

Jarosław Knaga
Katedra Energetyki Rolniczej
Akademia Rolnicza w Krakowie

ZALEŻNOŚĆ EFEKTYWNOŚCI ENERGETYCZNEJ SPRĘŻARKOWEJ POMPY CIEPŁA OD CZYNNIKÓW EKSPLOATACYJNYCH

Streszczenie

Przedstawiono wyniki badań pompy ciepła wyprodukowanej przez firmę Vatra S.A ze sprężarką typu scrol. Analiza statystyczna pozwoliła na opracowanie istotnej zależności efektywności energetycznej sprężarkowej pompy ciepła od mocy oddawanej do górnego źródła ciepła temperatury dolnego i górnego źródła, ujętych w postaci różnicy tych czynników.

Słowa kluczowe: pompa ciepła, efektywność energetyczna, energetyka alternatywna, źródła niskotemperaturowe

Wstęp

W dobie gwałtownego rozwoju techniki cyfrowej, obserwujemy największe zapotrzebowanie na energię, którą w większości pokrywa się z zasobów paliw kopalnych. Przy założeniu stałego zużycia na obecnym poziomie podstawowych surowców energetycznych wystarczy na 100 lat ropy naftowej, gazu na 150 lat, a węgla na 200 lat. Takie prognozy zmuszają do racjonalnej gospodarki paliwami kopalnymi, a w dalszej perspektywie do ograniczenia zużycia ich na rzecz alternatywnych źródeł energii.

Sprężarkowa pompa ciepła jest jednym z urządzeń energetyki alternatywnej umożliwiającym przenoszenie ciepła z dolnego niskotemperaturowego źródła ciepła do górnego źródła ciepła o wyższej temperaturze, przy wykorzystaniu wymuszonego obiegu termodynamicznego po dostarczeniu pracy do napędu sprężarki [Lewandowski 2006]. Zasadniczym ograniczeniem w szerokim zakresie stosowania sprężarkowych pomp ciepła w systemach siłowni ciepła jest rodzaj dolnego źródła ciepła, a zwłaszcza jego stabilność energetyczna. To ograniczenia nie ma większego znaczenia w obszarze produkcji rolniczej, jaki i przetwórstwa rolno-spożywczego, gdzie znajdują się znaczne zasoby niekonwencjonalnej energii, ale przy znacznej różnorodności dolnego źródła ciepła. Zasoby tej energii pochodzą zarówno ze źródeł naturalnych, jak i sztucznych [Kupczyk 1995; Nawrocki, Myczko 1998; Nawrocki, Myczko 1998 a; Paliwoda 2001]. Doświadczenia ponad wiekowej historii urządzeń chłodniczych sprawiły, iż obecnie produkowane pompy ciepła są

urządzeniami o dużym stopniu niezawodności działania, ale zróżnicowanej efektywności energetycznej, zależnej od wielu czynników i uwarunkowań związanych ze sposobem eksploataowania. Modernizacja systemu siłowni ciepłej przez wprowadzenie pompy ciepła wymusza poprawienie jej sprawności energetycznej, wyrażonej jako stosunek sumy efektów energetycznych (energia mechaniczna lub elektryczna i ciepło) do zużycia energii chemicznej paliwa [Kubski 1997]. Takie uwarunkowania narzucają konieczność opracowywania bardzo szczegółowych audytów energetycznych z uwzględnieniem prognozy okresu zwrotu poniesionych kosztów przewyższających inwestycje konwencjonalne, które obecnie stanowią podstawową barierę w ich stosowaniu. Do sporządzenia takich audytów niezbędne są charakterystyki sprężarkowych pomp ciepła w zależności od złożonych czynników eksploatacyjnych.

Celem pracy było przeprowadzenie wstępnych badań prototypowej pompy ciepła, wyprodukowanej przez firmę Vatra S.A, ze sprężarką typu scrol. Otrzymane wyniki badań posłużyły do opracowania modelu i charakterystyk eksploatacyjnych opisujących efektywność energetyczną tego typu pompy ciepła w zależności od parametrów eksploatacji.

Przedmiot i metodyka badań

Przedmiotem badań była sprężarkowa pompa ciepła typu woda-woda o mocy 35 kW. Badanie pompy przeprowadzono na stanowisku badawczym zlokalizowanym w zakładzie producenta, tj. Vatra S.A. Badana pompa jest wyposażona w dwa wymienniki płytowe firmy Friga-Bohn o mocy znamionowej 40 kW każdy i agregat sprężarkowy o mocy znamionowej silnika 12,5 kW.

