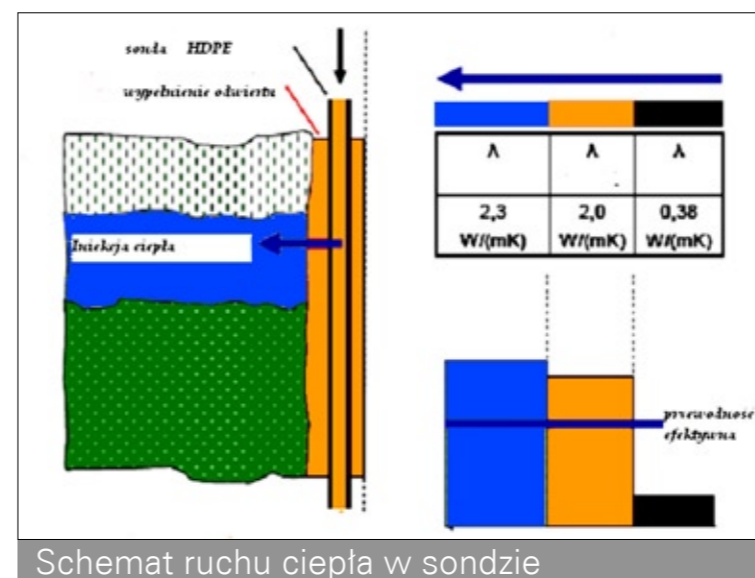


► Stanisław Zbrojkiewicz

Pomiar przewodności gruntu

Sondy geotermalne – wydajność cieplna

W procesie projektowania dolnego źródła pomp ciepła do zasilania dużych obiektów szczególnej wagi nabiera wartość zdolności przekazywania ciepła przez sondy osadzone w odwiertach. Wytyczne Niemieckiego Stowarzyszenia Inżynierów VDI 4640 podają, że zdolność przekazywania ciepła do sondy geotermalnej w zależności od rodzaju gruntu może się wahać od 20 do 100 W/m. Aby uniknąć niedoszacowania lub przeszacowania zdolności gruntu do przekazywania ciepła coraz częściej przeprowadza się badania przewodności cieplnej gruntu za pomocą metody echa temperaturowego. Metoda ta polega na iniekcji ciepła do otworu i pomiarze temperatury zasilania i powrotu czynnika dostarczającego ciepło. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów wyznacza się przewodność cieplną gruntu w obszarze, w którym osadzona jest sonda geotermalna, a tym samym pozwala to wyznaczyć zdolność gruntu do przekazywania ciepła. Do wyznaczania przewodnictwa cieplnego gruntu stosuje się ruchomy zestaw pomiarowy wyposażony w źródło ciepła, pompę obiegową i rejestratory do pomiaru temperatury i ciepła przekazywanego do gruntu.



Metoda TRT – teoria

Podczas określania wydajności cieplnej gruntu od końca lat dziewięćdziesiątych coraz powszechniej stosuje się metodę określaną w literaturze TRT lub GRT (*thermal response test* lub *geothermal response test*). Badania w tej metodzie wykonywane są za pomocą ruchomego (przewoźnego) zestawu pomiarowego. W miejscu, w którym ma zostać zlokalizowane pole sond geotermalnych najczęściej wykonuje się jeden lub w przypadku bardzo dużego pola sond – więcej pomiarów. W wykonanym otworze osadza się sondę geotermalną, a następnie dokonuje się pomiaru współczynnika efektywnego przewodnictwa cieplnego gruntu. Przez przewodnictwo efektywne należy rozumieć przewodnictwo wypadkowe: tworzywa, z którego wykonana jest sonda geotermalna, wypełnienia otworu wiertniczego i gruntu otaczającego sondę geotermalną. Wyznaczanie współczynnika efektywnej przewodności cieplnej metodą TRT polega na iniekcji do gruntu poprzez sondę geo-

termalną energii cieplnej o stałej i znanej wartości. Czynnik wypełniający sondę cyrkuluje w obiegu zamkniętym sondy i urządzenia pomiarowego, przekazując ciepło do gruntu. Temperatura czynnika na wlocie i wylocie z sondy geotermalnej jest cały czas rejestrowana. Pomiar prowadzi się do czasu ustabilizowania się przepływu ciepła w gruncie.

