

Sławomir Kurpaska
Katedra Inżynierii Rolniczej i Informatyki
Akademia Rolnicza w Krakowie

ANALIZA NIEKTÓRYCH ZAGADNIENÍ ZWIĄZANYCH Z DOBREM POMPY CIEPŁA DO OGRZEWANEGO OBIEKTU OGRODNICZEGO

Streszczenie

W pracy przedstawiono analizę związaną z doбором sprężarkowej pompy ciepła do ogrzewania tunelu foliowego zlokalizowanego w obiektach Wydziału Agrotechnologii AR w Krakowie. Na bazie średniorocznych wartości temperatury otoczenia oraz założonej temperatury wewnątrz tunelu foliowego, określono średnioroczny współczynnik efektywności energetycznej pompy ciepła (COP). Dla przyjętych warunków analizy znaleziono wartość analizowanego współczynnika, który zmieniał się od 1,7 do 3,5.

Słowa kluczowe: tunel foliowy, pompa ciepła, ogrzewanie

Wstęp

Aktualnie obserwowane, rosnące zainteresowanie niekonwencjonalnymi źródłami energii, szczególnie średnio- i niskotemperaturowymi odpadowymi i odnawialnymi nośnikami ciepła, jest wywołane nie tylko przez systematycznie wzrastające koszty pozyskiwania paliw organicznych oraz zanieczyszczenie środowiska przyrodniczego, ale również stałym wzrostem wiedzy w celu pozyskiwania energii odpadowej lub odnawialnej. Jednym z takich możliwości jest wykorzystywanie pomp ciepła. Pierwsze udokumentowane zastosowanie pompy ciepła do ogrzewania obiektu (ogrzewanie budynku mieszkalnego) datuje się w 1928 r [Brodowicz i Dyakowski 1990]. Na przestrzeni ostatnich lat obserwuje się dynamiczny wzrost wykorzystania pomp ciepła do ogrzewania różnych obiektów. I tak Skorek i wsp. [2003] przedstawili analizę energetyczną stosowania niskotemperaturowych układów ogrzewania budynku mieszkalnego wyposażonego w kocioł gazowy i sprężarkową pompę ciepła. Kalina i Skorek [1999] analizowali ekonomiczną opłacalność

stosowania skojarzonej metody wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w budynkach użyteczności publicznej, stwierdzając w konkluzji konieczność optymalnego doboru mocy analizowanych urządzeń (pompa ciepła, kocioł) do warunków obciążeń cieplnych i elektrycznych. Kubski [1999] analizował celowość (pod względem energetycznym) stosowania pompy ciepła w elektrociepłowni gazowej. W wyniku przeprowadzonej analizy termodynamicznej stwierdził, że stosowanie sprężarkowej pompy ciepła w systemie zawsze prowadzi do polepszenia sprawności energetycznej układu ciepłowni. Chou i wsp. [2004] opracowali analityczny model który wykorzystali do badań efektywności energetycznej stosowania pompy ciepła do ogrzewania i regulacji wilgotności w szklarni. Ozenger i Hepbasli [2005] określili całkowitą i energetyczną sprawność pompy ciepła wykorzystanej do ogrzewania szklarni. Z kolei, Gustavsson i Karlsson [2002] analizowali efekty energetyczno- ekologiczne podczas wykorzystania pompy ciepła do ogrzewania budynków mieszkalnych, stwierdzając w konkluzji konieczność właściwego doboru wielkości pompy do ogrzewanego obiektu ponieważ o końcowych rezultatach decyduje współczynnik efektywności pracy pompy. Z przedstawionych zagadnień badawczych jednoznacznie wynika, że o końcowej efektywności systemu ogrzewania, w którym zastosowano pompę ciepła, decyduje szereg czynników związanych zarówno m.in. z rodzajem dolnego źródła ciepła (wymiennik ciepła współpracujący z: powietrzem atmosferycznym, wodą, glebą) jak również z odpowiednim doбором mocy grzewczej racjonalnie dobranym do wymagań cieplnych ogrzewanego obiektu. Niewłaściwie dobranie mocy cieplnej pompy prowadzi do nadmiernych kosztów związanych zarówno z nakładami związanymi z zakupem urządzenia oraz nadmiernym zużyciem energii elektrycznej służącej do napędu sprężarki pompy. Powszechnie wykorzystywany do oceny wydajności pompy ciepła współczynnik COP (jako iloraz energii cieplnej odbieranej na poziomie źródła górnego do energii napędowej pompy) jest zależy wprost od potencjalnych możliwości zagospodarowania mocy cieplnej wykorzystywanej do ogrzewania obiektu. Stąd celem pracy jest analiza współczynnika COP dla systemu, w którym wykorzystano pompę ciepła do ogrzewania tunelu foliowego.

