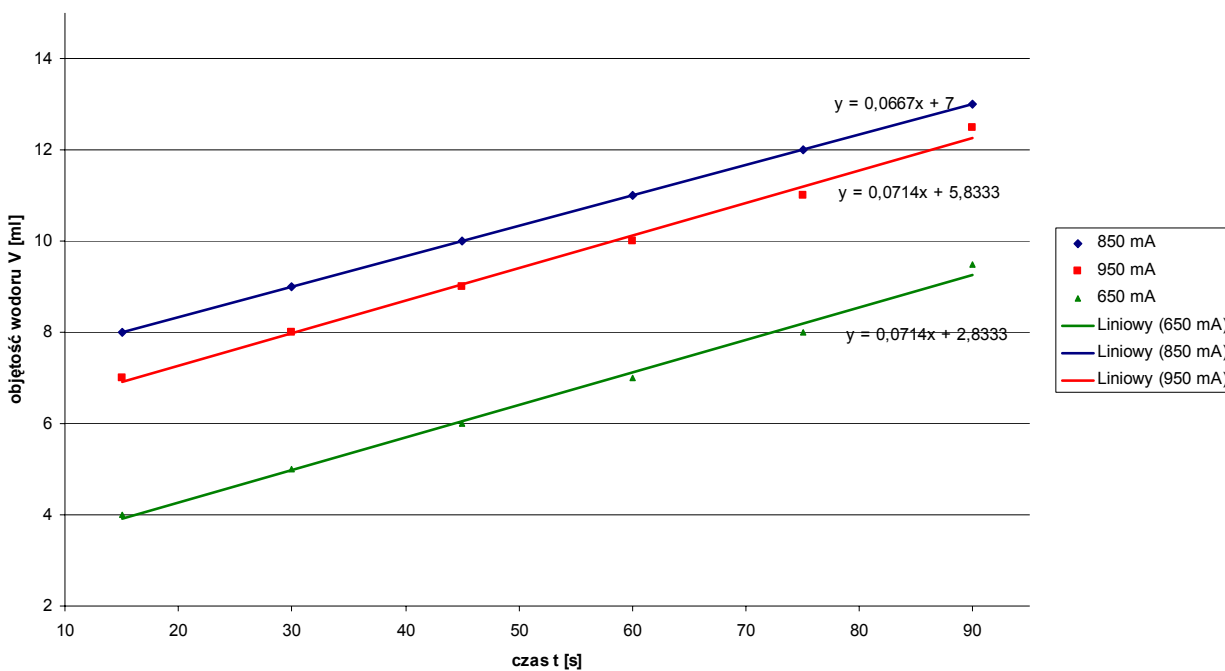
Czas t [s]	Objętość H ₂ V [ml]
15	7
30	8
45	9
60	10
75	11
90	12,5

Tabela pomiarów wydajności produkcji wodoru 650mA

Czas t [s]	Objętość H ₂ V [ml]
15	4
30	5
45	6
60	7
75	8
90	9,5

- otrzymane wartości przedstawiono na poniższym wykresie zależności objętości produkowanego wodoru w czasie:

Wykres wydajności produkcji wodoru



d) wnioski

- na podstawie otrzymanych wykresów zaobserwowano prawidłowości, którym podlega proces produkcji wodoru.

Bez względu na wartości natężenia prądu, przy którym zachodzi proces produkcji wodoru, obserwowano liniowy charakter przyrostu objętości gazu. Ponadto współczynniki kierunkowe prostych, powstałych z naniesienia na otrzymane wyniki pomiarowe linii trendu, okazały się być identyczne (z niewielkim odchyleniem wynikającym z niepewności pomiarowych), co zaznaczono na powyższym wspólnym wykresie. Na tej podstawie można zapisać następującą zależność produkowanej objętości wodoru od czasu:

$$V = \alpha \cdot i \cdot t$$

gdzie: α – współczynnik proporcjonalności

i – natężenie prądu w ogniwie

t – czas produkcji wodoru

V – objętość produkowanego wodoru

Zależność ta odpowiada prawu Faradaya, które zapisujemy następująco:

$$m = k \cdot i \cdot t$$

gdzie: k – współczynnik proporcjonalności

i – natężenie prądu w ogniwie

t – czas produkcji wodoru

m – masa produkowanej substancji

Podstawiając w drugim wzorze:

$$m = V \cdot \rho$$

gdzie: ρ – współczynnik proporcjonalności

Po przekształceniu otrzymamy:

$$V = \frac{k}{\rho} \cdot i \cdot t = \alpha \cdot i \cdot t$$

Co stanowi potwierdzenie zgodności opisu procesu produkcji wodoru z prawem Faradaya odnoszącym się do elektrolizy.

Ponadto w wynikach pomiarowych wynika, iż maksimum możliwości produkcyjnych ogniwa nie przypada na maksimum natężenia prądu, lecz nieco poniżej tej wartości, lecz dopiero pomiary w większym zakresie wartości natężenia prądu mogłyby potwierdzić tę zależność.

