

11. Elektrownia na świeczkę

Drużyna: *Supernova*

Autorzy: *Aleksander Sil, Wojciech Fabjańczyk*

1. Treść zadania

Zaprojektuj urządzenie przetwarzające ciepło płomienia świecy na energię elektryczną. Zbadaj, jaki wpływ na sprawność urządzenia mają jego poszczególne cechy.

2. Wstęp

Naszym celem jest zaprojektowanie urządzenia, które przemieni energię cieplną na energię elektryczną. Jest to możliwe na kilka sposobów, na przykład:

- Użycie silnika stirlinga i prądnicy
- Użycie silnika parowego i prądnicy
- Zastosowanie zjawiska Seebecka – na tym sposobie skupimy się w naszym rozwiązaniu.

3. Zjawisko Seebecka

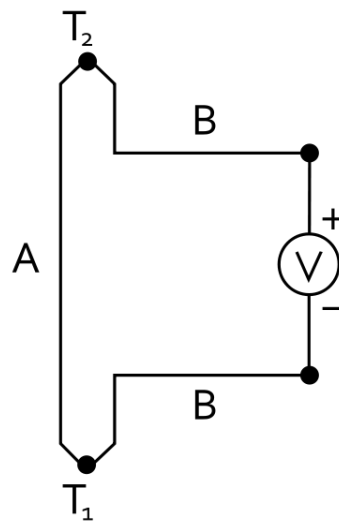
Zjawisko Seebecka polega na powstawaniu siły elektromotorycznej w obwodzie zawierającym dwa metale lub półprzewodniki gdy ich złącza znajdują się w różnych temperaturach.^[1]

Napięcie powstające w prezentowanym obok obwodzie określone jest wzorem:

$$V = (S_B - S_A) \cdot (T_2 - T_1)$$

S – współczynnik Seebecka charakterystyczny dla wybranej substancji.

T - temperatura



Ryc. 1. Obwód, w którym A i B są różnymi metalami/półprzewodnikami^[1]

4. Zastosowanie zjawiska do problemu

Zjawisko to możemy wykorzystać konstruując układ, w którego skład wchodzić będą:

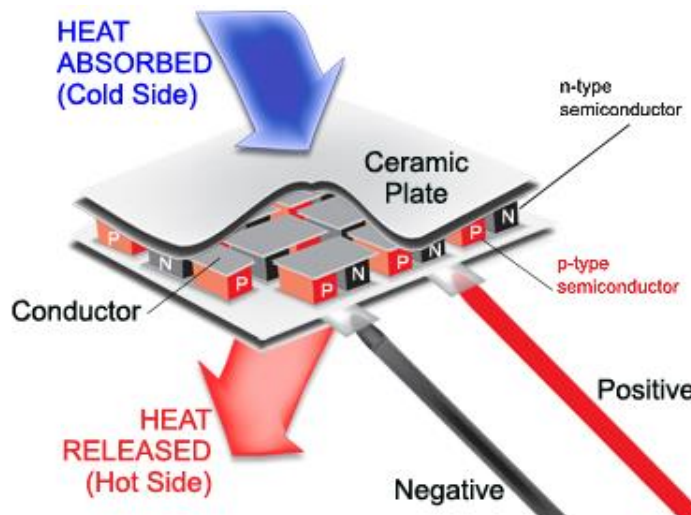
- Podgrzewacz
- Stalowa płytki
- 4 śruby (podpory)
- Moduł Peltiera
- Odprowadzenie ciepła (kalorymetr/radiator)

Do zbudowania układu użyjemy gotowego modułu Peltiera.

Moduł Peltiera składa się z dwóch cienkich płytek z ceramiki tlenków glinu, pomiędzy którymi znajdują się szeregowo ułożone przewodniki typu p i n (naprzemiennie).

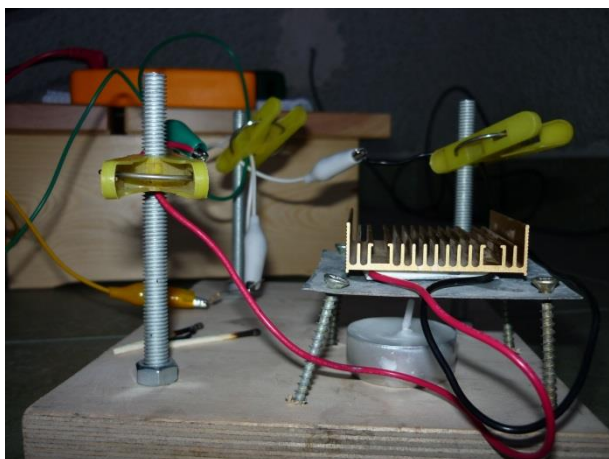
Moduł ten jest wykorzystywany do chłodzenia poprzez doprowadzenie do niego energii elektrycznej, lecz my skorzystamy z faktu, iż urządzenie to może również działać odwrotnie.

