Gruntowe dolne źródła ciepła – jak badać ich wydajność cieplną?

Metody określania współczynnika przewodzenia gruntu

ADOLF MIROWSKI

W wielu przypadkach, gdy brakuje informacji na temat uwarstwienia geologicznego gruntu, w obliczeniach szacunkowych należy wstępnie przyjmować jego wydajność cieplną nie większą niż q_v = 40 W/m. Jednostkowa ilość ciepła pobieranego z gruntu (E_{Vj}) nie powinna przy tym przekraczać 80 kWh/(m·rok). Jednak w wielu przypadkach zaleca się wyznaczenie wartości współczynnika przewodzenia ciepła gruntu λ_g za pomocą jednej z dwóch metod:
– urządzenia pomiarowego do testu reakcji termicznej (TRT) lub
– określając profil geologiczny sporządzony na podstawie wydobytego urobku z otworu wiertniczego.

Podstawy prawne

Do analizy gruntowych źródeł ciepła zaleca się stosownie wytycznych branżowych, wytycznych producentów i dostępną literaturę, artykuły itp. Praktycznie jedyne opracowania branżowe wydawane są systematycznie przez **PORT PC (Polską Organizację Rozwoju Technologii Pomp Ciepła).** Przykładem są wytyczne, **cz. 1. „Wytyczne projektowania, wykonania i odbioru instalacji z pompami ciepła”**. Mają one charakter paranormatywny (jest to substytut norm technicznych). Pozycja ta jest pierwszą na polskim rynku publikacją zawierającą usystematyzowany zbiór informacji niezbędnych do prawidłowego zaprojektowania, wykonania czy też odbioru instalacji dolnych źródeł współpracujących ze sprężarkowymi pompami ciepła pozyskującymi ciepło z gruntu. Wytyczne te nie są jednak przepisami techniczno-budowlanymi w rozumieniu ustawy „Prawo budowlane” (Dz.U. nr 106/00 poz. 1126 z późniejszymi zmianami). Przepisy techniczno-budowlane wydają odpowiedni ministrowie, stosownie do swojej właściwości, w formie rozporządzeń i stanowią one część obowiązującego prawa. Ustawa o zamówieniach publicznych (tekst jednolity: Dz.U. z 1998 r. nr 119 poz. 773) wprowadza przepis, że w odniesieniu do robót budowlanych przedmiot zamówienia określa dokumentacja projektowa oraz specyfikacja techniczna wykonana i odbioru robót. W związku z powyższym „Wytyczne projektowania, wykonania i odbioru instalacji z pompami ciepła” mogą być niezbędne przy określaniu przedmiotu zamówienia w umowach o roboty budowlane zawieranych przez inwestora z wykonawcami. Jednak w przypadku jej przywołania przy sporządzaniu specyfikacji technicznej nadaje się jej tym samym moc wiążącą w odniesieniu do stron umowy o wykonanie robót budowlanych.

Test reakcji termicznej (TRT) – pionowe gruntowe wymienniki ciepła

W wielu przypadkach (tab. **1**) zaleca się wyznaczenie wartości współczynnika przewodzenia ciepła gruntu λ_g za pomocą urządzenia pomiarowego do testu reakcji termicznej (TRT).
W tym celu należy na początku wykonać odwiert próbny i po osadzeniu sondy pionowej oraz termicznym ustabilizowaniu odwiertu przeprowadzić pomiar λ_g (czas termicznej stabilizacji odwiertu z sondą i wypełnieniem zależny jest od rodzaju zastosowanego wypełnienia – do 72 h). Uzyskane dane są podstawą do modelowania numerycznego pola temperatury pionowych gruntowych wymienników ciepła. Ma to szczególne znaczenie w przypadku większych, bardziej rozbudowanych systemów do ogrzewania