Współczynnik efektywnego przewodnictwa gruntu wyznacza się, korzystając z równania przepływu ciepła w funkcji czasu wg Busso, Georgieva i Rotha [4].

$$T(t) = (Q/4 \cdot \pi \cdot H \cdot \lambda) [\ln(4 \cdot a \cdot t/r^2) - 0,5772] + R_b \cdot (Q/H) + T_0 \quad [1]$$

gdzie:

- T – temperatura czynnika w wymienniku ciepła [°C]
- T – czas [h]
- Q – ciepło iniekcji [W]
- H – długość (głębokość) wymiennika ciepła [m]
- λ – współczynnik efektywnej przewodności gruntu [W/mK]
- a – współczynnik dyfuzji termicznej $a = \lambda / (c \cdot \rho)$ [m²/h]
- R_b – oporność cieplna otworu [mK/W]
- T₀ – temperatura początkowa gruntu (przed rozpoczęciem pomiaru) [°C]
- r – średnica wymiennika [m]

Równanie (1) można zapisać w funkcji zlinearyzowanej, gdzie k jest współczynnikiem kierunkowym prostej na wykresie, temperatura jest na osi Y, a czas w godzinach przedstawiony jest w skali logarytmicznej na osi X.

$$T(t) = k \cdot \ln(t) + m \quad (2)$$

gdzie $k = Q / (4 \cdot \pi \cdot H \cdot \lambda)$ (3)

Stąd wyznaczamy współczynnik efektywnego przewodnictwa cieplnego gruntu:

$$\lambda = Q / (4 \cdot \pi \cdot H)$$

Pomiar współczynnika efektywnego przewodnictwa cieplnego gruntu za pomocą mobilnego zestawu pomiarowego dla podwójnej sondy 32 × 2,9 mm [1], [3]



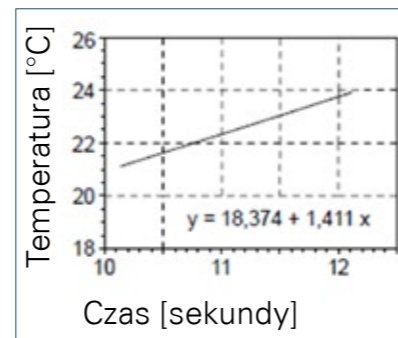


Badania przedstawioną metodą wykonywane są w wielu krajach europejskich, USA, Kanadzie i Japonii w oparciu o skonstruowane przez instytucje czy firmy prowadzące badania urządzenia pomiarowe. Spośród wielu doniesień literaturowych o uzyskanych wynikach w niniejszej publikacji przedstawiono wyniki uzyskane przez L. Schiavi [8] dla następujących warunków: Zależność współczynnika przewodzenia ciepła λ od czasu pomiaru przypadek A – $\lambda = 2 \text{ W/mK}$; B – $\lambda = 3 \text{ W/mK}$. Zależność ta była badana wielokrotnie, czas prowadzenia pomiaru wg różnych źródeł wynosi od 50 do 70 godzin. Badania te wskazały, że przedłużanie czasu powyżej 70 godzin nie ma wpływu na wynik pomiaru.

Wyznaczania przewodnictwa cieplnego gruntu w Polsce

Firma Clima Komfort wykonuje badanie to metodą echa temperaturowego. Badanie to przeprowadzane jest w odwiercie próbnym lub podczas pierwszego odwiercia w miejscu, w którym przewiduje się osadzenie sond geotermalnych. Wartość przewodnictwa cieplnego wyznaczana jest w oparciu o równanie przepływu ciepła w funkcji czasu wg Busso, Georgieva i Rotha. Czas testu wynosi do 72 godzin, dokładność wyznaczania przewodności cieplnej gruntu to około 10%. Do przeprowadzania badań wykorzystuje ruchomy zestaw pomiarowy TRT-Komfort 2.9 wyposażony w:

- element grzejny od 2 do 9 kW (możliwość doboru mocy grzewczej co 1 kW),
- pompę obiegową,

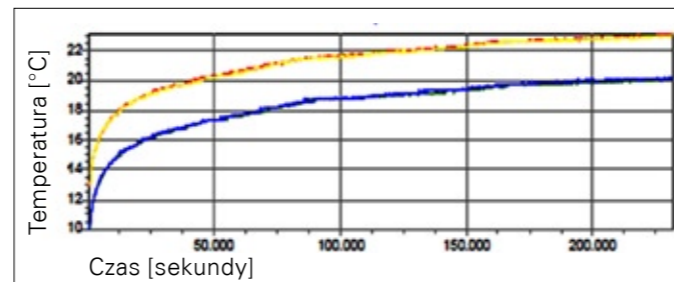


Zależność średniej temperatury od czasu uzyskana przez H.J. Lohra [1]



Urządzenie pomiarowe TRT-Komfort 2.9

Clima Komfort



Wyniki przebiegu temperatury zasilania (krzywa górna) i temperatury powrotu sondy geotermalnej w czasie pomiaru metodą TRT wg [5]

- pomiar i rejestrację temperatury zasilania,
 - pomiar i rejestrację temperatury powrotu,
 - pomiar i rejestrację mocy cieplnej,
 - kontrolny pomiar i rejestrację natężenia przepływu,
 - pomiar i rejestrację temperatury zewnętrznej.
- Tym zestawem pomiarowym możemy wyznaczyć dodatkowo opór odwiercia w ziemi. Parametr ten pozwala określić dla danego czynnika roboczego i głębokości odwiercia graniczny przepływ czynnika.

Pomiar przewodności gruntu w warunkach polowych

Po wykonaniu pierwszego odwiercia i osadzeniu sondy geotermalnej do sondy przyłącza się urządzenie TRT Komfort 9.2 ustalając natężenie przepływu czynnika na

projektowanym poziomie. Pomiar trwa około 72 godzin. Na podstawie zarejestrowanych wyników temperatury zasilania i powrotu oraz wielkości mocy cieplnej, wykorzystując metodę najmniejszych kwadratów, prognozuje się wartość przewodnictwa cieplnego gruntu w obszarze odwiercia i na tej podstawie wyznacza się zdolność gruntu do przekazywania ciepła. ■

LITERATURA:

1. H.J. Lohr, Wykorzystanie geotermii płytkiej do ogrzewania i chłodzenia budynków, kongres VELTA 2005.
2. N. Mattsson, G. Steinmann, L. Laloui, In-Situ Thermal Response Testing-New Developments, Europejski Kongres Geotermalny 2007 Unterhaching, Niemcy.
3. Info 08/2006 Nutzung von Erdwärme zur Energieversorgung www.hgc-fg.de.
4. J. Kapuściński, A. Rodzoch, Geotermia niskotemperaturowa w Polsce – stan aktualny i perspektywy rozwoju, Warszawa 2006.
5. B. Sanner, E. Mands, M. Sauer, E. Grundman, Technology, development status and routine application of Thermal Response Test Europejski, Kongres Geotermalny 2007 Unterhaching, Niemcy.
6. A.M. Gustafsson Thermal Response Test. Numerical simulations and analyses. University of Technology, Lulea 2006.
7. B. Sanner, G. Hellström, J. Spitlers, S.Gehlin, Thermal Response Test – Current Status and World-Wide Application Światowy Kongres Geotermalny Antalya Turcja 2005.
8. Linda Schiavi Konferencja Comsol 14–16.10.2009 Milan
9. A.M. Gustafson, Thermal Response Test Lulea University of Technology 2006:14 ISSN 1402–1757.
10. J.D. Spitler, C.Yavuzturk, S.J Rees, In Situ Measurement of Ground Thermal Properties, Proceeding of Terrastock 2000, Vol.1 pp.165–170, Stuttgart 2000.
11. W.J. Eugster, SIA 384/6 Erdwärmesonden – Normung in der Schweiz.
12. R. Barthel, Hydrogeologie und Umwelt Heft 33, Würzburg 2005.

Ile kosztuje badanie przewodnictwa cieplnego gruntu?

Koszt wykonania badania gruntu to wydatek około 5000 zł. Rodzi się więc pytanie: czy to wysoka suma? Odpowiedź jest prosta. Badanie takie powinno być w praktyce obligatoryjne dla obiektów o zapotrzebowaniu ciepła powyżej 100 kW. Dla potrzeb ogrzania takiego budynku w praktyce wykonuje się około 20 sond, każda w koszcie 5000 zł. Zmniejszenie więc tej liczby sond – dzięki określeniu rzeczywistej wartości zdolności przewodzenia gruntu – z 20 do 18, to oszczędność na samej inwestycji 10 000 zł. Kolejny aspekt to oczywiście zapewnienie pokrycia obliczeniowego zapotrzebowania na ciepła dla obiektu, a więc eliminacja niedoszacowania lub przeszacowania „możliwości” sond. Warto więc – szczególnie w dużych obiektach – zainwestować w badanie, by zapewnić komfort ogrzewania pompami ciepła.