

Ćwiczenie 13

Model energetyki wodorowej oparty na ogniwie paliwowym

Patrycja Trybułowska, Zuzanna Rudzińska
Zespół 7

1 grudnia 2022

1 Cel ćwiczenia

W ćwiczeniu tym badać będziemy wytwarzanie paliwa wodorowego przy pomocy elektrolizera, zapoznamy się z jego działaniem i wyznaczymy jego sprawność.

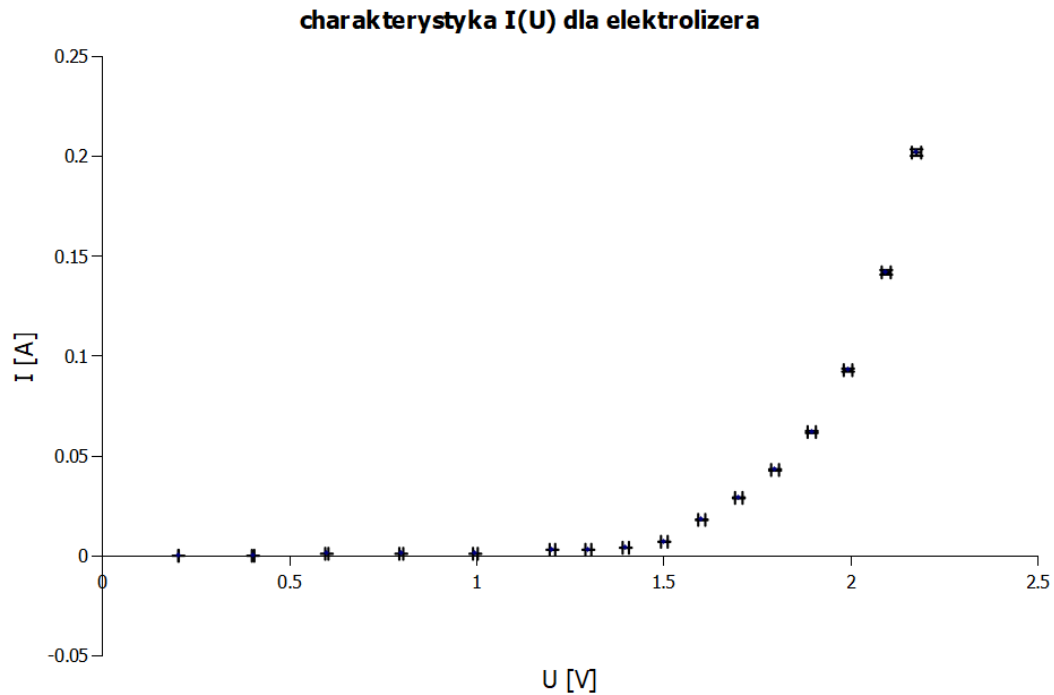
2 Wyznaczenie charakterystyki elektrycznej elektrolizera

Podłączamy układ zgodnie z instrukcją. Znajdują się w nim amperomierz, woltomierz oraz źródło prądu i elektrolizer. Zwiększając kolejno napięcie na zasilaczu do 2.2V zapisujemy odczyty mierników odczekując 2 minuty po każdej zmianie napięcia dla ustabilizowania. Wyniki pomiarów przedstawione są w tabeli poniżej. Niepewności zaś wyznaczyliśmy ze wzoru podanego w laboratorium oraz znając zakresy pomiarowe.

$U_{zasilacz}(V)$	$I(A)$	$U(V)$	$u(U)(V)$	$u(I)(A)$
0.2	0	0.2026	0.0007	$1.73 \cdot 10^{-5}$
0.4	0	0.402	0.0032	$1.73 \cdot 10^{-5}$
0.6	0.001	0.599	0.0043	$2.54 \cdot 10^{-5}$
0.8	0.001	0.798	0.0053	$2.54 \cdot 10^{-5}$
1.0	0.001	0.996	0.0063	$2.54 \cdot 10^{-5}$
1.2	0.003	1.202	0.0074	$4.16 \cdot 10^{-5}$
1.3	0.003	1.298	0.0079	$4.16 \cdot 10^{-5}$
1.4	0.004	1.398	0.0084	$4.97 \cdot 10^{-5}$
1.5	0.007	1.501	0.0090	$7.39 \cdot 10^{-5}$
1.6	0.018	1.601	0.0095	$16.28 \cdot 10^{-5}$
1.7	0.029	1.7	0.0100	$25.17 \cdot 10^{-5}$

1.8	0.043	1.797	0.0105	$36.49 \cdot 10^{-5}$
1.9	0.062	1.895	0.0110	$51.85 \cdot 10^{-5}$
2	0.093	1.992	0.0115	$76.90 \cdot 10^{-5}$
2.1	0.142	2.094	0.0120	$116.51 \cdot 10^{-5}$
2.2	0.202	2.175	0.0125	$165.01 \cdot 10^{-5}$

Następnie dla danych tych wyznaczyliśmy charakterystykę prądowo napięciową:



