

WYZNACZENIE WYDAJNOŚCI EKSPLOATACYJNEJ SPRĘŻARKOWEJ POMPY CIEPŁA TYPU WODA-WODA

Streszczenie

W opracowaniu przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych systemu grzewczego wyposażonego w pompę ciepła wyprodukowaną przez firmę Sekut ze sprężarką typu scroll. Przeprowadzona analiza statystyczna wykazała istotny wpływ różnicy temperatur i ilości wyprodukowanego ciepła na wartość wydajności eksploatacyjnej pompy ciepła. Określona wartość sezonowego wskaźnika wydajności SPF kształtuje się na poziomie 3, tym samym spełnia wymagania dyrektywy 2009/28/EC.

Pompa ciepła jest urządzeniem wykorzystującym ciepło ze źródeł niskotemperaturowych takich jak powietrze, wody powierzchniowe i infiltracyjne, grunt oraz ciepło odpadowe do celów grzewczych. Jej podstawowym zadaniem jest przeniesienie energii ze źródła o niższej temperaturze do ośrodka o temperaturze wyższej. Proces ten wymaga doprowadzenia energii (lub pracy) z zewnątrz [7]. Stosunek ciepła oddanego do ogrzewania, do pracy doprowadzonej z zewnątrz jest miarą efektywności cieplnej urządzenia i oznacza się współczynnikiem COP (*Coefficient of Performance*). Pożądane jest, aby wartość tego współczynnika była jak najwyższa.

Unia Europejska w decyzji 2007/742/WE [1] określiła kryteria energetyczne i ekologiczne, jakie powinny spełniać pompy ciepła. Założono minimalne wartości współczynnika efektywności energetycznej, w którym dodatkowo powinno się zawrzeć zużycie energii przez pompy cyrkulacyjne dolnego i górnego źródła ciepła oraz urządzenia automatyki i sterowania. Na tej podstawie wprowadzono dodatkowy wskaźnik sezonowej efektywności eksploatacyjnej SPF. Pompa ciepła może być uznana za efektywne urządzenie wykorzystujące odnawialne źródło energii, jeśli ostateczny zysk energetyczny znacznie przekracza ilość energii potrzebnej do zapewnienia jej ciągłości pracy. Znacznie oznacza, że szacowany współczynnik sezonowej wydajności cieplnej (grzejnej) pompy ciepła SPF musi spełniać zapisaną w Dyrektywie 2009/28/EC [2] następującą zależność (1):

$$SPF > 1,15 \cdot \frac{1}{\eta}, \quad (1)$$

gdzie:

SPF - sezonowy współczynnik wydajności pompy ciepła,

η - sprawność systemu wytwarzania energii elektrycznej (według Eurostat $\eta = 0,4$),

1,15 - efektywność wykorzystania energii elektrycznej u końcowego odbiorcy.

Obecnie sezonowy współczynnik wydajności pompy ciepła powinien wynosić co najmniej 2,87.

Producenci i dystrybutorzy pomp ciepła z reguły podają teoretyczną wartość współczynnika COP, wyznaczoną w warunkach laboratoryjnych dla ściśle określonych parametrów temperatur dolnego i górnego źródła, przy określonym obciążeniu cieplnym układu. Wartość tak podawanego wskaźnika nie uwzględnia zużycia energii przez urządzenia pomocnicze. Dlatego, aby móc określić rzeczywistą efektywność pompy ciepła, konieczne staje się prowadzenie badań eksploatacyjnych [3-6], co pozwoli na wyznaczenie sezonowego wskaźnika efektywności układu w warunkach rzeczywistych

oraz określenie wpływu różnych parametrów zewnętrznych na jego wielkość.

Celem pracy było przeprowadzenie badań eksploatacyjnych sprężarkowej pompy ciepła typu woda-woda, które pozwoliły na wyznaczenie wartości współczynnika SPF i określenie czynników mających istotny wpływ na jego wielkość.

