

Albert Złotkowski*, Tomasz Śliwa*, Andrzej Gonet*

**OTWOROWE WYMIENNIKI CIEPŁA
W INSTALACJI GRZEWCZO-KLIMATYZACYJNEJ
EKOLOGICZNEGO PARKU EDUKACJI I ROZRYWKI OSSA****

1. WSTĘP

Zespół hotelowy Ekologicznego Parku Edukacji i Rozrywki OSSA (rys. 1) (EPEiR OSSA) powstał jako kolejny obiekt kulturalno-wypoczynkowy grupy Trip w 2008 roku. Zlokalizowany jest w województwie łódzkim, powiecie rawskim, gmina Biała Rawska.



Rys. 1. Ekologiczny Park Edukacji i Rozrywki OSSA

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca zrealizowana w ramach grantu MNiSW nr N N524 353738, umowa AGH nr 18.18.190.385

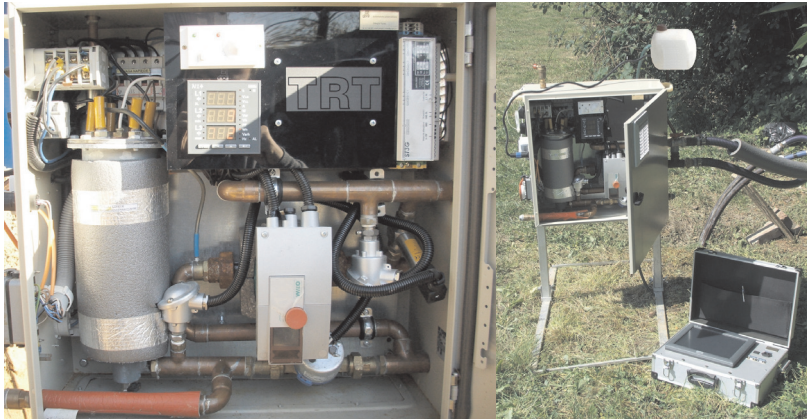
Realizacja inwestycji została wykonana przy założeniu wykorzystania technologii przyjaznych środowisku, a także wykorzystania uroku krajobrazu składającego się z lasu oraz sztucznego jeziora. Również w fazie projektowania zdecydowano, że eksploatacja obiektu musi odznaczać się niskim zużyciem energii elektrycznej i paliw [6]. Przyjęto więc, że zarówno energia grzewcza, jak i chłodnicza będzie dostarczana przez 4 pompy ciepła wykorzystujące jako źródło ciepła górotwór z 80. wymiennikami otworowymi.

Wyliczenia projektowe zapotrzebowania budynku na ciepło i chłód oraz przyjęcie charakteru biwalentnego zasilania podyktowały dobranie jako urządzeń zasilających hotel w ciepło 4 pomp ciepła o łącznej mocy grzewczej 476–612 kW, mocy chłodniczej 352–504 kW (w zależności od temperatury nośnika energii zasilającego parowniki i wypływającego ze skraplaczy pomp ciepła) oraz 2 kotłów olejowych. Przyjęto, że podstawowym źródłem ciepła będzie zespół pomp ciepła pokrywający zapotrzebowanie w wysokości ok. 70%. Jako drugie, szczytowe źródło energii dobrano kotły olejowe o mocy 700 kW, które również w razie awarii sieci elektrycznej mają możliwość pokrycia całości zapotrzebowania obiektu na energię. Realizację dostarczenia chłodu do instalacji klimatyzującej przewidziano w trojaki sposób. Pasywne dostarczanie chłodu zakłada oddawanie ciepła z instalacji klimatyzującej do wymienników otworowych bez udziału pomp ciepła. Aktywne dostarczanie chłodu wymaga użycia pomp ciepła. W okresie szczytowym zapotrzebowaniu na chłód dodatkowo przewidziano agregat wody lodowej.

