

Ćwiczenie laboratoryjne nr 1

Wyznaczanie współczynnika COP sprężarkowej pompy ciepła na stanowisku laboratoryjnym (demonstrator)



Rys. 1. Stanowisko demonstracyjne sprężarkowej pompy ciepła wykorzystywane w ćwiczeniu.

Zakres pomiarów w ćwiczeniu

- pomiar napięcia i prądu pobieranego przez pompę ciepła z zasilania trójfazowego 400 V;
- pomiar temperatury wody na wejściu i wyjściu strony ciepłej;
- odczyt przyrostu objętości wody z wodomierza w zadanym czasie;
- wyznaczenie energii elektrycznej, energii cieplnej oddanej wodzie oraz współczynnika COP.

Karta identyfikacyjna

Grupa	.....	Data	.....
Imię i nazwisko 1	.....	Imię i nazwisko 2	.....
Imię i nazwisko 3	.....	Imię i nazwisko 4	.....
Imię i nazwisko 5	.....	Stanowisko	Pompa ciepła – demonstrator
Nazwa szkolenia	.....	Czas pomiaru podstawowego	min. 60 s

1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest doświadczalne wyznaczenie współczynnika efektywności COP sprężarkowej pompy ciepła pracującej na stanowisku laboratoryjnym.

Uczestnik wykonuje pomiary wielkości elektrycznych i cieplnych, przelicza energię elektryczną na dżule oraz porównuje ją z energią cieplną przekazaną wodzie po stronie ciepłej układu.

Ćwiczenie ma charakter demonstracyjny. Wynik COP należy interpretować wraz z niepewnościami odczytu temperatury, przepływu, prądu, napięcia oraz przyjętym uproszczeniem dotyczącym współczynnika mocy.

2. Podstawy teoretyczne

Współczynnik COP określa stosunek uzyskanej energii cieplnej do energii elektrycznej pobranej przez urządzenie w tym samym przedziale czasu:

Wzór podstawowy: $COP = Q_{\text{ciepła}} / E_{\text{el}}$

Wartość COP jest bezwymiarowa. Dla tego ćwiczenia $Q_{\text{ciepła}}$ oznacza energię oddaną wodzie po stronie ciepłej pompy ciepła.

Przyrost temperatury: $\Delta T = T_{\text{wy}} - T_{\text{we}}$

Temperatury należy podać w °C, ale różnicę temperatur traktujemy jako K, ponieważ 1 °C różnicy = 1 K różnicy.

Masa przepływającej wody: $m = \rho \cdot \Delta V$

ρ – gęstość wody, ΔV – objętość wody, która przepłynęła przez licznik w analizowanym czasie.

Energia cieplna: $Q_{\text{ciepła}} = m \cdot c_w \cdot \Delta T = \rho \cdot \Delta V \cdot c_w \cdot \Delta T$

Dla wody przyjmujemy w ćwiczeniu $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ oraz $c_w = 4180 \text{ J/(kg}\cdot\text{K)}$.

Moc elektryczna – uproszczenie trójfazowe: $P_{\text{el}} \approx \sqrt{3} \cdot U_{\text{LL}} \cdot I_{\text{śr}}$

U_{LL} – napięcie międzyfazowe, dla stanowiska ok. 400 V; $I_{\text{śr}}$ – średni prąd liniowy. Przyjmujemy $\cos\phi \approx 1$.

Energia elektryczna: $E_{\text{el}} = P_{\text{el}} \cdot \Delta t$

Δt należy podać w sekundach, wtedy E_{el} otrzymujemy w J.

Moc cieplna średnia: $P_{\text{ciepła}} = Q_{\text{ciepła}} / \Delta t$

Dla kontroli wyniku można porównać moc cieplną z mocą elektryczną.

Uwaga dotycząca uproszczenia

- W rzeczywistym układzie trójfazowym moc czynna powinna być obliczana jako $P = \sqrt{3} \cdot U_{\text{LL}} \cdot I \cdot \cos\phi$.
- W tym ćwiczeniu przyjmujemy uproszczenie $P_{\text{el}} \approx \sqrt{3} \cdot U_{\text{LL}} \cdot I_{\text{śr}}$. W dyskusji wyników należy opisać, jak pominięcie $\cos\phi$ może wpłynąć na COP.
- Jeśli stanowisko udostępnia watomierz lub licznik energii czynnej, jego wskazania są lepszą podstawą do obliczeń niż samo U oraz I .

3. Stanowisko i aparatura pomiarowa

Stanowisko składa się z demonstracyjnej sprężarkowej pompy ciepła, obiegu wodnego strony ciepłej, zbiorników, czujników temperatury, liczników elektrycznych oraz wodomierza umożliwiającego określenie przyrostu objętości przepływającej wody.

- pompa ciepła zasilana trójfazowo 400 V;
- licznik/wskaźnik napięcia i prądu po stronie elektrycznej;
- czujniki temperatury strony ciepłej: T_{we} oraz T_{wy} ;

- wodomierz po prawej stronie stanowiska – odczyt objętości wody;
- stoper lub zegar do odmierzania czasu co 30 s;
- arkusz pomiarowy i kalkulator.

