

ANALIZA TERMODYNAMICZNA RUROWYCH GRUNTOWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA DO PODGRZEWANIA POWIETRZA WENTYLACYJNEGO

MARLENA ŚWIACZNY, MAŁGORZATA HANUSZKIEWICZ-DRAPAŁA

*Institut Techniki Ciepłej, Politechnika Śląska
e-mail: malgorzata.hanuszkiewicz-drapala@polsl.pl*

Streszczenie. W pracy przedstawiono rezultaty analizy termodynamicznej układu rurowego gruntowego wymiennika ciepła, w którym podgrzewane (chłodzone) jest powietrze. Powietrze jest następnie wykorzystywane w systemie wentylacji budynku. Wymiennik ciepła składający się z sześciu równoległych rur zainstalowany jest w wierzchniej warstwie górotworu. Rozpatrywany jest okres jednego roku działania urządzenia. W pracy przedstawiono i porównano rezultaty obliczeń dla różnych parametrów geometrycznych gruntowego wymiennika ciepła.

1. WSTĘP

Zmniejszenie zużycia energii wykorzystywanej do ogrzewania budynków jest w chwili obecnej bardzo istotnym problemem. Współczesne obiekty, zarówno mieszkalne jak i budynki użyteczności publicznej, muszą spełniać wymagania techniczne związane z odpowiednią izolacyjnością cieplną. Budowa domów pasywnych, stosowanie instalacji odzyskiwania ciepła w układach wentylacyjnych, czy też wykorzystywanie górotworu jako niskotemperaturowego źródła ciepła służącego do podgrzewania powietrza wentylacyjnego pozwala na zmniejszenie zużycia energii na cele grzewcze [1-2]. Na ogół jednak wspomniane energooszczędne rozwiązania wpływają na wzrost kosztów inwestycyjnych, w związku z czym ich zastosowanie powinno być poprzedzone analizą techniczno – ekonomiczną o charakterze optymalizacyjnym.

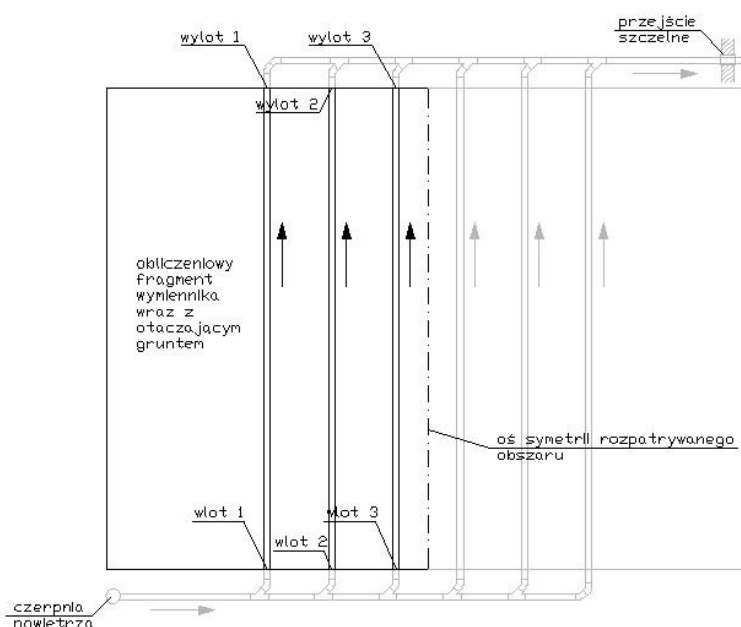
Celem niniejszej pracy jest analiza możliwości wykorzystania górotworu jako źródła ciepła wykorzystywanego do podgrzewania w okresie zimowym i chłodzenia w okresie letnim powietrza atmosferycznego, które następnie dostarczane jest do systemu wentylacji budynku. Jak wykazały analizy dotyczące gruntowych wymienników ciepła pomp grzejnych [3-5], strumień ciepła pobieranego z gruntu jest zmienny w okresie funkcjonowania urządzenia i zależy od wielu czynników, m.in. od parametrów geometrycznych gruntowych wymienników ciepła, parametrów termofizycznych gruntu, sposobu działania – cyklicznego lub ciągłego, bądź też ruchu wód gruntowych.