W ramach badań rozruchowych rejestrowano wartości parametrów zarówno dolnego i górnego źródła energii, a szczególnie mierzono strumień objętości płynu w dolnym i górnym źródle, temperaturę na wlocie i wylocie z wymiennika dolnego i górnego źródła ciepła, ciśnienie na zasilaniu i powrocie z wymienników ciepła, temperaturę przegrzanych par czynnika chłodniczego oraz moc elektryczną pobieraną przez agregat sprężarkowy. Pomiarów parametrów dolnego i górnego źródła oraz wielkości elektrycznych przeprowadzono następującymi przyrządami laboratoryjnymi: Pt 1000 – temperatura, PP 74 – przetwornik mocy prądu przemiennego, MTWH 7 – przepływomierz, a uzyskane wyniki rejestrowano na komputerze. Pomiarów prowadzono w warunkach pracy ustalonej.

Wydajność cieplną górnego źródła ciepła sprężarkowej pompy ciepła wyznaczono metodą bezpośrednią, na podstawie pomiaru strumienia cieczy (oddającego ciepło) i różnicy temperatur na wlocie i wylocie wymiennika ciepła. Obliczenia statystyczne wykonano w programie STATISTICA, a hipotezy zweryfikowano na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki badań

Badania rozruchowe sprężarkowej pompy ciepła typu woda–woda o mocy 35 kW pozwoliły na wyznaczenie ważniejszych parametrów eksploatacyjnych, do których należą: współczynnik efektywności energetycznej opracowany w artykule [Knaga i in. 2005], jak i moc oddawana do górnego źródła ciepła, której analizę wykonano we wcześniejszym opracowaniu.

Z punktu widzenia praktycznych zastosowań sprężarkowych pomp ciepła w technice rolno-spożywczej pojawia się potrzeba opracowania modelu ujmującego efektywność energetyczną (COP) w zależności do mocy oddawanej na górnym źródle ciepła, temperatury dolnego i górnego źródła ciepła. Opracowanie takiego modelu nie powiodło się, ponieważ niektóre czynniki w tym układzie okazały się mało istotne. Stąd do dalszej analizy zamiast temperatury górnego i dolnego źródła ciepła przyjęto różnicę tych temperatur zgodnie z zależnością:

$$\Delta T = T_G - T_D \quad (1)$$

gdzie:

T_D – temperatura dolnego źródła ciepła, °C,
 T_G – temperatura górnego źródła ciepła, °C.

Temperaturę dolnego i górnego źródła ciepła wyznaczono jako średnią wartość z temperatury na wlocie i wylocie z wymiennika, przy uwzględnieniu trzech powtórzeń. Po ponownym przeprowadzeniu analizy statystycznej ustalono, iż istotny wpływ na (COP) ma moc oddawana do górnego źródła i różnica temperatur między górnym a dolnym źródłem ciepła. Wpływ tych czynników dobrze opisuje równanie regresji liniowej dwu zmiennych, które wyznaczono przy współczynniku determinacji $R^2 = 0,961$:

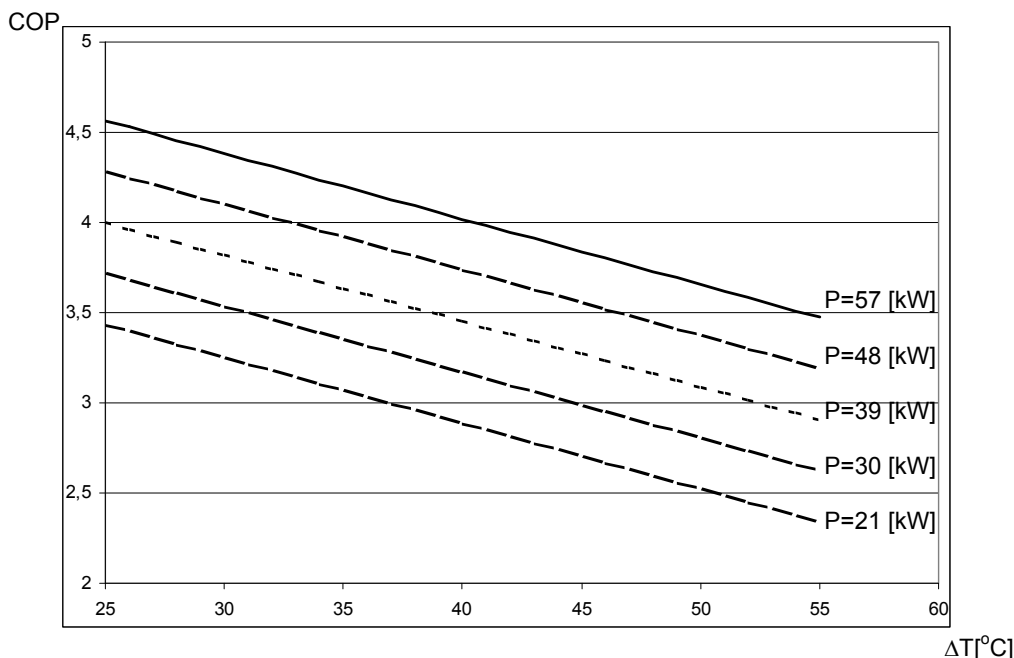
$$COP = 3,68 + 0,0315 \cdot P - 0,0364 \cdot \Delta T \quad (2)$$

