

Sprawozdanie z laboratorium proekologicznych źródeł energii

Temat:

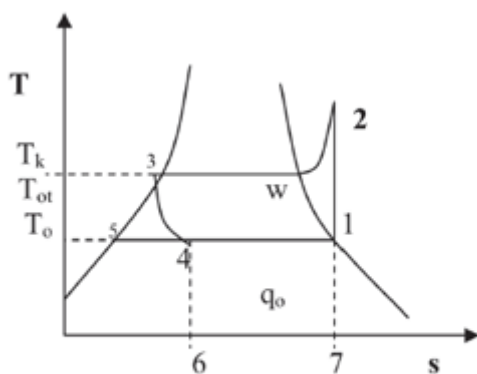
Wyznaczanie współczynnika efektywności i sprawności pompy ciepła.

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

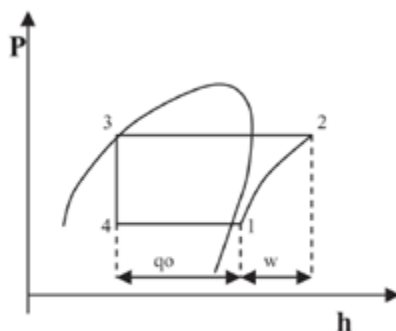
I. Wstęp teoretyczny

1. Podstawy teoretyczne pompy ciepła

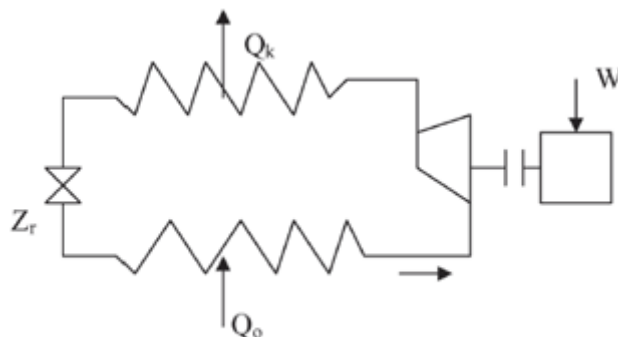
Pompa ciepła jest to urządzenie, którego celem działania jest dostarczać ciepło o temperaturze wyższej od temperatury otoczenia. Obieg termodynamiczny pompy ciepła jest obiegiem lewobieżnym, a różni się od obiegu chłodniczego tylko tym, że temperatura $T_o \leq T_{ot}$ (Rys. 1, 2 i 3).



Rys. 1



Rys. 2



Rys. 3

Oznaczenia na rysunkach 1 - 3: T_o - temperatura parowania; W - praca dostarczona do obiegu; T_k - temperatura skraplania; Q_o - ciepło parowania; T_{ot} - temperatura otoczenia; Q_k - ciepło oddane przez pompę

2. Współczynnik wydajności pomp ciepła ε (COP)

Miarą korzyści energetycznych stosowania pomp ciepła jest jej **współczynnik wydajności cieplnej** zdefiniowany jako stosunek ilości ciepła oddawanego przez pompę i ilości doprowadzonej energii do napędu urządzenia:

$$\varepsilon_{pc} = \frac{Q_k}{W}$$

gdzie:

W – praca doprowadzona do napędu pompy ciepła

Na podstawie obiegów chłodniczych (Rys.1 i 2) wyprowadzić można zależność cieplną:

$$Q_k = Q_o + W$$

Uwzględniając powyższa zależność współczynnik wydajności przyjmie zatem postać:

$$\varepsilon_{pc} = \frac{Q_k}{W} = \frac{Q_o + W}{W}$$

Analizując powyższy wzór możemy stwierdzić, że $\varepsilon_{pc} > 1$. Dla stosowanych obecnie pomp ciepła współczynnik ten osiąga wartość: $\varepsilon_p = 5-6$

