

WFİS	Imię i nazwisko: 1. 2.		ROK	GRUPA	ZESPÓŁ
PRACOWNIA FIZYCZNA I i II	TEMAT:				NR ĆWICZENIA
Data wykonania:	Data oddania:	Zwrot do poprawy:	Data oddania:	Data zliczenia:	OCENA

Cel ćwiczenia:

Zapoznanie się ze zjawiskiem Seebecka i Peltiera. Zastosowanie elementu Peltiera do chłodzenia i zamiany energii cieplnej w energię elektryczną.

Wstęp teoretyczny:

Zjawisko Peltiera polega na tym, że przy przepływie prądu elektrycznego przez złącza dwu materiałów obserwujemy wytwarzanie względnie pochłanianie ciepła. Zjawisko to jest odwracalne. Moc ciepła Peltiera (ilość ciepła w jednostce czasu) jest proporcjonalna do przepływającego prądu:

$$Q = p \cdot I$$

Współczynnik Peltiera p zależy przede wszystkim od rodzaju złącza i temperatury.

Zjawisko to zachodzi dla metali, ale efekt najsilniejszy jest dla półprzewodników. Rozważmy dwa złącza wykonane z materiału półprzewodnikowego o przewodnictwie elektronowym i dziurowym. Kierunek przepływu dodatnich dziur jest przeciwny niż ujemnych elektronów. Dlatego w pierwszym złączu następuje rekombinacja dziur i elektronów, które wskakując na „puste” miejsca, a uwolniona energia wydziela się w postaci ciepła. Odwrotny proces zachodzi w drugim złączu.

Z faktu, że efekt Peltiera jest odwracalny wynika, że w obwodzie, dla którego te złącza mają różne temperatury może być generowany prąd. Aby prąd mógł płynąć, w układzie dwóch złączy musi powstać napięcie termoelektryczne, które jest proporcjonalne do różnicy do temperatury a współczynnik proporcjonalności to tzw. współczynnik Seebecka. Najważniejszym zastosowaniem elementów Peltiera jest wytworzenia temperatury niższej od temperatury otoczenia. Maksymalnie temperatury można obniżyć o:

$$\Delta T_{\max} = \frac{p^2}{K\rho},$$

gdzie K - współczynnik proporcjonalności a ρ to oporność właściwa materiału. Dla półprzewodników ta różnica wynosi od 60 do 70 stopni.

W elemencie Peltiera zachodzi przemiana pracy (prądu elektrycznego) na ciepło lub odwrotnie i podlegają one ogólnym prawom termodynamiki.

Silnik pobiera ciepło Q_1 ze zbiornika o wyższej temperaturze T_1 , wykonuje pracę W i pozostałe ciepło równe $Q_2=Q_1- W$ przekazuje do chłodnicy o temperaturze T_2 .

Sprawność silnika to:

$$\eta = \frac{W}{Q_1}.$$

Dla idealnego silnika cieplnego, zwanego silnikiem Carnota, sprawność to:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Kierunek działania silnika można odwrócić. Do silnika dostarczamy pracę W . Silnik pobiera wtedy ciepło Q_2 ze zbiornika o temperaturze niższej i dostarcza ciepło Q_1 do zbiornika o temperaturze wyższej.

Jeżeli celem działania maszyny cieplnej jest uzyskanie temperatury niższej od temperatury otoczenia, wtedy mówimy o chłodziarce. Wydajność chłodzenia to stosunek uzyskanego odpływu ciepła o niższej temperaturze do włożonej pracy:

$$\eta_c = \frac{Q_2}{W}$$

W przypadku pompy cieplnej kierunki przepływu ciepła i pracy są takie same jak chłodziarki, ale celem jest uzyskanie ciepła Q_1 (o wyższej temperaturze T_1) kosztem pracy W i ciepła Q_2 pobranego z otoczeniem:

$$\eta_h = \frac{Q_1}{W}$$

Element Peltiera stanowi maszynę cieplną, która może działać jako silnik, chłodziarka i pompa cieplna.

Element Peltiera w formie płytki przyklejony jest do chłodnicy – masywnego bloku materiału. Położenie na elemencie zlewki z wodą o temperaturze 100°C wytwarza energię wystarczającą do zaświecenia małej żarówki. Pomiar polega na pomiarze w funkcji czasu temperatury zlewki T_1 oraz wartości napięcia i natężenia prądu.