gdzie:

COP – współczynnik efektywności energetycznej sprężarkowej pompy ciepła,
 P – moc oddawana do górnego źródła ciepła, kW,
 ΔT – różnica temperatur między górnym a dolnym źródłem ciepła, K.

Z zależności (2) wynika, że różnica temperatur ΔT (dolnego i górnego źródła ciepła) ma odmienny wpływ na współczynnik efektywności energetycznej (COP) niż moc górnego źródła ciepła, przy podobnej sile oddziaływania tych czynników. Wzrost różnicy temperatury o 10K powoduje obniżenie o 0,36 COP, natomiast wzrost zapotrzebowania na moc górnego źródła ciepła przekłada się na poprawienie efektywności energetycznej pompy ciepła o 0,032 na każdy kW. Następnie dla opracowanej zależności (2) sporządzono zestaw charakterystyk eksploatacyjnych (rys. 1 i 2). Analiza graficzna wyników badań pokazuje znaczną rozpiętość mocy górnego źródła wahającą się w zakresie

60-155% mocy znamionowej, przy różnicy temperatur górnego i dolnego źródła ciepła w zakresie 25÷55 K. Taki zakres różnicy temperatur, przy którym może pracować sprężarkowa pompa ciepła jest uwarunkowany czynnikiem chłodniczym zastosowanym w zamkniętym układzie sprężarki.



Rys. 1. Zależność efektywności energetycznej (COP) pompy ciepła od różnicy temperatury górnego i dolnego źródła ΔT

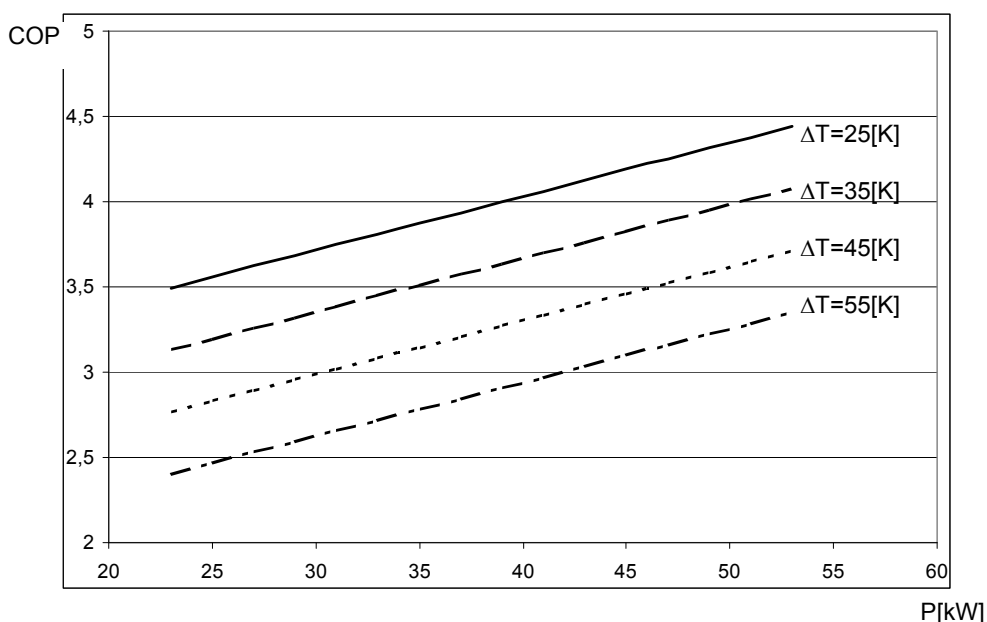
Fig. 1. Energetic efficiency of the heat pump as affected by temperature difference between the upper and lower heat source