3. Sprawność pomp ciepła η

Sprawność pompy ciepła wynika z ogólnego pojęcia sprawności. W liczniku będzie ta wielkość, która jest celem działania urządzenia, a więc ilość ciepła wykorzystanego do celów grzejnych (czyli ciepło pobrane ze źródła dolnego i praca dostarczona do obiegu, która zamienia się w ciepło) w mianowniku za. będzie praca dostarczona dla uzyskania tego celu. Ciepło ma różną wartość zależną od temperatury, należy zatem uwzględnić tę wartość ciepła, którą można przedstawić jako $Q_k(T)$, tak więc:

$$\eta_{pc} = \frac{Q_k \cdot \Delta T^+}{W}$$

gdzie:

$$\Delta T^+ = \frac{T_k - T_{ot}}{T_k}; \quad \eta_{pc} \leq 1$$

Sprawność pomp ciepła jest mniejsza, a w szczególnym przypadku równa jedności, ponieważ pracę można w całości zamienić w ciepło.

Dla obiegów absorpcyjnych pomp ciepła będzie miał postać:

$$\eta_{pca} = \frac{Q_k \cdot \Delta T_1^+}{Q_d \cdot \Delta T_2^+}$$

w którym:

$$\Delta T_1^+ = \frac{T_k - T_{ot}}{T_k}$$

$$\Delta T_2^+ = \frac{T_d - T_{ot}}{T_d}$$

gdzie:

T_{ot} - temperatura otoczenia

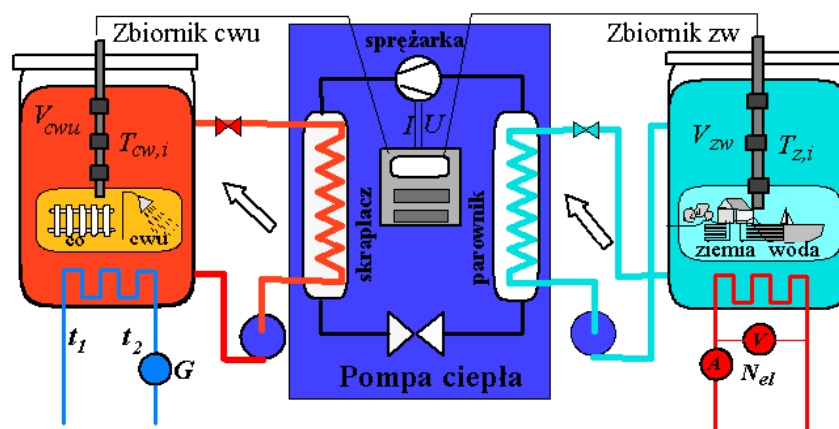
T_d - temperatura czynnika dostarczanego do obiegu absorpcyjnego jako grzejnego

W sprężarkowych pompach ciepła wysokość temperatury T_k jest ograniczona i zależy od konstrukcji sprężarki (wysokie ciśnienie sprężania), rodzaj czynnika chłodniczego, oleju smarującego, sprawności i w praktyce nie przekracza 70°C .

II. Budowa stanowiska pomiarowego oraz przebieg ćwiczenia

Stanowisko pomiarowe składa się z:

- sprężarkowej pompy ciepła z wymiennikami ciepła z węzownicą SECESPOL,
- zbiornika cwu 120 l, który modeluje zasobnik ciepłej wody do celów użytkowych cwu i do ogrzewania co.
- zbiornika zw 120 l, który modeluje dolne źródło ciepła np.: ciepło ziemi, wody, powietrza, ścieków itp.
- dwóch pomp obiegowych,
- układu regulacyjno-pomiarowego (pomiar temperatur, mocy, czasu).



Schemat stanowiska pomiarowego.

Dodatkowo stanowisko zaopatrzone jest w układ chłodzenia **zbiornika cwu** oraz dogrzewania **zbiornika zw**. Umożliwia to zapewnienie stałej temperatury dolnego, górnego lub jednocześnie dolnego i górnego źródła ciepła.

Chłodzenie realizowane jest wodą wodociągową. Pomiar objętościowego natężenia przepływu tej wody G (m^3/h) oraz temperatury na wlocie t_1 ($^{\circ}C$) i wylocie t_2 ($^{\circ}C$) umożliwia, dla stanu ustalonego lub metodą bilansową dla stanu nieustalonego, wyznaczenie strumienia ciepła oddanego w górnym źródle Q_g (kW).

Ogrzewanie elektryczne oraz pomiar mocy i czasu włączenia grzałki umożliwia wyznaczenie strumienia ciepła pobranego z dolnego źródła ciepła Q_d (kW).

1. Metodyka badawcza

Badanie pompy ciepła przeprowadzono w jednej 30 minutowej serii pomiarowej przy zmiennej temperaturze zbiornika zw i cwu, uzyskując co 5 minut dane dotyczące temperatury zbiornika cwu i zw (z uwzględnieniem gradientu pionowego), czasu i zużytej energii elektrycznej. Uzyskane w ten sposób dane zebrano w poniższej tabeli:

t [min]	0	5	10	15	20	25	30	35
T_{cwu} [$^{\circ}C$]	22,98	25,69	29,43	33,41	36,90	40,20	43,09	45,81
	25,58	25,35	29,19	33,19	36,63	39,85	42,72	45,43
	22,49	24,64	28,35	32,35	35,84	39,14	42,06	44,81
$T_{cwu\ \acute{s}r}$ [$^{\circ}C$]	23,68	25,23	28,99	32,98	36,46	39,73	42,62	45,35
T_{zw} [$^{\circ}C$]	24,63	22,15	17,40	14,48	11,86	9,44	7,38	5,51
	25,26	20,98	17,50	14,53	11,84	9,56	7,36	5,54
	25,13	21,33	18,10	14,88	12,25	9,87	7,72	6,13
$T_{zw\ \acute{s}r}$ [$^{\circ}C$]	25,01	21,47	17,67	14,63	11,98	9,62	7,49	5,73
Energia [kJ]	55,50	540	1080	1620	2160	2700	3240	3780

2. Obliczenia i wykresy:

Wymiary zbiorników naśladowujących dolne i górne źródło:

Średnica : $d = 50$ [cm] stąd promień $r = 25$ [cm] = 2,5 [dm]

Wysokość : $h = 60$ [cm] = 6 [dm]

Łatwo stąd wyznaczyć objętość V jako objętość walca. $V = h r^2 \pi$

$$V = 6 (2,5)^2 \pi = 117 [dm^3] = 117 [l]$$

Następnie obliczamy korzystając z następujących zależności:

$$\Delta T_{cwu} = T_{cwu,śr,0} - T_{cwu,śr,n}$$

$$\Delta T_{zw} = T_{zw,śr,0} - T_{zw,śr,n}$$

$$\Delta E = E_0 - E_n$$

$$N = \frac{\Delta E}{t}$$

$$\Delta T = T_{cwu,śr} - T_{zw,śr}$$

ΔT_{cwu} [°C]	ΔT_{zw} [°C]	ΔW [kJ]	N [kW]	ΔT [°C]
1,56	3,52	485	1,62	3,76
3,76	3,8	540	1,8	11,32
3,99	3,04	540	1,8	18,35
3,48	2,65	540	1,8	24,48
3,27	2,36	540	1,8	30,11
2,89	2,13	540	1,8	34,97
2,73	1,76	540	1,8	39,62

Strumienie ciepła obliczamy ze wzorów:

$$Q_{zw} = \frac{\zeta V C_p \Delta T_{zw}}{t}$$

$$V = 117l$$

$$C_{p,10C} = 4,195 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$$

$$\zeta_{10C} = 999 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$t = 300[s]$$

$$Q_{cwu} = \frac{\zeta V C_p \Delta T_{cpu}}{t}$$

$$V = 117l$$

$$C_{p,50C} = 4,178 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right]$$

$$\zeta_{50C} = 988 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

$$t = 300[s]$$

Q_{zw} [kW]	Q_{cwu} [kW]
5,74	2,54
6,2	6,13
4,96	6,5
4,32	5,67
3,85	5,33
3,47	4,71
2,87	4,45