W celu wyznaczenie sprawności trzeba wyznaczyć ciepło i pracę:

$$\eta = \frac{\int U I dt}{(m_w c_w + m_n c_n) \Delta T_1}$$

gdzie w - woda; n – naczynie;

Aby element zadziałał jako chłodziarka lub pompa cieplna trzeba go zasilić zewnętrznego źródła prądu. W zależności od kierunku prądu zaobserwujemy obniżanie temperatury wody w zbiorniczku aż do osiągnięcia temperatur bliskich 0° , względnie wzrost temperatury.

Wydajność chłodzenia (grzania) to:

$$\eta_{c,h} = \frac{(m_w c_w + m_n c_n) \Delta T}{\int U I dt}$$

Wyniki pomiarów:

POMIARY PRÓBNE			
nr żarówki	I [mA]	U [V]	T [°C]
3	1,60	0,710	87,9
4	1,65	0,697	85,3
3 i 4	2,95	0,426	83,2
3	1,60	0,661	76,7
4	1,60	0,665	77,5
3 i 4	2,80	0,331	79,0

Tabela 1

masa pojemnika [g]:	30,666
----------------------------	--------

Tabela 2

SILNIK CIEPLNY			
<i>pomiar pierwszy</i>			
masa wody [g]:		119,462	
T [°C]	U [V]	I [mA]	t [s]
81,9	0,801	175	0
72,6	0,778	165	120
67,3	0,766	165	240
63,0	0,625	160	360
59,0	0,507	150	480
55,8	0,405	140	600
52,8	0,319	138	720
50,0	0,248	130	840
<i>pomiar drugi</i>			
masa wody [g]:		122,641	
84,1	1,005	190	0
76,2	0,785	170	120
70,5	0,668	160	240
68,4	0,620	155	360
66,3	0,573	150	480
62,6	0,490	150	600
59,6	0,415	140	720
56,3	0,340	140	840
53,9	0,288	135	960
51,2	0,235	130	1080

Tabela 3

POMPA CIEPLNA		
masa wody [g]:	116,265	
ustalony prąd I [A]:	2	
T [°C]	U [V]	t [s]
22	7,23	0
25	7,42	65
28	7,46	103
30	7,66	156
31	7,67	172
32	7,68	184
33	7,83	280
34	8,14	311
35	8,37	344
36	8,38	364
37	8,71	402
38	8,85	432
39	8,91	462
40	9,07	492

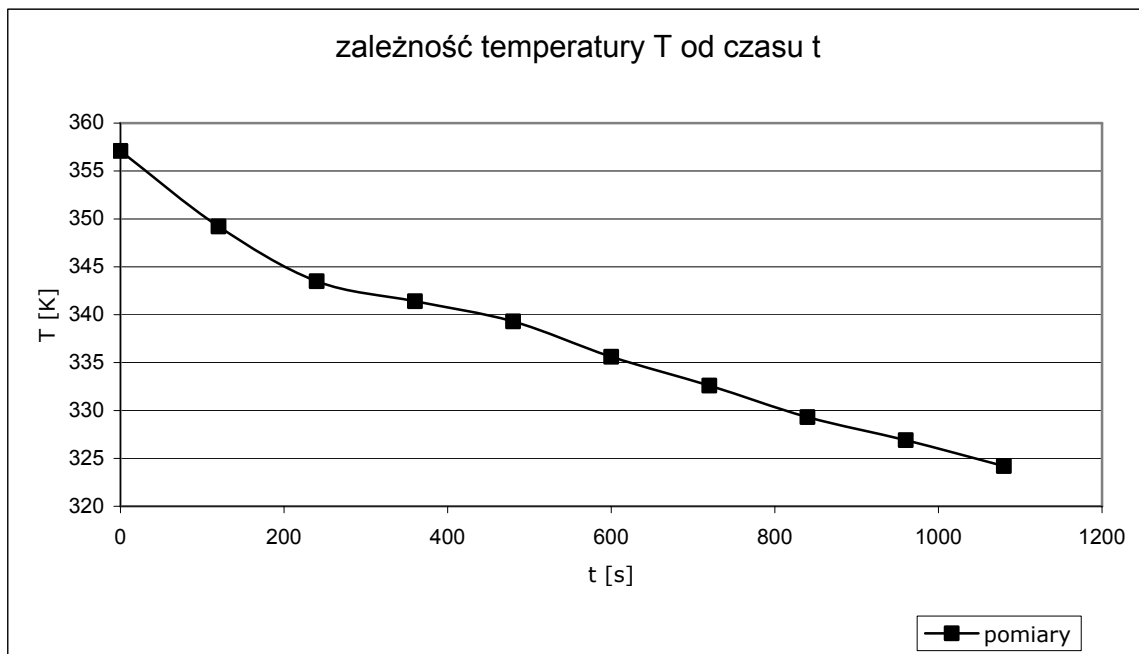
Tabela 4

CHŁODZIARKA		
masa wody [g]:	121,943	
ustalony prąd I [A]:	2	
T [°C]	U [V]	t [s]
20	6,24	0
18	6,47	32
16	6,67	106
15	6,70	168
14	6,77	186
13	6,78	296
12	6,83	397
11	6,89	505
10	6,93	626
9	7,08	722
8	7,10	827
7	7,07	954
6	7,08	1100
5	7,10	1249

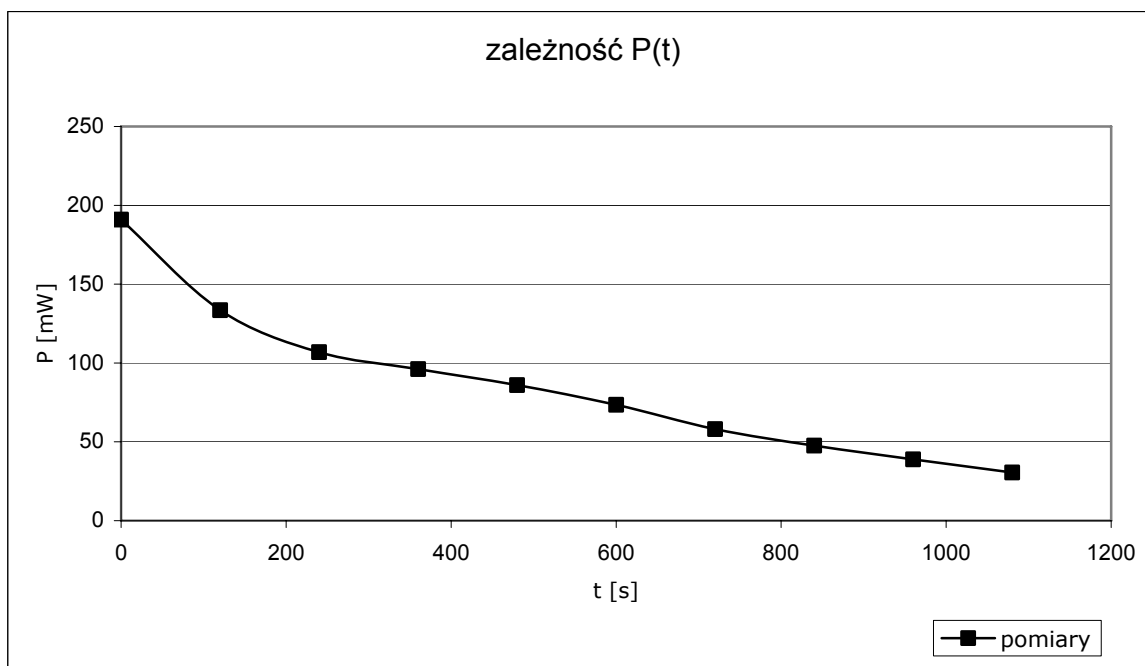
Tabela 5

Opracowanie wyników pomiarów:

SILNIK CIEPLNY



Powyższy wykres przedstawia zależność temperatury od czasu trwania pomiaru. Jest on wykonany dla danych z drugiego pomiaru – tabela 3.



Zależność mocy elementu Peltiera od czasu. Wykres wykonany na podstawie danych z drugiego pomiaru – tabela 3. Porównując oba wykresy można łatwo zauważyć zależność między mocą, a temperaturą. Związek ten można zaobserwować na wartościach napięcia i natężenia prądu, które maleją razem ze spadkiem temperatury.