Zależność (2), jak i opracowane na tej podstawie charakterystyki efektywności energetycznej, mogą być wykorzystane w procesie projektowania, jak i modernizacji istniejących ciepłowni. Mając do dyspozycji dolne źródło ciepła o temperaturze np. 5°C (kolektor gruntowy) i żadaną temperaturę górnego źródła ciepła 50°C, co nam daje różnicę temperatur $\Delta T = 45$ K i przy uwzględnieniu zapotrzebowania na moc nieprzekraczającą $\pm 10\%$ wartości znamionowej - pompa ciepła będzie pracować przy współczynniku efektywności energetycznej w zakresie 3,05 ÷ 3,3 (COP) (rys. 2).

Wzrost temperatury dolnego źródła ciepła o 10°C (np. ścieki), przy zachowaniu powyżej podanych parametrów pracy pozwoli na osiągnięcie efektywności energetycznej na poziomie 3,6.

Analiza statystyczna wyników badań pompy ciepła ze sprężarką typu scroll pozwoliła na wyznaczenie zależności określającej jakościowy i ilościowy wpływ różnicy temperatury (górnego i dolnego źródła ciepła) i mocy oddawanej do górnego źródła, na współczynnik efektywności energetycznej

(COP). Zależność (2) jest szczególnie przydatna z punktu widzenia praktycznych zastosowań, może być wykorzystana w układach sterowania systemami ciepłowniczymi w zakładach przetwórstwa rolno-spożywczego. Pozwoli to na optymalne wykorzystanie energii odpadowej, przy jednoczesnym uwzględnieniu optymalnych warunków pracy sprężarkowej pompy ciepła. Należy zwrócić uwagę na liniowy charakter zależności COP od różnicy temperatur w tego typu pompie ciepła, co znacznie upraszcza proces sterowania tym parametrem w odróżnieniu od pomp ciepła ze sprężarką tłokową [Zimny i in. 1998].



Rys. 2. Zależność efektywności energetycznej (COP) pompy ciepła od mocy górnego źródła

Fig. 2. Energetic efficiency of the heat pump depending on the power of upper and lower heat source

Wnioski

1. Opracowany model (2) bardzo dobrze opisuje współczynnik efektywności energetycznej w zależności od różnicy temperatur (między górnym a dolnym źródłem ciepła) i mocy oddawanej przez pompę ciepła. Podkreślić należy przy tym prostą i łatwą interpretację analizowanych czynników w praktycznych zastosowaniach tego typu sprężarkowych pomp ciepła.
2. Zmniejszenie różnicy temperatury o 10 K między górnym a dolnym źródłem ciepła przekłada się na wzrost efektywności energetycznej o 0,36 tego typu pompy ciepła.
3. Przy nominalnym zapotrzebowaniu na moc górnego źródła ciepła i różnicy temperatur 40 K w układzie górnego i dolnego źródła pompa ciepła zapewni efekt energetyczny na poziomie 3,33.

Bibliografia

- Knaga J., Trojanowska M., Kempkiewicz K. 2005. Efektywność pompy ciepła ze spiralną sprężarką. *Inżynieria Rolnicza*, 6
- Kubski P. 1997. Efektywność termodynamiczna stosowania sprężarkowych pomp grzejnych do zagospodarowania niskotemperaturowych zasobów energii odpadowej lub odnawialnej. *Ogólnopolskie Forum Mała Energetyka*
- Kupczyk A. 1995. Pompy ciepła – odzysk ciepła odpadowego w technologii produkcji surowego mleka. *Technika Rolnicza*, 1
- Lewandowski W. 2006. *Proekologiczne odnawialne źródła energii*. WNT, Warszawa
- Nawrocki L., Myczko A. 1998. Odzysk ciepła z podłoża tuczarni. *Problemy Inżynierii Rolniczej*, 4
- Nawrocki L., Myczko A. 1998a. Pompy ciepła w chlewni. *Trzoda chlewna. Problemy Inżynierii Rolniczej*, 2
- Paliwoda A. 2001. Zastosowanie pomp ciepła w przemyśle spożywczym. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1
- Zimny J., Kempkiewicz K., Knaga J. 1998. Wpływ wybranych parametrów pompy ciepła na wydajność cieplną skraplacza. *Chemia i inżynieria ekologiczna*, T. 5, 4

Recenzent: Anna Grzybek