Materiał i metoda

Podstawą do analizy technicznej instalacji grzewczej jest określenie zapotrzebowania na moc cieplną które służy do doboru mocy pompy ciepła. W celu właściwego doboru mocy pompy należy określić średnie i maksymalne zapotrzebowanie na moc cieplną w sezonie grzewczym rozpatrywanego obiektu. Zależność pomiędzy średnim zapotrzebowaniem na moc cieplną (\bar{q}_{avg}), maksymalnym zapotrzebowaniem

na moc cieplną (q_{max}), a temperaturami zewnętrznymi wynika z zależności w postaci [Szargut i Ziębik 1995]:

$$\frac{\bar{q}_{avg}}{q_{max}} = \frac{t_w - t_{avg.}}{t_w - t_{zmin.}} \quad (1)$$

Wyliczona zależność jest równoważna z tzw. średniorocznym współczynnikiem wykorzystania maksymalnej mocy grzewczej, którego znajomość pozwala na również m.in. na oszacowanie ilości paliwa niezbędnego do ogrzewania analizowanego obiektu przy wykorzystaniu tradycyjnego nośnika ciepła.

Z kolei, roczne zapotrzebowanie na ciepło do ogrzewania można wyznaczyć na podstawie chwilowego zapotrzebowania na ciepło wynikające z temperatury zewnętrznej w postaci:

$$Q_{grz} = \int_0^{\tau_g} q_{chw}(t_z(\tau))d\tau \quad (2)$$

Współczynnik efektywności energetycznej pompy ciepła (COP) obliczono z formuły:

$$COP = \frac{Q_{grz}}{P \cdot \tau_g \cdot 3600} \quad (3)$$

gdzie:

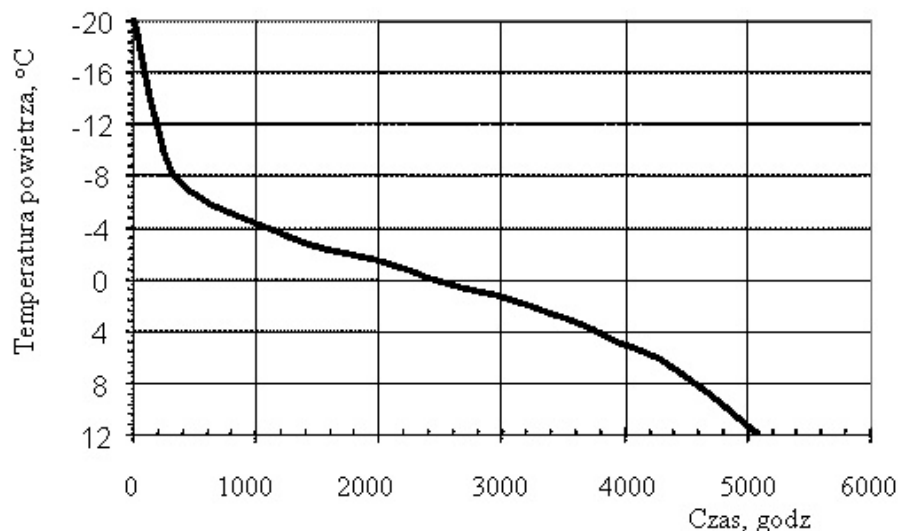
- t_w – założona temperatura wewnątrz tunelu foliowego, °C
- t_{avg} – średnia temperatura zewnętrzna w sezonie grzewczym, °C
- t_{zmin} – obliczeniowa najniższa temperatura powietrza, °C
- τ_g – czas trwania sezonu grzewczego, godz,
- P – moc pompy ciepła, kW.

