

Laboratorium odnawialnych źródeł energii

Ćwiczenie nr 5

Temat: Badanie ogniw paliwowych.

Politechnika Gdańska
Wydział Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej
Fizyka i technika konwersji energii
VI semestr

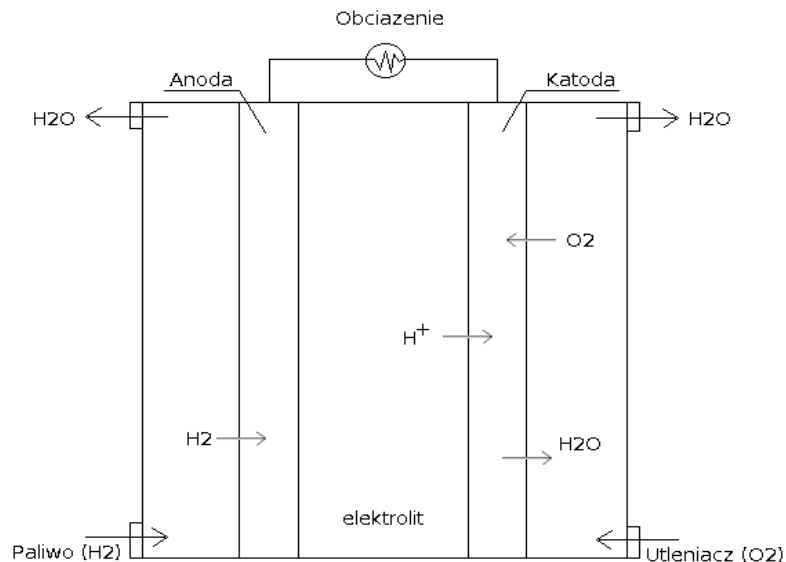
1. Wstęp.

Ogniwa paliwowe umożliwiają produkcję prądu elektrycznego w procesach podobnych do spalania, ale zachodzących izotermicznie i bez płomienia. Składają się one z anody, na której zachodzi utlenianie paliwa (przeważnie wodór, węgiel, metanol itp.) oraz katody, na której zachodzi redukcja utleniacza (tlenu lub chloru). W reakcji tej nie wydziela się ciepło, nie obowiązuje tu zatem II zasada termodynamiki, a co za tym idzie - sprawność teoretyczna ogniwa może być większa od sprawności teoretycznego obiegu Carnota (63%) i w ogniwach paliwowych dochodzi do 75%.

W zależności od rodzaju elektrolitu wyróżnia się następujące ogniwa paliwowe:

- polimerowe (PEFC) $t = 80\text{stC}$, $P = 1\text{kW}$;
- alkaliczne (AFC) $t = 100\text{stC}$, $P = 1.5\text{kW}$, elektrolit -KOH ;
- kwasowe (PAFC) $t = 200\text{stC}$, elektrolit - H_3PO_4 , stosowane na skalę przemysłową w elektrowniach;
- węglanowe (MCFC) $t = 650\text{stC}$, elektrolitem są tu ciekłe węglowodany oraz Li_2O_3 i K_2CO_3 , również stosowane w elektrowniach;
- tlenkowe (SOFC) $t = 1000\text{stC}$ z utleniaczem ZrO_2 .

W przeprowadzonym ćwiczeniu badano ogniwo polimerowe. Elektrolitem w takim ogniwie jest membrana ze spolimeryzowanego fluorkowanego kwasu sulfonowego pokryta porowatą platyną (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 woda. Schematycznie budowę takiego ogniwa przedstawia poniższy rysunek.