Współczynnik efektywności obliczamy korzystając ze wzoru:

$$\varepsilon = \frac{Q_{cwu}}{N}$$

Sprawność uzyskujemy z zależności:

$$\eta = \frac{Q_{cwu}}{N + Q_{zw}}$$

ε	η
1,56	0,35
3,4	0,77
3,61	0,96
3,15	0,93
2,96	0,94
2,62	0,89
2,47	0,95

Średni współczynnik efektywności jest równy:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{\sum \varepsilon}{n} = \frac{19,77}{7} = 2,82$$

Średnia sprawność wynosi:

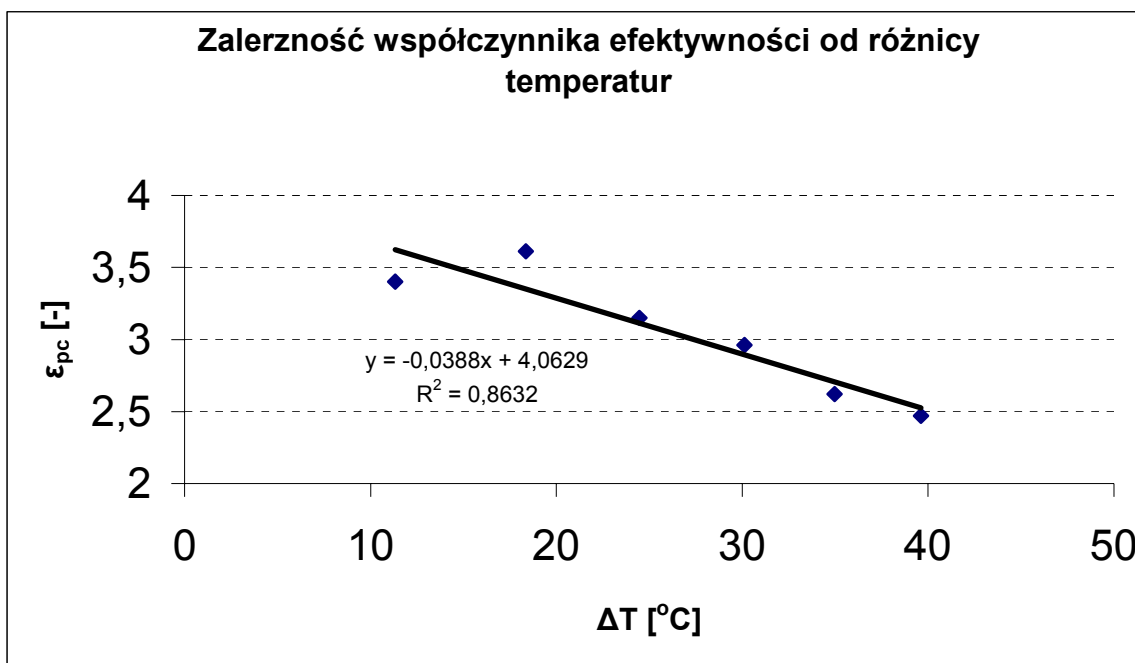
$$\bar{\eta} = \frac{\sum \eta}{n} = \frac{5,79}{7} = 0,83$$

Powyższe wartości zgodne są z wartościami oczekiwanymi tzn. współczynnik efektywności w założeniu powinien mieścić się w przedziale od 2 do 3, a jak widać powyżej jest to wartość 2,82.

