

Arkadiusz GUŻDA (orcid id: 0000-0001-7388-5143)

Norbert SZMOLKE (orcid id: 0000-0001-6003-6775)

Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny

EFEKTYWNOŚĆ POMPY CIEPŁA A ZUŻYCIE CWU

Omówiono jeden z obecnie najbardziej efektywnych sposobów wytwarzania ciepłej wody użytkowej (CWU), jakim jest zastosowanie powietrznej pompy ciepła ze zintegrowanym zasobnikiem wodnym. Przedstawiono zasadę działania takiego urządzenia w instalacji przygotowującej ciepłą wodę. Opisano także stanowisko badawcze ze wskazaniem wielkości mierzonych. W części analitycznej artykułu zawarto wybrane wyniki przeprowadzonych pomiarów, których celem było wyznaczenie wskaźników efektywności energetycznej i ekonomicznej zastosowania omawianego rozwiązania. Uzyskane wartości odniesiono do trzech cykli poboru wody, zbliżonych do cykli zalecanych w PN-EN 16147 do badań takich urządzeń.

Słowa kluczowe: cykle poboru CWU, efektywność, PN-EN 16147, współczynnik COP

WPROWADZENIE

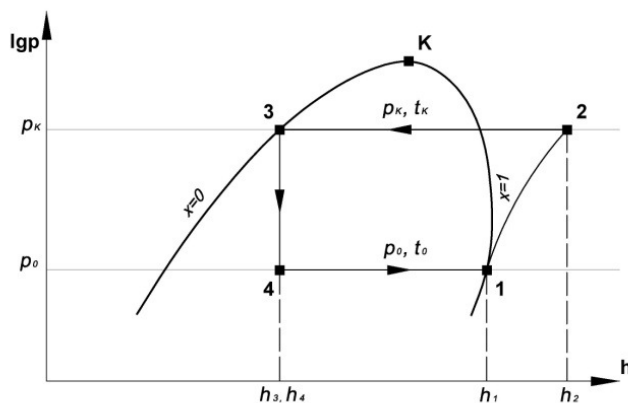
Troska o środowisko, jak również coraz ostrzejsze regulacje prawne kierują inwestorów w stronę wykorzystywania odnawialnych źródeł energii (OZE). Tendencja ta jest związana ze wzrostem świadomości społeczeństwa, iż należy wyraźnie ograniczyć wykorzystywanie konwencjonalnych źródeł energii, zwiększając jednocześnie udział źródeł odnawialnych. Wykorzystywanie odnawialnych źródeł energii niesie za sobą wymierne korzyści ekologiczne i ekonomiczne. Zasada ta dotyczy również produkcji ciepłej wody użytkowej (CWU).

Jednym z przykładów alternatywnych systemów przygotowujących ciepłą wodę użytkową są pompy ciepła typu powietrze-woda z wbudowanym zasobnikiem wodnym. Pozwalają one na wykorzystanie ciepła niskotemperaturowego do celów przygotowywania ciepłej wody użytkowej. Zainteresowanie pompami ciepła wzrasta, co jest związane ze wzrostem cen paliw energetycznych, takich jak węgiel czy gaz ziemny.

Pompy ciepła nie emitują do atmosfery dwutlenku węgla. Działanie tych urządzeń polega na wykorzystaniu ciepła o temperaturze niższej (w tym przypadku powietrza) w celu wytworzenia ciepła o temperaturze wyższej (np. przygotowanie ciepłej wody użytkowej).

Proces podnoszenia temperatury pompy ciepła wymaga doprowadzenia do rozpatrywanego układu energii napędowej. Rodzaj doprowadzonej energii zależy od rozwiązania konstrukcyjnego danej pompy; może to być energia elektryczna, mechaniczna czy też chemiczna [1].

W celu przedstawienia zasady działania oraz procesów zachodzących w pompie ciepła na rysunku 1 pokazano wykres obiegu teoretycznego w układzie ciśnienie-entalpia właściwa p-h, charakterystyczny dla sprężarkowej pompy ciepła.



