

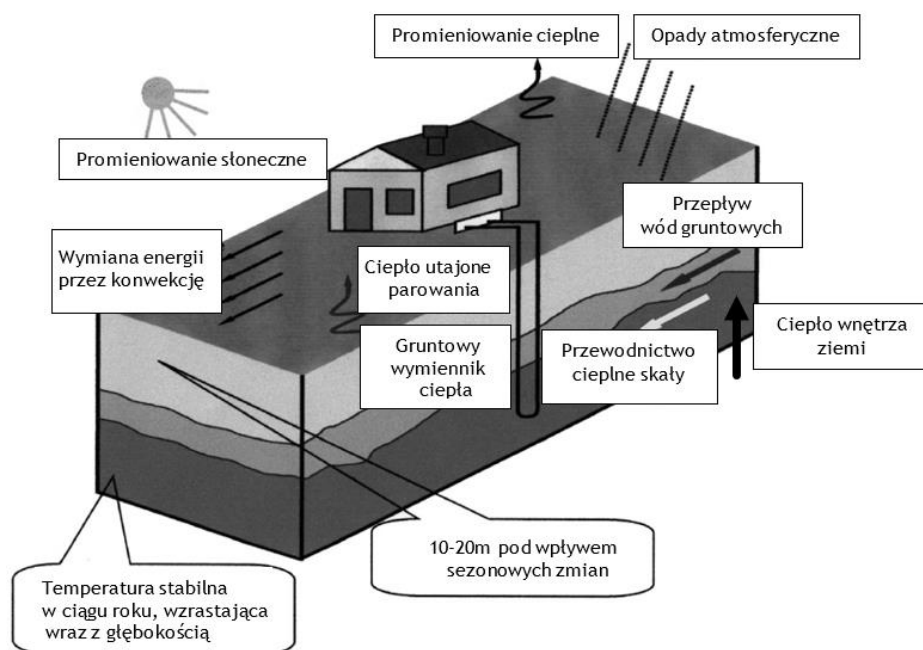
Systemy gruntowych wymienników ciepła – cz.3

W częściach: 1 i 2 opracowania „Systemy gruntowych wymienników ciepła” zaprezentowano podstawowe informacje na temat istoty działania gruntowych wymienników ciepła, ich podział, a także charakterystykę materiałów najczęściej stosowanych do ich budowy.

W niniejszym materiale scharakteryzowano procesy termiczne zachodzące w gruncie, które stanowią podstawę modeli obliczeniowych, stosowanych do doboru gruntowych wymienników ciepła.

ZACHOWANIE TERMICZNE GRUNTU [1]

Stosowanie bezpośrednich lub pośrednich technik sprzęgania termicznego budynku i szklarni z gruntem, wymaga wiedzy na temat profilu temperatury gruntu na jego powierzchni i na różnych głębokościach. Warunki klimatyczne otoczenia wpływają na profil temperatury w gruncie (Rys. 1) i muszą być uwzględnione podczas projektowania wymiennika ciepła. W rzeczywistości na rozkład temperatury gruntu ma wpływ jego struktura i właściwości fizyczne, pokrycie powierzchni gruntu (np. trawnik, śnieg itp.) oraz interakcje klimatyczne (tj. warunki brzegowe) określane przez temperaturę powietrza, wiatr, promieniowanie słoneczne, wilgotność powietrza i opady deszczu. Rozkład temperatury na dowolnej głębokości pod powierzchnią ziemi pozostaje niezmienny przez cały rok, przy czym temperatura wzrasta wraz z głębokością ze średnim gradientem wynoszącym około $30^{\circ}\text{C}/\text{km}$.



Rys.1. Przepływy energii w gruncie [1].

Odchylenia gradientu geotermalnego od wartości średniej są częściowo związane z rodzajem skał występujących w każdej sekcji.

Przepływ ciepła, który jest wskaźnikiem ilości energii cieplnej wychodzącej z ziemi, oblicza się poprzez pomnożenie gradientu geotermicznego przez przewodność cieplną gruntu. Każdy rodzaj skały ma inną przewodność cieplną, która jest miarą zdolności materiału do przewodzenia ciepła. Skały bogate

w kwarc, takie jak piaskowiec, mają wysoką przewodność cieplną, co oznacza, że ciepło łatwo przez nie przenika. Skały, które są bogate w glinę lub materiał organiczny, takie jak łupki i węgiel, mają niską przewodność cieplną, co oznacza, że ciepło przechodzi przez te warstwy wolniej. Jeśli przepływ ciepła jest stały w całym otworze wiertniczym (tzn. woda nie płynie w górę ani w dół otworu), to oczywiste jest, że warstwy łupków o niskiej przewodności cieplnej będą miały wyższy gradient geotermalny niż warstwy piaskowca o wysokiej przewodności [1 za 2].

Kompletny model do przewidywania dziennej i rocznej zmienności temperatury powierzchni gruntu przedstawili w swojej pracy Mihalakakou i inni [1 za 3]. Model ten wykorzystuje równanie różniczkowe nieustalonego przewodzenia ciepła oraz równanie bilansu energetycznego na powierzchni gruntu w celu przewidywania temperatury powierzchni gruntu. Równanie bilansu energetycznego obejmuje konwekcyjną wymianę energii między powietrzem a glebą, promieniowanie słoneczne pochłaniane przez powierzchnię gruntu, strumień ciepła utajonego w wyniku parowania na powierzchni gruntu, jak również promieniowanie długofalowe. W związku z tym temperaturę powierzchni gruntu (T_{sur}) można oszacować na podstawie równania [1 za 4]:

$$T_{sur}(t) = T_m + A_s Re(e^{i\omega t}) \quad (1)$$

gdzie:

T_m – średnia roczna temperatura na powierzchni gruntu,

A_s – amplituda fali temperatury na powierzchni gruntu,

ω - częstotliwość fali temperatury.

Aby rozwiązać równanie (1) zastosowano następujące równanie bilansu energii na powierzchni gruntu jako równanie warunku brzegowego na powierzchni gruntu [1 za 5]:

$$-K \left. \frac{\partial T_{sur}}{\partial y} \right|_{y=0} = CE - LR + SR - LE \quad (2)$$

gdzie:

K – przewodność cieplna gruntu,

CE – energia wymieniana między powietrzem a powierzchnią gruntu na drodze konwekcji,

LR – promieniowanie długofalowe emitowane z powierzchni gruntu,

SR – promieniowanie słoneczne pochłaniane z powierzchni gruntu,

LE – strumień ciepła utajonego spowodowany parowaniem.

Model został zwalidowany na podstawie 10-letnich pomiarów godzinowych temperatury w Atenach i Dublinie dla gleby bez pokrycia i z krótką trawą. Wyniki porównywano z odpowiednimi wynikami modeli wykorzystujących analizę Fouriera. Ponadto przeprowadzono analizę wrażliwości w celu zbadania wpływu różnych czynników uwzględnionych w równaniu bilansu energetycznego na powierzchni gruntu na profil jego temperatury.

Popiel i inni [1 za 6] w swej pracy przedstawili rozkłady temperatury zmierzone w gruncie w okresie od lata 1999 do wiosny 2001. Badania przeprowadzono w Polsce w Poznaniu dla dwóch powierzchni gruntu: bez pokrycia i pokrytego krótką trawą. Temperatury mierzono za pomocą termopar rozmieszczonych w gruncie na głębokości od 0 do 7 m (grunt bez pokrycia) i od 0 do 17 m (krótka trawa). Stwierdzono, że krótkookresowe wahania temperatury sięgały do głębokości około 1 m. Od lipca

do końca września, z rejonu powierzchni na głębokości gruntu (poniżej ok. 1,5 m) przekazywany był strumień ciepła o wartości 3,6 W/m². Zwykle zalecana głębokość dla poziomych gruntowych wymienników ciepła wynosi od 1,5 do 2 m. Pomiary wykazały również, że w okresie letnim temperatura gruntu pod gołą powierzchnią poniżej 1 m była wyższa o około 4°C w porównaniu z temperaturą gruntu pokrytego krótką trawą. W związku z tym, w przypadku źródła zimna w gruncie, np. w przypadku zastosowania klimatyzacji, zalecana jest powierzchnia pokryta krótką trawą. Jednak w zimie rozkłady temperatur były prawie takie same. Porównanie wzoru Buggsa na rozkład temperatury gruntu dostosowanego do europejskiego regionu Poznania, wykazuje dobrą zgodność z danymi doświadczalnymi.

Z punktu widzenia rozkładu temperatury Popiel i inni [1 za 6] wyróżniają trzy strefy gruntu:

1. STREFĘ POWIERZCHNIOWĄ sięgającą do głębokości około 1 m, w której temperatura gruntu jest bardzo wrażliwa na krótkotrwałe zmiany warunków atmosferycznych;
2. STREFĘ PŁYTKĄ, rozciągającą się od głębokości ok. 1-8 m (dla suchych gleb lekkich) lub 20 m (dla wilgotnych, ciężkich gleb piaszczystych), gdzie temperatura gruntu jest prawie stała i zbliżona do średniej rocznej temperatury powietrza; w tej strefie rozkład temperatury gruntu zależy głównie od warunków pogodowych cyklu sezonowego;
3. STREFĘ GŁĘBOKĄ (poniżej około 8-20 m), w której temperatura gruntu jest praktycznie stała (i bardzo powoli wzrasta wraz z głębokością, zgodnie z gradientem geotermicznym).

Literatura:

- [1] Florides G., Kalogirou S. Ground heat exchangers - A review of systems, models and applications. *Renewable Energy*, Vol. 32 (2007), pp. 2461–2478.
- [2] Kelley S. Temperatures in the Kiowa drill hole. Denver basin project—The Denver Museum of Nature Science (DMNS). http://www.dmnh.org/denverbasin/r_temp.html; 2005.
- [3] Mihalakakou G., Santamouris M., Lewis O., Asimakopoulos D. On the application of the energy balance equation to predict ground temperature profiles. *Solar Energy* 1997;60(3/4):181–190.
- [4] Carlslaw H.S., Jaeger J.C. *Conduction of heat in solids*, 2nd ed. Oxford: Oxford Science Publishers; 1980.
- [5] Krarti M., Lopez-Alonso C., Claridge D.E., Kreider J.F. Analytical model to predict annual soil surface temperature variation. *Journal of Solar Energy Engineering* 1995;117:91–99.
- [6] Popiel C., Wojtkowiak J., Biernacka B. Measurements of temperature distribution in ground. *Experimental Thermal and Fluid Science* 2001;25:301–309.

Opracowanie:

Dr inż. Anna Staszczuk, prof. UZ