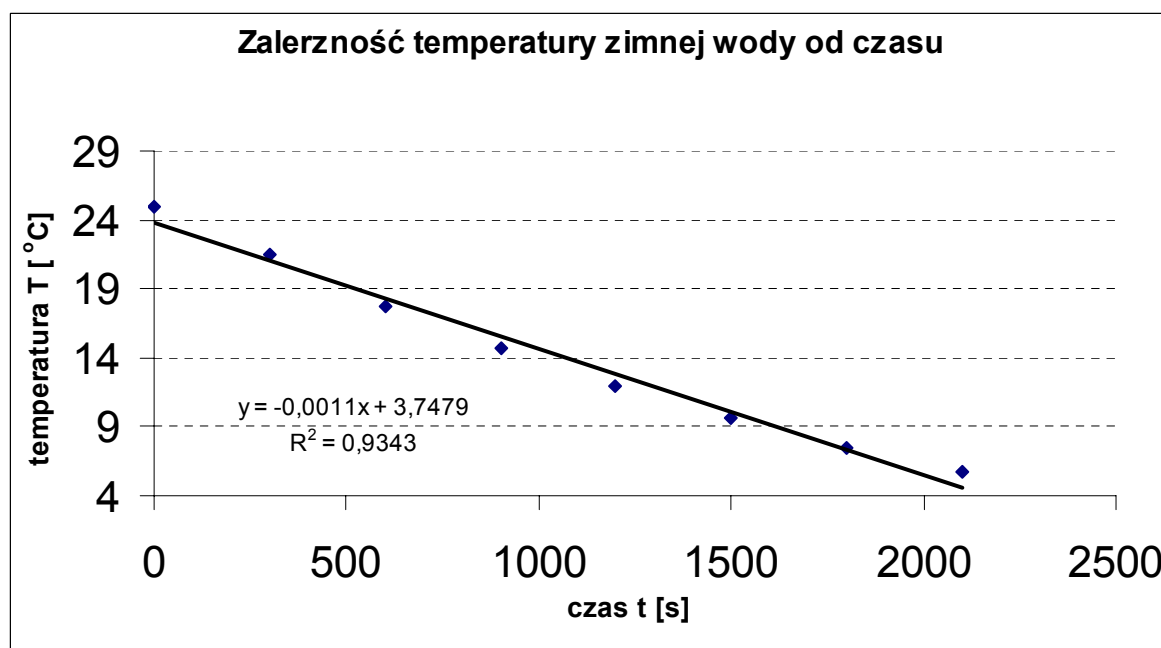
Sprawność teoretycznie powinna zawierać się w przedziale procentowym od ok. 60 do 85 procent i tak też jest – jej wartość to 83%.

Należy zauważyć iż wartość współczynnika efektywności maleje wraz ze wzrostem różnicy temperatur pomiędzy zbiornikiem cwu i zw i osiąga minimalną wartość $\varepsilon_{pc}=2,47$ dla różnicy temperatur $\Delta T= 39,62$ [°C]. Zależność ta tłumaczy konieczność stosowania ogrzewania niskotemperaturowego w rzeczywistych instalacjach z pompą ciepła

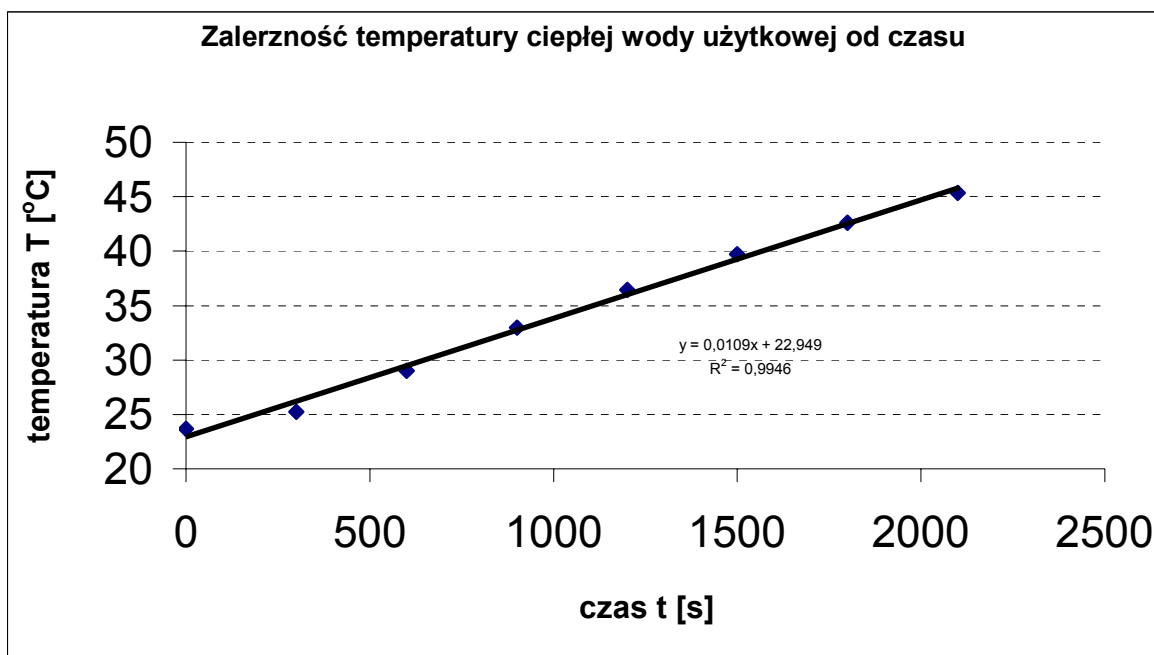
Poniżej zamieszczono wykresy zależności poszczególnych wartości wraz z dalszą analizą badanego doświadczenia.



Powyższy wykres zależności z dość dużą dokładnością przybliżyć można funkcją liniową (którą naniesiono na wykres, a dokładność wyznaczenia zweryfikowano przy użyciu współczynnika korelacji). Jak widać wykres jest potwierdzeniem wcześniejszej tezy: współczynnik efektywności maleje wraz ze wzrostem temperatury.



Jak widać na powyższym wykresie również ta zależność posiada charakter liniowy, ze stosunkowo dużym, bo sięgającym 0,93, współczynnikiem korelacji. Tym samym w 93% można powiedzieć że jest to charakterystyka liniowa. Ponadto wyraźnie widać oczekiwany spadek temperatury w czasie.



Powyższy wykres wyraźnie przybliża linia prosta ze współczynnikiem korelacji liniowej równym 0,99.

Również otrzymano oczekiwany efekt tzn. wzrost temperatury wody wraz z upływem czasu.

III. Podsumowanie i wnioski końcowe

Pompy ciepła są urządzeniami, których zadaniem jest przenoszenie ciepła z dolnego źródła o temperaturze niższej do górnego źródła o temperaturze wyższej, w celu ogrzewania wnętrza budynku. Średnia wartość efektywności procesu (miara korzyści energetycznych pomp ciepła) dla badanego układu wynosi 2,82, co jest wartością dość przeciętną. Sprawność badanego układu jest stosunkowo wysoka i wynosi 83%.

Do badanego układu nie dołączono układu grzejnego, ani wymiennika ciepła symulujących realną pracę pompy ciepła, dlatego powyższe obliczenia należy traktować jako wartości donoszone wyłącznie do samej pompy, wyizolowanej z układu. W praktyce dolne źródło posiada o wiele większą pojemność cieplną niż zastosowany w doświadczeniu zbiornik wody. Również górne źródło w praktyce połączone z wymiennikiem ciepła stanowi bardziej skomplikowany układ, dla którego bilans ciepła i sprawność byłyby za pewne niższe do doświadczalnych. Należałoby to uwzględnić przy ewentualnym planowaniu konstrukcji grzewczej opartej na pompach ciepła np. dla budynku mieszkalnego.