Wyliczenia przeprowadzono dla doświadczalnego tunelu foliowego o powierzchni uprawy równej 54 m² zlokalizowanego w obiektach Wydziału Agrotechnologii i Inżynierii AR w Krakowie (III strefa klimatyczna). Analizę przeprowadzono dla tunelu ze standardowym wyposażeniem, oraz wyposażonym w ekran cieplny i ekran zagrzewnikowy. Zapotrzebowanie na gęstość strumienia ciepła zaczerpnięto z pracy [Kurpaska i wsp. 2004]. W obliczeniach przyjęto całoroczny okres użytkowania obiektu, zaś temperaturę wewnątrz tunelu na poziomie równym 12°C.

Wyniki i dyskusja

Na rysunku 1 przedstawiono uporządkowany wykres temperatury zewnętrznej dla III strefy klimatycznej [Szargut i Ziębik 1995]. Na podstawie przeprowadzonych wyliczeń można stwierdzić, że dla przyjętej temperatury wewnątrz tunelu, średnio-

roczny współczynnik wykorzystania maksymalnej mocy grzewczej dla III strefy klimatycznej wynosi 0,267. Oznacza to, że w przyjętym do analizy czasie, obliczona maksymalna moc grzewcza będzie wykorzystana w blisko 27% w całym sezonie grzewczym.

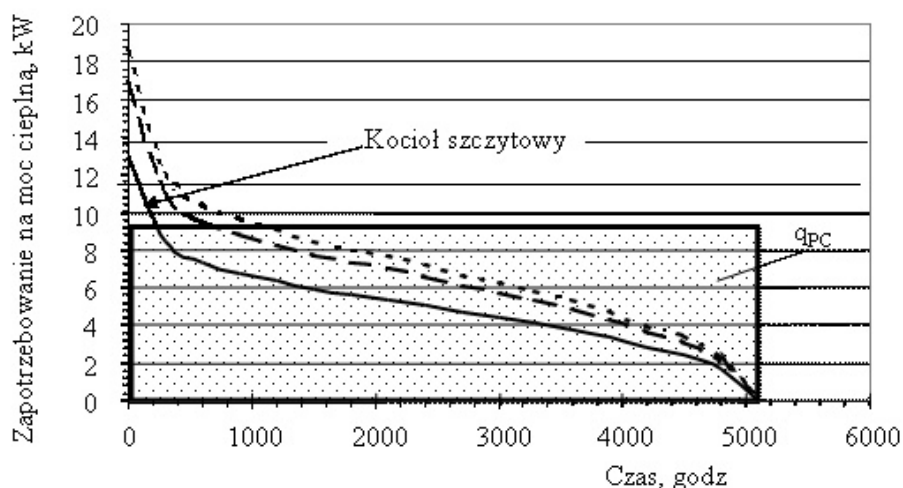


Rys. 1. Uporządkowany wykres temperatury zewnętrznej dla III strefy klimatycznej
Fig. 1. Systematic diagram of outdoor temperature for climatic zone III

Na rysunku 2 zobrazowano zapotrzebowanie na chwilową moc cieplną dla analizowanego tunelu foliowego. Dodatkowo naniesiono również chwilową moc cieplną zainstalowanej w obiekcie pompy ciepła oraz czas pracy kotła szczytowego. Jak widać z przedstawionych czasowych przebiegów mocy grzewczej, najwyższa wartość mocy (dla temperatury otoczenia wynoszącej -20°C) wynosi odpowiednio dla: standardowego tunelu foliowego 18,5 kW, dla tunelu wyposażonego w ekran zagrzejnikowy maksymalna wartość mocy kształtuje się na poziomie 16,8kW, zaś dla tunelu z ekranem zagrzejnikowym i ekranem ciepła blisko 13 kW.

