

EFEKTYWNOŚĆ SPRĘŻARKOWEJ POMPY CIEPŁA POWIETRZE-WODA PO MODERNIZACJI UKŁADU KIEROWNICZEGO DOLNEGO ŹRÓDŁA CIEPŁA

Jarosław Knaga

Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań eksploatacyjnych małej sprężarkowej pompy ciepła OW 150 typu powietrze-woda, przeznaczonej do przygotowania ciepłej wody użytkowej, po przeprowadzonej modernizacji układu kierowniczego na dolnym źródle ciepła. Przeprowadzona szczegółowa analiza wyników badań pokazała, iż współczynnik efektywności energetycznej zmienia się w granicach 1,45-3,45 (przy wartości przeciętnej 2,05) w czasie cyklu nagrzewania wody w zasobniku. Ponadto badania prowadzone w warunkach eksploatacyjnych po modernizacji układu kierowniczego dolnego źródła ciepła, wskazują na istotny wzrost efektywności energetycznej o 11% w odniesieniu do badań wstępnych.

Słowa kluczowe: energia, pompa ciepła, źródło ciepła, współczynnik efektywności energetycznej, badania eksploatacyjne

Wstęp

Obecnie jednym z głównych kierunków rozwoju energetyki jest poszukiwanie zintegrowanych systemów wspomaganych przez alternatywne źródła energii. Takie systemy energetyczne muszą spełniać wiele zadań, a w szczególności powinny być ekologiczne i posiadać ekonomiczne uzasadnienie ich zastosowania w energetyce. Jednym z takich urządzeń energetyki alternatywnej jest sprężarkowa pompa ciepła. Rynek pomp ciepła rozwinął się już w ubiegłym wieku, gdzie w samej Japonii w 1984 roku sprzedano ich dwa miliony [Lewandowski 2006, Wołoszyn 1991]. Na całym świecie produkuje się kilka milionów pomp ciepła rocznie. W samej Europie Zachodniej około 154 firm zajmuje się ich produkcją lub sprzedażą [Kubski in. 1994]. Liczba tych firm ciągle wzrasta również w warunkach rynku polskiego.

Powstające koncepcje budowy nowych systemów zintegrowanych uzupełniających energię z alternatywnych źródeł np. poprzez zastosowanie pompy ciepła są opracowywane w oparciu o badania rozruchowe, które przeprowadzane są przez firmy produkujące tego typu urządzenia. Badania rozruchowe służą tylko do sprawdzenia poprawności działania i dopasowania układów sterujących do samej pompy ciepła, a nie systemu w którym będzie to urządzenie pracować [Chochocki in. 2005]. Doświadczenia krajowe wskazują na brak prowadzenia tego typu badań, a do rzadkości należą też badania eksploatacyjne tak całych systemów jak i samych urządzeń. Zadaniem takich badań powinno być optymalizowanie zarówno podzespołów jak i całego systemu.

Cel i zakres pracy

Celem pracy było przeprowadzenie badań eksploatacyjnych małej sprężarkowej pompy ciepła typu powietrze–woda wyprodukowanej przez Zakłady Eda Poniatowa, po przeprowadzeniu modernizacji układu kierowniczego dolnego źródła ciepła. Otrzymane wyniki badań posłużyły do opracowania charakterystyk opisujących parametry dolnego i górnego źródła ciepła. Dało to podstawę do opracowania charakterystyk (w tym uporządkowanych) opisujących efektywność energetyczną (COP) pompy ciepła.