Poniższe dane zaczerpnięto z tablic:

ciepło właściwe wody $c_w \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$:	4175,40
ciepło właściwe naczynia $c_n \left[\frac{J}{kg \cdot K} \right]$:	902,50

Tabela 6

W celu zbadania wartości ciepła Q , wykonanej pracy W oraz sprawności η wybrano następujące przedziały temperaturowe:

pomiar pierwszy:

$$T_1 = 72,6^\circ C \quad \Delta T = 9,6^\circ C$$

$$T_2 = 63,0^\circ C$$

$$t = 240s$$

Na podstawie danych z tabel 2,3 i 6 oraz wzoru:

$$Q = (c_w m_w + c_n m_n) \Delta T = 5,050 kJ \approx 5kJ$$

$$U_{sr} = \frac{0,778 + 0,766 + 0,625}{3} = 0,723V$$

$$I_{sr} = \frac{0,165 + 0,162 + 0,160}{3} = 0,162A$$

Wartość energii prądu elektrycznego (czyli pracy) W obliczono ze wzoru:

$$W = \int U_{sr} \cdot I_{sr} \cdot dt = 28,11J$$

Sprawność elementu Peltiera jako silnika cieplnego wynosi:

$$\eta_1 = \frac{W}{Q} \cdot 100\% = 0,56\%$$

Natomiast sprawność silnika Carnota w badanych warunkach wynosi:

$$\eta_{Carnota} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{(273 + 72,6) - (273 + 63,0)}{(273 + 72,6)} \cdot 100\% = 2,78\%$$

pomiar drugi:

$$T_1 = 76,2^\circ\text{C} \quad \Delta T = 7,8^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 68,4^\circ\text{C}$$

Na podstawie danych z tabel 2,3 i 6 oraz wzoru:

$$Q = (c_w m_w + c_n m_n) \Delta T = 4,209 \text{ kJ} \approx 4,2 \text{ kJ}$$

$$U_{sr} = \frac{0,785 + 0,668 + 0,620}{3} = 0,69 \text{ V}$$

$$I_{sr} = \frac{0,170 + 0,160 + 0,155}{3} = 0,162 \text{ A}$$

Wartość energii prądu elektrycznego (czyli pracy) W obliczono ze wzoru:

$$W = \int U_{sr} \cdot I_{sr} \cdot dt = 26,87 \text{ J}$$

Sprawność elementu Peltiera jako silnika cieplnego wynosi:

$$\eta_2 = \frac{W}{Q} \cdot 100\% = 0,64\%$$

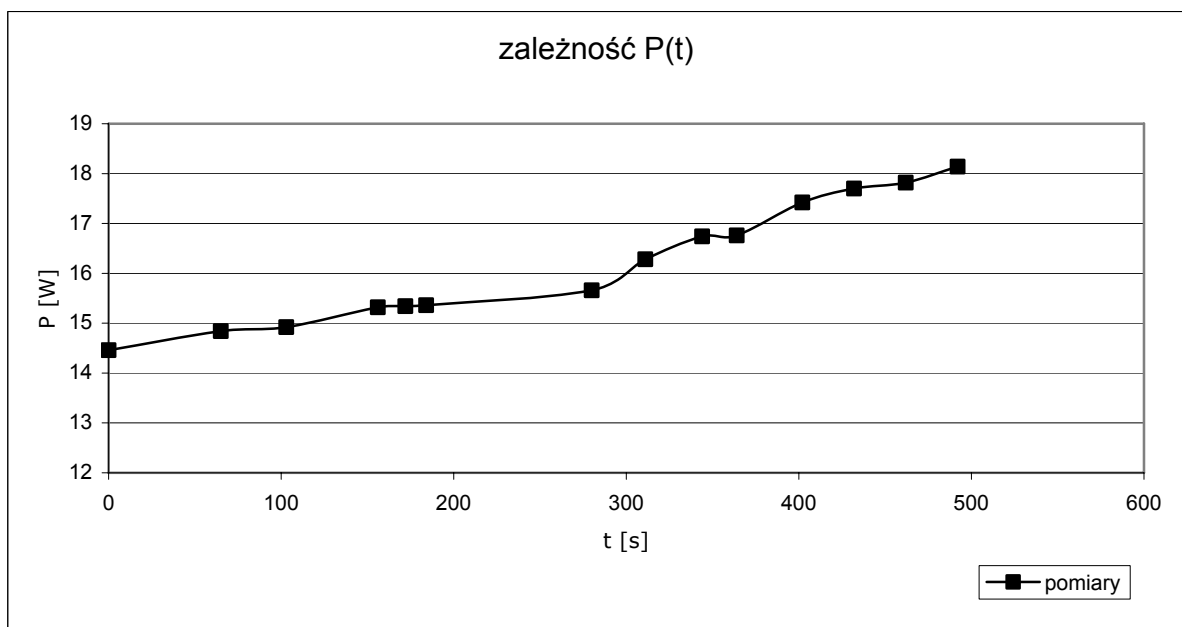
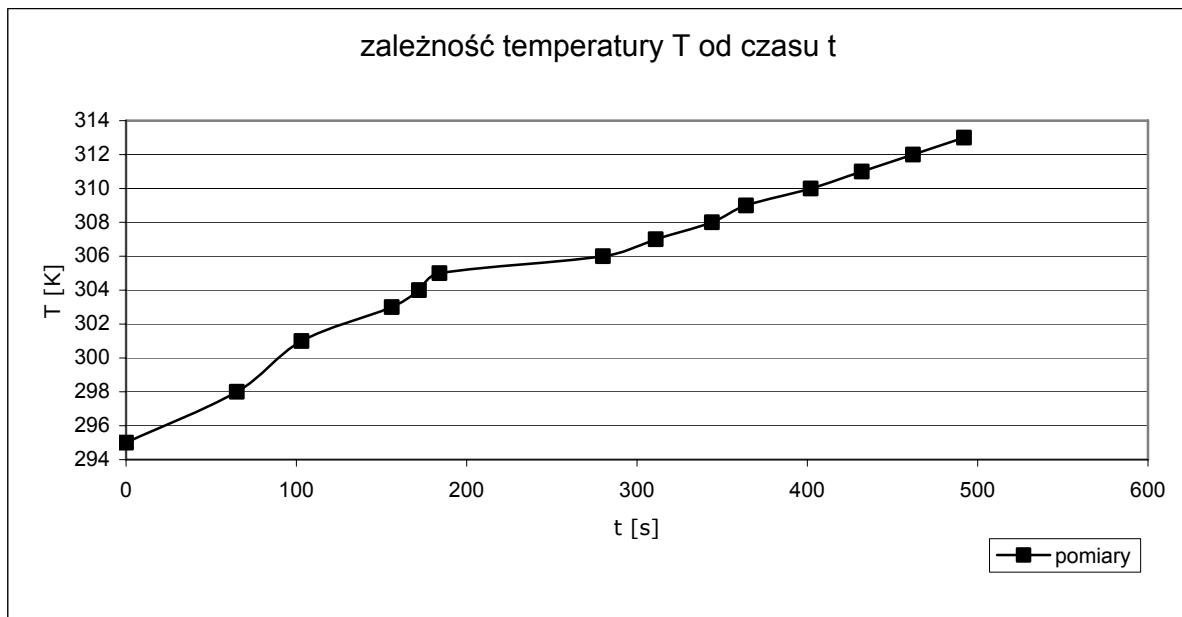
Natomiast sprawność silnika Carnota w badanych warunkach wynosi:

$$\eta_{Carnota} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{(273 + 76,2) - (273 + 68,4)}{(273 + 76,2)} \cdot 100\% = 2,23\%$$

Podsumowując, element Peltiera pracujący jako silnik cieplny ma średnią sprawność:

$$\eta = \frac{\eta_1 + \eta_2}{2} = 0,6\%$$

POMPA CIEPLNA



Z powyższych wykresów można wywnioskować, że wraz ze wzrostem temperatury rośnie także moc układu. Można dojść do takiego samego wniosku analizując wyniki pomiarowe zebrane w tabeli 4. Wraz ze wzrostem temperatury zaobserwowano wzrost mierzonego napięcia, co w rezultacie po przemnożeniu przez stały prąd ($I = 2A$) daje wzrost mocy.