W pracy niniejszej przedstawiono wyniki numerycznych analiz obliczeniowych zrealizowanych dla wybranych parametrów geometrycznych zainstalowanego w gruncie, rurowego, poziomego wymiennika ciepła. Rozpatrywany wymiennik ma postać kilku równoległych rur. Zbadano wpływ odległości pomiędzy rurami oraz wpływ głębokości

ułożenia rur na efekt działania urządzenia, tj. na temperaturę powietrza przy wypływie z układu gruntowego wymiennika ciepła.

2. MODEL GRUNTOWEGO WYMIENNIKA CIEPŁA

Schemat gruntowego wymiennika ciepła przedstawiono na rys.1. Składa się on z sześciu równoległych rur. Powietrze atmosferyczne, o zmiennej w rozpatrywanym okresie czasu temperaturze, przepływając przez układ rur, pobiera ciepło z gruntu, bądź też oddaje ciepło do gruntu. W rozważanych przypadkach założono, że wymiennik ciepła funkcjonuje w sposób ciągły.



Rys. 1 Schemat układu gruntowego rurowego wymiennika ciepła do podgrzewania (chłodzenia) powietrza

Obliczenia zrealizowano za pomocą programu ANSYS FLUENT. Model gruntowego wymiennika ciepła jest modelem trójwymiarowym. Rozpatrywany jest powtarzalny fragment, który obejmuje obszar górotworu wraz z trzema rurami o długości 15 m (rys. 2). Obszar ten jest ograniczony czterema pionowymi płaszczyznami adiabatycznymi. Dwie z nich zawierają przekroje rur odpowiednio przy dopływie i przy wypływie powietrza. Trzecia powierzchnia stanowi płaszczyznę symetrii układu, czwartą zaś jest powierzchnia równoległa do niej usytuowana w odległości 5 m od zewnętrznej rury wymiennika. Górną płaszczyznę ograniczającą rozpatrywany obszar jest powierzchnia gruntu, dolną zaś powierzchnia leżąca na głębokości 8 m. Procesy zachodzące w rozpatrywanym układzie mają charakter nieustalony. Program ANSYS FLUENT wykorzystuje następujące równania:

- równanie ciągłości

$$\frac{\partial}{\partial t} \rho + \nabla(\rho \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

- równanie zachowania pędu

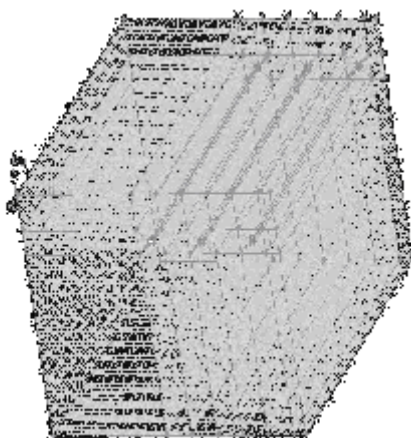
$$\frac{\partial}{\partial t} \rho \vec{v} + \nabla(\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla p + \nabla \vec{\tau} + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (2)$$

-równanie bilansu energii

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) + \nabla(\rho h \bar{v}) = \nabla(k_{eff} \nabla T) + S_E \quad (3)$$

gdzie: ρ - gęstość, t - czas, \bar{v} - wektor prędkości, p - ciśnienie, \bar{g} - wektor siły ciężkości, \bar{F} - wektor sił masowych, $\bar{\tau}$ - wektor naprężeń, S_m - zewnętrzne źródła masy, h - entalpia, k_{eff} - przewodność cieplna, T - temperatura, S_E - źródła mocy cieplnej.

W obszarze ciała stałego - gruntu, rozwiązywany jest problem przewodzenia ciepła, przy czym uwzględnione zostało zjawisko zmiany fazy wilgoci zawartej w gruncie. Na górnej powierzchni gruntu ma miejsce konwekcyjna wymiana ciepła z otoczeniem o zmiennej podczas rozpatrywanego okresu czasu temperaturze, przy założonej stałej wartości współczynnika wnikania ciepła $10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Warunkiem brzegowym przy dopływie do rur jest prędkość oraz temperatura powietrza atmosferycznego. Startowym rozkładem temperatury w gruncie jest rozkład temperatury będący efektem wstępnych obliczeń dla rozpatrywanego obszaru nie zawierającego rur, dla okresu roku poprzedzającego moment startowy działania gruntowego wymiennika ciepła. W obliczeniach wstępnych przyjęto, iż początkowa temperatura gruntu równa jest 8°C .

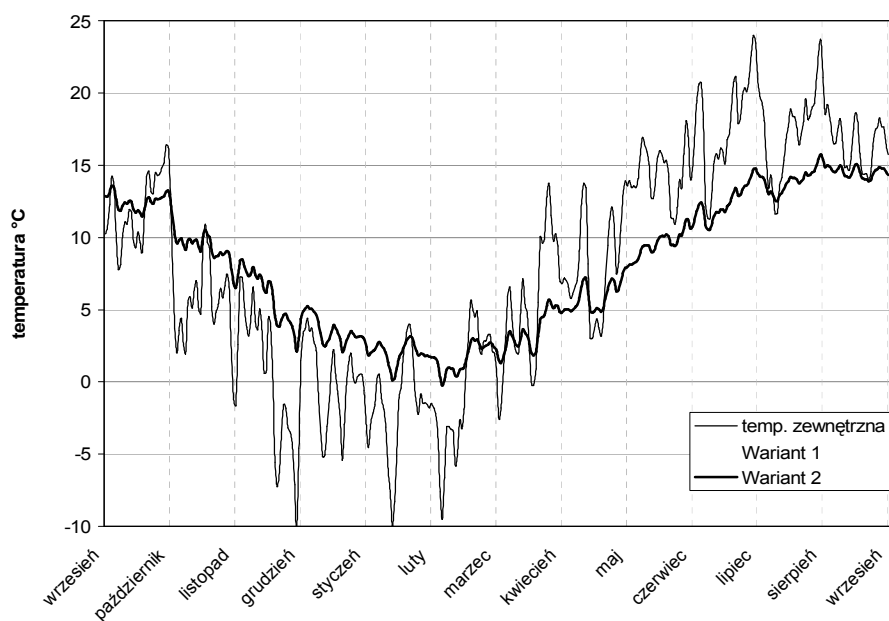


Rys. 2 Powtarzalny fragment gruntowego wymiennika ciepła do podgrzewania (chłodzenia) powietrza wentylacyjnego

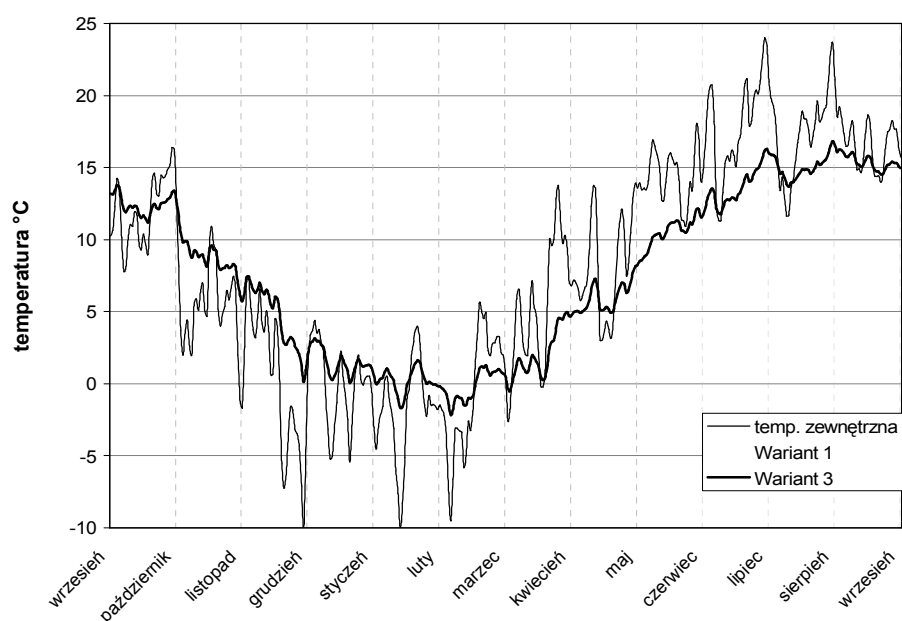
3. WYNIKI OBLICZEŃ, WNIOSKI

Opracowany model gruntowego wymiennika ciepła do podgrzewania (chłodzenia) powietrza atmosferycznego dla układu wentylacji obiektu posłużył do przeprowadzenia wariantowych obliczeń dla różnych głębokości usytuowania rur h oraz różnych odległości pomiędzy rurami x . Rozpatrzono trzy przypadki: wariant 1: $h=1,5 \text{ m}$, $x=2\text{m}$; wariant 2: $h=2 \text{ m}$, $x=2\text{m}$; wariant 3: $h=1,5 \text{ m}$, $x=1\text{m}$. Obliczenia dla każdego z wariantów zrealizowano dla następujących danych: prędkość powietrza przy dopływie do rur $0,5 \text{ m/s}$, średnica zewnętrzna rury $0,20 \text{ m}$, iloczyn gęstości i pojemności cieplnej właściwej gruntu $3737 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ i współczynnik przewodzenia ciepła gruntu $1,5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ dla stanu niezamrożonego, dla stanu zamrożonego odpowiednio $2607 \text{ kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ i $1,75 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ [6]. Wyniki obliczeń zobrazowano na rys. 4-7. Przebieg przyjętej średniej dobowej temperatury powietrza atmosferycznego przy dopływie do rur oraz wyznaczone przebiegi średniej temperatury powietrza przy wypływie z układu wymiennika przedstawiono na rys. 3 i 4. Przeprowadzone obliczenia wykazały, że zastosowanie gruntowego wymiennika ciepła w okresach zimowym i letnim pozwala na uzyskanie oczekiwanego efektu, tj. podgrzania powietrza w okresie

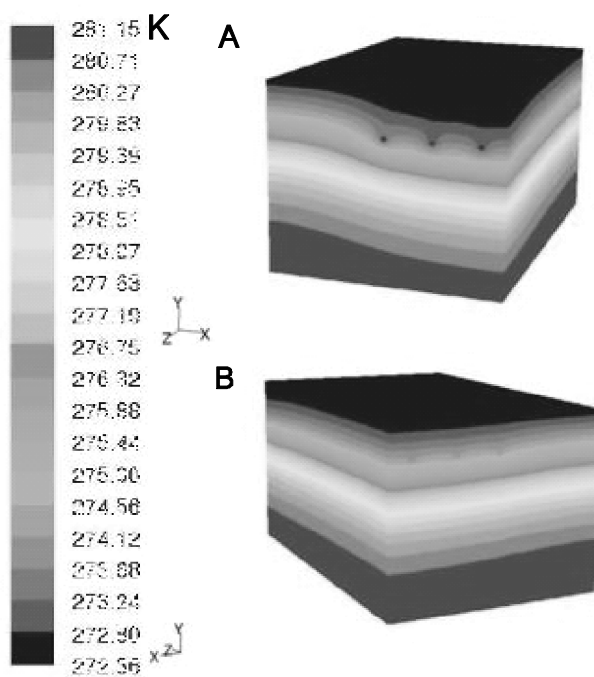
zimowym i ochłodzenia powietrza latem. W okresie wczesnojesiennym i wczesnowiosennym działanie gruntowego wymiennika ciepła może przynosić efekt niekorzystny, np. poprzez dodatkowe ochłodzenie powietrza, podczas gdy wskazane byłoby ogrzanie powietrza. W rozpatrywanych przypadkach zjawisko to jest widoczne w początkowym okresie października i w marcu (rys. 3, 4). Istotne wydaje się w związku z tym sterowanie przepływem powietrza, tak aby w pewnych okresach powietrze było doprowadzane wprost do obiektu z pominięciem gruntowego wymiennika ciepła. Wówczas urządzenie funkcjonowałoby cyklicznie, co z pewnością wpłynęłoby na stan termiczny gruntu. Wyniki obliczeń otrzymane dla rozważnych wariantów wykazały, że zwiększenie głębokości usytuowania rur pozwala uzyskiwać korzystniejsze efekty działania w postaci podgrzania powietrza w okresie zimowym i obniżenia jego temperatury w okresie letnim (rys. 3). Odwrotne zjawisko można zaobserwować dla wariantu 3, tj. przypadku zmniejszenia odległości pomiędzy rurami wymiennika (rys. 4). Przykładowe rozkłady temperatury w gruncie w lutym zaprezentowano na rys. 5. Zmienność średniego dobowego strumienia ciepła pobieranego z gruntu (oddawanego do gruntu) podczas całego roku przedstawiono na rys. 6. Strumień ten zależy zarówno od chwilowego stanu termicznego gruntu jak też od chwilowej temperatury powietrza atmosferycznego doprowadzanego do rur wymiennika ciepła.



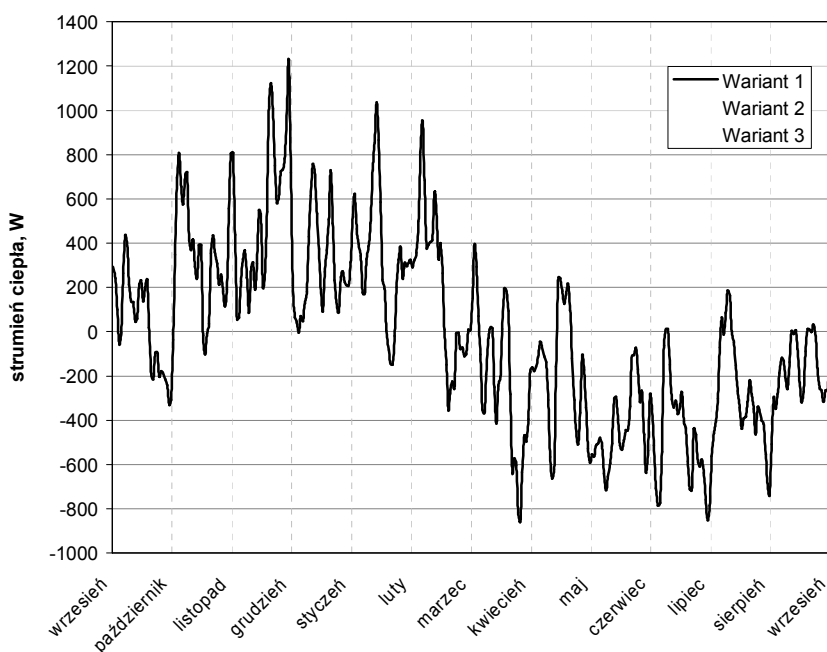
Rys. 3 Zmienność średniej temperatury powietrza przy wypływie z rur dla wariantu 1 i 2



Rys. 4 Zmienność średniej temperatury powietrza przy wypływie z rury dla wariantu 1 i 3



