

Krzysztof SIKORA

AKADEMIA TECHNICZNO-HUMANISTYCZNA W BIELSKU-BIAŁEJ

Pomiary temperatury w gruncie oraz w gruntowym wymienniku ciepła (GWC) w rocznym cyklu eksploatacyjnym

Dr inż. Krzysztof SIKORA

Pracownik Zakładu Termodynamiki w Katedrze Silników Spalinowych i Pojazdów ATH w Bielsku-Białej. W roku 2009 uzyskał tytuł doktora o specjalności technika ciepła. Interesuje się odnawialnymi źródłami energii w szczególności gruntowymi wymiennikami ciepła



e-mail: ksikora@ath.bielsko.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono układ do pomiaru i rejestracji temperatury w wybranych punktach w obszarze gruntu, oraz w obszarze powietrznym gruntowego wymiennika ciepła (GWC), oraz przedstawiono i omówiono wyniki pomiarów dla rocznego cyklu eksploatacyjnego GWC. Celem pomiarów było wyznaczenie efektywności wymiennika oraz pozyskanie danych do weryfikacji numerycznego modelu wymiennika gruntowego. Na podstawie pomiarów określono kryteria efektywnej pracy wymiennika.

Słowa kluczowe: gruntowy wymiennik ciepła, pomiar pól temperatury w gruncie.

Ground and ground tube heat exchanger temperature measurements within the operating cycle of one year**Abstract**

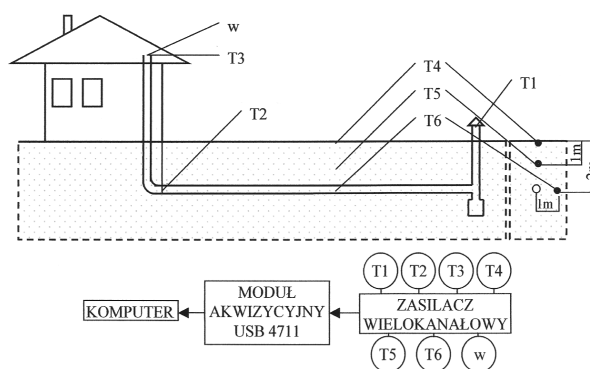
Experimental investigations of the ground tube heat exchanger were performed. An automatic measurement system for data acquisition was constructed. The system consists of six RTD temperature sensors, one thermoanemometric sensor, a multichannel power supply and a PC with the Advantech USB 4711 acquisition module (see Fig. 1). All the sensors were calibrated and the profile of the velocity distribution along the tube was determined for the thermoanemometric sensor. The measurement data were written to .xls files (three days in one file). For this purpose the own data acquisition program in VBA was developed. The measurement period began in January 2006 and ended in April 2007. The experimental data were averaged to one hour and extended with those taken at the IMGW meteorological station in Bielsko-Biała Aleksandrowice (relative humidity and absolute pressure of the ambient air). On the basis of these data, the heat fluxes were calculated (heat transfer from the ground to the air). The ground tube heat exchanger efficiency was also calculated. The thermal ground diffusivity value necessary for numerical analysis was determined from the experimental data in the form of the ground temperature distributions (Fig. 2).

Keywords: ground tube heat exchanger, temperature distribution in the ground.

1. Wstęp

Zainteresowanie wykorzystaniem odnawialnych źródeł energii w ostatnich latach [1] spowodowało, także w naszym kraju, wzrost popularności gruntowych wymienników ciepła. Wymienniki tego typu są często stosowane zarówno w budynkach przemysłowych czy handlowych jak i w budynkach mieszkalnych [2]. O wzroście zainteresowania gruntowymi wymiennikami ciepła może świadczyć fakt, że w 2008 roku w Poznaniu po raz pierwszy została zorganizowana konferencja techniczna „Gruntowe powietrzne wymienniki ciepła”. Na konferencji tej przedstawiono zarówno zagadnienia dotyczące projektowania GWC [3] jak i przedstawiano przykłady działających instalacji [4].

Dla prawidłowego zaprojektowania gruntowego wymiennika ciepła (GWC) konieczne jest uwzględnienie zarówno parametrów eksploatacyjnych (np. natężenie przepływu powietrza przez wymiennik) jak i zdolności gruntu do ogrzania/schłodzenia powietrza. Ilość ciepła jaką można uzyskać z gruntu zależy w dużej mierze od jego składu i wilgotności. Stworzenie matematycznego a następnie numerycznego modelu wymiennika gruntowego pozwala na przeprowadzenie symulacji jego pracy. Symulacja taka, już na etapie projektowania, pozwala określić czy wymiennik będzie pracował efektywnie, czy też należy zmodyfikować jego parametry konstrukcyjne. Za pomocą pakietu komercyjnego Fluent stworzono model numeryczny wymiennika gruntowego który postanowiono zweryfikować w oparciu o dane doświadczalne. Dlatego przeprowadzono pomiary temperatury gruntu na kilku głębokościach, a także w obszarze powietrznym wymiennika gruntowego, w rocznym cyklu eksploatacyjnym. Schemat wymiennika wraz z układem pomiarowym został przedstawiony na rys. 1. Jest to wymiennik poziomy, przeponowy (typu rurowego) o długości 17 m posadowiony na głębokości 2 m pod powierzchnią gruntu. Jest on wyposażony w czepnię powietrza oraz wentylator wymuszający przepływ powietrza wentylacyjnego. Wylot powietrza z wentylatora w obiekcie badanym zlokalizowany jest na poddaszu.



Rys. 1. Schemat wymiennika z rozmieszczeniem punktów pomiarowych:
 T1 – temperatura powietrza na wlocie do czepni (temperatura otoczenia),
 T2 – temperatura powietrza w rurze wymiennika w przekroju wyznaczonym linią fundamentów,
 T3 – temperatura powietrza w miejscu pomiaru prędkości powietrza,
 T4, T5, T6 – temperatury gruntu odpowiednio na głębokości 1cm, 1m, 2m,
 w – sonda termoanemometryczna mierząca prędkość powietrza

Fig. 1. Schematic diagram of the exchanger and measurement points:
 T1 – air temperature at the exchanger inlet (ambient air temperature),
 T2 – air temperature in the exchanger tube in the cross-section determined by foundation line,
 T3 – air temperature at the location of velocity measurement,
 T4, T5, T6 – ground temperature at the depth of 1cm, 1m, 2m,
 w – thermoanemometric probe

2. Budowa układu pomiarowego

Układ pomiarowy składał się z wielokanałowego zasilacza oraz jednego przetwornika termoanemometrycznego HST-2 i 6 przetworników temperaturowych TT-1a, modułu akwizycyjnego Advantech USB 4711 oraz komputera PC.

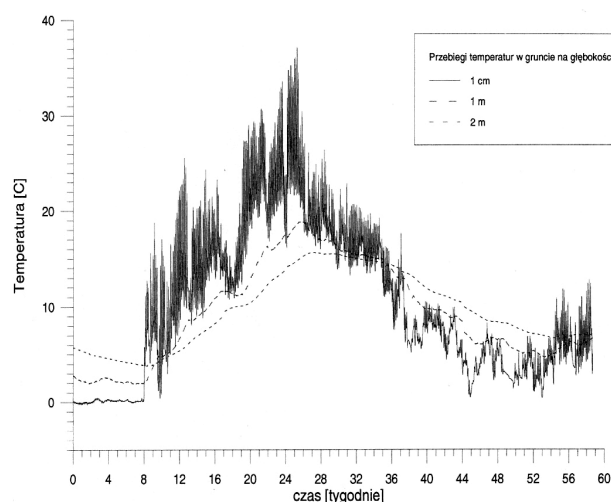
Pojedynczy tor pomiarowy składał się z czujnika temperatury typu PT100, przewodów, przetwornika oporu elektrycznego na napięcie oraz modułu linearyzacji. Dla każdego toru sporządzono charakterystykę napięciową w funkcji temperatury czujnika: $t[^\circ\text{C}] = a \cdot x[\text{V}] + b$. Stałe a i b linii regresji dla poszczególnych sond wyznaczono na podstawie 5 punktów z zakresu $0^\circ\text{C} - 99,7^\circ\text{C}$. Temperatury w gruncie mierzone były na głębokościach: ok. 1cm (w celu wyeliminowania wpływu bezpośredniego promieniowania słonecznego), 1m oraz na głębokości posadzenia wymiennika - 2m. Schemat rozmieszczenia sond przedstawiono na rys. 1.

Do pomiaru prędkości powietrza zastosowano przetwornik termoanemometryczny HST-2. Prędkości powietrza były wyznaczone w oparciu o charakterystyki napięciowe podane przez producenta sprzętu. Prędkości te były prędkościami powietrza w osi rury (gdzie umieszczony był czujnik termoanemometru). W celu określenia prędkości średniej wyznaczono profile prędkości na podstawie pomiarów w 13 punktach w przekroju rury. Sygnały napięciowe ze wszystkich torów pomiarowych przesyłane były do modułu akwizycyjnego, a następnie do komputera zapisującego dane pomiarowe co 1 minutę (jako wielkości uśrednione ze 100 pomiarów w ciągu minuty). Do akwizycji danych użyto komputera PC z procesorem Intel Celeron 300 i 192 MB RAM.

Zapis wyników realizowany był za pomocą opracowanego przez autora skryptu VBA w arkuszu kalkulacyjnym. Każdy z plików wyników obejmował 3 dni (4320 punktów pomiarowych). Pomiary te zostały uzupełnione o dane meteorologiczne: ciśnienie atmosferyczne oraz wilgotność względną powietrza pozyskane ze stacji meteorologicznej IMGW w Bielsku-Białej.

3. Analiza wyników pomiarów

Badania wymiennika prowadzone były od 26 stycznia 2006 roku do końca marca 2007 r. Na podstawie danych pomiarowych sporządzono wykres obrazujący przebiegi temperatury w gruncie w okresie rocznego cyklu pomiarowego (rys. 2).

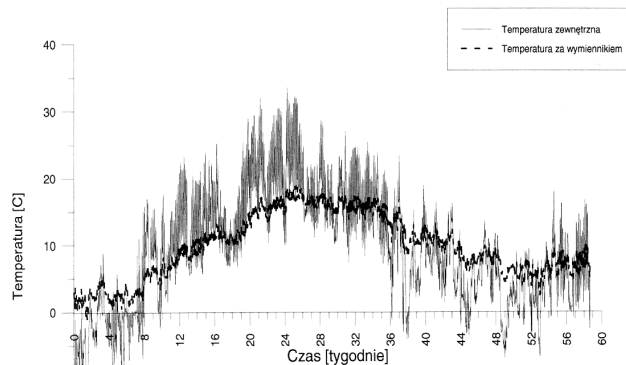


Rys. 2. Przebiegi wybranych temperatur w gruncie w rocznym cyklu pomiarowym (początek rejestracji 26-01-2006 godz. 15:00)

Fig. 2. Selected temperature distribution in the ground, within the operating cycle of one year (measurement beginning on 26-01-2006 at 3 p.m.)

Analizując wykres można zauważyć, że na głębokości 1m nie obserwuje się już dobowych wahań temperatury gruntu. Można zauważyć również, że obecność pokrywy śnieżnej całkowicie izoluje sondę T4 (usytuowaną w gruncie na głębokości 1cm) od wpływu zmian dobowych temperatury powietrza zewnętrznego – sytuacja taka wystąpiła dla pierwszych 8 tygodni rocznego cyklu pomiarowego (rys. 2). Sytuacja taka korzystna jest dla pracy wymiennika w okresie zimowym, ponieważ nie zachodzi nad-

mierne wychładzanie gruntu. Jednak dla pracy wymiennika w lecie obecność warstwy śniegu w zimie jest niekorzystna, gdyż bez tej pokrywy grunt „zgomadziłby” więcej „chłodu”. Kolejne spostrzeżenie odnosi się do amplitudy przebiegów temperaturowych. Ze wzrostem głębokości maleje amplituda wahań sezonowych. Na głębokości 1m roczne wahania temperatury mają amplitudę około 16 K a średnia roczna wartość temperatury na tej głębokości wynosi ok. 10°C . Na głębokości 2m amplituda wahań sezonowych wynosi już tylko ok. 12 K natomiast wartość średnia temperatury gruntu jest taka sama jak dla głębokości 1m. Na podstawie pomiarów stwierdzono, że średnia roczna temperatura gruntu niezależnie od głębokości jest bardzo zbliżona do średniej rocznej temperatury powietrza zewnętrznego (różnice wynoszą zaledwie 0,5 K), a przebiegi czasowe temperatury na różnych głębokościach różnią się tylko amplitudą i przesunięciem fazowym. Ta zbieżność średnich rocznych temperatur powietrza i gruntu nie jest przypadkowa i świadczy o akumulacyjnej roli gruntu. Ilość energii cieplnej „zmagazynowanej” w „płytkiej” warstwie gruntu (do 10 m pod powierzchnią) [5], nie zależy od strumienia ciepła płynącego z głębi ziemi (za wyjątkiem tzw. anomalii geotermicznych) [6]. Własności cieplne gruntu (współczynnik przewodzenia ciepła, ciepło właściwe oraz gęstość) mają bardzo duży wpływ na efektywność wymiennika gruntowego. Własności te w dużej mierze zależą od wilgotności gruntu [7], a ich prawidłowe oszacowanie jest ważne dla poprawnego zaprojektowania wymiennika. Dlatego też na podstawie pomiarów temperatury gruntu w miejscu posadzenia wymiennika, wyznaczono jego dyfuzyjność cieplną. Wyznaczona wartość dyfuzyjności cieplnej została wprowadzona do modelu numerycznego dla uzyskania większej dokładności symulacji pracy wymiennika.

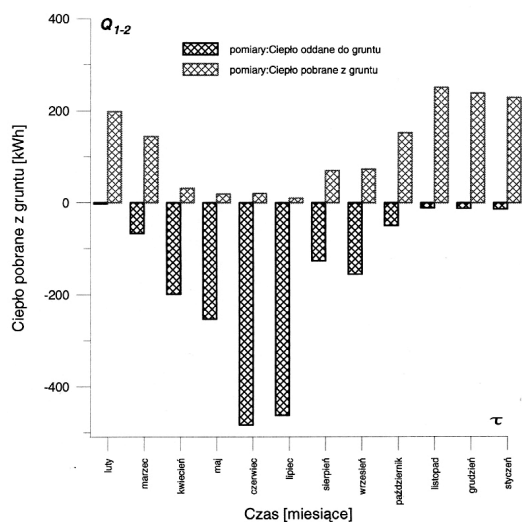


Rys. 3. Porównanie temperatury powietrza zewnętrznego oraz podgrzanego (schłodzonego) przez wymiennik (początek rejestracji 26-01-2006 godz. 15:00)

Fig. 3. Comparison of the ambient and heated (cooled) by the exchanger air temperature (measurement beginning on 26-01-2006 at 3 p.m.)

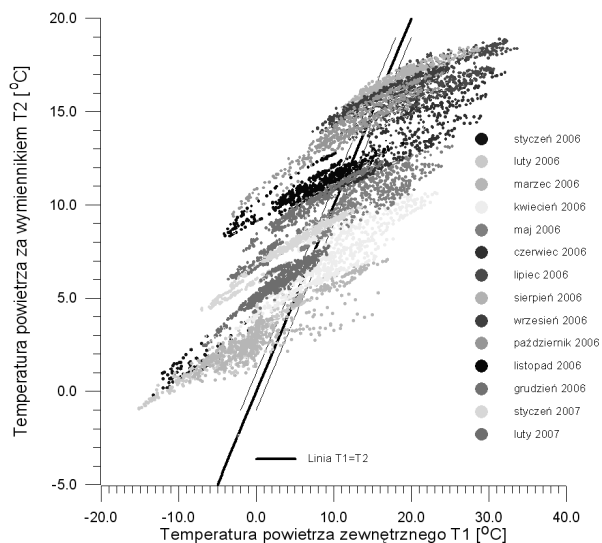
Temperatura powietrza na wylocie z wymiennika ma znacznie mniejszą amplitudę wahań w porównaniu do amplitudy wahań temperatury powietrza zewnętrznego (rys. 3) To zmniejszenie amplitudy ma duże znaczenie m.in. w uprawie roślin czy hodowli zwierząt, które są bardzo wrażliwe na duże wahania temperatury. Porównując wykresy na rys. 2 i rys. 3 można zauważyć, że temperatura powietrza na wylocie z wymiennika oscylowała wokół wartości temperatury gruntu na głębokości 2 m. Przyrost temperatury powietrza przepływającego przez wymiennik w okresie zimowym wynosił maksymalnie do 14 K, natomiast w okresie letnim uzyskano obniżenie temperatury w obszarze wymiennika maksymalnie o 15 K.

Na rys. 4 zestawiono ilości ciepła pobranego z gruntu w poszczególnych miesiącach eksploatacji wymiennika. Można zauważyć, że w miesiącach zimowych występują okresy kiedy wymiennik schładza powietrze – zatem jego praca nie jest wtedy korzystna. Analogicznie w miesiącach letnich wymiennik przekazuje pewną ilość ciepła z gruntu do powietrza. Należy więc określić kryteria efektywnej pracy wymiennika i zastosować układ sterujący jego pracą.



Rys. 4. Porównanie ciepła pobieranego z gruntu przez powietrze w wymienniku dla okresów miesięcznych

Fig. 4. Comparison of the heat transferred from the ground to the exchanger air for one month's period



Rys. 5. Wykres temperatury powietrza podgrzanego przez wymiennik w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego

Fig. 5. Exchanger outlet air temperature T_2 vs. the ambient air temperature T_1

Na rys. 5 przedstawiono wykres temperatury T_2 za wymiennikiem w funkcji temperatury powietrza zewnętrznego T_1 . Gruba linia $T_1=T_2$ określa równość tych temperatur, praca wymiennika jest więc wtedy nieefektywna (nie uzyskujemy schłodzenia powietrza w lecie ani ogrzania w zimie). Można wykreślić linie pomocnicze oddalone od linii $T_1=T_2$ o pewną, stałą wartość różnicy

temperatury. Wartość ta jest efektywną różnicą temperatury powietrza zewnętrznego i podgrzanego (schłodzonego) przez wymiennik. Jej wielkość określamy analizując zastosowany system ogrzewania budynku oraz ilość energii niezbędnej do zasilania wentylatora przetłaczającego powietrze przez wymiennik (na rys. 5 dla ogrzewania węglowego i mocy wentylatora 10 W, różnica ta wynosi 1 K). Jeżeli punkty na wykresie pozostają na zewnątrz pasa ograniczonego przez te dwie linie, oznacza to, że wymiennik pracuje efektywnie.

4. Wnioski

Podsumowując wyniki uzyskane przy badaniu wymiennika można stwierdzić, że celowe jest zastosowanie takiego wymiennika do wspomagania ogrzewania i klimatyzacji budynków, szczególnie w przypadku wykorzystywania systemu z centralą klimatyzacyjną. Powietrzny wymiennik gruntowy może pracować w sposób ciągły, lub też może być włączany tylko na pewien okres np. na kilka godzin w zależności od temperatury zewnętrznej oraz efektu jaki chcemy uzyskać. W trakcie obliczeń numerycznych przeprowadzono symulację w której zamodelowano prosty układ dwupołożeniowy dla sterowania pracą wentylatora w GWC. Układ ten wyłączał wentylator gdy różnica temperatur na wlocie i wylocie z GWC była mniejsza od zadanej, lub gdy dla osiągnięcia odpowiednich warunków komfortu cieplnego praca wymiennika była niekorzystna. W wyniku tej symulacji uzyskano znaczne skrócenie czasu pracy wymiennika przy stosunkowo niewielkim zmniejszeniu strumienia przekazanego ciepła. Budowa wymiennika jest bardzo prosta, nie wymaga on dużych nakładów inwestycyjnych, a także koszty eksploatacji wymiennika są niewielkie. Okres eksploatacji wymiennika gruntowego może być bardzo długi z uwagi na odporność PVC na czynniki atmosferyczne, wilgoć itp.

5. Literatura

- [1] Szlachta J.: „Niekonwencjonalne źródła energii”, Wydawnictwo Akademii Rolniczej, Wrocław, 1999.
- [2] Szczechowiak E.: „Gruntowe powietrzne wymienniki ciepła w budownictwie energooszczędnym”, Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa „Gruntowe powietrzne wymienniki ciepła”, Poznań, 2008.
- [3] Szymański M.: „Zasady obliczeń cieplnych i przepływowych gruntowego powietrznego wymiennika ciepła (GPWC)”, Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa „Gruntowe powietrzne wymienniki ciepła”, Poznań, 2008.
- [4] Górka A.: „Badanie efektywności GPWC w Tesco Zdzeszowice”, Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa „Gruntowe powietrzne wymienniki ciepła”, Poznań, 2008.
- [5] Popiel C.O., Wojtkowiak J., Biernacka B.: „Measurements of temperature distribution in ground”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 25 (2001), 301-309.
- [6] Karawasińska M.: „Pole cieplne Górnosląskiego Zagłębia Węglowego”, *International Scientific Conference „Geothermal Energy in Underground Mines”*, Ustroń 2001.
- [7] Usowicz B.: „Szacowanie własności cieplnych gleby”, *Acta Agrophysica*, Vol. 72 (2002), 135-165.

otrzymano / received: 17.12.2009

przyjęto do druku / accepted: 03.02.2010

artykuł recenzowany