Warunkiem poprawnego działania systemu grzewczo-klimatyzującego opartego na pompach ciepła jest dobór odpowiedniej wielkości buforu ciepła oraz parametrów jego efektywnego wykorzystania zarówno jako źródła, jak i magazynu energii [5]. Zaprojektowanie odpowiedniej głębokości wymienników otworowych, odpowiadającej zapotrzebowaniu, możliwe jest przy znajomości ich wydajności grzewczej w danym miejscu (konstrukcja wymiennika, budowa litologiczna, nasycenie porów wodą). Informacje tego typu możliwe są do pozyskania na drodze testu reakcji termicznej (TRT – *thermal response test*) zespołu wymiennik otworowy-górotwór [1]. W przypadku EPEiR OSSA badaniu TRT poddano 2 różne wymienniki otworowe [2], jeden o konstrukcji pojedynczej, drugi podwójnej u-rurki. Obydwa wymienniki posiadały głębokość 100 m.

2. PRZEPROWADZENIE BADAŃ TRT

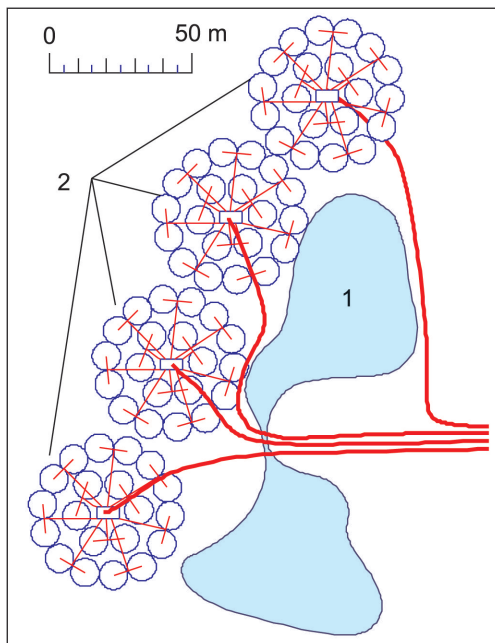
Weryfikacja możliwości parametrów pracy wymiennika otworowego jest realizowana przy użyciu aparatury terenowej TRT (rys. 2), w którą wyposażone jest Laboratorium Geoenergetyki Katedry Wiertnictwa i Geoinżynierii WwNiG AGH. Zasada przeprowadzenia pomiaru opiera się na dostarczaniu energii o stałej mocy do wymiennika otworowego poprzez przepływ nośnika ciepła, przy stałym strumieniu objętości. Wpływ i wypływ testowanego wymiennika otworowego zaopatrzone jest w czujniki temperatury, które zmierzone wielkości przesyłają do komputera rejestrującego dane do późniejszej interpretacji. Pomiaru wykonywane są w odstępach jednosekundowych nieprzerwanie przez czas ok. 100 h. Zebrane wyniki w postaci tabelarycznej poddaje się analizie, dzięki której określa się efektywną przewodność cieplną górotworu. W przypadku EPEiR OSSA przeprowadzono jedno badanie wymiennika otworowego z podwójną u-rurką oraz trzy badania wymiennika z pojedynczą u-rurką, zmieniając moc grzewczą i strumień objętości przepływającego czynnika.



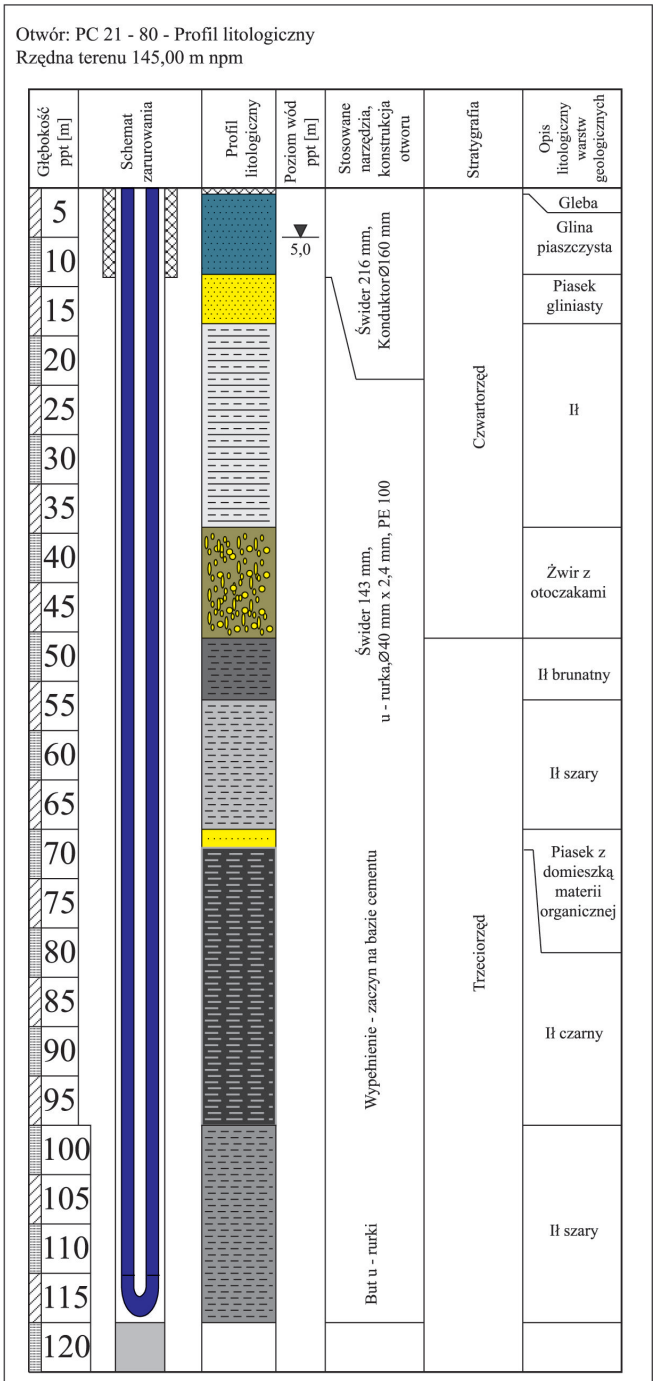
Rys. 2. Urządzenie do testu reakcji termicznej

3. WYKONANIE WYMIENNIKÓW OTWOROWYCH

Na podstawie wyników TRT i analizy zapotrzebowania na ciepło i chłód zaprojektowano 80 otworowych wymienników ciepła o konstrukcji pojedynczej u-rurki, 24 wymienniki o głębokości 133 m oraz 56 wymienników o głębokości 115 m (rys. 3).



Rys. 3. Rozmieszczenie otworowych wymienników ciepła wraz z połączeniami:
1 – staw, 2 – cztery zespoły otworowych wymienników ciepła [3]



Rys. 4. Karta otworu pionowego wymiennika ciepła – otwór PC 21 – 80 EPEiR OSSA [3]

Wymienniki otworowe rozmieszczono po 20 wymienników w 4 bateriach niezależnie podłączonych oddzielnymi magistralami hydraulicznymi z kolektorem zbiorczym otworowych wymienników ciepła, zasilającym pompy ciepła. Wymienniki rozmieszczono tak, aby odległość pomiędzy nimi była nie mniejsza niż 10 m. Dzięki temu możliwe jest pobieranie i oddawanie energii z stosunkowo dużej objętości górotworu. Otwory pod wymienniki wykonano metodą obrotową z użyciem płuczki wiertniczej. Następnie do każdego z otworów zapuszczono przewód rurowy z HDPE (polietylen wysokiej gęstości) na czas zapuszczania utrzymywany pod ciśnieniem równym ciśnieniu panującym na dnie otworu. Instalacje wymiennika otworowego skonsolidowano zaczynem uszczelniającym sporządzonym w oparciu o typowe spoiwo hydrauliczne. Podczas wiercenia, aby zapobiec obsypywaniu warstw przypowierzchniowych, wykorzystano kolumnę rur wzmacniającą ścianę otworu (rys. 4).