Obiekt i metodyka badań

Przedmiotem badań był budynek mieszkalny jednorodzinny o powierzchni całkowitej 157 m² i kubaturze 625 m³. System ogrzewania budynku jest oparty na sprężarkowej pompie ciepła typu woda-woda, która współpracuje z centralnym ogrzewaniem podłogowym. Ciepła woda użytkowa (c.w.u.) jest przygotowywana w systemie zasobnikowym o pojemności zasobnika 250 dm³, w którym jest podgrzewana z wykorzystaniem wstępnego układu schładzania par przegrzanych przed skraplaczem pompy ciepła (górnego źródła ciepła). Dolnym źródłem ciepła jest woda pobierana ze studni infiltracyjnej o głębokości 4 m, w której lustro wody znajduje się na poziomie 1,5 m poniżej poziomu gruntu. Temperatura dolnego źródła w badanym okresie wynosiła 9°C ±0,5, stąd do dalszej analizy jej wartość przyjęto jako stałą. Do badań wybrano pompę ciepła wyprodukowaną przez firmę Sekut o mocy znamionowej 11 kW ze sprężarką typu Scroll i czynnikiem ziębniczym R407.

W pracy ograniczono się do wyznaczenia ilości ciepła przekazywanego do obiektu na pokrycie strat na przenikanie i wentylację oraz na przygotowanie c.w.u. Monitorowano zużycie energii elektrycznej przez sprężarkę oraz urządzenia pomocnicze, takie jak: pompy obiegowe dolnego i górnego źródła, układ sterowania, jak również mierzono parametry komfortu cieplnego w pomieszczeniach i temperaturę zewnętrzną. Ilość ciepła oddanego do obiektu przez pompę ciepła obliczano na podstawie zależności (2).

$$Q = \frac{1}{3,6} \int_{V_1}^{V_2} \rho \cdot c_w \cdot (t_{wej} - t_{wyj}) dV, \quad (2)$$

gdzie:

Q - ciepło [kWh],

dV - zmiana objętości przepływającego czynnika roboczego [dm³],

ρ - gęstość czynnika roboczego [kg·dm⁻³],

c_w - ciepło właściwe czynnika roboczego [MJ·(kg×deg)⁻¹],

t_{wej} - temperatura na wejściu do układu [°C],

t_{wyj} - temperatura na wyjściu z układu [°C].

Tak wyznaczone ciepło zbilansowano do doby. Wyznaczona w ten sposób dobową ilość ciepła dostarczonego przez pompę posłużyła do określenia współczynnika efektywności eksploatacyjnej SPF tego urządzenia grzewczego:

$$SPF = \frac{Q_{CO24} + Q_{cww24}}{E_{tot}}, \quad (3)$$

gdzie:

SPF - współczynnik wydajności pompy ciepła,

Q_{CO24} - ciepło oddane przez pompę ciepła do układu c.o. w ciągu doby [kWh],

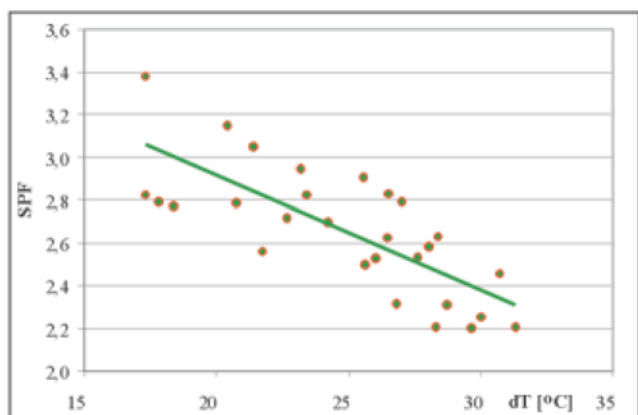
Q_{cww24} - ciepło oddane przez pompę ciepła do układu c.w.u. W ciągu doby [kWh],

E_{tot} - energia elektryczna zużyta przez sprężarkę, pompy obiegowe i układ sterowania pracą pompy ciepła [kWh].