Przy wystąpieniu różnicy temperatur na dwóch płytkach modułu w obwodzie, który złożymy popłynie prąd.



Ryc. 2. Moduł Peltiera^[3]

5. Doświadczenie

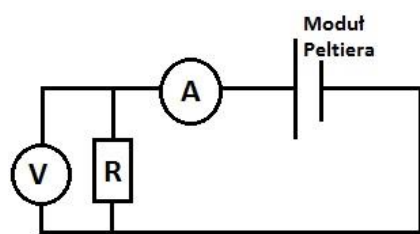


Ryc. 3. Elektrownia na świeczkę (zdjęcie własne)



Ryc. 4. Stanowisko pomiarowe (zdjęcie własne)

Zbudowana przez nas elektrownia wraz ze zmontowanym układem elektrycznym, w którego skład wchodzi woltomierz (podłączony równolegle), amperomierz oraz opornik o wartości oporu 76Ω jest widoczna na zdjęciach wyżej. Poniżej prezentujemy schemat tego układu.



Ryc. 5. Schemat układu pomiarowego (schemat własny)

W przeprowadzonym przez nas doświadczeniu ogrzewaliśmy podgrzewaczem stalową płytkę, na której znajdował się moduł Peltiera. Na module w jednym przypadku był przymocowany radiator, a dwóch kolejnych kalorymetr. Pomiędzy płytką, a modułem oraz między modułem, a radiatorem/kalorymetrem rozsmarowaliśmy cienką warstwę pasty termoprzewodzącej. Podczas przeprowadzania doświadczenia mierzyliśmy natężenie i napięcie prądu płynącego w obwodzie. Pomiar zaczynaliśmy od zmierzenia wartości tych parametrów w sytuacji, gdy świeczka nie była jeszcze podłożona, a następnie podkładaliśmy ją i przeprowadzaliśmy pomiar w czasie 12 minut – taki czas był wystarczający by układ zdołał się ustabilizować termicznie (temperatura płytki i czynnika chłodzącego nie zmieniała się znacząco w czasie).

Doświadczenie przeprowadziliśmy dla trzech czynników chłodzących:

- Radiatora – na początku doświadczenia płytka i radiator miały tą samą temperaturę równą temperaturze otoczenia.
- Kalorymetru z wodą i śniegiem – w kalorymetrze znajdowała się mieszanina wody, śniegu i lodu - która gwarantowała stałą temperaturę ok. 0 stopni Celsjusza do momentu całkowitego rozpuszczenia się lodu i śniegu
- Kalorymetru z wodą – do kalorymetru waliśmy wodę o temperaturze równej temperaturze otoczenia. Masa użytej wody była wystarczająca do utrzymania stałej temperatury - w czasie pomiaru temperatura wody w kalorymetrze nie zmieniła się dzięki dużej pojemności cieplnej wody.

Dodatkowo, aby móc wyznaczyć sprawność naszej elektrowni przeprowadziliśmy doświadczenie, w którym zmierzaliśmy moc średnią podgrzewacza.

Doświadczenie to polegało na zmierzeniu ubytku masy parafiny w czasie 10 minut. Pozwoliło nam to obliczyć moc ze wzoru:

$$P = \frac{\Delta m}{t} \cdot c_s$$

Δm – masa, która ubyła w czasie t , c_s – ciepło spalania parafiny (62 MJ/kg)^[4].

Wyniki obu doświadczeń przedstawimy razem w następnym punkcie.

6. Wyniki i analiza doświadczenia

Najpierw skupimy się na doświadczeniu z wyznaczeniem mocy średniej podgrzewacza. Doświadczenie przeprowadziliśmy na 4 podgrzewaczach dla większej dokładności. Uwzględnimy to w obliczaniu mocy dzieląc ją przez 4 (masa, którą podajemy jest masą 4 podgrzewaczy).