Rysunek 1: Charakterystyka prądowo-napięciowa elektrolizera

Aby wyznaczyć napięcie progowe elektrolizera, od którego dokonuje się elektroliza poprowadziłyśmy prostą przez dwa ostatnie punkty pomiarowe (dla 2.1V oraz 2.2V). Współczynniki dopasowanej prostej prezentują się następująco:

$$\begin{aligned} \text{a} & \quad 0.74 \frac{[\text{A}]}{[\text{V}]} \\ \text{b} & \quad -1.41 \end{aligned}$$

Współczynniki te nie mają oczywiście niepewności związanej z dopasowaniem tego względu, że były to tylko dw punkty. Mają one jednak niepewność wynikającą z niepewności napięcia i natężenia. Wzory na te współczynniki dla dwóch punktów w płaszczyźnie XY¹ zapisać można zapisać jako:

$$\begin{aligned} a &= \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \\ b &= y_1 - ax_1 \end{aligned}$$

¹dla dwóch punktów (x_1, y_1) oraz (x_2, y_2)

Przekładając to więc na nasz przypadek wyznaczamy niepewność metodą propagacji²:

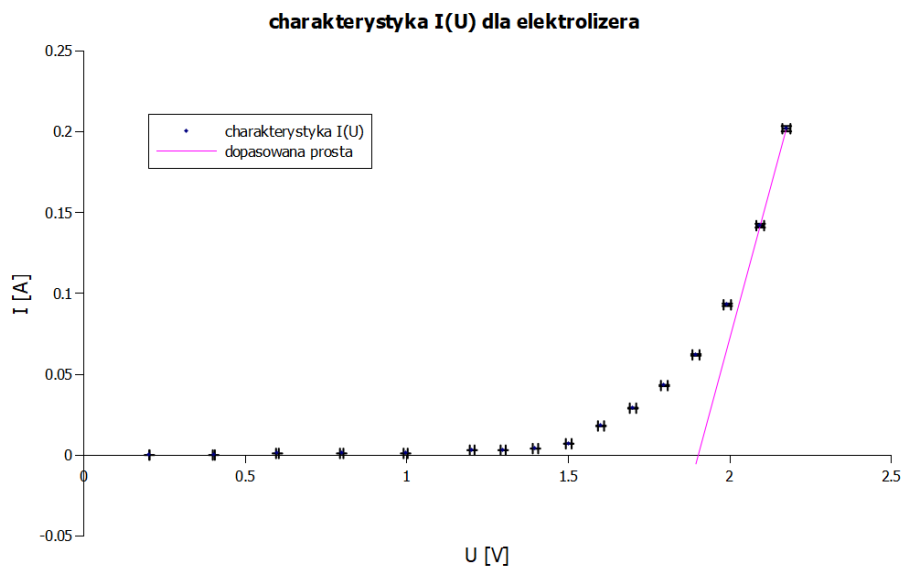
$$u(a) = \sqrt{\left(\frac{u(I(2.1))}{U(2.1) - U(2.2)}\right)^2 + \left(\frac{u(I(2.2))}{U(2.1) - U(2.2)}\right)^2 + \left(\frac{u(U(2.1))(I(2.2) - I(2.1))}{(U(2.1) - U(2.2))^2}\right)^2 + \left(\frac{u(U(2.2))(I(2.1) - I(2.2))}{(U(2.1) - U(2.2))^2}\right)^2} = 0.16 \frac{[A]}{[V]}$$

$$u(b) = \sqrt{(u(I(2.1)))^2 + (U(2.1) \cdot u(a))^2 + (U(a) \cdot u(2.1))^2} = 0.34$$

Znając tą prostą wyznaczyć możemy wyznaczyć jej punkt przecięcia z osią napięcia- czyli napięcie progowe.

$$U_p = -\frac{b}{a} = 1.9V$$

Charakterystyka wraz z dopasowaną prostą przedstawiona jest na wykresie poniżej:



Rysunek 2: Charakterystyka prądowo-napięciowa elektrolizera wraz z dopasowaną prostą

Niepewność napięcia progowego wynosi zaś:

$$u(U_p) = \sqrt{\left(\frac{u(b)}{a}\right)^2 + \left(\frac{b \cdot u(a)}{a^2}\right)^2} = 0.61V$$

3 Sprawność elektrolizera

Sprawność tego procesu obliczyliśmy zgodnie z następującym wzorem:

$$n = \frac{Q_s}{I \cdot U \cdot t} = \frac{V_{H2} \cdot H}{I \cdot U \cdot t}$$

²liczby w nawiasach oznaczają wartość napięcia lub natężenia dla tej wartości napięcia na zasilaczu