W celu wyznaczenia wydajności $\eta_{pc} = \frac{(m_w c_w + m_n c_n) \Delta T}{\int UI dt}$ elementu Peltiera jako pompy

cieplnej szukamy wartości ciepła Q , oraz energii W . Wybrano następujące przedziały temperaturowe:

$$T_1 = 38^\circ C$$

$$T_2 = 28^\circ C \quad \Delta T = 10^\circ C$$

$$t = 329s$$

Na podstawie danych z tabel 2, 4 i 6 oraz wzoru:

$$Q = (c_w m_w + c_n m_n) \Delta T = 5,133 kJ \approx 5,1 kJ$$

$$U_{sr} = \frac{7,46 + 7,66 + 7,67 + 7,68 + 7,83 + 8,14 + 8,37 + 8,38 + 8,71 + 8,85}{10} = 8,075 V$$

$$I = 2 A$$

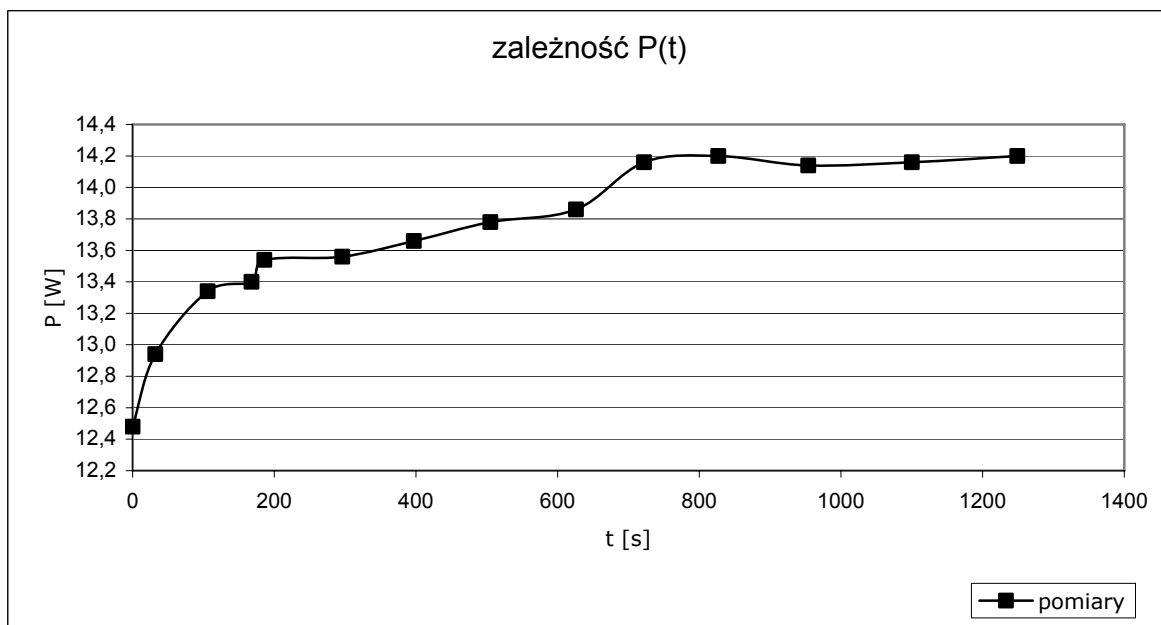
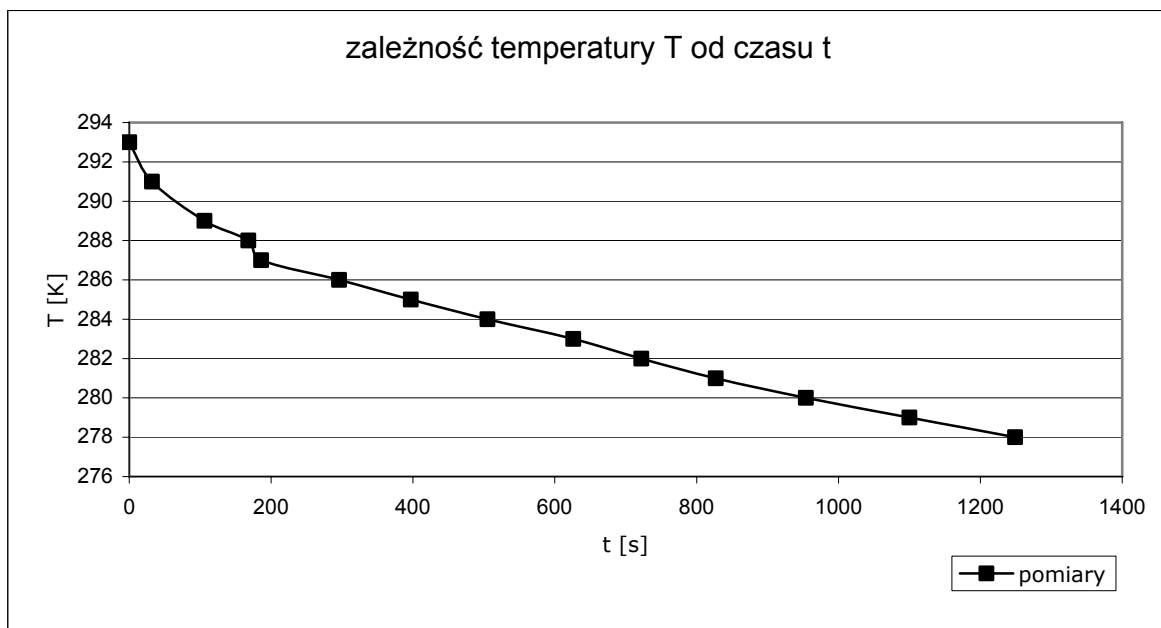
Wartość energii prądu elektrycznego (pracy) W obliczono ze wzoru:

$$W = \int U_{sr} \cdot I \cdot dt = 5,313 kJ \approx 5,31 kJ$$

Wydajność elementu Peltiera jako pompy ciepłej wynosi:

$$\eta_{pc} = \frac{Q}{W} \cdot 100\% = 96\%$$

POMPA CIEPLNA



W celu wyznaczenia wydajności $\eta_{ch} = \frac{(m_w c_w + m_n c_n) \Delta T}{\int UI dt}$ elementu Peltiera jako chłodziarki

szukamy wartości ciepła Q , oraz energii W . Wybrano następujące przedziały temperaturowe:

$$\begin{aligned} T_1 &= 16^\circ C \\ T_2 &= 8^\circ C \\ t &= 721s \end{aligned} \quad \Delta T = 8^\circ C$$

Na podstawie danych z tabel 2, 4 i 6 oraz wzoru:

$$Q = (c_w m_w + c_n m_n) \Delta T = 4,293 kJ \approx 4,3 kJ$$

$$U_{sr} = \frac{6,67 + 6,70 + 6,77 + 6,78 + 6,83 + 6,89 + 6,93 + 7,08 + 7,10}{9} = 6,86V$$

$$I = 2A$$

Wartość energii prądu elektrycznego (pracy) W obliczono ze wzoru:

$$W = \int U_{sr} \cdot I \cdot dt = 9,892 kJ \approx 9,9 kJ$$

Wydajność elementu Peltiera jako chłodziarki wynosi:

$$\eta_{ch} = \frac{Q}{W} \cdot 100\% = 43\%$$

Wnioski:

PODSUMOWANIE			
silnik cieplny	silnik Carnota	pompa cieplna	chłodziarka
$\eta_1 = 0,56\%$	$\eta_1 = 2,78\%$	$\eta_{pc} = 96\%$	$\eta_{ch} = 43\%$
$\eta_2 = 0,64\%$	$\eta_2 = 2,23\%$		

Jak widać z powyższej tabeli sprawność elementu Peltiera jako pompy cieplnej jest znacznie większa niż chłodziarki (wynika z samego faktu wydzielania się ciepła Joule'a przy przepływie prądu). Dlatego też wszelkie prace prowadzące do poprawienia wydajności chłodziarki zmierzają do zmniejszenia oporu właściwego oraz współczynnika przewodzenia ciepła.

W doświadczeniu znaczący wpływ na dokładność wyników poszczególnych pomiarów miały styki, mierniki napięcia oraz natężenia prądu w układzie. Delikatne zachwianie stołu zmieniało wartość wskazań.

Załączniki:

[1] – kratka z pomiarami;

Literatura:

[1] – red. Witold Minierski *Tablice fizyczno-astronomiczne* wyd. Adamantan Warszawa 2002