Rys. 1. Wykres obiegu teoretycznego p-h

Rozprężenie czynnika roboczego wypływającego ze skraplacza od ciśnienia p_k do ciśnienia parowania p_0 (linia 3-4) zachodzi w zaworze rozprężnym. Aby nastąpiła zmiana faz cieczy roboczkiej (linia 4-1), ciepło zostaje pobrane z dolnego źródła (powietrze atmosferyczne). Sprężenie pary wychodzącej z parownika odbywa się w sprężarce (linia 1-2); poprzez doprowadzenie dodatkowej energii z zewnątrz możliwe jest sprężenie czynnika do ciśnienia skraplania. Kolejno czynnik oddaje ciepło w skraplaczu (linia 2-3), gdzie cały proces rozpoczyna się od początku.

Efektywność pracy urządzenia określa się współczynnikiem COP (ang. coefficient of performance) i wyraża się wzorem

$$\text{COP} = \frac{Q}{L} = \frac{Q_0 + L}{L} = 1 + \frac{Q_0}{L} \quad (1)$$

gdzie:

Q - ilość ciepła pobranego w parowaczu,

Q_0 - ilość ciepła pozyskana w skraplaczu,

L - praca dostarczona do sprężarki.

Istotną rolę w procesie sprężania pełnią czynniki termodynamiczne, zwane również czynnikami roboczymi, gdyż to za ich pomocą można przetransportować ciepło z niższego na wyższy poziom temperatury; obecnie w pompach ciepła stosuje się najczęściej: R134a, R407c oraz R410A [2].

Cel i zakres badań

Celem badań było wyznaczenie zależności pomiędzy efektywnością działania powietrznej pompy ciepła a zużyciem ciepłej wody użytkowej.

Badania przeprowadzono na pompie ciepła produkcji Galmet z zasobnikiem wodnym o pojemności 200 litrów; pompa ciepła została wyposażona w grzałkę elektryczną o mocy 2 kW. Urządzenie badane jest w Politechnice Opolskiej. W tabeli 1 przedstawiono wykaz parametrów mierzonych przez układ pomiarowy stanowiska badawczego.

Tabela 1. Wykaz mierzonych parametrów

Ciepła woda użytkowa <ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura ▪ Różnica temperatur ▪ Objętość ▪ Objętościowe natężenie przepływu ▪ Energia cieplna (cały cykl poboru) ▪ Temperatury płaszcza zbiornika 	°C K dm ³ dm ³ /s kWh °C	Powietrze (dolne źródło ciepła) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura powietrza ▪ Wilgotność powietrza 	°C %
Czynnik chłodniczy <ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura na wyjściu ze sprężarki ▪ Temperatura na wyjściu ze skraplacza ▪ Temperatura na wyjściu z zaworu rozprężnego ▪ Temperatura na wyjściu z parownika 	°C °C °C °C	Parametry zasilania elektrycznego <ul style="list-style-type: none"> ▪ Moc elektryczna ▪ Energia elektryczna ▪ Napięcie ▪ Natężenie 	W kWh V A

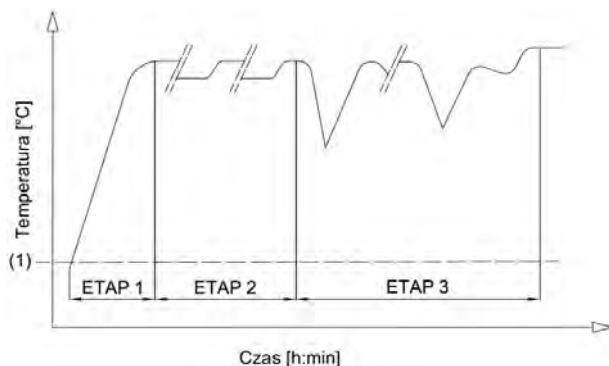
1. CYKLE POBORU WODY

Według obowiązującej normy PN-EN 16147, wskaźnik COP wyznacza się w trakcie cyklu pobierania (dziennego, określonego profilu poboru ciepłej wody użytkowej dla przeciętnego gospodarstwa domowego). Czas trwania takiego cyklu wynosi przynajmniej 24 godziny. Podczas jego przebiegu wykorzystuje się zdefiniowaną w normie [3] energię poboru CWU oraz, wynikającą z pracy pompy ciepła, energię dostarczoną [4]. O tym, dla jakiego cyklu poboru wody będzie badana pompa ciepła, decyduje producent urządzenia.

W celu wyznaczenia zależności pomiędzy efektywnością pompy ciepła a zużyciem ciepłej wody autorzy przeprowadzili badania dla trzech różnych cykli poboru wody, oznaczonych jako S, M i L, których wartość zbliżona jest do cykli zawartych w [3]. W mierzonych cyklach ekwiwalent ciepłej wody wyniósł:

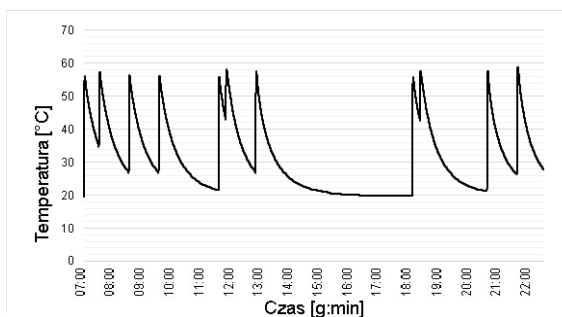
- 46 dm³ dla cyklu S,
- 105 dm³ dla cyklu M,
- 219 dm³ dla cyklu L.

Każdy z cykli składa się z trzech etapów, które przedstawiono na rysunku 2. Etap 1 obejmował proces podgrzewania wody w zbiorniku, od temperatury początkowej (temperatury wody zimnej) do temperatury zadanej, wynoszącej 60°C. W etapie 2 określono natomiast pobór energii przez urządzenie w stanie gotowości do pracy. W ostatnim etapie (etap 3) wyznaczono zużycie energii oraz współczynnik efektywności w trybie przygotowania ciepłej wody użytkowej w referencyjnych cyklach poboru; w trakcie trwania cyklu występowały różne pobory wody.

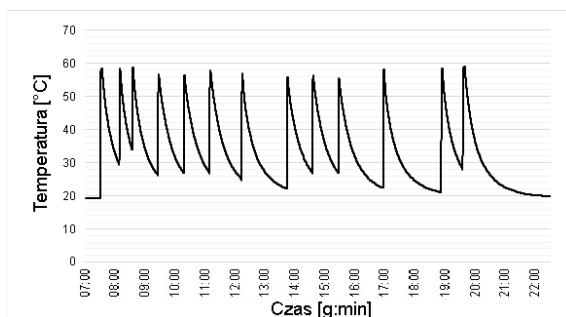


Rys. 2. Etapy podczas jednego cyklu badania

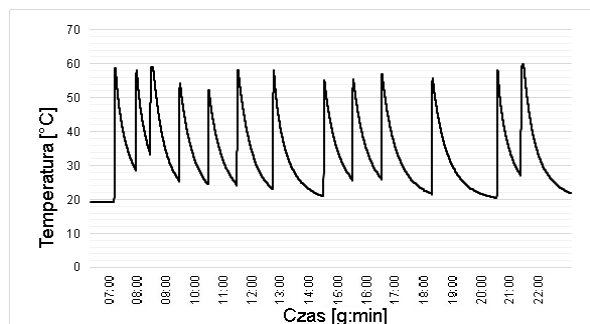
Przy wyznaczaniu współczynnika COP dla cykli S i M podczas obliczeń uwzględniono jedynie część zużytej energii elektrycznej przez urządzenie (potrzebnej do podgrzania wody w zbiorniku oraz utrzymania zadanej temperatury). Takie działanie jest niezbędne, jeżeli chce się wiarygodnie porównać ze sobą uzyskane współczynniki efektywności powietrznej pompy ciepła dla różnych cykli. Na rysunkach 3-5 przedstawiono profile rozbiór ciepłej wody użytkowej dla danego cyklu podczas przeprowadzonych badań.



Rys. 3. Rozbiór wody dla cyklu S



Rys. 4. Rozbiór wody dla cyklu M



Rys. 5. Rozbiór wody dla cyklu L

2. WYNIKI BADAŃ

W tabeli 2 zestawiono wybrane wyniki przeprowadzonych badań.