,gdzie stała

$$H = 12,75 \cdot 10^6 \frac{J}{m^3}$$

W tym celu odczytywałyśmy z multimetrów cyfrowych napięcie między zaciskami elektrolizera oraz natężenie prądu płynącego przez elektrolizer jak również objętość wytworzonego wodoru. Odczytów wspomnianych wielkości dokonywałyśmy co 5 minut. Zanotowałyśmy to napięcie, natężenie prądu, odstęp czasowy oraz objętość wydzielonego w tym czasie wodoru. Wyniki przedstawiłyśmy w poniższej tabeli:

t[min]	U[V]	u(U)[mV]	I[A]	u(I)[mA]	V[cm ³]	u(V)[cm ³]	ΔV [cm ³]	u(ΔV)[cm ³]
0	2.167	12	0.255	3.8	25	1.44	0	1.6
5	2.163	12	0.293	4.3	35	1.44	10	1.6
10	2.158	12	0.325	4.6	45	1.44	20	1.6
15	2.154	12	0.347	4.8	57.5	1.44	32.5	1.6
20	2.151	12	0.372	5.0	72.5	1.44	47.5	1.6

Tabela 1: Wyniki pomiarów objętości wodoru V, natężenia prądu I oraz napięcia U w chwilach t czasu trwania pomiaru

- Niepewność odczytu objętości

$$u(V) = \frac{2cm^3}{\sqrt{3}} \approx 1.2cm^3$$

- Niepewność ΔV

$$u(\Delta V) = \sqrt{u^2(V_i) + u^2(V_0)} = \sqrt{2 \cdot \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)cm^3} \approx 1.6cm^3$$

Doprowadzając równanie na sprawność procesu do postaci liniowej otrzymujemy:

$$HV_{H_2} = \eta UIt$$

$$y = \eta x, \text{ gdzie } y = H\Delta V, x = UIt$$

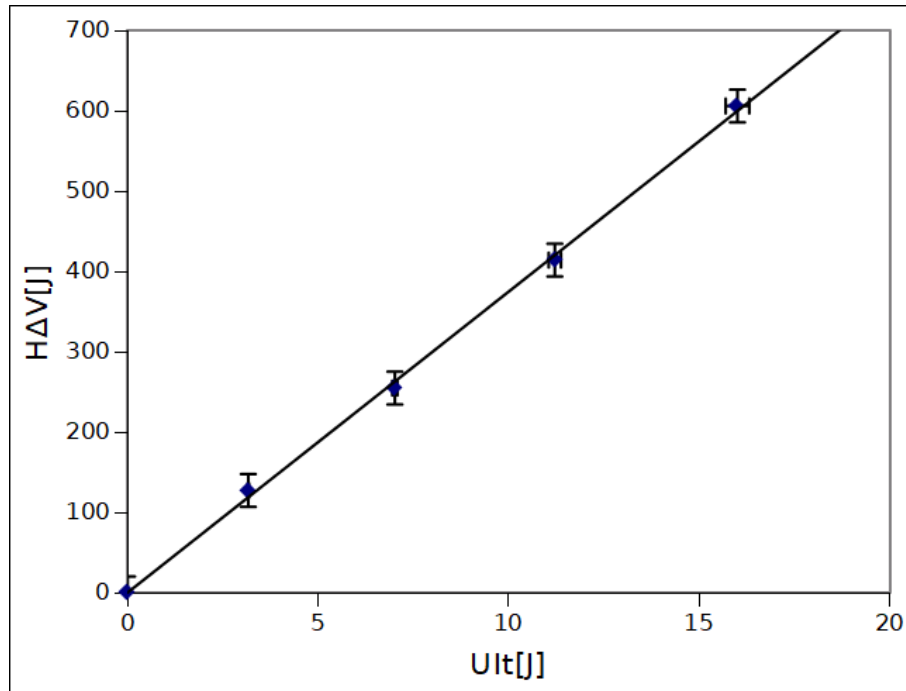
Zatem aby wyznaczyć sprawność możemy stworzyć wykres zależności w którym nachylenie dopasowanej prostej będzie szukaną przez nas sprawnością.

Zakładając niepewności ciepła spalania wodoru oraz pomiaru czasu jako zerowe możemy wyrazić niepewność x jako:

$$u(x) = \sqrt{\left(\frac{\partial x}{\partial U} \cdot u(U)\right)^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial I} \cdot u(I)\right)^2} = \sqrt{(Itu(U))^2 + (Utu(I))^2}$$

Natomiast y:

$$u(y) = H \cdot u(V)$$



Rysunek 3: Wykres zależności ciepła spalania wodoru w funkcji zużytej energii elektrycznej

Sprawność elektrolizera to współczynnik nachylenia dopasowanej metodą najmniejszych kwadratów prostej.

$$\eta = 0.6531$$

$$u_{\eta} = 0.0025$$

4 Wnioski

Na podstawie charakterystyki prądowo-napięciowej elektrolizera udało nam się wyznaczyć progowe napięcie elektrolizera, które wynosi $U_p = 1.9 \pm 0.61V$.

Możemy powiedzieć, że wykres zależności ciepła spalania wodoru w funkcji zużywanej energii elektrycznej przyjmuje postać liniową. Odczytane nachylenie prostej pozwoliło nam na wyznaczenie sprawności elektrolizera, która zgodnie z oczekiwaniami jest wysoka ($n = 65\%$) i zgodna z teoretycznymi przewidywaniami.