4. Odczyt przepływu z wodomierza



Rys. 2. Wodomierz używany do odczytu objętości przepływającej wody.

Jak odczytać przepływ?

- 1. Liczydło główne**
Okienko pokazuje pełne m^3
- 2. Małe tarcze**
Pokazują części m^3 .
Czytaj mnożnik wydrukowany przy tarczy, np. $x0,0001 m^3$, $x0,001 m^3$.
- 3. Pomiar w 60 s**
Dla najczulszej tarczy zlicz przejścia wskazówki.
Przykład: tarcza $x0,0001 m^3$ -> 1 działka = 0,1 l
Pełny obrót odpowiada ilości 1 litra

Rys. 3. Infografika pomocnicza: sposób odczytu wodomierza i małych tarcz ułamkowych.

Procedura odczytu wodomierza:

1. Przed rozpoczęciem pomiaru zapisz stan liczydła głównego oraz położenie wskazówki na wybranej małej tarczy.
2. Odczytuj lub obserwuj tarczę co 30 s. Minimalny czas pomiaru do obliczeń wynosi 60 s.
3. Najwygodniej zliczać przejścia wskazówki na pierwszej małej tarczy od lewej, czyli na tarczy o najmniejszym mnożniku. Należy zawsze sprawdzić mnożnik nadrukowany przy tej tarczy.
4. Jeżeli tarcza ma oznaczenie $\times 0,0001 \text{ m}^3$, to jedna działka odpowiada $0,0001 \text{ m}^3 = 0,1 \text{ l}$, a jeden pełny obrót odpowiada $0,001 \text{ m}^3 = 1 \text{ l}$.
5. Przyrost objętości ΔV można wyznaczyć jako różnicę odczytu końcowego i początkowego albo z liczby działek/przejęć wskazówki pomnożonej przez wartość działki.

Odczyt z tarczy: $\Delta V = n_{\text{działek}} \cdot k_{\text{tarczy}}$

k_{tarczy} – wartość jednej działki odczytana z oznaczenia przy tarczy, np. $0,0001 \text{ m}^3/\text{działkę}$.

Odczyt z pełnych obrotów: $\Delta V = n_{\text{obrotów}} \cdot 10 \cdot k_{\text{tarczy}}$

Dla tarczy z cyframi 0–9 pełny obrót obejmuje 10 działek.

5. Zasady BHP

- Nie wolno samodzielnie ingerować w obwody elektryczne stanowiska ani w elementy pod napięciem 400 V.
- Nie dotykać gorących elementów instalacji, przewodów grzewczych ani powierzchni mogących mieć podwyższoną temperaturę.
- Nie zmieniać nastaw zaworów bez zgody prowadzącego.
- W przypadku nietypowego hałasu, wycieku wody, zapachu przegrzania lub zaniku przepływu należy natychmiast poinformować prowadzącego.
- Odczyty wykonywać tak, aby nie zasłaniać elementów ruchomych i nie opierać się o stanowisko.

6. Przebieg ćwiczenia

1. Sprawdź wraz z prowadzącym gotowość stanowiska do pracy.
2. Uruchom pompę ciepła zgodnie z poleceniem prowadzącego i odczekaj do względnej stabilizacji temperatur oraz przepływu.
3. Zapisz odczyt początkowy wodomierza oraz temperatury T_{we} i T_{wy} po stronie ciepłej.
4. Co 30 s zapisuj napięcie, prąd oraz temperatury oraz stan wodomierza. Pomiar zasadniczy powinien trwać co najmniej 60 s.
5. Dla przedziału, np. 0–60 s, oblicz ΔV , ΔT , $Q_{\text{ciepła}}$, P_{el} , E_{el} i COP.
6. Jeżeli wykonano kilka przedziałów 60-sekundowych, oblicz COP dla każdego z nich i wyznacz wartość średnią.
7. W sprawozdaniu oceń wpływ przyjętych uproszczeń oraz możliwych błędów odczytu.

7. Dane stałe i założenia do obliczeń

Wielkość	Symbol	Wartość przyjęta	Jednostka
Gęstość wody	ρ	1000	kg/m^3
Ciepło właściwe wody	c_w	4180	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
Napięcie międzyfazowe stanowiska	U_{LL}	ok. 400	V
Czas podstawowego przedziału obliczeń	Δt	60 lub inny z tabeli	s
Współczynnik mocy w uproszczeniu	$\cos\phi$	1	—
Przeliczenie energii	1 kWh	3 600 000	J

8. Tabela pomiarowa – odczyty co 30 sekund

Wypełnij tabelę podczas pracy stanowiska. Jeśli dostępny jest tylko jeden odczyt prądu, wpisz go w kolumnie I_{sr}. Jeżeli dostępne są trzy prądy fazowe, wpisz I₁, I₂, I₃ i oblicz I_{sr}.