3. Wyznaczenie charakterystyki ogniw paliwowych w połączeniu równoległym.

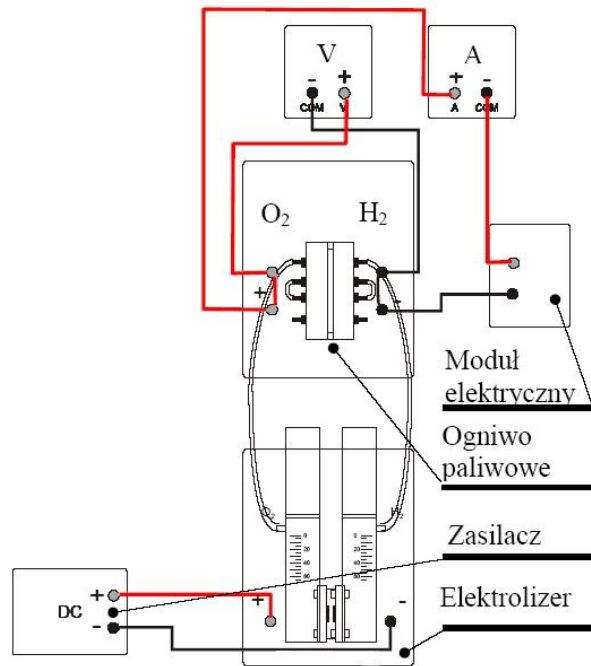
a) podłączenie aparatury

- sposób połączenia podany jest na schemacie obok.

b) Pomiar

w celu dokonania pomiaru wykonano następujące czynności:

- upewniono się, że pokrętki natężenia prądu ustawione są na maksymalną wartość.
- ustawiono wartość napięcia $U = 1.8 V$.
- nastawiono rezystancję modułu elektrycznego na $R=0\Omega$.
- po 4 min. od włączenia zasilacza, zapisano 10 pomiarów natężenia i napięcia w 10 s odstępach.
- po wykonanych pomiarach ustawić ponownie oporność na $R = 0\Omega$.



c) wyniki

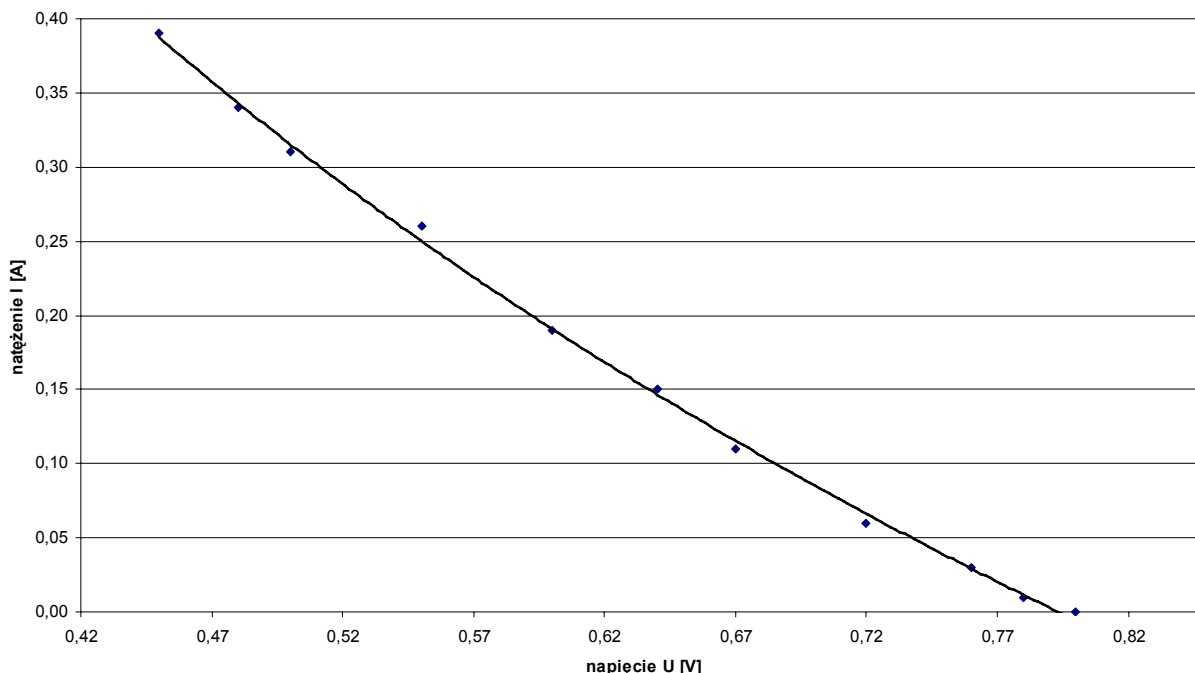
- otrzymane wartości natężeń i napięć, przedstawiono w poniższej tabeli, obliczając również moce dla poszczególnych pomiarów:

Tabela pomiarów mocy ogniwa

Rezystancja R [Ω]	Napięcie U [V]	Natężenie I [A]	Moc P [W]
0	0,45	0,39	0,18
0	0,48	0,34	0,16
1	0,50	0,31	0,16
1	0,55	0,26	0,14
2	0,60	0,19	0,11
3	0,64	0,15	0,10
5	0,67	0,11	0,07
10	0,72	0,06	0,04
20	0,76	0,03	0,02
50	0,78	0,01	0,01
100	0,80	0,00	0,00

- wykonano wykres charakterystyki $U \cdot I$ dla ogniw paliwowych.

Wykres charakterystyki ogniwa paliwowego



d) wnioski

- na podstawie otrzymanego wykresu możemy stwierdzić, iż w badanym zakresie napięcia, przy sterowaniu wartością rezystancji, występuje niemal liniowa zależność pomiędzy natężeniem i napięciem prądu w ogniwie (bardziej jednak pasuje tu zależność logarytmiczna – co uwzględniono na wykresie). Wyznaczona w powyższy sposób charakterystyka ogniwa paliwowego potwierdza z niewielkim odchyleniem wywód teoretyczny. Biorąc pod uwagę niepewność eksperymentatora np. przy odczytywaniu wyników z przyrządów pomiarowych (w naszym wypadku woltomierz, amperomierz, stoper, gdzie zwłaszcza ostatni wprowadza sporą niepewność) eksperymentalnie potwierdziliśmy teorię dotyczącą danej charakterystyki i całego doświadczenia.