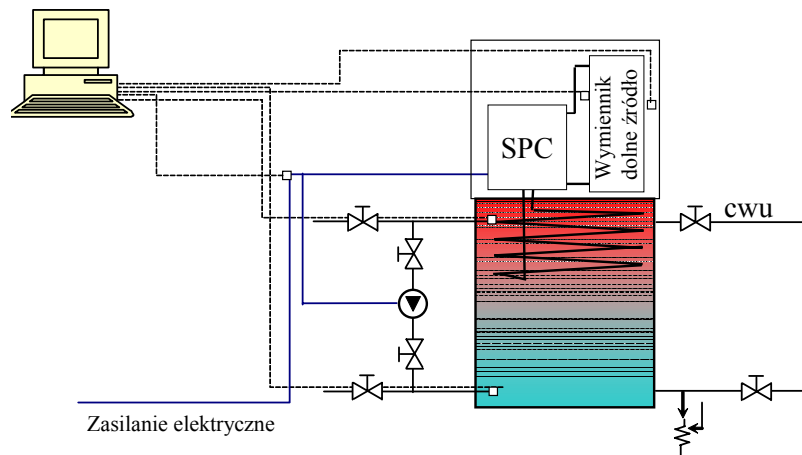
Przedmiot i metodyka badań

Przedmiotem badań była sprężarkowa pompa ciepła OW 150 typu powietrze–woda o mocy znamionowej sprężarki 320 W. Pompa ta jest wyposażona w zasobnik ciepłej wody użytkowej (cwu) o pojemności 150 dm³, w którym umieszczono wymiennik górnego źródła ciepła. Natomiast dolnym źródłem ciepła jest wymiennik powietrze–czynnik roboczy, który krąży w zamkniętym układzie. Sprężarkowa pompa wraz z zasobnikiem i wymiennikami tworzy zwartą, zamkniętą konstrukcję kompaktową podgrzewacza wody, którego pełną specyfikację zamieszczono w tabeli 1.

Tabela 1. Specyfikacja sprężarkowej pompy ciepła OW 150
Table 1. Specifications for OW 150 compressor heat pump

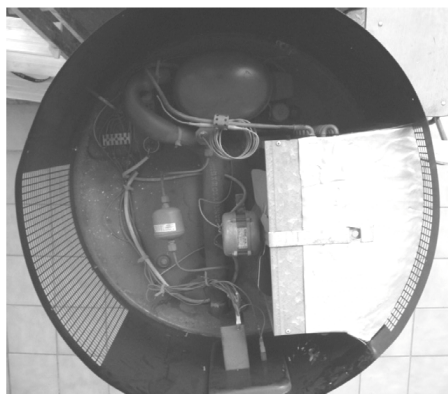
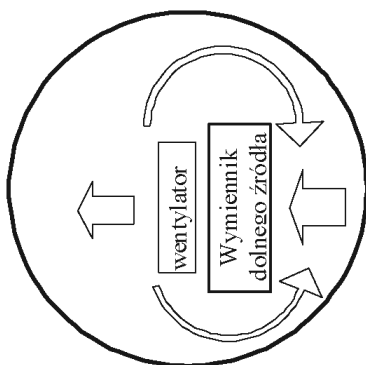
Parametr	Wartość
Pojemność zbiornika wody [dm ³]	150
Użyteczna objętość zbiornika wody [dm ³]	129,5
Zakres regulacji temperatury ciepłej wody użytkowej [°C]	30÷65
Maksymalna temp. wody uzyskana z pracy pompy ciepła [°C]	55
Moc grzewcza pompy ciepła [W]	1000
Moc grzałki elektrycznej [W]	1500

Układ badawczy jest oparty na pomiarze: temperatury górnego źródła ciepła, temperatury strumienia powietrza przepływającego przez wymiennik dolnego źródła ciepła, oraz mocy energii elektrycznej (rys.1). Pomiar temperatury na górnym źródle ciepła były prowadzone w zamkniętym zasobniku (cwu) w górnej i dolnej strefie. Natomiast temperaturę na dolnym źródle ciepła mierzono przed i za wymiennikiem. W ramach pomiaru mocy energii elektrycznej mierzono moc pobieraną przez sprężarkę oraz moc pompy cyrkulacyjnej i wentylatora wymuszającego przepływ powietrza przez dolny wymiennik. Wszystkie wielkości mierzone rejestrowano na PC, po uśrednieniu do jednej minuty bezpośrednich obserwacji z podstawowego próbkowania z częstotliwością 10 Hz. Na taki sposób rejestracji wielkości parametrów mierzonych pozwalała aplikacja napisana w programie Dasy-Lab 6.0, który obsługiwał kartę pomiarową PCL 818L.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego sprężarkowej pompy ciepła
 Fig. 1. Diagram of a measuring system for compressor heat pump

Wstępne badania eksploatacyjne małej sprężarkowej pompy ciepła typu powietrze-woda, przeprowadzone na stanowisku laboratoryjnym w Katedrze Energetyki Rolniczej, a opublikowane w „TECE” [Knaga 2008] wykazały, iż współczynnik efektywności energetycznej zmienia się w przedziale 1,4÷2,6 (przy wartości przeciętnej 1,85) w okresie cyklu nagrzewania wody w zasobniku do temperatury 55°C.