Analizę pracy sprężarkowej pompy ciepła w badawczym obiekcie przeprowadzono dla miesiąca charakteryzującego się największą zmiennością temperatury zewnętrznej w sezonie grzewczym. W celach eksperymentalnych współczynnik SPF bilansowano na poziomie doby. Obliczenia wykonano w programach Excell oraz Statistica, a wszystkie hipotezy statystyczne zweryfikowano na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Wyniki badań

Analizę pracy sprężarkowej pompy ciepła w budynku jednorodzinny wykonano w lutym, który charakteryzował się największą dynamiką zmian temperatury zewnętrznej w sezonie grzewczym 2010/2011. W oparciu o zależność (2) wyznaczono ilość ciepła przeznaczoną do ogrzewania budynku i przygotowania ciepłej wody użytkowej, a następnie, posługując się zależnością (3), określono wartość dobowego wskaźnika SPF, co jest podstawą do dalszych analiz. Przeprowadzając obliczenia statystyczne w zakresie podstawowych statystyk, w pierwszej kolejności szukano korelacji między współczynnikiem efektywności eksploatacyjnej SPF pompy ciepła a innymi zmiennymi niezależnymi. Pozwoliło to na wyłonienie takich czynników jak: różnica temperatur (między temp. wewnętrzną a zewnętrzną), ilość ciepła oddanego przez system grzewczy do obiektu, oraz ilość energii elektrycznej potrzebnej do utrzymania pracy systemu grzewczego. Na rys. 1 przedstawiono wpływ różnicy temperatur dT (między temp. wewnętrzną a zewnętrzną) na wielkość współczynnika SPF, a opisano to zależnością (4), wyznaczoną przy współczynniku determinacji R^2 na poziomie 0,58.



Rys. 1. Wpływ różnicy temperatur na wartość współczynnika SPF

Fig. 1. Influence of temperature difference on value of SPF

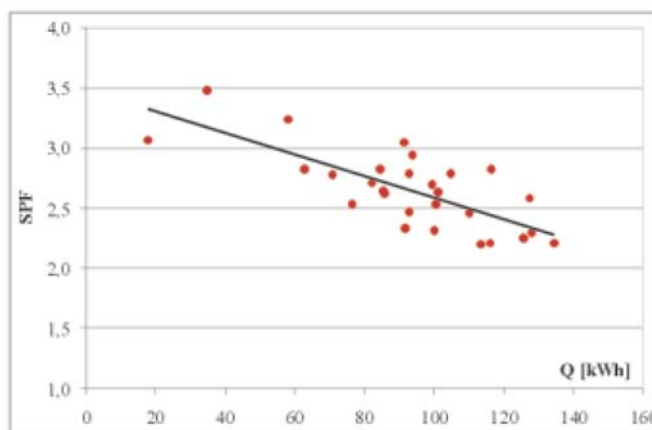
$$SPF = -0,054 \cdot dT + 3,98, \quad (4)$$

gdzie:

dT - różnica temperatur ($dT = T_{wew} - T_{zew}$) °C.

Wraz ze wzrostem różnicy temperatur współczynnik SPF maleje. Przy założeniu, że w obiekcie budowlanym utrzymujemy stałą temperaturę na poziomie 20°C, to na każde obniżenie temperatury zewnętrznej np o 5°C współczynnik SPF maleje o 0,27. Przyjmując wartość średniej temperatury sezonu grzewczego równą 2,8°C, z zależności (4) wynika, iż średni sezonowy współczynnik wydajności pompy ciepła będzie się kształtował na poziomie 3,05.

Kolejnym czynnikiem mającym istotny wpływ na wartość współczynnika SPF jest ciepło oddane przez system grzewczy do obiektu w ciągu doby (rys. 2). Przeprowadzona analiza regresji jednowymiarowej pozwoliła na wyznaczenie zależności (5), przy współczynniku determinacji $R^2 = 0,56$.



Rys. 2. Wpływ dobowej ilości ciepła oddanego przez system grzewczy na wartość współczynnika SPF

Fig. 2. Influence of daily amount of heat given up by the heating system on value of SPF

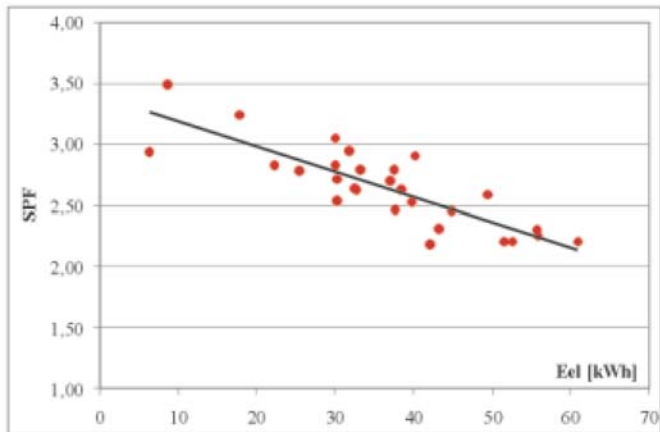
$$SPF = -0,0089 \cdot Q + 3,48, \quad (5)$$

gdzie:

Q - ciepło oddane przez system grzewczy do obiektu w ciągu doby kWh.

Ze wzrostem zapotrzebowania na ciepło wytworzone (c.o. + c.w.u) przez system maleje współczynnik SPF. Zwiększenie ilości ciepła wyprodukowanego przez system w ciągu doby o 10 kWh skutkuje obniżeniem współczynnika SPF o 0,089 co świadczy o stabilności systemu grzewczego. Należy podkreślić, iż płaska charakterystyka jest porządana w tego typu układach i świadczy o dużej niezależności od zmiany zapotrzebowania na ciepło. Dla analizowanego obiektu budowlanego średniodobowe zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania i przygotowania ciepłej wody użytkowej wynosi 62 kWh. Przy takim zapotrzebowaniu na ciepło wartość sezonowego współczynnika SPF wynosi 2,92.

Ostatnim z analizowanych czynników jest dobowe zapotrzebowanie na energię elektryczną do napędu i sterowania systemem grzewczego wyposażonego w pompę ciepła. Na wykresie (rys. 3) przedstawiona zależność w pewnym sensie pokrywa się z wcześniejszymi spostrzeżeniami, tzn. że ze wzrostem zużycia energii elektrycznej maleje współczynnik SPF. Zależność wiążącą współczynnik SPF ze zużyciem energii elektrycznej opisuje równanie regresji (6), wyznaczone przy współczynniku determinacji $R^2 = 0,7$.



Rys. 3. Wpływ dobowego zużycia energii elektrycznej na wartość współczynnika SPF

Fig. 3. Influence of daily electricity consumption on value of SPF

$$SPF = -0,021 \cdot E_{el} + 3,4, \quad (6)$$

gdzie:

E_{el} - dobowe zużycie energii elektrycznej kWh.

Zależność (6) ma praktyczne znaczenie dla użytkownika systemu grzewczego opartego na sprężarkowej pompie ciepła, ponieważ znając wyznaczoną z wcześniejszych zależności wartość współczynnika SPF można określić sezonowe zużycie energii elektrycznej, a tym samym koszty ogrzewania budynku. Wyznaczona z zależności (4) i (5) wartość współczynnika sezonowej wydajności pompy ciepła na poziomie 3 po wstawieniu do zależności (6) pozwoliła na określenie średniodobowego zużycia energii elektrycznej, co w przeliczeniu na cały sezon grzewczy (222 dni ogrzewania) daje całkowite zużycie energii końcowej na poziomie 4230 kWh.

Podsumowanie

W wyniku przedstawionej miesięcznej analizy pracy wyznaczono zależności określające efektywność eksploatacyjną SPF sprężarkowej pompy ciepła typu woda-woda.

Opracowane charakterystyki posłużyły do wyznaczenia zależności SPF w funkcji różnicy temperatur dT oraz ilości wyprodukowanego ciepła przez system c.o. i c.w.u. Na podstawie tych charakterystyk określono współczynnik sezonowej wydajności pompy ciepła, który kształtuje się na poziomie trzech, dla przeciętnego sezonu grzewczego. Wartość tego wskaźnika jest większa do 2,87 (wyznaczonego z zależności (1)), tym samym spełnia wymagania dyrektywy 2009/28/EC. W oparciu o wyznaczony wskaźnik SPF i opracowaną zależność (6) określono sezonowe zużycie energii końcowej, które dla badanego budynku wynosi ok. 4,2 MWh.

Literatura

- [1] Decyzja Komisji z dnia 9 listopada 2007 r. 2007/742/WE określająca kryteria ekologiczne dotyczące przyznawania wspólnotowego oznakowania ekologicznego pompom ciepła zasilanym elektrycznie, gazowo lub absorpcyjnym pompom ciepła.
- [2] Directive of 23 April 2009 2009/28/EC of the European Parliament and the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently.
- [3] Knaga J.: Energy efficiency of small compressor assisted air-water type heat pumps. Lublin: Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, 2008, Vol. VIII. s. 99-106.
- [4] Knaga J.: Efektywność sprężarkowej pompy ciepła powietrze-woda po modernizacji układu kierowniczego dolnego źródła ciepła. Inżynieria Rolnicza, 2009, nr 6(115), s. 141-147.
- [5] Kołaczkowski B.: Badania eksploatacyjne pomp ciepła z pionowymi kolektorami gruntowymi. Mechanics / AGH University of Science and Technology, 2004, t. 23, z. 3, s. 371-380.
- [6] Skonieczna J., Ciesielczyk W.: Analiza pracy pomp ciepła z czynnikiem roboczym R407C. Chemia - czasopismo techniczne, 2009, Zeszyt 4. Wyd. Politechniki Krakowskiej, s 127-139.
- [7] Zalewski W.: Pompy ciepła sprężarkowe, sorpcyjne i termoelektryczne. IPPU Miasta Gdańsk, 2001.

DETERMINATION OF THE OPERATIONAL PERFORMANCE OF COMPRESSION HEAT PUMP TYPE WATER-WATER

Summary

The paper presents the results of operating tests of the heating system equipped with a heat pump manufactured by Sekut. The statistical analysis revealed significant effects of the temperature difference and the amount of heat produced in the value of the operational efficiency of the heat pump. The value specified for the seasonal performance index SPF stands at 3, which complies with the requirements of Directive 2009/28/EC.



BEZPIECZEŃSTWO MASZYN I CIĄGNIKÓW ROLNICZYCH W ZAKRESIE OBSZARU NIEZHARMONIZOWANEGO W UNII EUROPEJSKIEJ

ISBN 83-921598-1-0
ilość stron: 113; il. 47; tabl. 7

Wydawca: PIMR-Poznań

Książka adresowana jest do osób i podmiotów, które wpływają na szeroko rozumiane bezpieczeństwo użytkowania maszyn i ciągników rolniczych, tj. do konstruktorów i producentów krajowych sprzętu rolniczego, importerów, producentów zagranicznych i ich przedstawicieli, personelu badawczego oraz posiadaczy i użytkowników maszyn i ciągników rolniczych. Publikacja jest źródłem wiedzy w zakresie upowszechnienia sposobów zapewnienia bezpieczeństwa ludzi i środowiska rolniczego.