1 Schemat oraz widok urządzenia pomiarowego TRT (źródło TRT Pomiary)

Zakres mocy pompy ciepła Q_c [kW]	Czas pracy sprężarki T_s [h/rok]	Pomiary TRT	Modelowanie numeryczne (np. program EED)
≤ 30	≤ 2000	Nie są koniecznie	Decyzja użytkownika/inwestora
	od 2000 do 3000	Decyzja użytkownika/inwestora	Decyzja użytkownika/inwestora
	≥ 3000	TAK	TAK
od 30 do 70	≤ 2000	Decyzja użytkownika/inwestora	Decyzja użytkownika/inwestora
	od 2000 do 3000	TAK	Decyzja użytkownika/inwestora
	≥ 3000	TAK	TAK
> 70	≤ 2000	TAK	TAK
	od 2000 do 3000	TAK	TAK
	≥ 3000	TAK	TAK

Tabela **1**

i chłodzenia, wymagających wielu sond gruntowych rozmieszczonych w stosunkowo bliskiej odległości. W takiej sytuacji ich parametry powinny być dobierane i weryfikowane wyłącznie z przeprowadzeniem modelowania numerycznego. Pozwala to także na oszacowanie wzajemnego oddziaływania wielu elementów systemu oraz analizę wpływu efektów cieplnych na przepływ wód podziemnych. Modelowanie numeryczne powinno być przeprowadzane na okres minimum 50 lat. Według cz. 2 Wytycznych PORT PC wymóg badań TRT zalecany jest w przypadku łącznej mocy pomp ciepła powyżej 100 kW. Na podstawie najnowszych doświadczeń praktycznych rekomendacje co do przeprowadzenia badań TRT zawarto w tab. **1**.

Badania geofizyczne w otworach płytkiej geotermii (pionowe gruntowe wymienniki ciepła)*

Podstawowe metody geofizyki otworowej dotyczące pionowych gruntowych wymienników ciepła (rys. **2**) są zastosowane do:

- weryfikacji profilu geologicznego sporządzonego w wyniku dokumentowania urobku pozyskanego w trakcie wiercenia,
- kontroli wypełnienia przestrzeni pierścieniowej między rurami pionowego, gruntowego wymiennika ciepła a ścianami odwiertu.

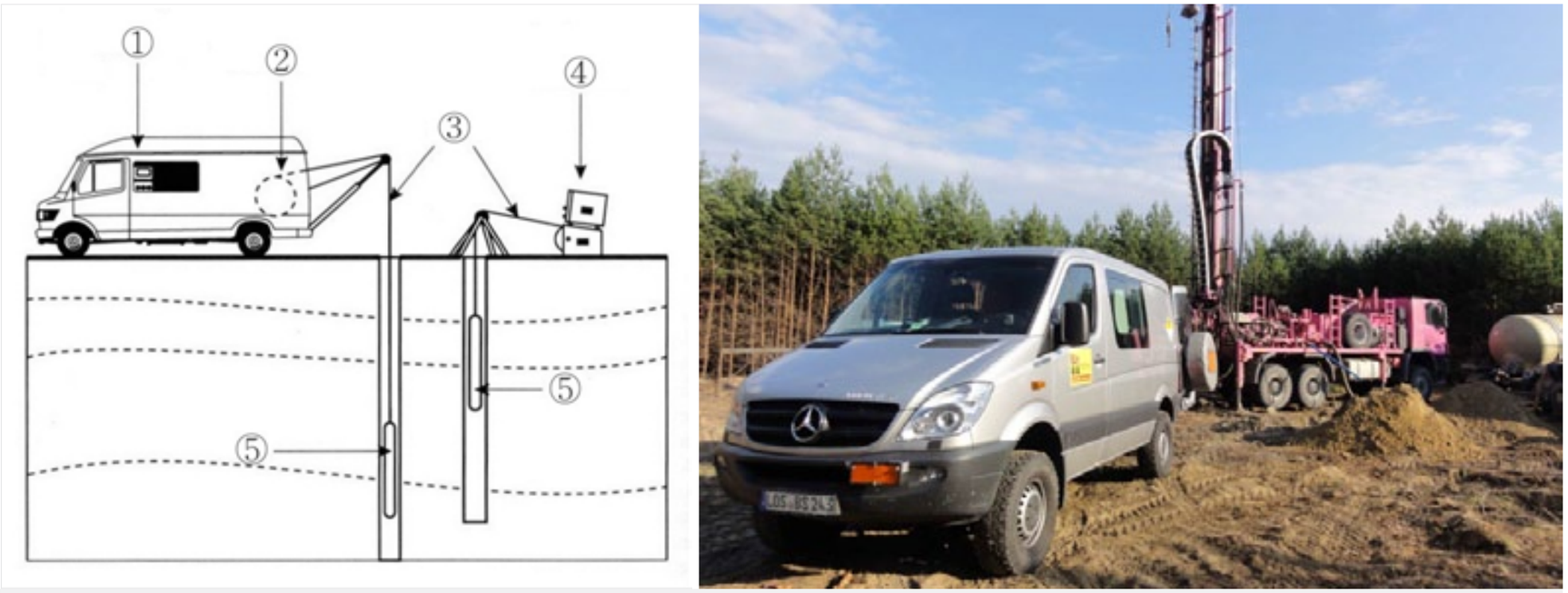
Weryfikacja profilu geologicznego

Na tym etapie minimalny program pomiarowy w otworze wiertniczym obejmuje tzw. profilowanie naturalnej promieniotwórczości gamma PG i profilowanie oporności sterowanej POst (rys. **2**).
Czas tego typu pomiarów w przypadku otworu o głębokości ok. 100 m wynosi ok. jednej godziny. Następnie dane geofizyczne zestawiane są z informacjami pozyskanymi z ewidencji przebiegu wiercenia. Tak sporządzony profil geologiczny pozwalana na poprawne wyznaczenie średnioważonego współczynnika przewodzenia ciepła gruntu (λ_g).

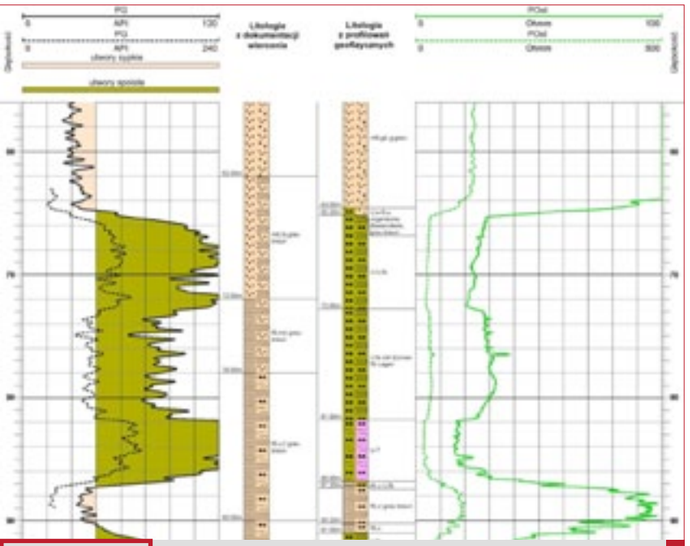
Każdy profil geologiczny sporządzony na podstawie wydobytego urobku z otworu wiertniczego, szczególnie w przypadku tzw. wierceń płuczkowych obciążony jest błędem. Prawidłowo rozpoznany profil litologiczny jest jednak niezbędny przy wyznaczaniu średnioważonego współczynnika przewodzenia ciepła gruntu (λ_g); na podstawie tej wartości projektowany jest pionowy, gruntowy wymiennik ciepła. Ewidencja warstw gruntu z przewiercanych warstw geologicznych może zostać łatwo i szybko skorygowana na podstawie otworowych badań geofizycznych.

Kontrola wypełnienia przestrzeni pierścieniowej

Podczas montażu sond pionowych, gruntowych wymienników ciepła (tj. pionowych GWC), podobnie jak w przypadku każdego innego otworu wiertniczego, w celu separowania poziomów wodonośnych oraz poprawy warunków wymiany ciepła konieczne jest uszczelnienie przestrzeni pierścieniowej między rurami pionowego GWC a ścianami odwiertu. Używany do tego zadania materiał wypełniający powinien się charakteryzować miedzy innymi dobrymi właściwościami uszczelniającymi i wysoką przewodnością cieplną. Kontrolę wykonania zabiegu wypełniania przeprowadza się standardowo przy użyciu otworowych technik geofizycznych. W tym celu, badania wykonuje się dwu-

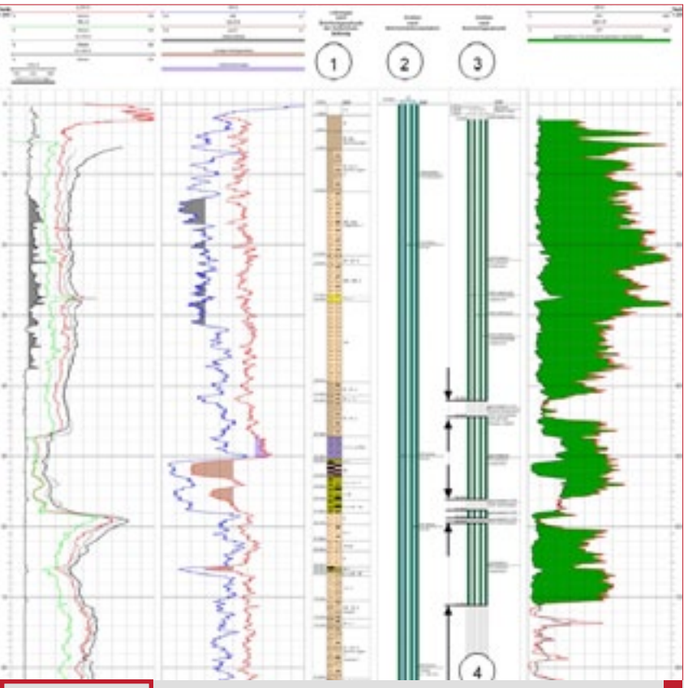


2 Schemat stanowiska oraz widok urządzenia pomiarowego (źródło Blm – Storkow GmbH)
1) Pojazd z mobilną aparaturą pomiarową, 2) Bęben wyciągowy, 3) Kabel pomiarowy, 4) Przenośna aparatura pomiarowa, 5) Sonda pomiarowa



POBIERZ

Rys. 3 Przykład weryfikacji profilu geologicznego (źródło Blm – Storkow GmbH)



POBIERZ

Rys. 4 Kontrola wypełnienia przestrzeni pierścieniowej (źródło Blm – Storkow GmbH)

etapowo, przed i po wypełnieniu, po czym analizuje się różnice wyników pomiarów w funkcji głębokości (rys. **3**).

Program pomiarowy, zależnie od użytego materiału wypełniającego (tab. **2**), obejmuje następujące techniki geofizyczne:

- profilowanie gamma (PG),
- segmentacyjne profilowanie gamma (SGL),
- profilowanie gamma-gamma gęstościowe (PGGg),
- profilowanie neutronowe (PNN),
- profilowanie podatności magnetycznej (PPM) lub skaner przestrzeni pierścieniowej (RGG.D).

W krajach Europy Zachodniej standardem jest stosowanie materiałów wypełniających, które można łatwo identyfikować za pomocą technik geofizycznych. Są to magnetyczne lub gamma-aktywne materiały wzbogacone domieszkami odpowiednio minerałów magnetycznych lub piasku cyrkonowego. Taki typ mieszanki kontrastowej pozwala na zidentyfikowanie luk w wypełnieniu przestrzeni pierścieniowej. Nieprawidłowo wykonane wypełnienie jest przyczyną tego, że wymiennik GWC nie osiąga oczekiwanej wydajności cieplnej z powodu zmniejszenia przewodności cieplnej w obszarach pozbawionych wypełnienia (skrócenie czynnej długości roboczej wymiennika). Ponadto stwarza to możliwość skażenia wody w podziemnych warstwach wodonośnych.

Przykłady badań geofizycznych w trakcie wykonywania otworów w gruncie

Udokumentowane w wyniku poboru próbek wiertniczych sypkie warstwy gruntu (przykład – rys. **3**) – piaski średnio- i drobnoziarniste – zostały zweryfikowane na podstawie badań geofizycznych jako grunt spoisty (mułki, pyły piaszczyste, iły). Te warstwy gruntu różnią się współczynnikiem przewodzenia ciepła (λ_g); zatem bez przeprowadzenia badań geofizycznych niewłaściwie oszacowano by wydajność cieplną pionowego GWC. Na rys. **4** zilustrowano wyniki badań weryfikujących stan wypełnienia przestrzeni pierścienowej.

Na podstawie analizy pionowego GWC można oszacować, że braki w wypełnieniu wynoszą około 43 %. Zatem jego rzeczywista wydajność cieplna będzie znacznie niższa niż oczekiwana. Ponadto, gdyby w dolnej części tego wymiennika gruntowego znajdowały się warstwy wodonośne, to nie zostałyby one odseparowane.

Zalecenia do badań geofizycznych

W tabelach **3** i **4** podano zalecenia, uzyskane w wyniku najnowszych doświadczeń, do wykonywania badań geofizycznych.

Artykuł pochodzi z „Podręcznika dobrych praktyk w zakresie doboru i wykorzystania odnawialnych źródeł energii oraz likwidacji niskiej emisji" (do nabycia na: http://schematy.info/shop.php).

Materiał wypełniający	Techniki pomiarowe	
	Dwuwymiarowe (2D)	Trójwymiarowe (3D)
znaczony magnetycznie	PPM, PGGg	PPM, RGG.D
znaczony gamma-aktywnie	PG, PGGg	SGL, RGG.D
nieznaczony	PG, PGGg, PNN	SGL, RGG.D, PNN

źródło Blm – Storkow GmbH oraz Baumann, K. 2010, Erste Erfahrungen bei der bohrlochgeophysikalischen Überprüfung von Erdwärmesonden, bbr Wasser, Kanal- & Rohrleitungsbau, Nr. 5/2010, wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH]

Tabela **2** Stosowane techniki geofizyczne zależnie od rodzaju materiału wypełniającego przestrzeń pierścieniową

Zakres mocy pompy ciepła Qc [kW]	Czas pracy sprężarki TS [h/rok]	Weryfikacja profilu geologicznego	Uwagi
≤ 30	≤ 2000	Decyzja użytkownika/inwestora	Badaniom mogą podlegać tylko wybrane odwierty
	od 2000 do 3000	Decyzja użytkownika/inwestora	
	≥ 3000	TAK	
od 30 do 70	≤ 2000	TAK	
	od 2000 do 3000	TAK	
	≥ 3000	TAK	
> 70	≤ 2000	TAK	
	od 2000 do 3000	TAK	
	≥ 3000	TAK	

Tabela **3** Weryfikacja profilu geologicznego

Zakres mocy pompy ciepła Q_c [kW]	Czas pracy sprężarki T_S [h/rok]	Kontrola wypełnienia	Uwagi
≤ 30	≤ 2000	Decyzja użytkownika/inwestora	Badaniom mogą podlegać tylko wybrane pionowe gruntowe wymienniki ciepła
	od 2000 do 3000	TAK	
	≥ 3000	TAK	
od 30 do 70	≤ 2000	TAK	
	od 2000 do 3000	TAK	
	≥ 3000	TAK	
> 70	≤ 2000	TAK	
	od 2000 do 3000	TAK	
	≥ 3000	TAK	

Tabela **4** Kontrola wypełnienia przestrzeni pierścieniowej