Tabela 2. Wyniki badań

	Jednostka	Profil dziennego zużycia ciepłej wody użytkowej		
		Cykl S	Cykl M	Cykl L
Zużycie ciepłej wody	dm ³	46	105	219
Energia cieplna wyprodukowana przez pompę ciepła podczas całego cyklu	kWh	2,10	4,75	9,96
Energia elektryczna pobrana przez pompę ciepła z rozdziałem na:				
▪ Etap 1	kWh	1,43	2,81	5,62
▪ Etapy 2 i 3	kWh	1,27	2,12	4,25
Energia elektryczna pobrana przez pompę ciepła podczas całego cyklu	kWh	2,70	4,93	9,87
Współczynnik COP (Etap 1)		1,44	1,69	1,77
Współczynnik COP (Etapy 1, 2, 3)		0,76	0,96	1,01

Analizując informacje zawarte w tej tabeli, można zauważyć, że energia cieplna wyprodukowana w postaci ciepłej wody przez pompę ciepła dla różnych cykli poboru wynosi 2,10÷9,96 kWh. Zestawiając wartości z energią elektryczną pobraną w trakcie trwania cyklu z energią cieplną, współczynnik efektywności pompy ciepła dla wszystkich etapów i każdego z cykli waha się w granicach 0,76÷1,01.

W celu sprawdzenia, z jaką efektywnością działało urządzenie podczas etapu 1, autorzy przeprowadzili analizę, która wykazała, iż współczynnik efektywności oscylował w granicach 1,44÷1,77.

WNIOSKI

Podczas przeprowadzonych badań autorzy wyznaczali wartość współczynnika efektywności COP w odniesieniu do różnych cykli rozbiórki wody ciepłej, zbliżonych do cykli referencyjnych zalecanych w [3]. Na podstawie wyników przeprowadzonych badań i ich analizy można sformułować następujące stwierdzenia:

- przebadano urządzenie wg trzech różnych cykli rozbiórki, tj. S, M i L, których wartość zbliżona jest do tych zawartych w [3],
- każde z badań dzieliło się na trzy etapy,
- pompa ciepła charakteryzuje się niskim współczynnikiem COP, którego wartość wynosiła: 0,76; 0,96; 1,01 dla cykli rozbiórki wody S, M i L,
- współczynnik COP dla etapu 1 (podgrzewania wody od temperatury początkowej do zadanej) wynosi 1,44÷1,77.

W dalszym etapie prac nad tym zagadnieniem należy uwzględnić możliwość odłączenia grzałki elektrycznej, dogrzewającej okresowo wodę w zasobniku do zadanej temperatury, w celu wyznaczenia efektywności działania powietrznej pompy ciepła.

LITERATURA

- [1] Rubik M., Pompy ciepła. Poradnik, Ośrodek Informacji „Technika instalacyjna w budownictwie”, Warszawa 2006.
- [2] Guźda A., Wybrane czynniki robocze w pompach ciepła, Zeszyty Naukowe Politechniki Opolskiej 2015, Mechanika z. 105, 73-76.
- [3] PN-EN 16147:2011 Pompy ciepła ze sprężarkami o napędzie elektrycznym -- Badanie i wymagania dotyczące oznakowania zespołów do ogrzewania pomieszczeń i ciepłej wody użytkowej.
- [4] Lachman P., Co oznacza „pompa ciepła do przygotowywania c.w.u. klasy energetycznej A”? Instal Reporter 2014, 01, 15-18.

EFFICIENCY OF HEAT PUMP IN RELATION TO DOMESTIC HOT WATER CONSUMPTION

This paper discusses one of the most effective ways of producing domestic hot water (DHW) based on air-source heat pump with an integrated tank. The principle of operating such equipment is also presented in a hot water installation. Moreover, the experimental set-up is described and values of measurements and reported. In the experimental part, measurements were conducted with the aim of determining the parameters representing the energy and economic efficiency of the proposed solution. The obtained values were compared to the values gained during three tapping cycles which were similar to the recommended reference in EN 16147.

Keywords: tapping cycle, efficiency, EN 16147, coefficient of performance