Analizując współpracę zainstalowanej pompy ciepła (o teoretycznej mocy wynoszącej 9,5kW) z czasowymi przebiegami na potrzeby ogrzewanego obiektu, można zauważyć, że dla standardowego tunelu foliowego okres dla którego temperatura powietrza wewnętrznego jest niższa od założonej wynosi ok. 550 godz., dla tunelu wyposażonego w ekran zagrzejnikowy 440 godz., zaś dla tunelu z ekranem zagrzejnikowym i ekranem ciepła wynosi 79 godz. Na podstawie przeprowadzonych

wyliczeń, wynika że tunelu standardowym minimalna temperatura powietrza wyniesie $-3,2^{\circ}\text{C}$, dla tunelu z ekranem nagrzejnikowym $-1,5^{\circ}\text{C}$, zaś dla obiektu z ekranami ciepła minimalna temperatura powietrza wyniesie 4°C .

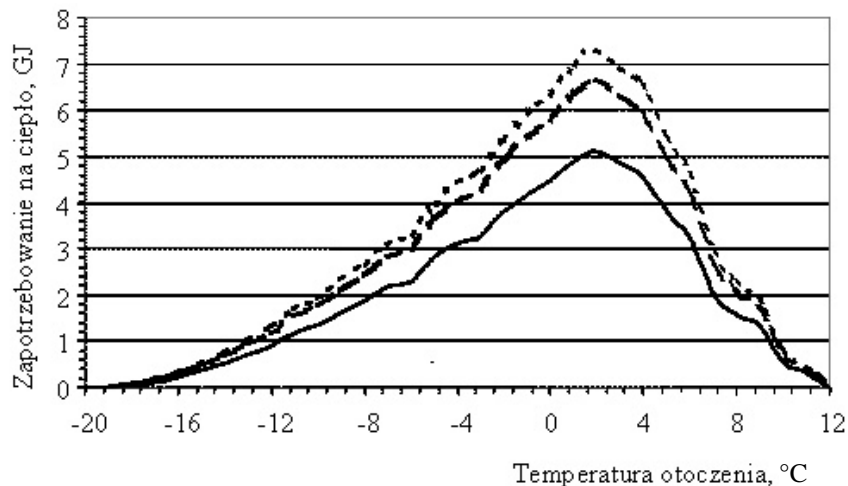


Rys. 2. Zapotrzebowanie na chwilową moc cieplną dla analizowanego tunelu (q_{PC}):
 ----- tunel z ekranem ciepła i ekranem nagrzejnikowym
 - - - - - tunel z ekranem nagrzejnikowym
 - · - · - tunel standardowy

Fig. 2. Demand for instantaneous thermal power for the analyzed tunnel including power supplied by heat pump (q_{PC}):
 ----- tunnel with heat pump and thermal screen
 - - - - - tunnel with thermal screen
 - · - · - standard tunnel

Aby temu zapobiec, należy w obiekcie zainstalować kocioł szczytowy, lub też w warunkach produkcyjnych uprawiać rośliny których występuje dopuszczalna niższa temperatura (np. sałata, rzodkiewka).

Na rysunku 3 przedstawiono roczne przebieg ilości ciepła analizowanych obiektów (z uwzględnieniem liczby godzin występowania temperatury) w funkcji temperatury otoczenia. Można zauważyć, że największe zapotrzebowanie ciepła wynosi dla temperatury otoczenia na poziomie ok. $2,5^{\circ}\text{C}$. Dla tej temperatury, zapotrzebowanie na ciepło wyniesie od ok. 5,1 GJ do ok. 7,3 GJ energii.

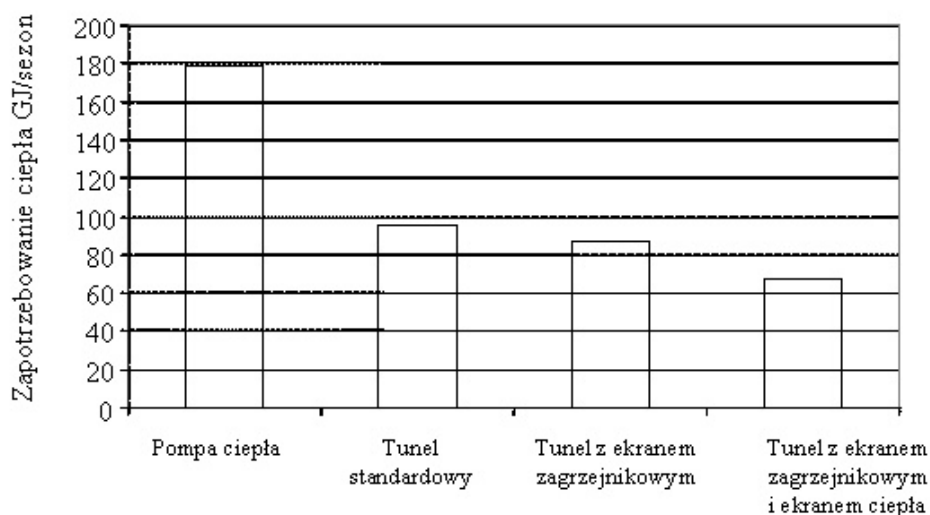


Rys. 3. Szacunkowe chwilowe zużycie ciepła w analizowanym tunelu foliowym
 ----- tunel z ekranem ciepła i ekranem zagrzewnikowym
 - - - - tunel z ekranem zagrzewnikowym ----- tunel standardowy

Fig. 3. Estimated instantaneous heat consumption in the analyzed foil tunnel
 ----- tunnel with heat screen and thermal screen - - - - - tunnel
 with thermal screen ----- standard tunnel

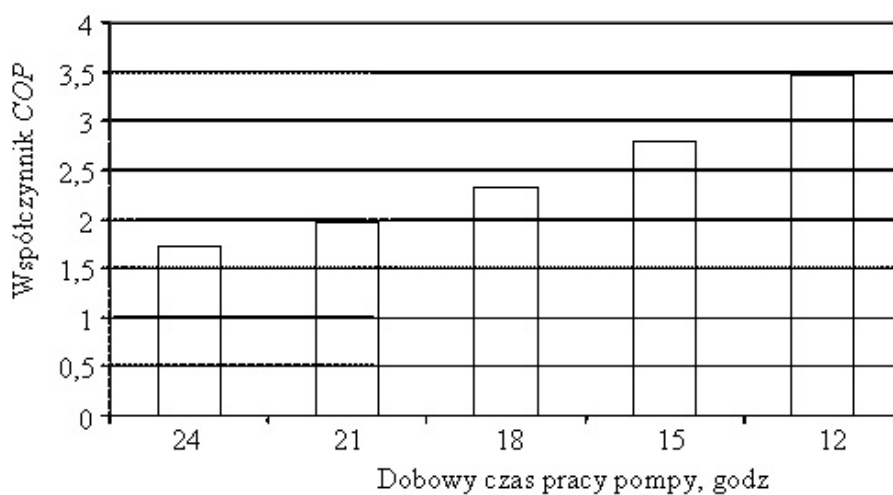
Na rysunku 4 przedstawiono summaryczne zapotrzebowanie na ciepło (wyliczone ze wzoru 2) dla pompy ciepła oraz przyjętego wyposażenia technicznego obiektu. Ciepło generowane przez pompę ciepła obliczono, przyjmując arbitralnie, że wymiennik dolnego źródła ciepła zostanie tak dobrany, że pompa w całym przedziale czasu trwania sezonu grzewczego charakteryzować się będzie mocą znamionową mocą grzewczą. Jak widać, nadwyżka ciepła wytworzonego przez pompę ciepła wyniesie, w zależności od wyposażenia tunelu od 82 (tunel standardowy) do 110GJ ciepła.

Na rysunku 5 przedstawiono przebieg współczynnika efektywności energetycznej pompy ciepła, który w zależności od dobowego czasu pracy wynosi od 1,7 (praca pompy w sposób ciągły) do blisko 3,5 (dla dobowej pracy pompy równej 12 godzin). Przedstawiona analiza dotyczy sytuacji, kiedy moc grzejna na poziomie górnego źródła ciepła będzie wykorzystana w pełny sposób zarówno na potrzeby ogrzewania tunelu jak i dostarczania ciepła do podgrzewania wody technologicznej (nawadnianie roślin, woda na potrzeby socjalno- bytowe). Należy jednak mieć świadomość, że korzystanie z ciepła wytworzonego przez pompę ciepła narzuca konieczność (z racji niskich temperatur wody grzejnej) stosowania w instalacji albo kotła szczytowego lub zwiększenia powierzchni grzejnej systemu ogrzewania.



Rys. 4. Całkowite zapotrzebowanie i produkcja ciepła w analizowanym systemie ogrzewania

Fig. 4. Total demand and generation of heat in the analyzed heating system



Rys. 5. Zmiana współczynnika (COP) w zależności od dobowej pracy pompy

Fig. 5. Change of factor (COP) according to 24-hour operation of the pump

Wnioski

1. Najwyższa wartość mocy grzewczej dla przyjętych wariantów analizy zmienia się od 16,8 do 13 kW, zaś współczynnik wykorzystania maksymalnej mocy grzewczej wynosi 0,267.
2. Dla zainstalowanej pompy ciepła, minimalna chwilowa temperatura wewnątrz obiektu, w zależności od jego wyposażenia wynosi od $-3,2^{\circ}\text{C}$ do 4°C .
3. Największe zapotrzebowanie na ilość ciepła dostarczanego do analizowanego tunelu wynosi przy temperaturze $2,5^{\circ}\text{C}$, a jego wartość zmienia się od 5,1 do 7,3 GJ ciepła.
4. Wartość teoretycznego współczynnika efektywności energetycznej pompy ciepła, w zależności od jej dobowego czasu pracy, mieści się w przedziale od 1,7 do 3,5.

Bibliografia

Brodowicz K., Dyakowski T. 1990. Pompy ciepła. PWN, Warszawa.

Chou S.K., Chua K. J., Ho J.C., Ooi C.L. 2004. On the study of an energy-efficient greenhouse for heating, cooling and dehumidification applications. *Applied Energy*, 77(4), 355-373.

Gustavsson L., Karlsson A. 2002. A system perspective on the heating detached houses. *Energy Policy*, 30 (7): 553-574.

Kalina J., Skorek J. 1999. Opłacalność stosowania małych układów do skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej w pojedynczych obiektach. *Gospodarka Paliwami i Energią*, 7: 2-6.

Kubski P. 1999. Celowość stosowania pomp grzewczych w elektrociepłowni gazowej. *Gospodarka Paliwami i Energią*, 12: 8-11.

Kurpaska S., Latała H., Michałek R., Rutkowski K. 2004. Funkcjonalność zintegrowanego systemu grzewczego w ogrzewanych tunelach foliowych. PTIR, Kraków.

Ozenger O., Hepbasli A. 2005. Experimental performance analysis of a solar assisted ground-source heat pump greenhouse heating system. *Energy and Buildings*, 37 (1): 101-110.

Skorek J., Kruppa R., Foit H., Lubina P. 2003. Wybrane aspekty energetyczne i ekologiczne stosowania niskotemperaturowych układów grzewczych. *Zeszyty Naukowe P.Śl., S. Energetyka z. 139: 323-335.*

Slesarenko V.V. 2001. Heat pumps as a source of heat energy for desalination of seawater. *Desalination*, 139 (1-3): 405-410.

Szargut J, Ziębik A. 1998: *Podstawy energetyki cieplnej*. WNT, Warszawa.

Pracę wykonano w ramach realizacji projektu badawczego: 2 P06R 098 29

**ANALYSIS OF CERTAIN PROBLEMS CONNECTED
WITH SELECTION OF THE HEAT PUMP
FOR A HEATED HORTICULTURAL BUILDING**

Summary

The paper presents the analysis connected with selection of compressor heat pump for heating of a foil tunnel located in the buildings of the Agroengineering Department at AR in Krakow. Based on average annual values of ambient temperature and adopted temperature inside the foil tunnel, average annual energy efficiency factor of the heat pump (COP) was determined. For the conditions adopted for the analysis the value of the analyzed factor, varying from 1.7 to 3.5, was found.

Key words: foil tunnel, heat pump, heating