

Tomasz Śliwa*, Andrzej Gonet*, Grzegorz Skowroński**

**NAJWIĘKSZA W POLSCE
INSTALACJA GRZEWCZO-CHŁODNICZA
BAZUJĄCA NA OTWOROWYCH WYMIENNIKACH CIEPŁA**

1. WPROWADZENIE

Do ogrzewania sklepu IKEA, który powstał przy zbiegu ulic Pabianickiej i Chocianowickiej w Łodzi, zastosowano pompy ciepła o łącznej mocy 860 kW. Energia niskotemperaturowa pozyskiwana jest z górotworu z 160 pionowych otworowych wymienników ciepła o głębokości 100 m każdy. W otworach zamontowane zostały pętle z rurek PE DN 40, wypełnione 25-procentowym wodnym roztworem glikolu monopropylenowego.

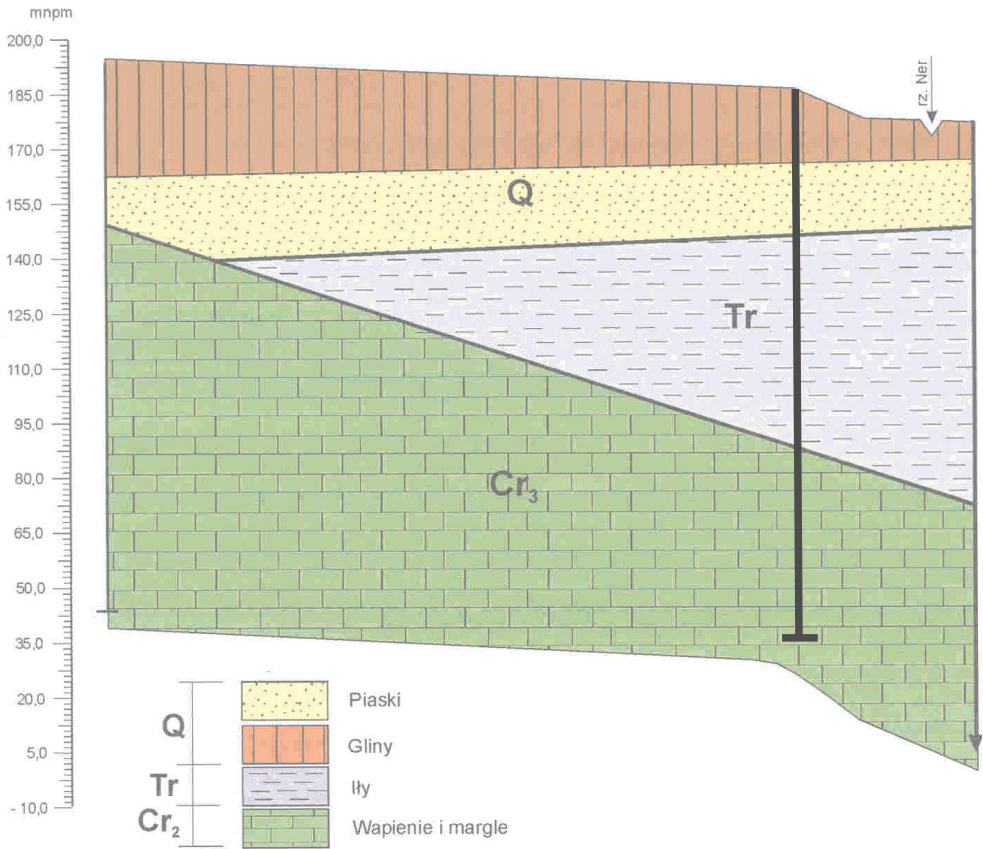
Prace wiertnicze wykonała firma SATOR w terminie od 3 czerwca do 18 września 2009 r. na podstawie *Projektu prac geologicznych na wykonanie otworów wiertniczych celem wykorzystania ciepła Ziemi* oraz aneksów nr 1 i nr 2 do niniejszego projektu prac geologicznych. Ostatecznie zadanie geologiczne rozwiązano zgodnie z założeniami aneksu nr 2 do ww. projektu prac geologicznych.

**2. BUDOWA GEOLOGICZNA
I WARUNKI HYDROGEOLOGICZNE TERENU BADAŃ**

Teren przeprowadzonych prac geologicznych znajduje się w południowej części Łodzi. Pod względem budowy geologicznej opisywany teren rozciąga się w obrębie kredowej niecki łódzkiej. Tę jednostkę geologiczną budują twory kredowe, przykryte młodszymi utworami trzeciorzędu i czwartorzędu (rys. 1). Wody podziemne występują na opisywanym terenie w utworach czwartorzędu lokalnie (pod nieznacznym ciśnieniem hydrostatycznym) oraz w utworach kredowych.

* AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu, Kraków

** SATOR, ul. Wspólna 10, 26-900 Koźienice-Nowiny

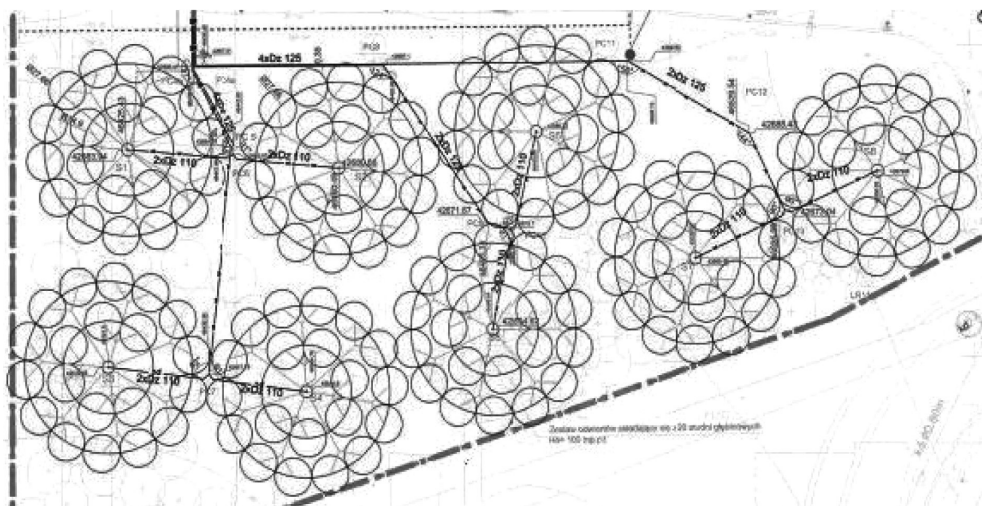


Rys. 1. Przekrój geologiczny rejonu wierceń z wrysowanym otworem [4]

W otworach do głębokości 100 m p.p.t. nie napotkano żadnych warstw wodonośnych. W interwale głębokości 20÷100 m p.p.t. zastosowany został zaczyn uszczelniający Termo-rotas. Zawiesina ta cechuje się wysoką przewodnością cieplną i jest przeznaczona do uszczelniania rur w otworowych wymiennikach ciepła. Zapobiega ona przepływowi wód podziemnych – izoluje warstwy wodonośne.

3. CHARAKTERYSTYKA ROZWIĄZAŃ TECHNICZNYCH

Wykonano 160 otworów wiertniczych o głębokości 100 m i średnicy świda 143 mm każdy. Wymiennik stanowią rurki PE 100 DN 40 (łącznie długość rur w pionowych otworach wynosi 32 000 m), zamontowane w otworach, oraz dodatkowo poziome przyłącze w postaci rurociągu PE 40 i PE 50 prowadzące do studzienek zbiorczych. Od studzienek zbiorczych do kotłowni budynku prowadzi osiem rurociągów PE DN 110, łączących się następnie w rurociągi PE DN 125 (rys. 2).



Rys. 2. Rozmieszczenie otworowych wymienników ciepła wg projektu [5]

Przed wprowadzeniem polietylenowych rurek do otworu wiertniczego na powierzchni ziemi sprawdzono szczelność całego układu, poddając go ciśnieniu około 0,8 MPa. Cały system przeszedł próby ciśnieniowe o powyższym ciśnieniu także po zainstalowaniu pionowych u-rurek w otworach i podłączeniu ich do rozdzielacza.

4. BADANIA OTWOROWEGO WYMIENNIKA CIEPŁA

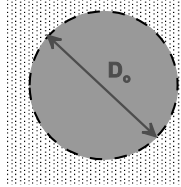
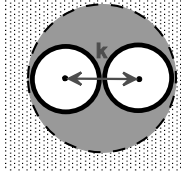
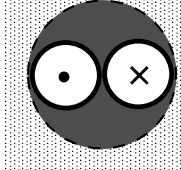
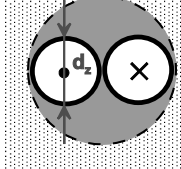
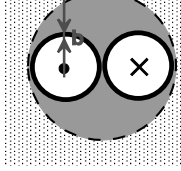
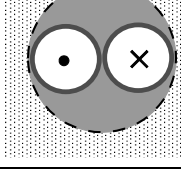
W okresie 12–19 listopada 2008 r. wykonano metodą obrotową otwór badawczy P-0. Otwór został wyposażony w rury wymiennika ciepła. Litologiczno-stratygraficzny profil otworu przedstawiono na zbiorczym zestawieniu wyników wiercenia na rysunku 3. Szczegóły konstrukcyjne wymiennika otworowego zawiera tabela 1. Nośnikiem ciepła w badawczym wymienniku otworowym był wodny roztwór glikolu propylenowego o stężeniu glikol-woda równym 1:2,5, co daje 28,6%.

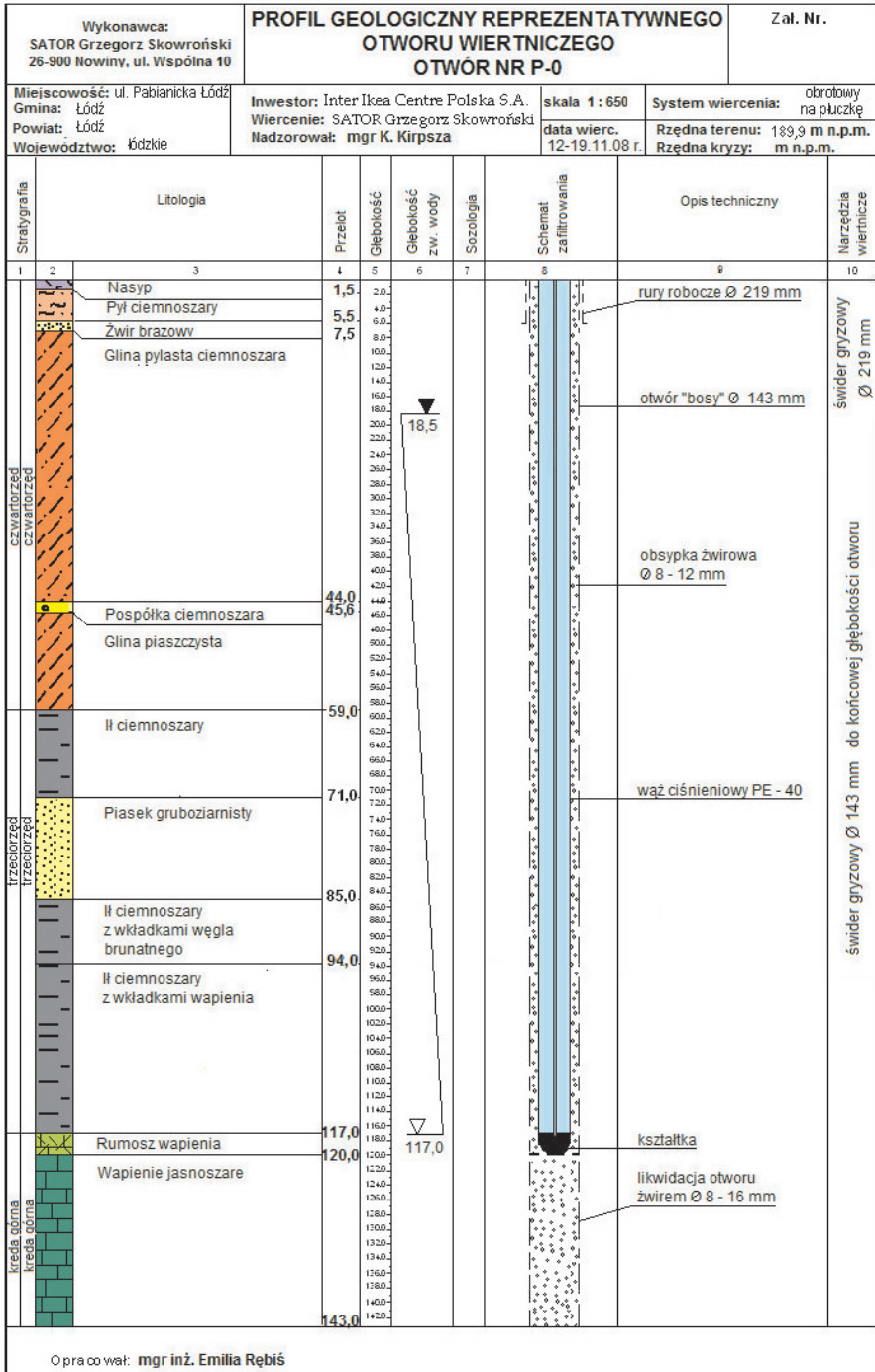
Tabela 1

Szczegóły konstrukcyjne próbnego otworowego wymiennika ciepła w Łodzi

Lp.	Nazwa parametru	Wartość	Schemat
1	Konstrukcja otworowego wymiennika ciepła	pojedyncza u-rurka	

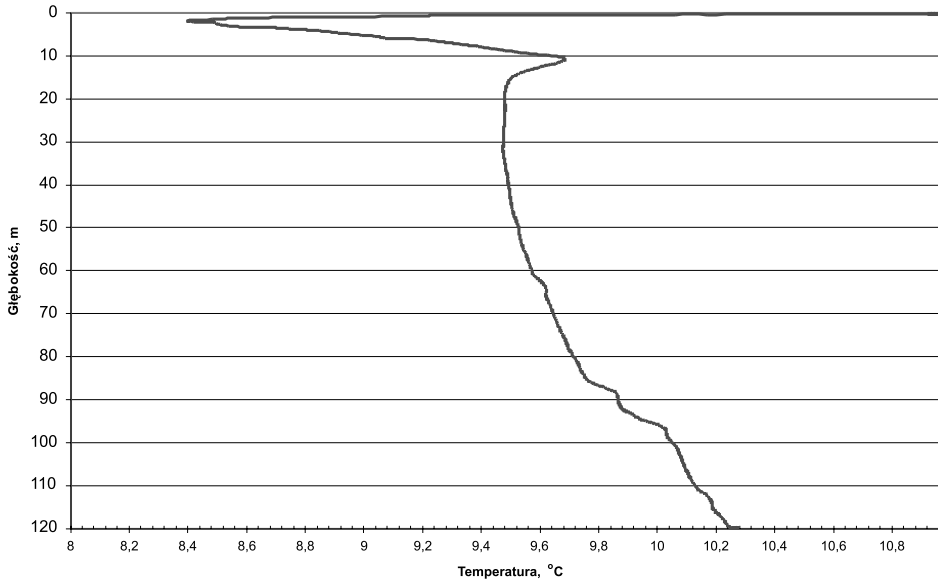
Tabela 1 cd.

Lp.	Nazwa parametru	Wartość	Schemat
2	Średnica otworu D_o (średnica narzędzia wiertniczego)	$D_o = 143 \text{ mm}$	
3	Odległość pomiędzy osiami rur wymiennika	$k = 45 \text{ mm}$	
4	Rodzaj materiału zastosowanego do uszczelnienia rur wymiennika	TermorotaS, $2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	
5	Średnica zewnętrzna rur wymiennika	$d_z = 40 \text{ mm}$	
6	Grubość ściany rur wymiennika	$b = 2,4 \text{ mm}$	
7	Materiał rur wymiennika	PE 100	
8	Głębokość otworu	$H = 143,0 \text{ m}$	–
9	Głębokość zapuszczenia rur wymiennika	$H_w = 120,0 \text{ m}$	–

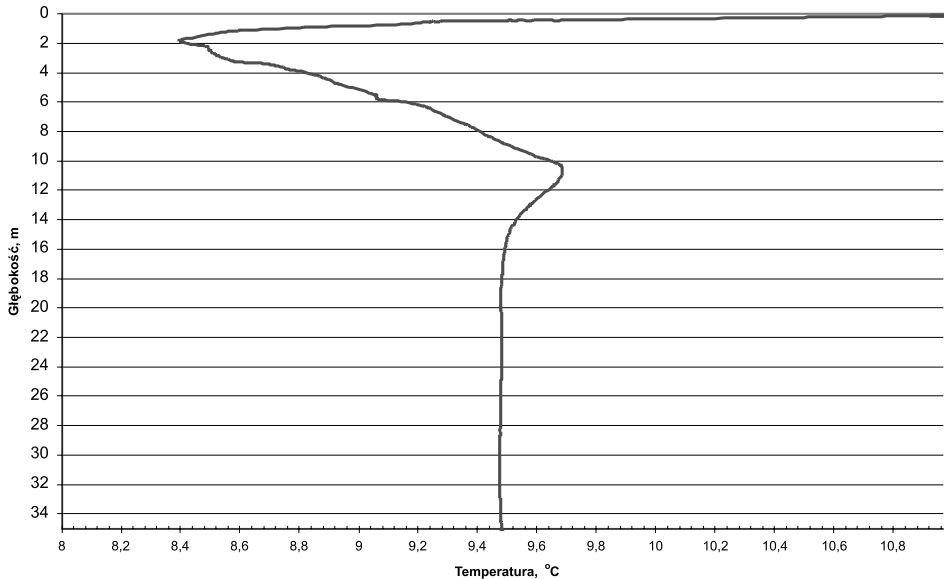


Rys. 3. Zbiorcze zestawienie wyników wiercenia otworowego wymiennika ciepła P-0 [6]

Badania pierwszego wymiennika otworowego wykonywano w okresie 10–15.12.2008 r. Pierwszy etap badań (10.12.2008 r.) polegał na profilowaniu temperatury w otworze P-0. Wyniki przedstawiono w formie graficznej na rysunkach 4 i 5. Na podstawie wyników profilowania określono wartość średniej temperatury profilu w interwale 0÷120 m, która wyniosła 9,66 °C.

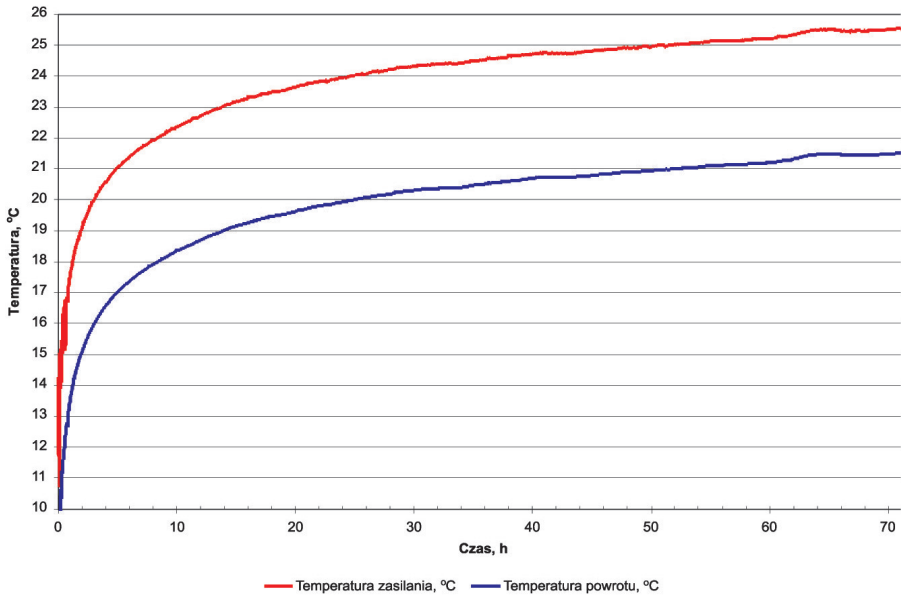


Rys. 4. Profilowanie temperatury otworu P-0 do głębokości 120 m [2]

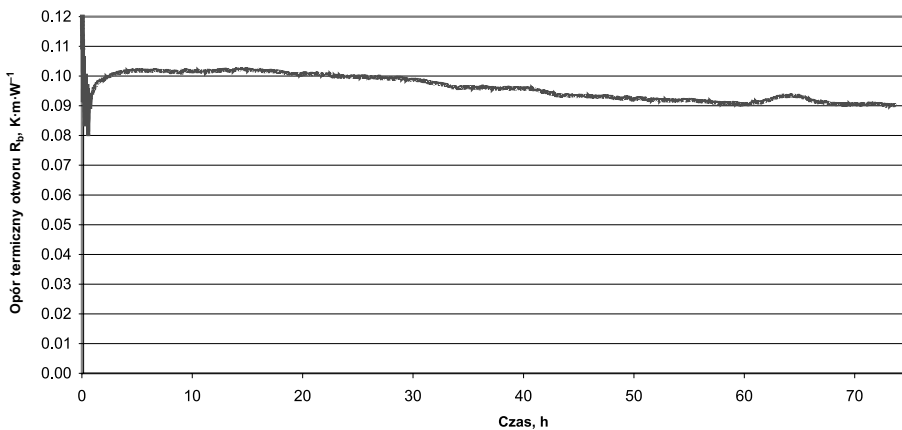


Rys. 5. Profilowanie temperatury otworu P-0 w interwale 0÷35 m [2]

Drugi etap polegał na cyrkulacji nośnika wraz z dostarczaniem ciepła o mocy grzewczej $P = 6,65 \text{ kW}$ przy strumieniu objętości nośnika $\dot{V} = 23,7 \text{ dm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$. Podczas całego testu reakcji termicznej (TRT) do górotworu wprowadzono 486,2 kWh energii. Wyniki testu reakcji termicznej wykonanego w otworze P-0 zostały przedstawione na rysunku 6. Na podstawie testu określono wartość efektywnej przewodności cieplnej skał przewierconego profilu, która wyniosła $\lambda_{ef} = 2,36 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, oraz wartość oporności cieplnej wymiennika otworowego (rys. 7), która wyniosła $0,096 \text{ m} \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$.



Rys. 6. Przebieg testu reakcji termicznej [2]



Rys. 7. Wykres przebiegu oporności cieplnej wymiennika otworowego podczas trwania testu reakcji termicznej [2]

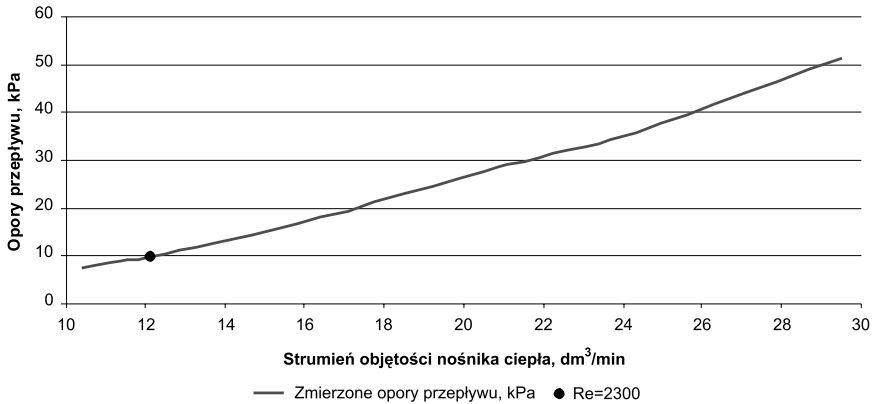
Dla porównania rezultatów przeprowadzono obliczenia średniej wartości współczynnika przewodzenia ciepła skał na podstawie danych literaturowych [3]. Wynik podano w tabeli 2.

Tabela 2

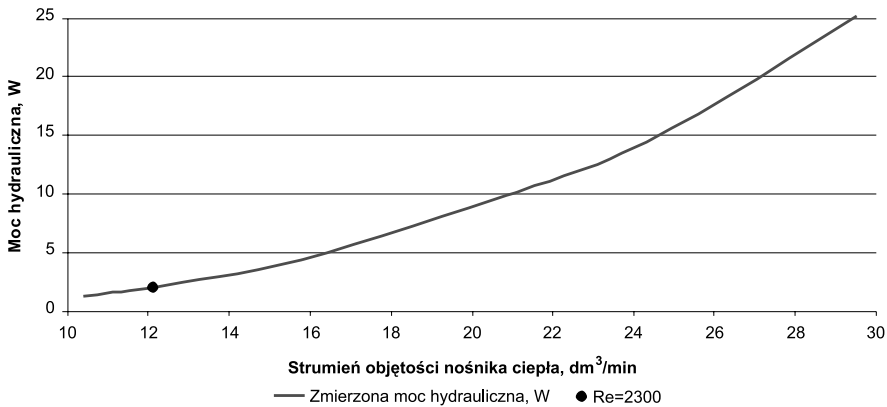
Wartość średniego ważonego współczynnika przewodzenia ciepła skał przewierconego profilu na podstawie danych literaturowych

Nr warstwy	Litologia	Strop, m p.p.t.	Spąg, m p.p.t.	Miąższość, m
1	nasyp	0	1,5	1,5
2	pył ciemnoszary	1,5	5,5	4
3	żwir brązowy	5,5	7	1,5
4	glina pylasta, ciemnoszara	7	44	37
5	pospółka, ciemnoszara	44	45,6	1,6
6	glina piaszczysta, ciemnoszara	45,6	59	13,4
7	ił ciemnoszary	59	71	12
8	piasek gruboziarnisty, ciemnoszary	71	85	14
9	ił ciemnoszary z kawałkami drewna	85	94	9
10	ił ciemnoszary z kawałkami wapienia	94	117	23
11	rumosz wapienia	117	120	3
Średni ważony teoretyczny współczynnik przewodzenia ciepła skał $1,86 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$				

Trzeci etap badań obejmował określenie charakterystyki hydraulicznej wymiennika otworowego. Pomiary strat ciśnienia przeprowadzono dnia 15.12.2008 r. podczas cyrkulacji nośnika ciepła, którego temperatura w czasie pomiarów obniżyła się z $13,7 \text{ }^\circ\text{C}$ do $13,3 \text{ }^\circ\text{C}$. Określono, że przepływ graniczny ($Re = 2300$) w takiej temperaturze występuje przy strumieniu objętości nośnika ciepła wynoszącym $12,1 \text{ dm}^3\cdot\text{min}^{-1}$. Hydrauliczne straty ciśnienia dla takiego przepływu wynoszą $9,9 \text{ kPa}$. Moc hydrauliczna przy takim przepływie określona została na 2 W . Na rysunku 8 przedstawiono wyniki pomiarów strat ciśnienia związanych z hydraulicznymi oporami przepływu nośnika ciepła w zależności od strumienia objętości jego przepływu. Na rysunku 9 przedstawiono zależność mocy hydraulicznej potrzebnej do pokonania oporów przepływu od strumienia objętości nośnika ciepła. Wykresy należy interpretować jako maksymalne straty ciśnienia i moce hydrauliczne występujące podczas przepływu nośnika ciepła o temperaturze około $13 \text{ }^\circ\text{C}$. Ze względu na dodatkowe straty w odcinkach powierzchniowych rur przyłączeniowych straty i moce rzeczywiste są nieco niższe od pokazanych na rysunkach 8 i 9.



Rys. 8. Zależność oporów przepływu od strumienia objętości nośnika ciepła podczas przepływu w otworze P-0 [2]



Rys. 9. Zależność mocy hydraulicznej od strumienia objętości nośnika ciepła podczas przepływu w otworze P-0 [2]

5. REZERWUAR CIEPŁA W GÓROTWORZE

Na podstawie wyników testu reakcji termicznej określono wielkość rezerwuaru i liczbę oraz rozmieszczenie wymienników otworowych.

Przed przystąpieniem do realizacji inwestycji ponownie przeanalizowano zapotrzebowanie budynku na ciepło i chłód i zdecydowano się zmniejszyć grzewcze parametry instalacji z 1090 kW do 860 kW. Wynikało to ze zmiany koncepcji instalacji grzewczo-chłodniczej – wprowadzono dodatkowy kocioł grzewczy i agregat chłodniczy. Ze względu na główny cel, tj. pozyskiwanie chłodu, zdecydowano się zmniejszyć głębokość otworów ze 120 m do 100 m i wykonać sto otworów, czyli 16 km pionowego kolektora. Dzięki redukcji głębokości obniżona została średnia temperatura udostępnionego górotworu.

Wiercenia 16 km wymienników otworowych przeprowadzono w okresie 03.06.2009–18.09.2009 r. W tym celu pracowały cztery urządzenia wiertnicze typu URB2-A2. Wiercenia wykonywano sposobem obrotowym, wykorzystując świdry gryzowe o średnicy 143 mm. Płuczkę wiertniczą stanowił roztwór koncentratu Teqgel S. Uszczelnienie (wypełnienie otworowego wymiennika ciepła) stanowił zaczyn TermorotaS. Do jego wprowadzenia zastosowano pompę MAi M400NT. Do ogrzewania obiektów kompleksu handlowego IKEA w Łodzi zastosowano dwie pompy ciepła o łącznej mocy grzewczej 860 kW.

6. OCENA WPŁYWU INSTALACJI NA ŚRODOWISKO ORAZ OPIS ZAGROŻEŃ

Instalacja ma pozytywny wpływ na środowisko dzięki redukcji emisji produktów spalania do atmosfery lokalnie, w jej najbliższym otoczeniu. Jedynym możliwym zagrożeniem pionowych wymienników otworowych dla pomp ciepła jest ich mechaniczne uszkodzenie i tym samym wyciek 25-procentowego roztworu glikolu propylenowego do górotworu.

Wskutek wycieku grunt zostałby skażony roztworem glikolu, który przed upływem 32 godzin uległby rozkładowi (dotyczy 98% masy całkowitej glikolu propylenowego).

Zastosowane pompy ciepła wyposażone są w czujnik przepływu i ciśnienia roztworu nośnika ciepła niskotemperaturowego. Przy niewielkim wycieku, rzędu około 10 dm^3 , automatyczny system odłączy przepływ, dzięki czemu nie nastąpi wypompowanie reszty roztworu z wymienników otworowych.

7. WNIOSKI

1. Projektownie dużych instalacji bazujących na otworowych wymiennikach ciepła powinno być poprzedzone testami reakcji termicznej (TRT) wykonanymi przynajmniej w jednym otworze badawczym. Instalacja musi mieć moc grzewczą powyżej 30 kW, aby test TRT był ekonomicznie uzasadniony.
2. W wyniku przeprowadzenia testu reakcji termicznej otworu badawczego dla IKEA w Łodzi i interpretacji wyników uzyskano następujące wartości wskaźników:
 - efektywna przewodność cieplna skał przewierconego profilu $\lambda_{ef} = 2,36 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$,
 - oporność cieplna wymiennika otworowego $R_b = 0,096 \text{ m}\cdot\text{K}\cdot\text{W}^{-1}$,
 - średnia temperatura statyczna górotworu (przewierconego profilu $0\div 120 \text{ m}$) $T_{sr} = 9,66 \text{ }^\circ\text{C}$.
3. Na podstawie TRT i zadanych parametrów systemu grzewczo-chłodniczego zaprojektowano układ składający się ze 160 otworowych wymienników ciepła o głębokości 100 m każdy.
4. Określono dla przepływu granicznego ($Re = 2300$) przy temperaturze około $13,5 \text{ }^\circ\text{C}$ takie parametry, jak:
 - strumień objętości nośnika ciepła $\dot{V} = 12,1 \text{ dm}^3/\text{min}$,
 - hydrauliczne straty ciśnienia $p = 9,9 \text{ kPa}$,
 - moc hydrauliczną $N = 2,0 \text{ W}$.

LITERATURA

- [1] Gonet A., Śliwa T.: *Testowanie otworowych wymienników ciepła (TRT)*. GLOBEnergia, nr 1, 2010, s. 14, 17.
- [2] Gonet A., Śliwa T.: *TRT Interpretacja testu reakcji termicznej otworowego wymiennika ciepła P-0 Łódź, ul. Pabianicka/Chocianowicka*. 2008 (praca niepublikowana).
- [3] Gonet A. (red.): *Metodyka identyfikacji potencjału cieplnego górotworu wraz z technologią wykonywania i eksploatacji otworowych wymienników ciepła*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2011.
- [4] Kirpsza K.: *Projekt prac geologicznych na wykonanie stu czterdziestu czterech otworów wiertniczych celem wykorzystania ciepła ziemi, Łódź, ul. Pabianicka/Chocianowicka*. Łódź 2008.
- [5] Rębiś E.: *Aneks nr 2 do projektu prac geologicznych na wykonanie otworów celem wykorzystania ciepła Ziemi, Łódź ul. Pabianicka/Chocianowicka*. Kozienice 2009.
- [6] Rębiś E.: *Dokumentacja geologiczna otworów wiertniczych wykonanych celem wykorzystania ciepła Ziemi dla potrzeb sklepu IKEA w Łodzi*. Kozienice 2009.