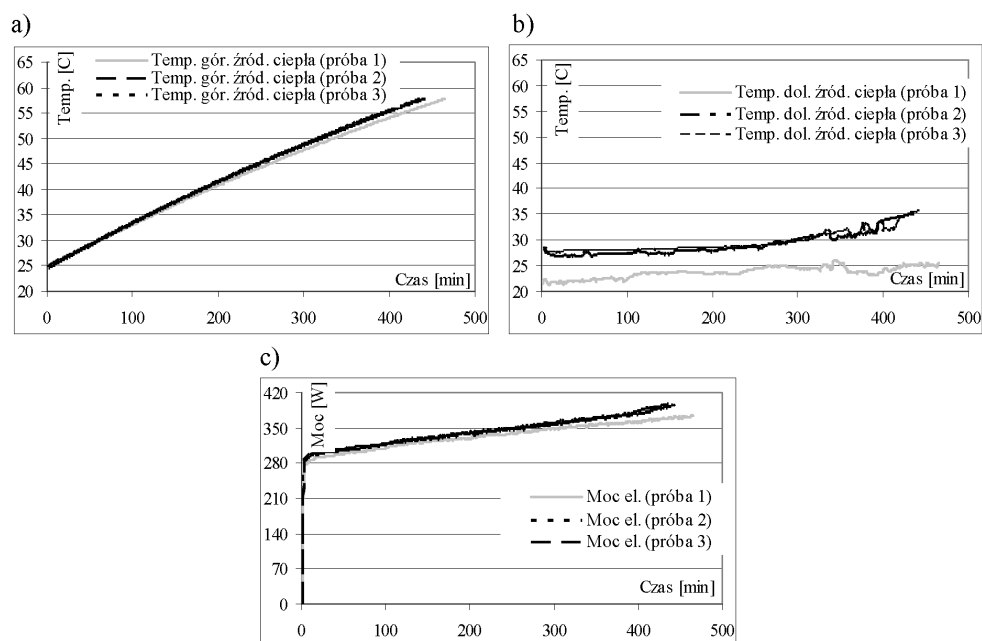


Rys. 2. Schemat efektu zawracania strugi powietrza, b) widok z góry kanału kierującego strugę powietrza
 Fig. 2. Diagram showing the effect air stream reversal, b) view from top of a duct guiding air stream

Jest to stosunkowo niski współczynnik COP dla tego typu pompy ciepła, niezależnie od warunków w jakich były prowadzone badania. Jedną z przyczyn tak małej efektywności energetycznej może być brak układu kierowniczego na górnym źródle ciepła, co powoduje iż część strugi powietrza, która oddała energię na dolnym źródle ponownie wraca na wymiennik (rys. 2). Takiemu zjawisku dodatkowo sprzyja kształt kosza, w którym jest umieszczony wymiennik. Wynikiem takiego zawracania części strugi, jest obniżenie entalpii powietrza podawanego na wymiennik dolnego źródła ciepła. Efekt takiego zawracania strugi wyeliminowano poprzez wykonanie układu kierownicy o stałej geometrii (rys. 3b) doprowadzającego powietrze bezpośrednio na wymiennik.