Zakładamy, że cała ubywająca masa parafiny ulega spalaniu. W badanych podgrzewaczach cały воск uległ już stopieniu.

t[s]	m[g]
0	36,85
600	35,32

Moc jednej parafinowej świeczki wynosi:

$$P = \frac{1}{4} \cdot \frac{(36,85 - 35,32) \cdot 10^{-3}}{600} \cdot 62 \cdot 10^6 = 39,5 \text{ W}$$

Niepewność pomiaru mocy oszacujemy metodą różniczki zupełnej:

$$dP = \frac{c_s}{4} \cdot \left(\Delta m \cdot \left| \frac{\partial P}{\partial m} \right| + \Delta t \cdot \left| \frac{\partial P}{\partial t} \right| \right) = \frac{c_s}{4} \cdot \left(\frac{\Delta m}{t} + \frac{m \cdot \Delta t}{t^2} \right)$$

gdzie $\Delta m = 0,01 \text{ g}$ – niepewność pomiaru masy, $\Delta t = 0,4 \text{ s}$ – podwojony czas reakcji człowieka (suma niepewności przy włączaniu i wyłączaniu stopera)

$$dP = 1,1 \text{ W}$$

Ostatecznie średnia moc podgrzewacza, w którym cały воск jest już stopiony wynosi:

$$P = 39,5 \pm 1,1 \text{ W}$$

Aby wyznaczyć sprawność naszej elektrowni skorzystamy ze wzoru:

$$\eta = \frac{P}{P_s}$$

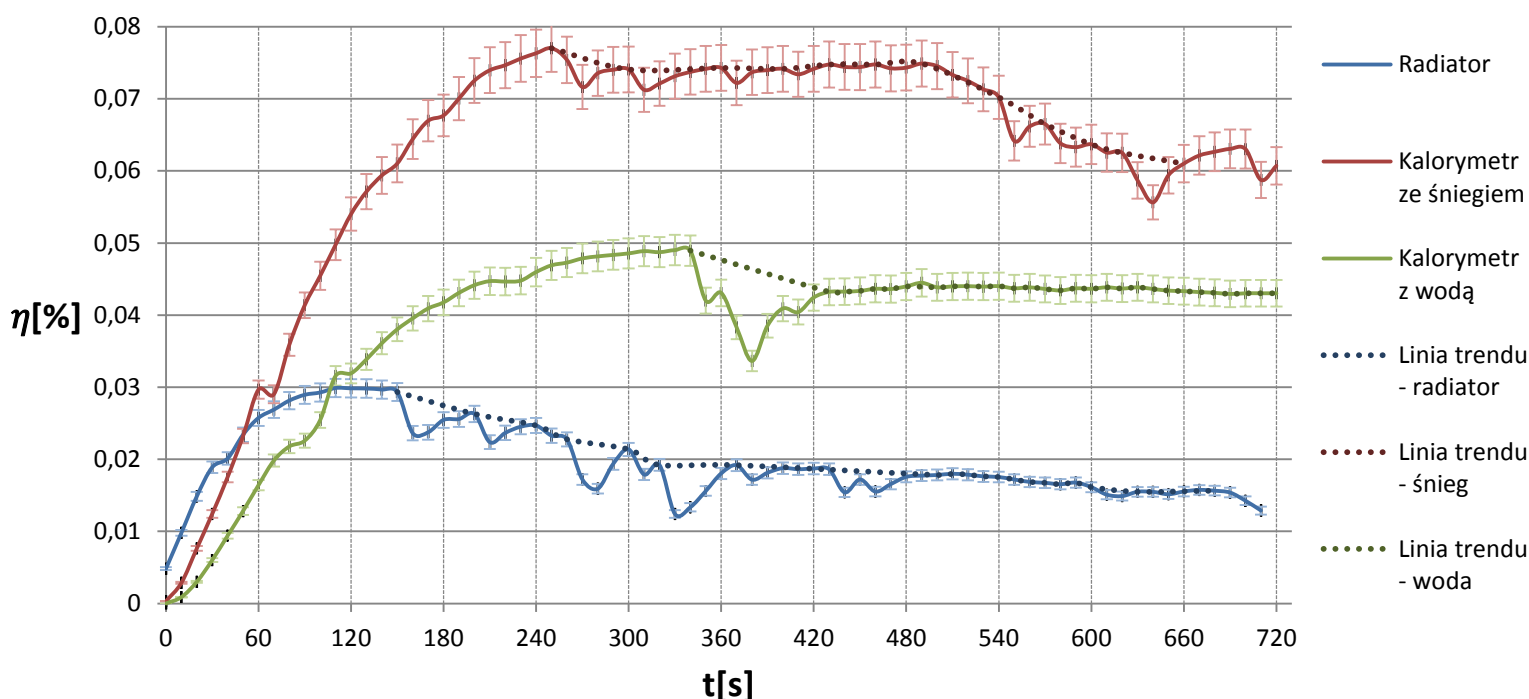
(P – moc wytworzonego prądu, P_s – moc podgrzewacza)