Nr	t [s]	U_L1 [V]	U_L2 [V]	U_LL [V]	I1 [A]	I2 [A]	I3 [A]	T_we [°C]	T_wy [°C]	ΔT [K]	Licznik V [m ³]	Uwagi
1	0											
2	30											
3	60											
4	90											
5	120											

9. Miejsce na notatki podczas pomiarów

Dla każdego przedziału wpisz odczyt początkowy i końcowy objętości. Do obliczenia COP można przyjąć średnią temperaturę i średni prąd z danego przedziału.

Przedział	Δt [s]	V1 [m ³]	V2 [m ³]	ΔV [m ³]	I _{sr} [A]	ΔT _{sr} [K]	P _{el} [W]	E _{el} [J]	Q _{ciepła} [J]	COP
0–60	60									
30–90	60									
60–120	60									

10. Miejsce na obliczenia studenta

- Moc elektryczna:** $P_{el} \approx U_{L1} \cdot I_{L1} + U_{L2} \cdot I_{L2} + U_{L3} \cdot I_{L3} = \dots\dots\dots W$
- Energia elektryczna:** $E_{el} = P_{el} \cdot \Delta t = \dots\dots\dots J$ (Δt ilość czasu w odpowiednich jednostkach)
- Przyrost objętości wody:** $\Delta V = V_2 - V_1 = \dots\dots\dots m^3$ (Przy krótkich pomiarach ilości przejść wskazówki przez zero najszybciej obracającego się wskaźnika)
- Masa wody:** $m = \rho \cdot \Delta V = \dots\dots\dots kg$
- Przyrost temperatury:** $\Delta T = T_{wy} - T_{we} = \dots\dots\dots K$
- Energia cieplna oddana wodzie:** $Q_{ciepła} = \rho \cdot \Delta V \cdot c_w \cdot \Delta T = \dots\dots\dots J$
- Współczynnik COP:** $COP = Q_{ciepła} / E_{el} = \dots\dots\dots$

11. Wyniki końcowe

Wielkość	Symbol	Wynik	Jednostka
Średnia moc elektryczna	P_{el}	.....	W
Energia elektryczna w przedziale	E_{el}	.....	J
Energia cieplna oddana wodzie	$Q_{ciepła}$	.....	J
Średnia moc cieplna	$P_{ciepła}$	.....	W
Współczynnik efektywności	COP	.....	—

12. Pytania kontrolne i dyskusja wyników

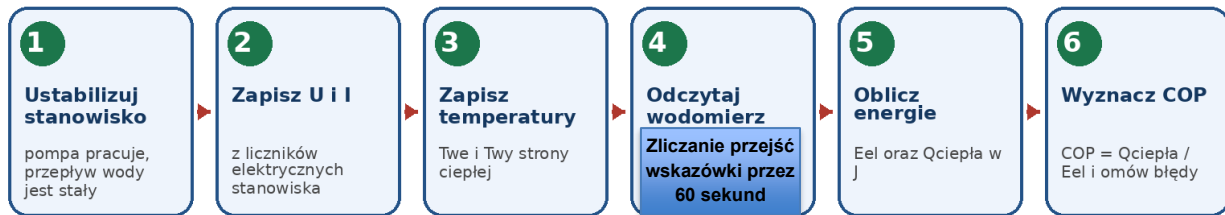
- Dlaczego w obliczeniach energii cieplnej stosuje się różnicę temperatur ΔT , a nie bezwzględną temperaturę wody?
.....
- Co oznacza współczynnik COP i dlaczego może być większy od 1?
.....
- Jaki wpływ na wynik COP ma błąd odczytu przepływu z wodomierza?
.....
- Jaki wpływ na wynik COP ma błąd odczytu temperatury T_{we} i T_{wy} ?
.....
- Dlaczego w rzeczywistym obiekcie warto uwzględnić współczynnik mocy $\cos\phi$ albo bezpośredni pomiar mocy czynnej?
.....
- Czy wynik wyznaczony na stanowisku demonstracyjnym można bezpośrednio porównać z katalogowym COP pompy ciepła? Uzasadnij odpowiedź.
.....
- Jak zmieniłby się COP, gdyby przy tym samym poborze energii elektrycznej zwiększył się przepływ wody, ale zmniejszyła się różnica temperatur?
.....
- Wymień trzy źródła niepewności pomiarowej w tym ćwiczeniu.
.....

13. Wnioski ze sprawozdania

- Oceń, czy temperatura i przepływ były stabilne podczas pomiaru.
- Podaj wyznaczoną wartość COP i porównaj ją z intuicyjną interpretacją pracy pompy ciepła.
- Wskaż, które wielkości pomiarowe najbardziej wpływają na niepewność wyniku.
- Opisz, czy pomiar 60-sekundowy był wystarczający, czy lepsza byłaby dłuższa seria pomiarowa.
- Zaproponuj usprawnienie stanowiska lub metody pomiarowej.

14. Infografika końcowa – kolejność czynności

Schemat wykonania ćwiczenia: wyznaczenie COP



Rys. 4. Kolejność podstawowych czynności podczas ćwiczenia.