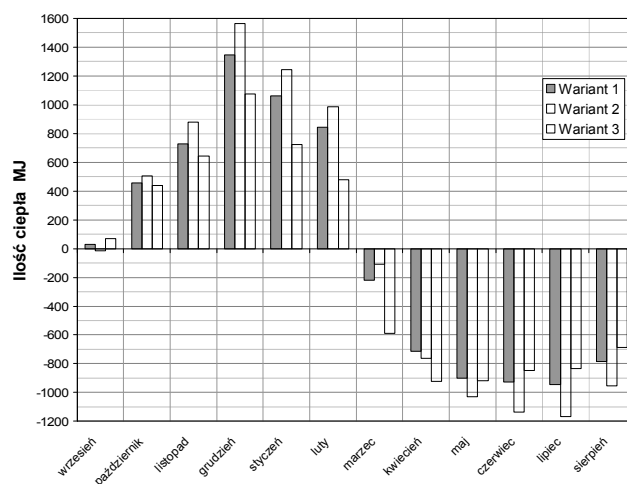
Rys. 5 Rozkłady temperatury w gruncie wokół rur wymiennika ciepła w lutym: A) widok od strony dopływu do rur, B) widok od strony wypływu z rur (wariant 1)



Rys. 6 Zmienność strumienia ciepła pobieranego z gruntu (oddawanego do gruntu)

Obliczona całkowita ilość ciepła pozyskiwanego z gruntu (oddawanego do gruntu) w okresach miesięcznych, przedstawiona na rys. 7, wskazuje na celowość zwiększania głębokości usytuowania rur w gruncie i zwiększania odległości pomiędzy rurami. Wydaje się jednakże, że w praktyce większe znaczenie ma drugi z tych parametrów, gdyż sytuowanie wymienników poziomych na większych głębokościach podnosi koszty inwestycyjne. Ograniczeniem w przypadku zwiększania odległości pomiędzy rurami jest dostępna powierzchnia gruntu.

Rezultaty przeprowadzonej analizy termodynamicznej wskazują na możliwość poszukiwania optymalnego, z uwagi na temperaturę powietrza przy wypływie z wymiennika, sposobu działania urządzenia przy równoczesnym uwzględnieniu jego parametrów geometrycznych oraz kosztów.



Rys. 7 Ilość ciepła pobranego (oddanego) w gruntowym wymienniku ciepła w poszczególnych miesiącach

LITERATURA

1. Pawłójc A., Targanski W., Bonca Z.: Odzysk ciepła w systemach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych. Gdańsk: Wydawnictwo IPPU Masta, 2006.
2. Ulbrich R.: Audyt energetyczny a dom energooszczędny. Opole: Oficyna Wyd. Pol. Opolskiej, 2001.
3. Składzień J., Hanuszkiewicz-Drapała M., Fic A.: Ochładzanie i nagrzewanie gruntu w obszarze wymiennika ciepła pompy grzewczej. „Gospodarka paliwami i energią” 202, nr 11, s.8-12.
4. Fic A., Hanuszkiewicz-Drapała M.: Strumienie ciepła przejmowanego w poziomym gruntowym wymienniku ciepła pompy grzewczej. „Chłodnictwo” 2002, nr 6, s. 8-12.
5. Składzień J., Hanuszkiewicz-Drapała M., Fic A.: Thermal analysis of vertical ground exchangers of heat pumps. “Heat Transfer Engineering” 2006, 27, No. 2 , p. 2-13.
6. Składzień J.: Analiza cieplna i ekonomiczna mrożenia górotworu. Gliwice 1981. Zesz. Nauk. Pol. Śl. s.”Energetyka” nr 693.

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF GROUND TUBULAR HEAT EXCHANGERS FOR AIR HEATING UP

Summary. This paper presents the results of thermodynamic analysis of the tubular heat exchanger for air heating up. This air is used in building ventilation systems. The heat exchanger is installed in the upper part of ground and consists of six parallel pipes. The period of one year is taken into consideration. This paper presents and compares calculation results for various geometric parameters of ground heat exchanger.