Po przeprowadzeniu doświadczenia dane zebraliśmy w arkuszach programu Microsoft Excel i wyliczaliśmy sprawność ze wzoru, którego końcowa postać przedstawiała się następująco:

$$\eta = \frac{U \cdot I}{P_s}$$

(I – mierzone natężeni, U – mierzone napięcie, P_s – moc podgrzewacza)

Wyniki doświadczenia przedstawimy na wykresie, a następnie omówimy:



Temperatury [°C]:

Czynnik chłodzący – radiator			Czynnik chłodzący – śnieg			Czynnik chłodzący – woda		
	Początkowa	Końcowa		Początkowa	Końcowa		Początkowa	Końcowa
Płytką	24,9 ± 2	121,6 ± 2,4	Płytką	8 ± 2	40 ± 2	Płytką	24,4 ± 2	64,3 ± 2
Radiator	24,9 ± 2	155,2 ± 3,10	Śnieg	-2 ± 1	0 ± 1	Woda	21 ± 1	26 ± 1

Jak widzimy na wykresie w zależności od czynnika chłodzącego sprawność elektrowni ulega zmianie. Wynika to z różnej różnicy temperatur pomiędzy płytką stalową, a czynnikiem chłodzącym. Najwyższą sprawność elektrowni zyskujemy przy dużej różnicy temperatur zgodnie ze wzorem na napięcie w zjawisku Seebecka (zyskujemy ją ponieważ, jeśli nasze napięcie jest większe to moc prądu wytwarzanego jest większa) :

$$U = (S_B - S_A) \cdot \Delta T$$

(S_B, S_A – współczynniki Seebecka charakterystyczne dla wybranych substancji, ΔT – różnica temperatur)

Drugim czynnikiem wpływającym na sprawność elektrowni jest zastosowany opornik. Zgodnie ze wzorami:

$$I = \frac{U}{R}$$

$$\eta = \frac{P}{P_s}$$

$$P = U \cdot I$$

$$\text{Po podstawieniach: } \eta = \frac{U^2}{P_s \cdot R}$$

Wynika z tego, że im mniejszy opór zastosujemy w układzie tym większa będzie sprawność całej elektrowni. Zastosowaliśmy opornik o oporze 76Ω ponieważ był to najmniejszy opornik jaki mieliśmy pod ręką. Dobierając opornik należałoby jednak uważać, by prąd przez niego płynący nie był zbyt duży i nie spalił opornika.

Trzecim czynnikiem, który wpływa na sprawność elektrowni są ruchy powietrza. Powodują one wahania świeczki co przekłada się bezpośrednio na sprawność urządzenia. Przy odchyleniu, podgrzewacz nie ogrzewa już tak dobrze powierzchni, która przejmuje ciepło lub podgrzewa ją w innym miejscu przez co zmniejsza się temperatura powierzchni urządzenia (powierzchnia płytki stalowej, na której przyczepiony jest moduł Peltiera, ok. 40 mm x 40mm).

Wpływ trzeciego czynnika możemy łatwo dostrzec na naszych wykresach, na których znajdują się mocne zawahania spowodowane ruchem osób trzecich w pomieszczeniu pomiarowym. W momencie, gdy ruchy powietrza są zanedbywalnie małe, sprawność elektrowni jest stała. Na wykresach dodaliśmy linie trendu, które pokazują jak prawdopodobnie wyglądałby wykres sprawności elektrowni w czasie, gdyby owych ruchów nie było.

Są również inne czynniki mogące mieć wpływ na sprawność elektrowni, lecz nie mieliśmy możliwości ich zbadać ze względu na brak materiałów.

Jednym z takich czynników jest rodzaj zastosowanej pasty termoprzewodzącej. U nas zastosowaliśmy pastę dołączaną modułów Peltiera przy zakupie. Prawdopodobnie była to pasta średniej jakości. Możliwe jednak, że przy użyciu wysokiej jakości pasty termoprzewodzącej, np. na bazie srebra, sprawność elektrowni uległaby zmianie. Jednak przy próbowaniu innych past termoprzewodzących należałoby uważać, by temperatura płytki pod modulem nie przekraczała temperatury maksymalnej dla danej pasty.

Kolejnym czynnikiem, który można by zbadać to rodzaj płytki pod modulem. W zależności od przewodnictwa cieplnego płytki, sprawność naszej elektrowni zmniejszyłaby się lub zwiększyła.

Następny czynnik to półprzewodniki zastosowane w module Peltiera. Niestety nie było nam dane znaleźć dokładnych informacji na temat tych zastosowanych w naszym module Peltiera. Półprzewodniki bezpośrednio wpływają na moc prądu wytwarzanego, ponieważ od ich współczynników Seebecka zależy napięcie wytwarzane podczas procesu.

Ostatnim czynnikiem, który tu opiszę jest rodzaj świeczki, który ogrzewa naszą elektrownię. Jest to nasze źródło energii. Od jej mocy zależna jest sprawność całej elektrowni. Wpływ mogłaby mieć również sadza, która zbiera się na spodzie płytki. Sadza inaczej przewodzi ciepło niż stalowa płytka więc mogłoby mieć to wpływ na sprawność układu.

Błędy pomiarowe:

Błędy pomiarów temperatur wynikały ze specyfikacji urządzeń mierniczych. Woda i śnieg mierzone były za pomocą termometru rtęciowego z dokładnością $\pm 1^\circ\text{C}$. Pozostałe obiekty badane były pirometrem optycznym, którego błąd wynosił: $\pm 2^\circ\text{C}$ lub $\pm 2\%$. W zależności od sytuacji należało wybrać wariant pesymistyczny.

Błędy pomiarowe sprawności oszacowaliśmy metodą różniczki zupełnej:

$$d\eta = \left| \frac{\partial \eta}{\partial U} \right| \Delta U + \left| \frac{\partial \eta}{\partial I} \right| \Delta I + \left| \frac{\partial \eta}{\partial P_{max}} \right| \Delta P_{max}$$

$$d\eta = \frac{I \Delta U}{P_{max}} + \frac{U \Delta I}{P_{max}} + \frac{UI \Delta P_{max}}{P_{max}^2}$$

Ponieważ

$$\Delta U = U \cdot w_U$$

$$\Delta I = I \cdot w_I$$

$$w_{P_{max}} = \frac{\Delta P_{max}}{P_{max}}$$

(gdzie w_x – błąd względny wielkości x)

Otrzymujemy:

$$d\eta = \frac{IU}{P_{max}} (w_U + w_I + w_{P_{max}})$$

W szczególności, ponieważ $\eta = \frac{IU}{P_{max}}$, otrzymujemy następujący wzór na błąd względny sprawności:

$$w_\eta = \frac{d\eta}{\eta} = w_U + w_I + w_{P_{max}} \approx 4,285 \%$$

7. Wnioski

Użycie modułu Peltiera do przemiany energii cieplnej świeczki w energię elektryczną jest metodą o dosyć niskiej sprawności. Jest to jednak prosty i dosyć tani do skonstruowania układ. Przy większych nakładach finansowych i przy okazji zimowych dni można by zbudować ścianę z małych modułów Peltiera z przestrzenią między nimi wypełnioną izolatorami ciepła i zastosować w ocieplanym budynku do produkcji energii elektrycznej. Jest to jednak na tyle mało wydajne urządzenie, że taki pomysł byłby bardziej ‘ciekawostką’ niż realną metodą produkcji (oszczędzenia energii) ze względu na duży (w takim wypadku) koszt produkcji.

8. Bibliografia:

¹ http://pl.wikipedia.org/wiki/Zjawisko_Seebecka

² http://pl.wikipedia.org/wiki/Modu%C5%82_Peltiera

³ <http://allegro.pl/ogniwo-modul-peltiera-12v-60w-tec1-12706-do-cpu-i3848426289.html>

⁴ http://www.u.lodz.pl/~wibig/konkurs_PTF_2013/Swinice.doc