Wyniki badań

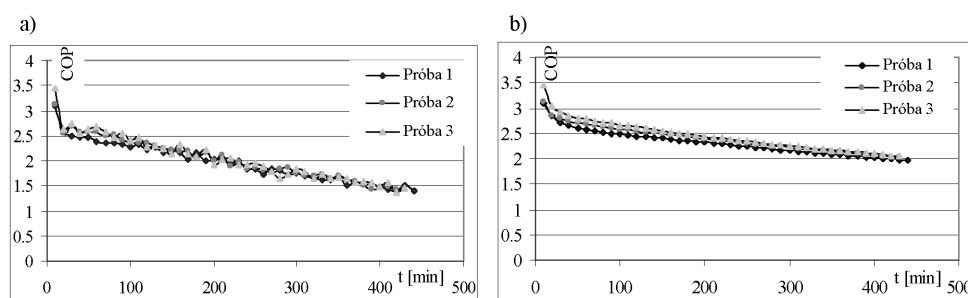
Analizę wyników badań rozpoczęto od sporządzenia charakterystyk czasowych poszczególnych zmiennych, które rejestrowano w czasie pomiaru. Następnie spośród kilkunastu pełnych zarejestrowanych cykli nagrzewania wody w zasobniku tylko pompą ciepła, do dalszej szczegółowej analizy wybrano trzy próby reprezentacyjne. Wybrane próby (rys. 3) zapewniają powtarzalność procesu, a jednocześnie pozwalają na oszacowanie podstawowych statystyk.



Rys. 3. Charakterystyki czasowe: a) temperatury górnego źródła ciepła, b) temperatury dolnego źródła ciepła, c) mocy elektrycznej

Fig. 3. Time characteristics: a) temperature of upper heat source, b) temperature of lower heat source, c) electric power

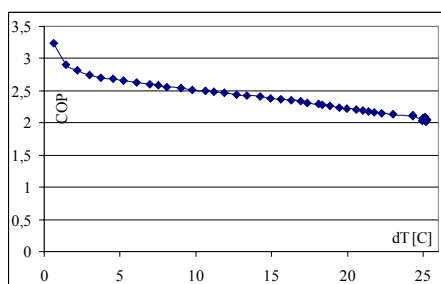
Na podstawie przeprowadzonej analizy graficznej (rys. 3) próba pierwsza różni się od próby drugiej i trzeciej. Różnica ta wynika z niższej temperatury dolnego źródła ciepła (rys. 3b), co powoduje obniżenie o 10% zapotrzebowania na moc elektryczną pobieraną przez sprężarkę, przy nieznacznie wydłużonym cyklu pracy pompy ciepła (4,3%). Następnie zgodnie z definicją współczynnika efektywności energetycznej pompy ciepła wyznaczono, jego wartość (COP) przy uwzględnieniu całkowitego zapotrzebowania energii elektrycznej przez badane urządzenie. Otrzymane wyniki przedstawiono na wykresie (rys. 4 a), z którego wynika iż współczynnik (COP) zmienia się od 1,45 do 3,45.



Rys. 4. Charakterystyka czasowa współczynnika efektywności energetycznej (COP): a) rzeczywiste, b) przebiegi uporządkowane

Fig. 4. Time characteristics of energy efficiency coefficient (COP): a) actual, b) systematic trajectories

Na początku przebiegu (rys. 4a) jest wyraźnie zaznaczona faza rozruchowa, objawiająca się znacznym pikiem na wykresie (COP), a wynikająca ze stanów nieustalonych - mających charakter przejściowy. W dalszej części przebiegu (COP) nie obserwujemy różnic, również na wykresie uporządkowanym (rys. 4b) dla przedstawionych prób, pomimo istniejących odchyleń w przebiegu temperatury dolnego źródła ciepła, oraz poboru mocy czynnej (rys. 3).



Rys. 5. Uśredniana charakterystyka uporządkowana (COP) w zależności od różnicy temperatur między górnym a dolnym źródłem ciepła

Fig. 5. Averaged systematic characteristic (COP) depending on the difference in temperatures between upper and lower heat source

Wobec braku istotnych różnic w przebiegu współczynnika COP w czasie cyklu nagrzewania ciepłej wody użytkowej w zasobniku, opracowano średnią uporządkowaną charakterystykę tego współczynnika w zależności od różnicy temperatur między górnym, a dolnym źródłem ciepła. Przedstawiona charakterystyka (rys. 5) ma duże znaczenie praktyczne, a szczególnie w analizach ekonomicznych.

Po odrzuceniu obserwacji w stanie nieustalonym (tj. dwóch punktów) i przeprowadzeniu analizy statystycznej w zakresie korelacji wielowymiarowej ustalono czynniki mające istotny wpływ na wielkość współczynnika COP dla tego typu pompy ciepła. Najistotniejszym czynnikiem mającym wpływ na COP jest różnica temperatur górnego i dolnego źródła ciepła (ΔT). Nieco słabsze oddziaływanie, ale również istotne ma pobierana moc elektryczna (N_e). Wpływ tych czynników dobrze opisują równania regresji liniowej (1, 2), które wyznaczono przy takim samym współczynniku determinacji większym niż $R^2=0,98$:

$$COP = -0,049 \cdot \Delta T + 2,74 \quad (1)$$

$$COP = -0,0149 \cdot N_e + 7,09 \quad (2)$$

gdzie:

COP – współczynnik efektywności energetycznej,

$\Delta T = (T_g - T_d)$ – różnica temperatur [$^{\circ}\text{C}$],

N_e – całkowita moc pobierana przez podgrzewacz wody z pompą ciepła [W].

Otrzymane zależności (1,2) są wzajemnie komplementarne. Zależność 1 ma szczególnie duże znaczenia z punktu praktycznego wykorzystania tego typu pompy ciepła w aspekcie analizy ekonomicznej. Natomiast model 2 pozwala na stosunkowo łatwą weryfikację stanu technicznego pompy, przez porównanie współczynnika efektywności po wcześniejszym pomiarze mocy czynnej.

Wnioski

1. Na podstawie wykonanych obliczeń i przeprowadzonej analizy można stwierdzić, iż współczynnik efektywności energetycznej małej sprężarkowej pompy ciepła typu powietrze-woda zmienia się w przedziale 1,45-3,45 (przy wartości przeciętnej 2,05) w okresie cyklu nagrzewania wody w zasobniku do temperatury 55°C , po przeprowadzeniu modernizacji układu kierowniczego dolnego źródła ciepła.
2. Współczynnik ten jest o 11% większy od COP wyznaczonego na podstawie badań wstępnych, przed modernizacją układu kierowniczego na dolnym źródle [Knaga 2008].
3. Opracowana charakterystyka uporządkowana (COP) w zależności od różnicy temperatur między górnym a dolnym źródłem ciepła, ma znaczenie praktyczne dla prowadzenia analiz ekonomicznych.
4. Opracowane równania regresji liniowej (1, 2) pokazują jak silnie jest związane COP z różnicą temperatury (ΔT) między górnym a dolnym źródłem ciepła i mocą pobieraną przez sprężarkę.

Bibliografia

- Chochowski A., Czekalski D.** 2005. Badania eksploatacyjne hybrydowego systemu zasilania energią z wykorzystaniem układu archiwizacji, transmisji i przetwarzania danych. Inżynieria Rolnicza. Nr 14(74). Kraków. s. 45-53.
- Knaga J.** 2008. Energy efficiency of small compressor assisted air-water type heat pumps. TEKA VIII. S. 99-106.
- Kubski P., Lewandowski W.M., Buzuk M.** 1994. Zastosowanie pomp ciepła w zintegrowanym systemie energetycznym oczyszczalni ścieków. Technika Chłodnicza i Klimatyzacja. Nr 6. s. 210-213.
- Lewandowski W.M.** 2006. Proekologiczne odnawialne źródła energii. Wydanie trzecie zmienione. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa. ISBN 83-204-3112-3.
- Wołoszyn M.** 1991. Wykorzystanie energii słonecznej w budownictwie jednorodzinym. Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa, Warszawa. ISBN 83-204-2103-4.

EFFICIENCY OF COMPRESSOR HEAT PUMP (AIR-WATER) AFTER MODERNISATION OF GUIDING SYSTEM FOR LOWER HEAT SOURCE

Abstract. The paper presents results of performance tests carried out for small compressor heat pump (OW 150), air-water type, designed for preparing hot utility water, after completed modernisation of guiding system in lower heat source. Detailed analysis of test results has proven that during water heating cycle in water tank the energy efficiency coefficient value ranges from 1.45 to 3.45 (mean value is 2.05). Moreover, tests performed in service conditions after modernisation of lower heat source guiding system indicate significant increase in energy efficiency by 11%, compared to preliminary tests.

Keywords: energy, heat pump, heat source, energy efficiency coefficient, performance tests

Adres do korespondencji:

Jarosław Knaga, e-mail: Jaroslaw.Knaga@ur.krakow.pl
Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków