

ANALIZA EFEKTYWNOŚCI ELEMENTÓW SYSTEMU WYKORZYSTUJĄCEGO POMPEŃ CIEPŁA DO OGRZEWANIA TUNELU FOLIOWEGO

Sławomir Kurpaska, Hubert Latała, Rudolf Michałek, Maciej Sporysz

Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy przedstawiono wyniki badań nad efektywnością pompy grzewczej współpracującej z systemem odbioru ciepła wykorzystywanej do ogrzewania tunelu foliowego. Energia z górnego źródła ciepła przekazywana była do ogrzewania obiektu poprzez system ogrzewania powietrznego. System ten stanowiły wymienniki ciecz- powietrze w których następowało, w warunkach przepływu wymuszonego, ogrzewanie powietrza wewnątrz tunelu foliowego. Znalezione zależności efektywności pompy ciepła i sprawności wymienników od warunków klimatu na zewnątrz i mikroklimatu wewnątrz obiektu..

Słowa kluczowe: tunel foliowy, pompa ciepła, efektywność, wymienniki ciecz-powietrze

Wstęp

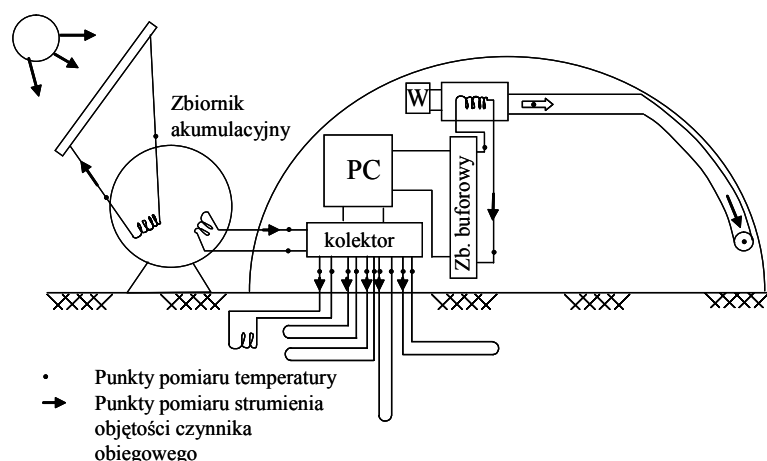
Wzrastające koszty energii paliw nieodnawialnych, zwiększona troska o środowisko przyrodnicze narzucają konieczność poszukiwania alternatywnych źródeł ciepła wykorzystywanego do ogrzewania różnych obiektów, w tym również ogrodniczych. Zastępowanie paliw kopalnych nośnikami ciepła z energii odnawialnej było przedmiotem rozważań dokonanej m.in. przez Ossebaard i in. [1997]. Autorzy w swej pracy przedstawili analizę nad wykorzystaniem poszczególnych źródeł energii na potrzeby grzewcze (zarówno odnawialnych jak i tradycyjnych) z uwzględnieniem efektów ekonomicznych i ekologicznych. Stwierdzono, że w warunkach holenderskich zastępowanie tradycyjnego nośnika energii (gaz) jest uzasadnione oraz może przynieść wymierne korzyści w redukcji substancji zanieczyszczających środowisko przyrodnicze. Z kolei Gustavsson i Svenningsson [1996] wykazali korzyści z zastępowania tradycyjnych nośników ciepła energią powstałą z konwersji biomasy zarówno na cele grzewcze jak i do wytwarzania paliwa służącego do napędu środków transportowych. Autorzy wykazali konieczność stosowania odnawialnych źródeł energii, powstałe korzyści przeliczyli na ograniczenie substancji szkodliwych emitowanych do atmosfery. Jednym z odnawialnych nośników jest energia ziemi, lub energia powstała z konwersji promieniowania słonecznego zamieniana w ciepło w pompie grzewczej. Yumruta i Unsal [2000] opracowali model matematyczny do analizy współpracy pompy ciepła w której jako dolne źródło ciepła wykorzystano wodę zgromadzoną w akumulatorze cieczowym umieszczonym w glebie. Przedstawiono wyniki symulacji zmienności temperatury wody jako funkcję zmiennej temperatury otaczającej gleby oraz sumarycznych strat ciepła z analizowanego akumulatora. Argiriou i in. [2005] analizowali

współpracę absorpcyjnej pompy ciepła współpracującej kolektorami słonecznymi i tradycyjnym źródłem ciepła do ogrzewania obiektów zlokalizowanych w zróżnicowanych warunkach klimatycznych. Analizie poddano również zróżnicowane konstrukcyjnie ogrzewane obiekty oraz typy kolektorów słonecznych. W konkluzji autorzy określili oszczędności w zużyciu tradycyjnych nośników ciepła.

O efektywności stosowania pompy decyduje jej efektywność energetyczna zdefiniowana jako stosunek skutku działania pompy, tj. ilości ciepła dostarczonego do ogrzewanego obiektu, do nakładu który trzeba ponieść aby ten skutek uzyskać, tj. do zużycia energii napędowej. Na efektywność pracy systemu wykorzystującego pompę ciepła wpływa wiele czynników zależnych od warunków klimatycznych, konfiguracji systemu oraz rodzaju ogrzewanego obiektu. Analiza zagadnień energetycznych, efektywności pompy ciepła była przedmiotem analizy w wielu ośrodkach naukowych. Ich krótka charakterystykę wraz z uzyskanymi efektami przedstawiono w pracy [Kurpaska 2007]. Na podstawie wniosków wynikających z przeprowadzonej analizy zagadnień omówionych w tych pracach można jednoznacznie stwierdzić, że o efektywności pompy ciepła decyduje nie tylko jej konstrukcja (m.in. sprężarkowa, absorpcyjna, termoelektryczna), rodzaj dolnego źródła ciepła (grunt, powietrze, woda) ale również i sposób odbioru ciepła z górnego źródła pompy (system ogrzewania powietrznego, wodnego) oraz zapotrzebowanie ciepła przez ogrzewany obiekt. Przeprowadzenie takiej analizy, w której pompa ciepła wykorzystywana jest do ogrzewania tunelu foliowego jest głównym celem pracy.

Material i metoda

Badania eksperymentalne przeprowadzono na stanowisku (rys. 1) zlokalizowanym w obiektach Wydziału Agrotechnologii Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego

Fig. 1. Measurement stand diagram

W skład stanowiska wchodzi sprężarkowa pompa ciepła pracująca w układzie monowalentnym (poziome lub pionowe wymienniki gruntowe) lub hybrydowym (kolektory słoneczne wraz ze zbiornikiem do magazynowania podgrzanej wody). Przedmiotem analizy jest system monowalenty. Górne źródło ciepła stanowią dwa wymienniki typu ciecz-powietrze w których w warunkach przepływu wymuszonego następuje podgrzewanie powietrza wewnątrz obiektu. Wszystkie parametry związane z ilością i temperaturą zasilania oraz powrotu przepływającego czynnika obiegowego, stanem pracy pompy ciepła, parametrami otaczającego powietrza i mikroklimatu wewnątrz obiektu były monitorowane w systemie ciągłym przez Komputerowy System Pomiarowy. Wielkości te archiwizowano z częstotliwością $30s^{-1}$. Dodatkowo, na podstawie pomiaru zużytej energii elektrycznej określono moc urządzeń służących do pracy analizowanego systemu. Więcej szczegółów związanych z budową stanowiska, możliwościami pomiarowymi przedstawiono w pracy [Kurpaska i Sporysz 2007].

Efektywność urządzeń wykorzystanych w pracy tego systemu dla różniczkowego czasu ($d\tau$) określono z następujących zależności:

a) efektywność pompy ciepła:

$$COP_{PC} = \frac{Q_g}{P_{PC} \cdot \tau_{PC}} = \frac{\sum_{i=1}^2 \left(\sum_{j=1}^n m_{c-g} \cdot c_{w-g} \cdot (T_{z-g} - T_{p-g}) \right) d\tau}{P_{PC} d\tau}$$

b) sprawność wymienników ciecz-powietrze:

$$\eta_g = \frac{Q_g}{P_g \cdot \tau_g} = \frac{\sum_{i=1}^2 \left(\sum_{j=1}^n m_{c-g} \cdot c_{w-g} \cdot (T_{z-g} - T_{p-g}) \right) d\tau}{P_g d\tau}$$

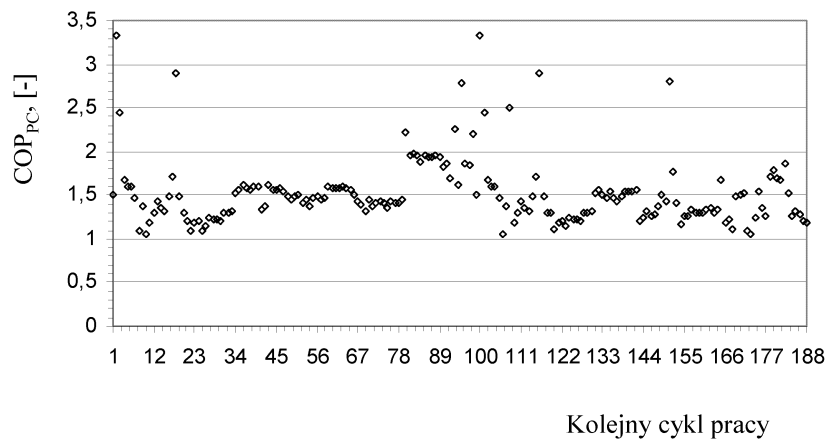
gdzie:

- Q_g – ilość ciepła dostarczonego do wnętrza obiektu,
- $J; m_{c-g}$ – strumień czynnika obiegowego w wymiennikach,
- $kg s^{-1}; c_{w-g}$ – ciepło właściwe czynnika obiegowego [$J kg^{-1} \cdot K^{-1}$],
- $T_{z-g} T_{p-g}$ – temperatura zasilania (T_{z-g}) i powrotu (T_{p-g}) czynnika obiegowego, [K];
- P_{PC}, P_g – moc pobierana przez pompę ciepła (P_{PC}) i wymienniki ciecz- powietrze (P_g) [W];
- n – liczba odczytów;
- τ_{PC}, τ_g – czas pracy pompy ciepła w cyklu ładowania (τ_{PC}) i całkowitego rozładowywania zbiornika buforowego (τ_g) [s].

Wyniki i dyskusja

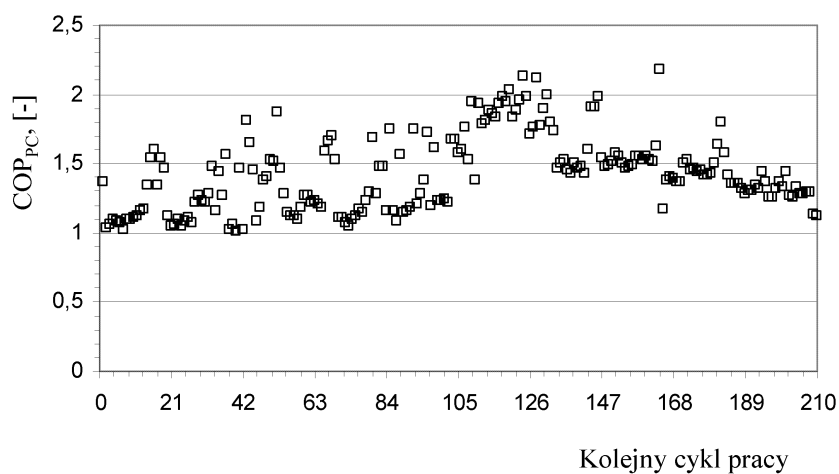
Podczas wykonywania badań, średnie wartości parametrów fizycznych klimatu wewnątrz i na zewnątrz obiektu (temperatury- t , natężenie promieniowania słonecznego - R , sum promieniowania słonecznego ΣR) podczas cykli pracy pompy ciepła kształtowały się w następujących zakresach: $-10,2 \leq t_{zewn} \leq 15,7$ °C; $0 \leq R_{zewn} \leq 480$ $W m^{-2}$; $0 \leq \Sigma R \leq 3,7$ kWh; $0,1 \leq t_{wewn} \leq 24,5$ °C.

Na rys. 2 i 3 przedstawiono wyliczony współczynnik efektywności pompy ciepła dla poziomych (rys 2) i pionowych gruntowych wymienników ciepła (rys. 3).



Rys. 2. Współczynnik efektywności pompy ciepła w funkcji kolejnych pomiarów dla poziomych wymienników ciepła

Fig. 2. Coefficient of heat pump effectiveness as a function of successive measurements for horizontal heat exchangers

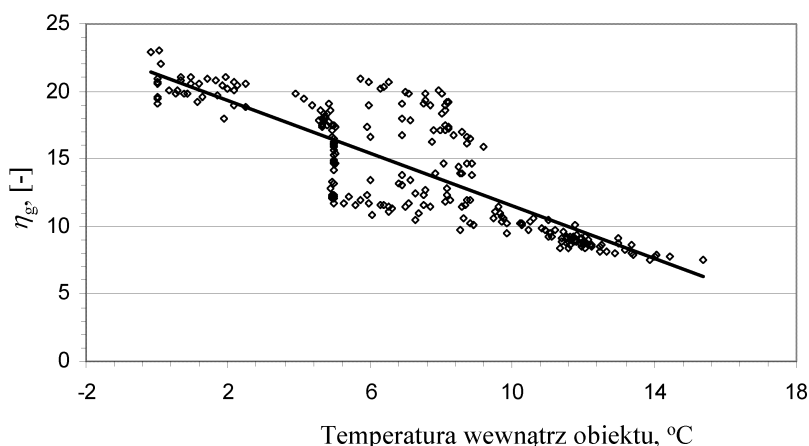


Rys. 3. Współczynnik efektywności pompy ciepła w funkcji kolejnych pomiarów dla pionowych wymienników ciepła

Fig. 3. Coefficient of heat pump effectiveness as a function of successive measurements for vertical heat exchangers

Zróżnicowanie w wartościach analizowanego współczynnika wynika ze zmiennych warunków klimatycznych panujących podczas wykonywania badań. Zróżnicowanie to jest szczególnie widoczne dla wymienników poziomych (zakres zmienności COP od 1,05 do 3,3). Jak wykazała analiza dla wymienników poziomych, istnieje statystycznie istotna dodatnia korelacja między temperaturą otoczenia a wartością współczynnika COP, natomiast dla wymienników pionowych brak jest takiej korelacji. Średnie wartości współczynnika kształtują się na poziomie 1,42 (wymienniki pionowe) oraz 1,52 (wymienniki poziome). Przeprowadzona analiza statystyczna (na poziomie 0,05) wykazała, że różnice te są statystycznie istotne.

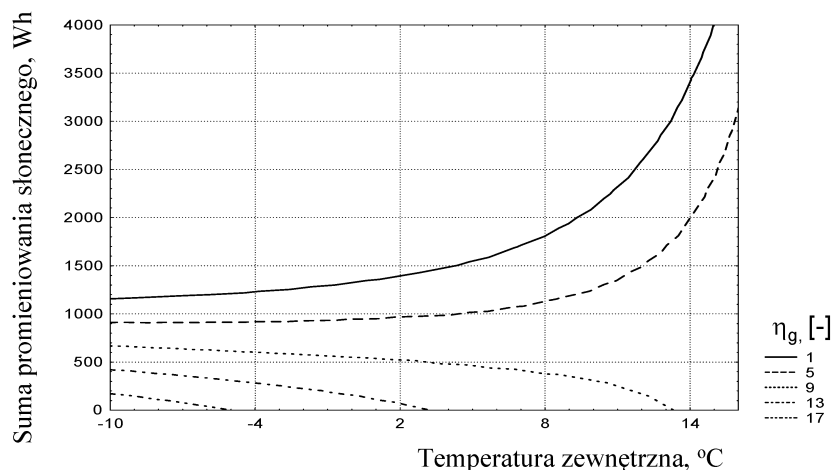
Na rys. 4 przedstawiono wpływ temperatury wewnątrz obiektu na sprawność wymienników przy braku promieniowania słonecznego. Można zauważyć, silną ujemną korelację ($r = -0,81$) wpływu temperatury na sprawność wymienników. Zakres współczynnika η_g mieści się w granicach od 6 (dla $t_{weW} = 16$) do 23 ($t_{weW} = -0,7^\circ\text{C}$).



Rys. 4. Wpływ temperatury wewnątrz obiektu na sprawność wymienników ciecz- powietrze przy zaniku promieniowania słonecznego

Fig. 4. Effect of temperature inside the object on the efficiency of liquid-air exchangers under lack of solar radiation

Ponieważ, odbiór ciepła z górnego źródła odbywa się również w warunkach pogody radiacyjnej, stąd na rys. 5 przedstawiono wpływ promieniowania i temperatury na zewnątrz tunelu na sprawność zastosowanych w badaniach wymienników. Jak widać wraz ze wzrostem sumy promieniowania słonecznego i temperatury otoczenia, sprawność wymienników maleje. Wpływ tych zmiennych niezależnych jest statystycznie istotny. W badanych warunkach zakres analizowanego współczynnika zmian mieści się w granicach od 0,5 do 24. Niższe wartości dotyczą maksymalnej sumy promieniowania i temperatury otoczenia. Przebieg zmian wartości analizowanego współczynnika wynika ze zróżnicowanych warunków odbioru ciepła przez przepływające w warunkach przepływu wymuszonego powietrza wewnętrznego tunelu.



Rys. 5. Wpływ sumy promieniowania słonecznego i temperatury otoczenia na sprawność badanych wymienników ciepła

Fig. 5. Effect of the sum of solar radiation and ambient temperature on the efficiency of the tested heat exchangers

W obydwu analizowanych współczynnikach (efektywności COP_{PC} , sprawności wymienników η_g) czynnikiem determinującym jest ilość odebranego ciepła przez wymienniki. Zastosowany w badaniach system grzewczy polegał na zasysaniu poprzez perforowaną pobocznice przewodu powietrza z górnych warstw tunelu i kierowaniu go poprzez wentylator do płaskich przeponowych krzyżowo-prądowych wymienników cieczowych.

Teoretycznie, ilość odebranego ciepła w wymiennikach a tym samym efektywność i sprawność poszczególnych elementów systemu grzewczego, poza rodzajem konstrukcji wymienników (wymienniki przeponowe, wymienniki z akumulującym ciepło wypełnienie oraz bezprzeponowe mokre wymienniki ciepła) zależy również od warunków wymiany ciepła między czynnikiem obiegowym a przepływającym powietrzem, zaś o intensywności przekazywania ciepła decyduje współczynnik przenikania ciepła. Z kolei, wielkością determinującą jego wielkość jest współczynnik przyjmowania ciepła od strony przepływającego powietrza. Jak wykazała bowiem szczegółowa analiza [Piątek 2003] wartość konwekcyjnego współczynnika po stronie powietrza jest wielokrotnie niższa niż po stronie przepływającej cieczy i to on ma decydujący wpływ na wartość współczynnika przenikania ciepła. Rozwiązania konstrukcyjne wymiennika z rozwiniętą może być różnorodna: np. mogą występować różne kształty i wymiary pojedynczych żeber, zróżnicowane powierzchnie (gładkie, faliste, żaluzjowe), różne gęstości uźebrowania a także odmienne podziały, przekroje i konfiguracje rozmieszczenia rurek. Stosowanie więc wymienników o zwiększonej intensywności przekazywania ciepła do wnętrza obiektu ogrodniczego jest więc koniecznością wynikającą z gwałtownego wzrostu temperatury powietrza pod wpływem promieniowania słonecznego. Jest to konsekwencją transparentności pokrycia obiektu, a tym samym silnej zależności zmian temperatury powietrza wewnątrz obiektu pod wpływem zwiększonego promieniowania słonecznego.

Wnioski

1. Średnie wartości współczynnika efektywności pompy ciepła w zależności od rodzaju wymienników dolnego źródła ciepła wynoszą 1,42 (wymienniki pionowe) oraz 1,52 (wymienniki poziome). Różnice te są statystycznie istotne.
2. Wraz ze wzrostem temperatury powietrza wewnątrz obiektu, sumy promieniowania słonecznego oraz temperatury otoczenia sprawność wymienników cieczowych maleje. W badanych warunkach ich zakres mieścił się w granicach od 0,5 do 24.
3. Przy stosowaniu jako element grzejny w tunelu foliowym wymienników typu ciecz-powietrze należy stosować takie ich konstrukcje które cechują się zwiększoną intensywnością odbioru ciepła.

Bibliografia

- Argiriou A.A., Balaras C.A, Kontoyiannidis S., Michel E.** 2005. Numerical simulation and performance assessment of a low capacity solar assisted absorption heat pump coupled with a sub-floor system. *Solar Energy*, 79(3). s. 290-301.
- Gustavsson L., Svenningsson P.** 1996. Substituting fossil fuels with biomass. *Energy Conversion and Management*, 37(6-8). s. 1211-1216.
- Kurpaska S.** 2007. Analiza energetyczna dolnych źródeł ciepła pompy grzewczej przy ogrzewaniu tunelu foliowego. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 9(97). s. 103-110.
- Kurpaska S., Sporysz M.** 2007. Stanowisko do analizy pracy pomp ciepła wykorzystywanych do ogrzewania tuneli foliowych. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 9(97). s. 119-125.
- Ossebaard M.E., Van Wijk A.J.M., Van Wees M.T.** 1997. Heat supply in The Netherlands: A system analysis of costs, exergy efficiency, CO₂, and NO_x emissions. *Energy*, 22(11), s.1087-1098.
- Piątek R.** 2003. Analiza termodynamiczna ożebrowanego wymiennika ciepła z nierównomiernym dopływem czynników. Praca doktorska, Politechnika Śląska (www.itc.polsl.pl/rp/pdf/atowczndc.pdf).
- Yumruta R., Unsal M.** 2000. A computational model of a heat pump system with a hemispherical surface tank as a ground heat source. *Energy*, 25(4). s. 371-388.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2005-2008 jako projekt badawczy.

ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF THE ELEMENTS OF THE SYSTEM USING A HEAT PUMP TO HEAT A FOIL TUNNEL

Abstract. In the paper the results of studies on the effectiveness of a heat pump cooperating with a heat receiving system, used to heat a foil tunnel, are presented. Energy from the upper heat source was transmitted through the air heating system and used for heating the object. The system included liquid-air exchangers in which, under the conditions of forced flow, air inside the foil tunnel was heated. Interrelationships between the effectiveness of the heat pump and efficiency of the exchangers and weather conditions outside and the microclimate inside the object have been found.

Key words: foil tunnel, heat pump, effectiveness, liquid-air exchangers

Adres do korespondencji:

Sławomir Kurpaska; e-mail: rtkurpas@cyf-kr.edu.pl
Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków