

WYTYCZNE KONSTRUKCYJNE DLA SYSTEMU WYKORZYSTUJĄCO POMPE CIEPŁA NA POTRZEBY OGRZEWANIA OBIEKTU OGRODNICZEGO*

Sławomir Kurpaska, Hubert Latała
Instytut Inżynierii Rolniczej, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. W pracy omówiono wielkości, które są wykorzystywane przy projektowaniu obiektów ogrodnich za pomocą pomp ciepła. Na bazie przeprowadzonej analizy określono zakres zmian efektywnego współczynnika przenikania ciepła przez osłonę obiektu, a także wyznaczono równanie regresji, które w podanym zakresie pozwala na wyliczenie jego wartości. Na bazie wcześniej określonego współczynnika efektywności zainstalowanej pompy grzewczej (COP) określono również wymaganą moc grzewczą pompy ciepła. Moc ta uzależniona została zarówno od warunków środowiskowych (wewnątrz i na zewnątrz obiektu), jak i procentowego pokrycia zapotrzebowania na wymaganą moc cieplną przez pompę grzewczą. Określono również wymaganą liczbę odwiertów wykonanych na głębokość 100 m, w których zainstalowane będą gruntowe, pionowe wymienniki ciepła typu 1xU oraz 2xU. Stwierdzono także, że w wyniku zastosowania w opracowanym nomogramie standardowych zależności, które opisują zagadnienia energetyczne w ogrzewanym obiekcie, opracowane zależności posiadają zarówno walory poznawcze, jak i aplikacyjne. Można je zatem stosować we wszystkich obiektach ogrodnich, w których zastosowano analizowaną osłonę, a poprzez uogólnienie również w takich obiektach, w których znana jest wartość współczynnika przenikania ciepła oraz powierzchnia obiektu.

Słowa kluczowe: pompa ciepła, pionowe, gruntowe wymienniki ciepła, obiekt ogrodniczy

Wstęp

Zwiększające się wymogi dotyczące ochrony środowiska przyrodniczego, obawa o zasoby paliw kopalnych, stymulują poszukiwanie alternatywnych źródeł energii, w tym również wykorzystanie pompy ciepła. Pompa grzewcza, do funkcjonowania której wymagane jest dostarczenie energii elektrycznej, przy prawidłowym doborze jej elementów składowych cechuje się korzystnymi wskaźnikami eksploatacyjnymi. Wśród tych wskaźników najważniejszym, z punktu widzenia użytkownika, jest uzyskanie najbardziej korzystnej

* Praca wykonana w ramach projektu badawczego NR N N313 445137

relacji ujmującej stosunek energii dostarczonej do obiektu, do energii elektrycznej wykorzystanej do napędu jej części składowych. W przypadku pompy sprężarkowej energia elektryczna jest wykorzystana do napędu sprężarki oraz pomp obiegowych. Z punktu widzenia użytkownika takiego systemu, czynnikami determinującymi efektywność pracy pompy grzewczej jest typ i rodzaj zastosowanego dolnego źródła ciepła oraz sposób odbioru ciepła z jej górnego źródła. Zagadnienia te były przedmiotem analiz wielu badaczy. I tak, Schiffmann i Favrat (2010) opracowali program do optymalizacji pracy elementów składowych pompy sprężarkowej wraz z analizą przepływu czynnika. Uzyskane wyniki na drodze teoretycznych badań zweryfikowali na stanowisku pomiarowym z wielostopniową sprężarką, w której występują procesy dławienia izentalpowego oraz sprężania. W konkluzji stwierdzono, że opracowana metoda może znaleźć zastosowanie w procedurze optymalizacji parametrów wirnika pompy sprężarkowej, minimalizacji strat związanych z przemianą czynnika termodynamicznego oraz przy racjonalnym sterowaniu jej pracą. Ma i Li (2007) badali efekty pompy ciepła, w której zastosowano sprężarkę spiralną (typu Scroll). W układzie zastosowali dodatkowy wymiennik ciepła (nazwany ekonomizerem), w którym gromadzona była para czynnika. Innowacyjność konstrukcji polegała na tym, że w miejsce bezpośredniego kierowania przepływu pary do górnej części obudowy hermetycznej sprężarki kierowano ją do wymiennika, w którym zachodziła przemiana termodynamiczna czynnika chłodniczego. W końcowej analizie określono parametry przemiany czynnika oraz określono wartość egzergii. Karlsson i Fahle (2007) badali oszczędności w zużyciu energii elektrycznej przy zmiennej prędkości obrotowej sprężarki (w miejsce cykliczności pracy pompy ciepła). Na bazie przeprowadzonych rozważań teoretycznych autorzy stwierdzili, że istnieją przesłanki żeby takie rozwiązanie wykorzystać do sterowania ilością dostarczonej energii do budynku o zmiennym rocznym zapotrzebowaniu ciepła. W konkluzji stwierdzono jednak, że pomimo pozytywnych przesłanek, w badaniach całorocznych nie zauważono, że zużycie energii do napędu sprężarki, przy zmodyfikowanym zasilaniu, jest niższe od zużycia przy standardowej (cyklicznej) pracy systemu. Benli (2013) analizował wykorzystanie pompy ciepła do ogrzewania doświadczalnej szklarni. Dolne źródło stanowiły wymienniki gruntowe (zarówno poziome jak i pionowe). Przy wymiennikach gruntowych zastosowano system pętlicowy (sumaryczna powierzchnia odbioru ciepła zlokalizowana na głębokości 2 m wynosiła 13,1 m²), zaś jako wymienniki pionowe zastosowano system U-rurki umieszczonej na głębokości 60 m. Całkowita powierzchnia wymiany ciepła wynosiła 12 m². Obydwa wymienniki współpracowały ze sprężarkową pompą (współpracującą ze zbiornikiem buforowym o pojemności 50 l) zasilaną silnikiem o mocy 1,9 kW, której moc cieplna wynosiła 5,5 kW. W badaniach określono efektywność pracy pompy, zaś w konkluzji stwierdzono, że ten system może być rekomendowany dla szklarnictwa w Turcji (powierzchnia szklarni wynosi ok. 55 tys. ha). Stwierdzono również, że w przypadku współpracy pompy ciepła z pionowym, gruntowym wymiennikiem ciepła, pompę cechuje wyższy współczynnik efektywności pracy. Omer (2008) przedstawił rozwiązania konstrukcyjne wymienników gruntowych, współpracujących ze sprężarkowymi pompami ciepła, stwierdzając w konkluzji, że wszędzie tam, gdzie występują korzystne warunki (wysoki poziom warstw wodonośnych), to urządzenie, z racji możliwości jego wykorzystania również do chłodzenia budynków oraz efektywnego wykorzystania energii elektrycznej (wg autora pompa pozwala zaoszczędzić 30 do 40% energii elektrycznej), jest rekomendowane w rozwiązaniach klimatyzacyjnych. Sanaye i Niroomand (2011) analizo-

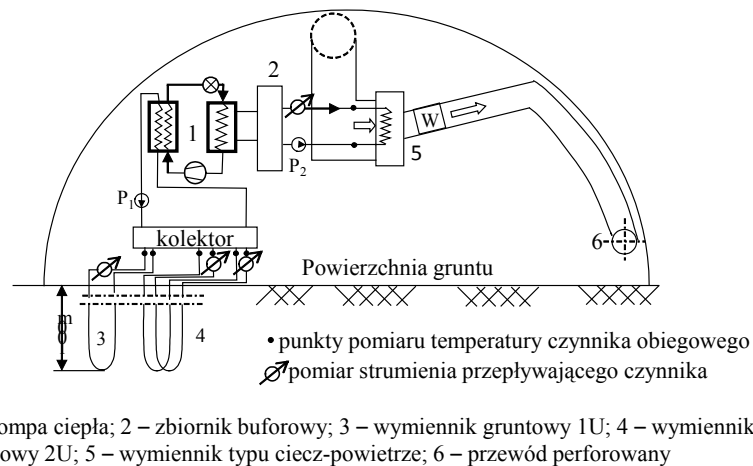
wali efekty energetyczne oraz przeprowadzili procedurę optymalizacji wskaźników ekonomicznych dla strumieniowej pompy ciepła współpracującej z wymiennikami gruntowymi. Jako funkcje celu przyjęto minimalizację rocznych kosztów użytkowania takiej pompy, w której podniesienie entalpii przepływającego gazu odbywa się przez ich sprężanie. Akpinar i Hepbasli (2007) przedstawili analizę porównawczą wraz z oceną ekonomiczną pompy ciepła wykorzystywanej do ogrzewania/chłodzenia budynków mieszkalnych. Hwang i in. (2009) badali efekty stosowania pompy ciepła współpracującej z pionowymi, gruntowymi wymiennikami ciepła, wykorzystywanej do ogrzewania szkoły, określając efektywność pracy w cyklu chłodzenia. Autorzy porównali również uzyskane efekty z pompą ciepła, w której jako dolne źródło ciepła wykorzystano powietrze. Tong i in. (2010) analizowali efekty energetyczne pompy ciepła z dolnym źródłem w postaci wymiennika typu ciecz-powietrze, wykorzystanej do ogrzewania eksperymentalnej szklarni. Autorzy określili współczynnik efektywności pracy pompy, stwierdzając, że jego wartość maleje wraz z obniżaniem się wartości temperatury otoczenia. Huang i Lee (2007) badali efekty systemu, w którym pompa ciepła współpracując w systemie hybrydowym (dolne źródło pompy było zainstalowane w zbiorniku z wodą podgrzewaną przez kolektory), wykorzystywana była do celów socjalnych. Autorzy określili zależność efektywności energetycznej pompy ciepła w funkcji różnicy temperatury cieczy i czynnika obiegowego. Procedurę zastosowali dla różnych wartości natężenia promieniowania słonecznego. Kurpaska (2008) opracował nomogram do określenia parametrów konstrukcyjno-eksploatacyjnych systemów mono- i biwalentnych, w którym pompa ciepła wykorzystywana była do ogrzewania tunelu foliowego. Leong i in. (1998) przeprowadzili eksperymenty symulacyjne, w których analizowano efektywność pracy pompy ciepła współpracującej z poziomymi, gruntowymi wymiennikami ciepła. Jako zmienne wejściowe założono trzy różne gleby (piasek, glina piaszczysta oraz glina ilasta) o zróżnicowanej wilgotności. Stwierdzono, że najwyższą wartość efektywności energetycznej uzyskano dla gleby piaskowej, ponadto dla wszystkich typów gruntu odnotowano zależność badanego parametru od jego wilgotności. Dąbrowski i Hutnik (2010) przeprowadzili teoretycznie analizę ekonomiczną dla systemu, w którym pompa ciepła wykorzystywana była do ogrzewania budynku mieszkalnego. Autorzy odnotowali, że zastosowanie tego źródła ciepła w obecnych warunkach ekonomicznych jest opłacalną inwestycją.

Z przytoczonych wyników badań i analiz wynika jednoznacznie, że zagadnienie współpracy pompy ciepła z ogrzewanym/chłodzonym budynkiem jest aktualną problematyką badawczą, zaś przeprowadzona analiza wykonana została dla różnych komponentów systemu. Stąd głównym celem pracy jest określenie wytycznych konstrukcyjnych dla systemu, w którym pompa ciepła współpracuje z pionowymi, gruntowymi wymiennikami ciepła, zaś energia wykorzystywana jest do ogrzewania tunelu pokrytego osłoną poliwęglanową.

Material i metoda

Przedmiotem rozważań jest system przedstawiony schematycznie na rysunku 1. Stanowisko to składa się z systemu pionowych, gruntowych wymienników ciepła umieszczonych na głębokości 100 m. Sprężarkowa pompa ciepła (1) przekazuje ciepło z dolnego źródła (wymenniki 3 i 4) i gromadzi podgrzany czynnik obiegowy w zbiorniku buforo-

wym (2). System dystrybucji ciepła stanowiły dwie nagrzewnice typu ciecz-powietrze (5), z których podgrzane powietrze dostarczane było do wnętrza obiektu za pomocą przewodów perforowanych (6), współpracujących z wymiennikami ciepła. Zainstalowane w systemie pompy obiegowe (P_1 i P_2) służą do przetłaczania czynnika obiegowego. Na stanowisku przeprowadzono szereg badań eksperymentalnych, na podstawie których określono COP systemu (Kurpaska i Latała, 2012).



Rysunek 1. Schemat stanowiska pomiarowego do analizy zagadnień energetycznych w rozważanym systemie

Figure 1. Schematic representation of the measurement stand for analysis of energy issues in the discussed system.

Rozważany problem, z punktu widzenia realizacji postawionego celu pracy, można przedstawić graficznie (rys. 2).

W analizowanym systemie założono, że oprócz pompy grzewczej jako uzupełniające źródło ciepła zainstalowany zostanie dodatkowo kocioł szczytowy.

Do wyznaczenia strumienia strat ciepła (q_{str}) wymagana jest znajomość współczynnika przenikania ciepła przez osłonę (k_{osl}). Dysponując wartością tego parametru, w następnej kolejności, przy założonej powierzchni użytkowej tunelu $F_{uż}$ oraz wymaganej temperaturze wewnętrznej (t_{wew}), określone zostanie zapotrzebowanie na moc grzewczą, która winna uwzględnić straty ciepła.

Uwzględniając powyższą procedurę, do obliczenia wymaganych wielkości wykorzystane zostały następujące zależności:

– gęstość strumienia strat ciepła przez osłonę obiektu:

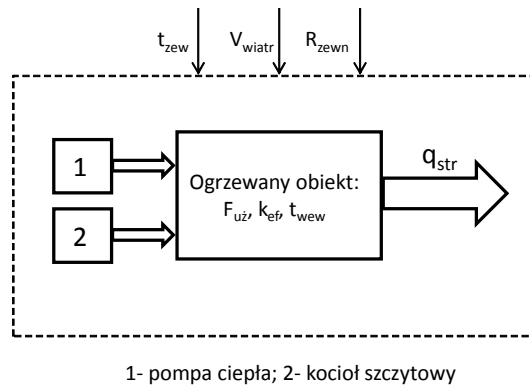
$$q_{str} = \frac{F_{osl}}{F_{uż}} \cdot k_{ef} \cdot (t_{wew} - t_{zew}) \quad (1)$$

- moc cieplna pompy grzewczej:

$$q_{PC} = \sum_{i=1}^5 P(COP - 1) \quad (2)$$

- moc cieplna kotła szczytowego:

$$q_k = q_{str} - q_{PC} \quad (3)$$



Rysunek 2. Schemat rozważanego systemu

Figure 2. Schematic representation of the discussed system

Efektywny współczynnik przenikania ciepła (k_{ef}) obliczono z zależności:

$$k_{ef} = \frac{m \cdot c_w \frac{dt}{d\tau}}{F_{osl} \cdot (t_{wew} - t_{zew})} \quad (4)$$

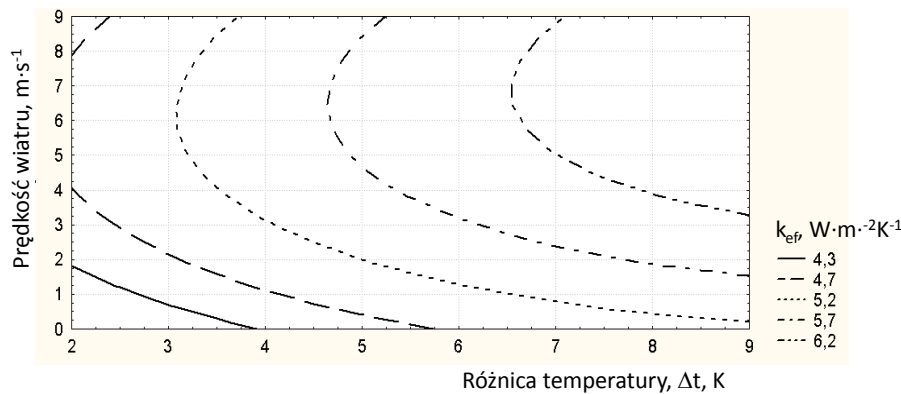
gdzie:

- F_{osl} – powierzchnia osłony obiektu (m^2);
- F_{uz} – powierzchnia użytkowa obiektu (m^2);
- k_{ef} – efektywny współczynnik przenikania ciepła przez osłonę ($W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$);
- t_{wew}, t_{zew} – odpowiednia temperatura wewnątrz i na zewnątrz obiektu ($^{\circ}C$);
- COP – współczynnik efektywności pracy pompy ciepła [-];
- P – całkowita moc (w rozważanym systemie występuje pięć odbiorów elektrycznych) zainstalowanych elektryczna (kW);
- m – masa powietrza wewnątrz obiektu (kg);
- c_w – ciepło właściwe powietrza wewnętrznego ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$);
- $\frac{dt}{d\tau}$ – czasowa (określona dla stanu ustalonego) zmiana temperatury powietrza wewnątrz obiektu (dt) w różniczkowym czasie ($d\tau$) ($K \cdot s^{-1}$).

Wyniki i dyskusja

Analizę przeprowadzono dla tunelu pokrytego osłoną z poliwęglanu o grubości 4 mm. Objętość powietrza wewnątrz tunelu wynosi 155 m^3 , zaś powierzchnia osłony 132 m^2 . Zakres zmian parametrów podczas wykonywania doświadczeń, mających na celu wyznaczenie efektywnego współczynnika przenikania ciepła (k_{ef}), mieścił się w zakresie: prędkość wiatru $0,5 < V < 8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, zaś zakres różnicy temperatury (między wnętrzem obiektu i otoczeniem) w przedziale $2 < \Delta t < 9 \text{ K}$. W obliczeniach przyjęto wskaźnik osłony (liczony jako powierzchni osłony w relacji do powierzchni użytkowej) na poziomie równym 2,0, zaś współczynnik COP pompy ciepła równy 2,7.

Na rysunku 3 przedstawiono wyniki obliczeń współczynnika przenikania ciepła przez osłonę obiektu.



Rysunek 3. Zmiana wartości współczynnika przenikania ciepła przez osłonę obiektu w funkcji zmiennych niezależnych

Figure 3. Change of the value of heat penetration coefficient by the facility cover as a function of independent variables

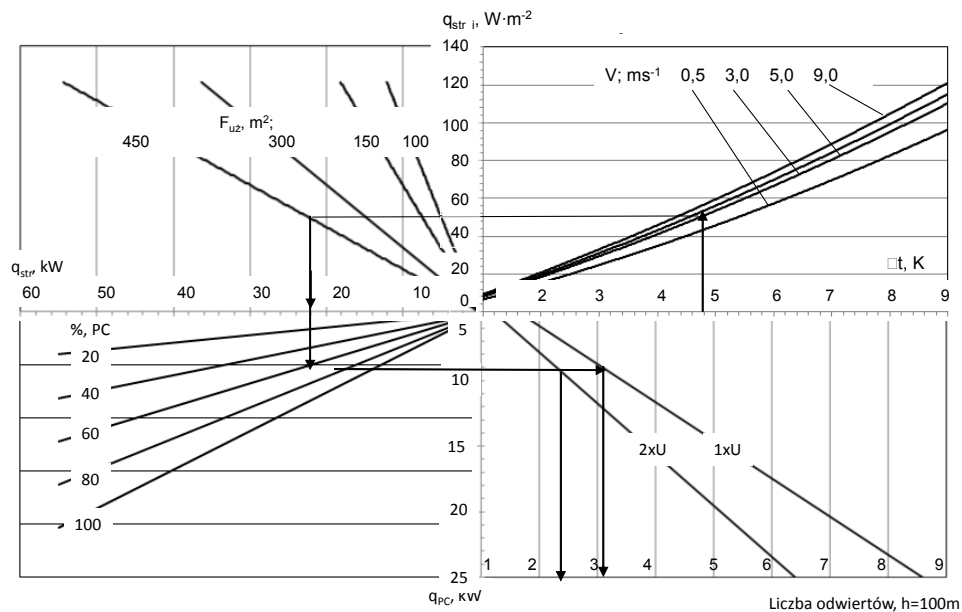
Można zauważyć, że zarówno wzrost różnicy temperatury oraz prędkości wiatru powoduje wzrost wartości analizowanego współczynnika, zaś zakres zmian mieści się w przedziale od $4,1$ do $6,7 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Dla uzyskanych wyników znalezione równanie, ujmujące związek (postać modelu potęgowego wybrano w oparciu o największą wartość współczynnika determinacji; zależność ta została określona estymacją nieliniową metodą quasi-Newtona przy zachowanym współczynniku zbieżności $0,001$) między wartością współczynnika a zmiennymi decyzyjnymi, przyjmuje postać:

$$k_{ef} = \Delta t^{0,5} + 2,62 \cdot V^{0,16}; \quad R^2=0,98$$

W zakresie stosowania: $0,5 \leq \Delta t \leq 8 \text{ K}$; $1 \leq V \leq 9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Zakres błędu względnego (ϵ) wyznaczonego z powyższego równania współczynnika mieści się w granicach $0,6 < \epsilon < 5,5$ %, zaś średni błąd kwadratowy (σ) wynosi $0,12 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$.

Na bazie wyznaczonej wartości współczynnika opracowano wytyczne do projektowania pompy ciepła dla obiektów pokrytych analizowanym poliwęglanem. Wyniki obliczeń przedstawiono na rysunku 4.



Rysunek 4. Nomogram do wyznaczenia parametrów konstrukcyjnych przy wykorzystaniu pompy ciepła do ogrzewania obiektu

Figure 4. Nomogram for determination of structural parameters at the use of a heat pump for heating the facility

I tak, w I ćwiartce zaznaczono zależność zmian jednostkowego strumienia strat ciepła dla zmiennych warunków otoczenia (prędkość wiatru oraz różnica temperatury między wnętrzem obiektu a otoczeniem). W przyjętym zakresie zmian parametrów klimatu, zakres zmian jednostkowego strumienia ciepła mieści się w granicach od blisko 7 do ponad $120 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

W II ćwiartce układu współrzędnych zobrazowano wielkość strat ciepła dla obiektu o zróżnicowanej powierzchni użytkowej. Można zauważyć, że całkowity zakres zmian strumienia strat ciepła (w przyjętym do analizy zakresie zmian zmiennych charakteryzujących warunki środowiskowe) mieści się w granicach od $0,7 \text{ kW}$ (powierzchni użytkowa 100 m^2 , różnica temperatury między wnętrzem a otoczeniem równa 1 K , prędkość wiatru $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) do blisko 55 kW ($F_{uz} = 450 \text{ m}^2$, $\Delta t = 9 \text{ K}$).

Z kolei w III ćwiartce przedstawiono wymaganą moc grzewczą pompy ciepła, przy zróżnicowanym procentowym (% PC) pokryciu zapotrzebowania strat ciepła. Jak widać,

w zależności od przyjętego arbitralnie procentowego pokrycia (od 20 do 100%), moc grzewcza pompy ciepła (o założonym współczynniku COP) mieści się w granicach od 0,37 kW ($F_{uz} = 100 \text{ m}^2$, $\Delta t = 1 \text{ K}$) do blisko 23 kW (dla: $F_{uz} = 450 \text{ m}^2$, $\Delta t = 9 \text{ K}$).

W IV ćwiartce przedstawiono wymaganą liczbę odwiertów (typu pojedyncza U-rurka oraz podwójna U-rurka wykonanych na głębokość 100 m), które stanowią dolne źródło ciepła dla rozważanej pompy grzewczej. W celu pokrycia zapotrzebowania ciepła przez pompę, wyliczona liczba odwiertów mieści się w granicach od 1 ($F_{uz} = 100 \text{ m}^2$, $\Delta t = 1 \text{ K}$, typ 2U) do 9 sztuk ($F_{uz} = 450 \text{ m}^2$, $\Delta t = 9 \text{ K}$, typ zastosowanego odwiertu 1U).

Na opracowanych graficznych przebiegach wyznaczono poglądowo również sposób posługiwania się opracowanymi danymi. Przykładowo jeśli różnica temperatury między wnętrzem obiektu a otoczeniem wynosi 5 K i średnia prędkość wiatru jest równa $3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, wtedy dla obiektu o powierzchni użytkowej 450 m^2 sumaryczne straty ciepła wyniosą ok. 21 kW. Jeśli przyjąć, że moc grzewcza pompy ciepła pokryje w 40% obliczone straty ciepła, wtedy należy wykonać 3 odwierty na głębokość 100 m (typu 2xU) oraz 4 odwierty 1xU. Widać również, że te odwierty wykonane na założoną głębokość mogą zaspokoić zapotrzebowanie na wyższą moc grzewczą pompy równą ok. 12 kW. Według omówionej procedury można wyznaczyć także zapotrzebowanie ciepła, dobrać wymaganą moc grzewczą pompy ciepła, jak również określić liczbę odwiertów.

Z przedstawionej analizy wynika również, że wymagane jest zainstalowanie w układzie kotła szczytowego. Moc kotła jest uzupełnieniem mocy dostarczanej przez pompę ciepła. W rozważanych wariantach moc ta winna kształtować się od 6 do 100 kW. Oczywiście ta moc jest konsekwencją przyjętych do analizy warunków zewnętrznych. W każdym innym przypadku wymagana moc grzewcza pompy ciepła jak i moc kotła ulegnie zmianie.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonej analizy opracowane graficzne zależności (w formie nomogramu) pozwalają określić wymagane parametry konstrukcyjne dla systemu, w którym planowana jest instalacja pompy ciepła. Z faktu, iż do wyznaczenia podanych wielkości wykorzystano standardowe zależności stosowane w problematyce omawiającej ruch ciepła, można stwierdzić, że cechuje je uniwersalność a w konsekwencji również możliwość aplikowania na podobne objekty. Jako obiekt grzewczy przyjęto w analizie tunel foliowy, pokryty poliwęglanem, zaś do opisu zapotrzebowania na moc cieplną urządzeń grzewczych wykorzystano efektywny współczynnik przenikania ciepła przez osłonę. Współczynnik ten jest addytywną funkcją rodzaju zastosowanego materiału oraz wszelkich innych elementarnych strumieni ciepła przekazywanego z wnętrza ogrzewanego obiektu do otoczenia (drogą infiltracji i przewodzenia do profilu glebowego). Wyznaczona wartość tego współczynnika jest uzależniona od warunków środowiskowych: temperatury na zewnątrz i wewnątrz obiektu oraz prędkości wiatru. Obiekt ogrodniczy uwzględnia również i rodzaj jego konstrukcji zdefiniowany jako tzw. wskaźnik osłony. Na bazie założonego hipotetycznie zapotrzebowania na moc grzewczą określono zapotrzebowanie na moc pompy ciepła (różną w zależności od deklaracyjnych wartości stopnia pokrycia zapotrzebowania maksymalnego), a w konsekwencji – na wymaganą liczbę odwiertów, w których zainstalowane będą pionowe gruntowe wymienniki ciepła, o głębokości 100 m. Stąd można

jednoznacznie stwierdzić, że opracowane wytyczne posiadają wartość poznawczą oraz mogą znaleźć zastosowanie w praktyce grzewczej podobnych obiektów ogrodnich.

Literatura

- Akpınar, E.; Hepbaslı, A. (2007). A comparative study on exergetic assessment of the ground source (geothermal) heat pump systems for residential applications. *Building and Environment*, 42, 2004-2013.
- Benli, H. (2013). A performance comparison between a horizontal source and a vertical source heat pump systems for a greenhouse heating in the mild climate Elazığ, Turkey, *Applied Thermal Engineering*, 50, 197-206.
- Dąbrowski, J.; Hutnik, E. (2010). Opłacalność ekonomiczna zastosowania pompy ciepła do ogrzewania wiejskiego budynku mieszkalnego. *Inżynieria Rolnicza*, 1(119), 151-159.
- Huang, B.J.; Lee, C.P. (2007). Performance evaluation method of solar-assisted heat pump water heater. *Applied Thermal Engineering*, 27, 568-575.
- Hwang, Y.; Lee, J.K.; Jeong, Y.M.; Koo, K.M.; Lee, D.H.; Kim, I.K.; Jin, S.W.; Kim, S.H. (2009). Cooling performance of a vertical ground-coupled heat pump system installed in a school building. *Renewable Energy*, 34(3), 578-582.
- Karlsson, F.; Fahle, P. (2007). Capacity-controlled ground source heat pumps in hydronic heating systems. *International Journal of Refrigeration*, 30, 221-229.
- Kurpaska, S. (2008). Wytyczne konstrukcyjno-eksploatacyjne dla systemów wykorzystujących pompę ciepła do ogrzewania obiektów ogrodnich. *Inżynieria Rolnicza*, 2(100), 155-162.
- Kurpaska, S.; Latała, H. (2012). Energy efficiency of ground heat exchangers co-operating with compressor heat pump. *TEKA, Commission of Motorization and Energetics in Agricultures*, Vol. 12, 1, 143-148.
- Leong, W. H.; Tarnawski, V. R.; Aittomaki, A. (1998). Effect of soil type and moisture content on ground heat pump performance. *International Journal Refrigeration*, 21(8), 595-606.
- Ma, G.; Li, X. (2007). Exergetic optimization of a key design parameter in heat pump systems with economizer coupled with scroll compressor. *Energy Conversion and Management*, 48, 1150-1159.
- Omer, M.A. (2008). Ground-source heat pumps systems and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(2008), 344-371.
- Sanaye, S.; Niroomand, B. (2011). Vertical ground coupled steam ejector heat pump; thermal-economic modeling and optimization. *International Journal of Refrigeration*, 34, 1562-1576.
- Schiffmann, J.; Favrat, D. (2010). Design, experimental investigation and multi-objective optimization of a small-scale radial compressor for heat pump applications. *Energy*, 35, 436-450.
- Tong, Y.; Kozai, T.; Nishioka, N.; Ohyama, K. (2010). Greenhouse heating using heat pumps with a high coefficient of performance (COP). *Biosystem Engineering*, 106, 405-411.

STRUCTURE GUIDELINES FOR THE SYSTEM USING A HEAT PUMP FOR HEATING A GARDEN FACILITY

Abstract. Sizes which are used at designing garden facilities with the use of heat pumps were discussed in the paper. Based on the analysis which was carried out, the scope of changes of effective coefficient of heat penetration through the facility cover and regression equation, which in a given scope allows calculation of its value, were determined. Based on the previously determined effectiveness of the installed heat pump (COP) also the required heating power of the heat pump was determined. This power depends on both environmental conditions (inside and outside the facility) as well as the percentage satisfaction of demand for the required heat power by the heat pump. The required number of 100 m boreholes, where ground vertical heat exchangers type 1xU and 2xU will be installed was also determined. Moreover, it was found that as a result of the use of standard relations in the developed nomogram, which describe energy issues in the heated facility, the developed relations have both cognitive as well as application values. Therefore, they may be used in all garden facilities, where the analysed cover was used and by generalization in these objects, where the value of heat penetration coefficient and the area of the facility are known.

Key words: heat pump, vertical ground heat exchangers, garden facility

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