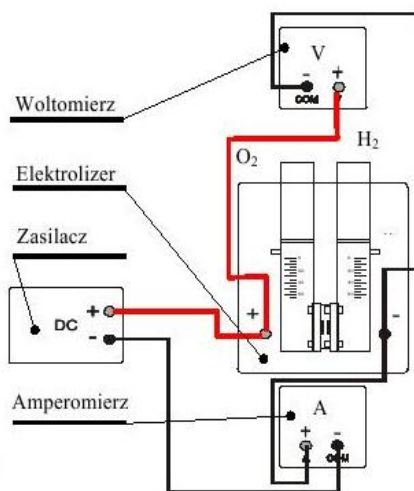


2. Przebieg ćwiczenia, wyniki pomiarów oraz wykresy.

Ćwiczenie polegało na wykonaniu trzech doświadczeń:

- Wyznaczanie krzywej charakterystyki elektrolizera;
- Określenie wydajności produkcji wodoru;
- Wyznaczenie charakterystyki ogniw paliwowych w połączeniu równoległym.

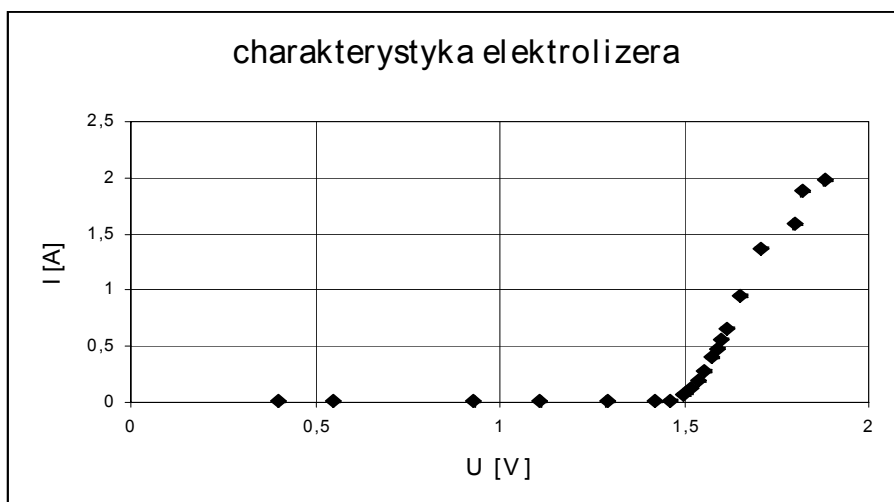
ad a) Pomiar wykonano na stanowisku, którego schemat przedstawia poniższy rysunek:



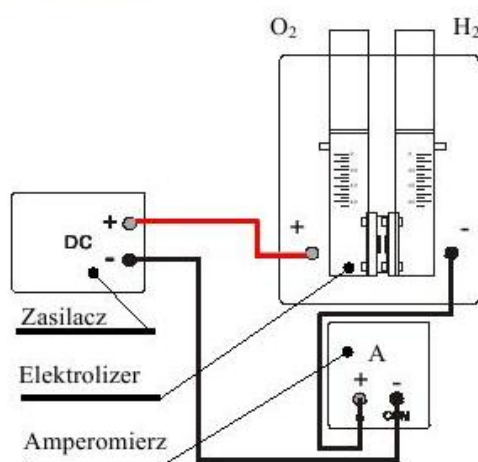
Pomiar polegał na zebraniu wartości prądu płynącego w obwodzie w zależności od napięcia podawanego z zasilacza. Wyniki pomiaru przedstawia poniższa tabela:

| Lp | T [s] | U [V] | I [A] |
|----|-------|-------|-------|
| 1 | 0 | 0,4 | 0,01 |
| 2 | 5 | 0,55 | 0,01 |
| 3 | 10 | 0,93 | 0,01 |
| 4 | 15 | 1,11 | 0,01 |
| 5 | 20 | 1,29 | 0,01 |
| 6 | 25 | 1,42 | 0,01 |
| 7 | 30 | 1,46 | 0,02 |
| 8 | 35 | 1,497 | 0,07 |
| 9 | 40 | 1,52 | 0,13 |
| 10 | 45 | 1,537 | 0,19 |
| 11 | 50 | 1,555 | 0,28 |
| 12 | 55 | 1,576 | 0,4 |
| 13 | 60 | 1,588 | 0,48 |
| 14 | 65 | 1,6 | 0,56 |
| 15 | 70 | 1,614 | 0,66 |
| 16 | 75 | 1,65 | 0,95 |
| 17 | 80 | 1,707 | 1,37 |
| 18 | 85 | 1,798 | 1,59 |
| 19 | 90 | 1,818 | 1,88 |
| 20 | 95 | 1,88 | 1,98 |

Poniżej przedstawiono charakterystykę elektrolizera, czyli wykres zależności prądu od napięcia.



ad b) Schemat stanowiska pomiarowego przedstawia poniższy rysunek:



Pomiar polegał na przeprowadzeniu elektrolizy wody, w wyniku czego w jednym z cylindrów wydzieliał się wodór. Pomiary przeprowadzono dla trzech różnych, stałych nastaw prądu. Wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli poniżej:

| T [s] | V [ml] | m [mg] | k [mg/C] |
|----------|---------|----------|-------------|
| 15 | 1 | 0,134996 | 0,010587920 |
| 30 | 2 | 0,179995 | 0,007058613 |
| 45 | 2,5 | 0,269992 | 0,007058613 |
| 60 | 3 | 0,314991 | 0,006176287 |
| 75 | 4 | 0,359989 | 0,005646891 |
| 90 | 4,5 | 0,494985 | 0,006470396 |
| I = 0,66 | | A | |

| T [s] | V [ml] | m [mg] | k [mg/C] |
|----------|---------|-------------|-------------|
| 15 | 1,5 | 0,179994643 | 0,012631203 |
| 30 | 2 | 0,269991964 | 0,009473402 |
| 45 | 3 | 0,314990625 | 0,007368202 |
| 60 | 3,5 | 0,404987946 | 0,007105052 |
| 75 | 4 | 0,449986607 | 0,006315602 |
| 90 | 5,5 | 0,539983929 | 0,006315602 |
| I = 0,85 | | A | |

| T [s] | V [ml] | m [mg] | k [mg/C] |
|----------|---------|-------------|-------------|
| 15 | 2 | 0,089997321 | 0,009090639 |
| 30 | 3 | 0,179994643 | 0,009090639 |
| 45 | 3,5 | 0,224993304 | 0,007575532 |
| 60 | 4,5 | 0,269991964 | 0,006817979 |
| 75 | 5 | 0,359989286 | 0,007272511 |
| 90 | 6 | 0,404987946 | 0,006817979 |
| I = 0,95 | | A | |

W powyższych tabelach masy wydzielonego wodoru obliczono ze wzoru:

$$m = \frac{V}{V_n} \cdot \mu = \frac{V}{22,4 \text{ dm}^3} \cdot 1,00797 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad [\text{mg}] ;$$

$$\text{natomiast równoważniki elektrochemiczne: } k = \frac{m}{I \cdot t} \quad [\text{mg/C}]$$

Niepewności standardowe poszczególnych wielkości:

$$St = \sqrt{\frac{1}{3}\Delta e^2 + \frac{1}{3}\Delta w^2} \quad \text{gdzie: } \Delta e = 1 \text{ s} - \text{niepewność eksperymentatora, } \Delta w = 1 \text{ s} - \text{niepewność wzorcowania. } St = 0,82 \text{ s.}$$

$$Sv = \sqrt{\frac{1}{3}\Delta e^2 + \frac{1}{3}\Delta w^2} \quad \Delta e = 0,1 \text{ dm}^3; \Delta w = 0,1 \text{ dm}^3 \quad Sv = 0,0816 \text{ dm}^3$$

$$SI = \sqrt{\frac{1}{3}\Delta e^2 + \frac{1}{3}\Delta w^2} \quad \Delta e = 0,01 \text{ A}; \Delta w = 0,01 \text{ A} \quad SI = 0,008 \text{ A}$$

Niepewność standardowa masy jako niepewność wielkości złożonej:

$$Sm = \sqrt{\mu Sv^2} = 0,08 \text{ mg}$$

Niepewność standardowa równoważnika elektrochemicznego:

$$Sk1 = \sqrt{\left(\frac{Sm}{I \cdot t}\right)^2 + \left(\frac{SI \cdot m}{I^2 \cdot t}\right)^2 + \left(\frac{St \cdot m}{I \cdot t^2}\right)^2} = 0,000811 \text{ mg/C};$$

$$Sk2 = 0,000633 \text{ mg/C}$$

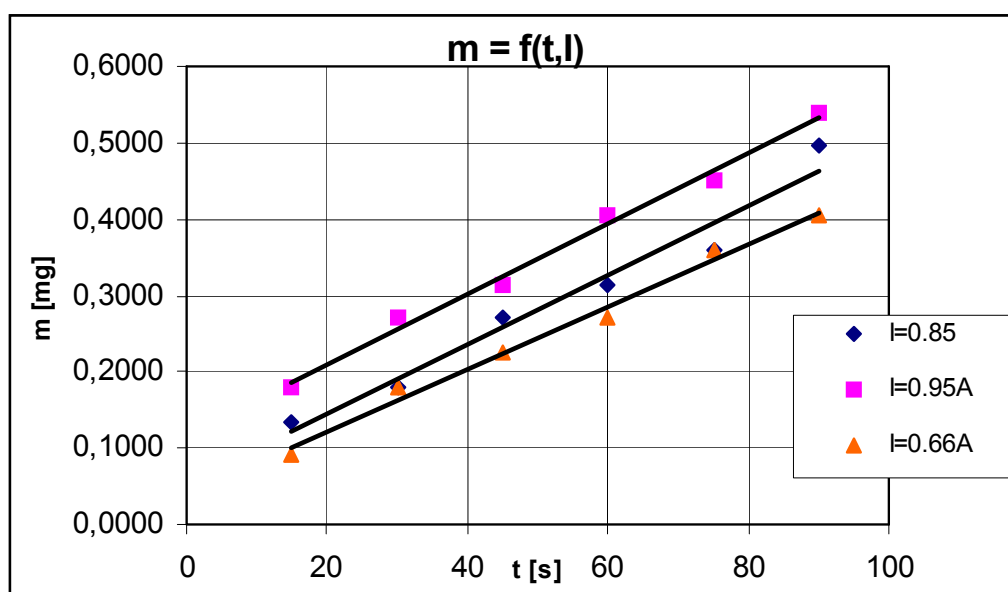
$$Sk3 = 0,000562 \text{ mg/C}$$

Po porównaniu z wartościami teoretycznymi stwierdzamy, że tylko pierwsze wartości k w poszczególnych tabelach są wyznaczone poprawnie. Jest to efektem nie szczelności instalacji względem gazowego wodoru, który jest najmniejszym z pierwiastków, a co za tym idzie – najtrudniej zbudować zbiorniki itp, które byłyby w tym przypadku szczelne. Z tego powodu objętości odczytywane w dalszym ciągu każdej z elektroliz są zaniżone, co powoduje otrzymywanie zaniżonych wyników. Dlatego też niepewności standardowe k policzone zostały tylko dla pierwszych przypadków w każdej z tabel.

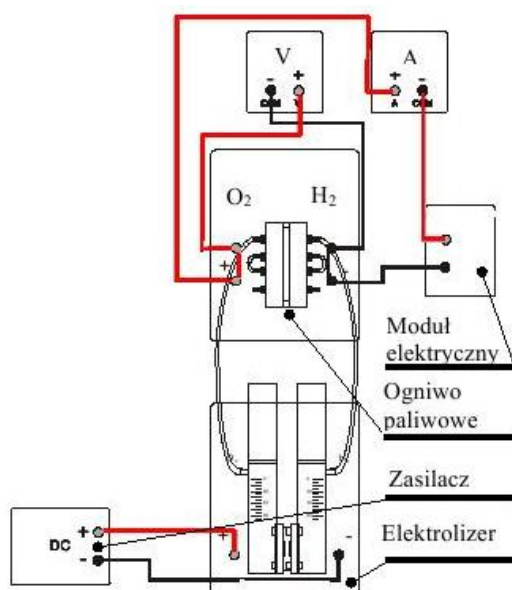
Średnia wartość równoważnika elektrochemicznego wynosi :

$$k = \frac{0,01058792 + 0,012631203 + 0,009090639}{3} = 0,0107699 \text{ mg/C}$$

Poniżej przedstawiono wykres zależności masy wydzielonego wodoru od czasu oraz prądu:



ad c) Pomiary przeprowadzono na stanowisku przedstawionym na poniższym rysunku:



Wartości oporu podłączonego do ogniwa zmieniano co 10 sekund odczytując dla każdej z nastaw wartości napięcia i prądu w obwodzie. Wyniki pomiarów przedstawiono poniżej:

| R [Ω] | U [V] | I [A] | N [W] | R[Ω] |
|----------------|-------|-------|-------|---------------|
| 0,00 | 0,930 | 0,330 | 0,307 | 2,818182 |
| 0,30 | 0,206 | 0,440 | 0,091 | 0,468182 |
| 0,50 | 0,262 | 0,390 | 0,102 | 0,671795 |
| 1,00 | 0,362 | 0,310 | 0,112 | 1,167742 |
| 2,00 | 0,478 | 0,220 | 0,105 | 2,172727 |
| 3,00 | 0,542 | 0,170 | 0,092 | 3,188235 |
| 5,00 | 0,613 | 0,120 | 0,074 | 5,108333 |
| 10,00 | 0,688 | 0,070 | 0,048 | 9,828571 |

| | | | | |
|--------|-------|-------|-------|------|
| 20,00 | 0,738 | 0,030 | 0,022 | 24,6 |
| 50,00 | 0,779 | 0,010 | 0,008 | 77,9 |
| 100,00 | 0,794 | 0,000 | 0,000 | inf |

W celu weryfikacji otrzymanych wartości obliczono wartości oporu z prawa Ohma, wyniki tych obliczeń umieszczono w ostatniej kolumnie powyższej tabeli.

Niepewności standardowe:

- rezystancji: $SR = \sqrt{\frac{1}{3}\Delta e^2 + \frac{1}{3}\Delta w^2}$; niepewność eksperymentatora: $\Delta e = 0,01\Omega$, niepewność wzorcowania: $\Delta w = 0,01\Omega$.
 $SR = 0,008\Omega$.
- prądu: $SI = \sqrt{\frac{1}{3}\Delta e^2 + \frac{1}{3}\Delta w^2}$ $\Delta e = 0,01A$; $\Delta w = 0,01A$ $SI = 0,008A$;
- napięcia: $SU = \sqrt{\frac{1}{3}\Delta e^2 + \frac{1}{3}\Delta w^2}$ $\Delta e = 0,01V$; $\Delta w = 0,01V$; $SU = 0,008V$.
- mocy jako niepewność wielkości złożonej: $SN = \sqrt{(I*Su)^2 + (U*Si)^2} = 0,00789W$ (jest to wartość maksymalna spośród uzyskanych).

3. Wnioski

Niespójność otrzymanych wartości równoważnika elektrochemicznego wodoru skomentowano wcześniej.

W ostatnim punkcie ćwiczenia widać wyraźnie zależność mocy ogniwa od rezystancji obciążenia – im wyższa rezystancja, tym mniejszy prąd przez nią płynie, co w związku z zależnością mocy od kwadratu prądu powoduje spadek mocy. Aby zwiększyć moc ogniwa, a tym samym podnieść wartość rezystancji granicznej, dla której w obwodzie płynie jeszcze prąd należy zwiększyć powierzchnię ogniwa, co pociągnie ze sobą generację większego napięcia na zaciskach ogniwa.