4. FUNKCJONOWANIE SYSTEMU GRZEWCZO-CHŁODNICZEGO

Efektywne wykorzystanie zespołu wymienników otworowych, których moc określono na poziomie 476 kW, możliwe jest tylko wtedy, jeśli wykonywana instalacja wewnątrz budynku, wykorzystująca ciepło niskotemperaturowe, będzie w stanie racjonalnie kaskadowo pozyskiwać ciepło o kolejnych poziomach temperatur i magazynować je w zbiorniku wody lodowej oraz zasobniku ciepła. Zaplanowano pięć trybów pracy instalacji, skorelowanych z kolejnymi okresami grzewczymi w cyklu rocznym, pozwalających wydajnie gospodarować ciepłem oraz jego zasobami w górotworze. Wyróżniono następujące okresy:

- okres zimowy,
- okres wiosenny,
- okres wczesnego lata (tryb pasywnej i aktywnej wymiany ciepła w otworowych wymiennikach jako źródle chłodu),
- okres późnego lata,
- okres jesienny.

W okresie zimowym przyjęto, że pompy ciepła zasilane są nośnikiem energii wypływającym z otworowych wymienników ciepła. Ochłodzony nośnik z pomp ciepła przepływa przez zbiorniki wody lodowej, zapewniając utrzymanie instalacji klimatyzacyjnej w gotowości użycia oraz nieco zwiększając swoją temperaturę. Kolejno powraca do wymienników otworowych, gdzie ponownie zostaje ogrzany. W przypadku wzrostu zapotrzebowania na chłód za pomocą zaworów mieszających nośnik ciepła bezpośrednio kierowany jest ze zbiornika wody lodowej na parowniki pomp ciepła.

W okresie wiosennym w parownikach pomp ciepła płynie nośnik z otworowych wymienników ciepła oraz ze zbiornika wody lodowej (przy założeniu wzrostu zapotrzebowania na chłód). Zawór mieszający umożliwia regulację temperatury strumienia cieczy podawanej na parowniki pomp ciepła. Niedobór energii pobierany jest z wymienników otworowych.

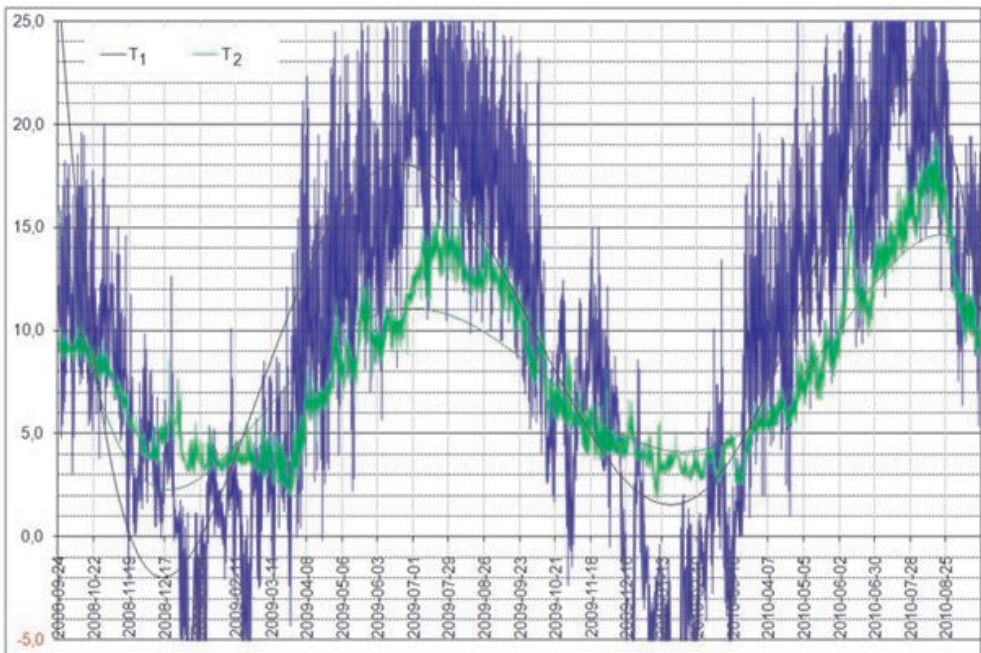
W okresie wczesnego lata ciecz wypływająca z otworowych wymienników ciepła kierowana jest na parowniki pompy ciepła, a jeśli nie występuje zapotrzebowanie na ciepło, to tylko na zbiornik wody lodowej (pasywne klimatyzowanie). Jeśli temperatura czynnika wpływającego z wymienników otworowych wzrośnie do poziomu, przy którym pasywne

chłodzenie zbiornika wody lodowej jest niemożliwe, zapotrzebowanie na chłód realizowane jest za pomocą pomp ciepła (aktywne klimatyzowanie), a nadmiar energii ze skraplaczy górnego źródła odprowadzany jest za pomocą magistrali pomocniczej na kolektor zasilający otworowe wymienniki ciepła. Ma to na celu regenerację zasobów ciepła w górotworze.

W okresie późnego lata chłód jest w całości wytwarzany przez pompy ciepła, a górotwór ulega regeneracji w celu zwiększenia jego temperatury, co przyczyni się do zmniejszenia zużycia energii elektrycznej w jesieni i zimą.

W okresie jesiennym nośnik dostarczany do pomp ciepła z wymienników otworowych jest ochładzany, po czym przepływa w miarę zapotrzebowania przez zbiornik wody lodowej lub bezpośrednio przez otworowe wymienniki ciepła. Przy porównywalnym zapotrzebowaniu na chłód i ciepło parowniki pomp ciepła mogą pracować w obiegu zamkniętym ze zbiornikiem wody lodowej, tym samym niepobierając energii z górotworu.

Opisane cykle pracy instalacji należy stosować, uwzględniając zaistniałe odpowiednie zapotrzebowanie na energię grzewczą, chłodniczą i temperaturę nośnika ciepła wypływającego z górotworu (stopień zcierpania ciepła skał i zmagazynowanych rezerw energii) oraz dopuszczalną temperaturę zasilania parowników (układ mieszania). Funkcje przełączeniowe realizuje zintegrowany system automatycznego sterowania. Przykładowo rysunek 5 przedstawia wartości temperatury dolnego źródła oraz powietrza atmosferycznego w cyklu rocznym.



Rys. 5. Przebieg zmian temperatury powietrza atmosferycznego i nośnika ciepła w wymiennikach otworowych w czasie; T_1 – temperatura powietrza, T_2 – temperatura dolnego źródła ciepła [4]

Złożoność powyżej przedstawionego układu uwarunkowana jest przystosowaniem działania instalacji grzewczo-chłodniczej w każdych warunkach. Również projektując połączenia poszczególnych źródeł i odbiorników energii, uwzględniono możliwość całkowitego wykorzystywania energii tak, aby ilość prądu elektrycznego zużywana do napędzania pomp ciepła ograniczyć do minimum.

Funkcjonowanie całości instalacji możliwe jest tylko dzięki źródłu ciepła w górotworze, które stanowi bufor energii używanej do grzania obiektu lub magazynu energii odpadowej pochodzącej z klimatyzacji. Dzięki odpowiedniemu dopasowaniu zapotrzebowania na energię i wielkości źródła ciepła w górotworze utrzymywana temperatura nośnika ciepła przez cały rok nie spada poniżej 273 K. Jest to jednym z ważnych czynników ograniczających zużycie energii elektrycznej przez pompy ciepła.

5. WNIOSKI

1. Systemy grzewczo-chłodnicze oparte na pompach ciepła i otworowych wymiennikach ciepła umożliwiają znaczną racjonalizację gospodarki energetycznej obiektów. Wynikiem tego są wymierne korzyści ekonomiczne w dłuższej perspektywie.
2. Wykonanie zespołu wymienników otworowych w kilku grupach ułatwia lepsze gospodarowanie ciepłem w górotworze, umożliwia jednocześnie szczytowanie chłodu do pasywnego klimatyzowania oraz pozyskiwanie czynnika o wysokiej temperaturze zasilającego parowniki pomp ciepła.
3. Na efektywność funkcjonowania systemu otworowych wymienników ciepła mają przede wszystkim wpływ parametry eksploatacyjne oraz głębokość, rozmieszczenie i liczba otworów.
4. Określenie parametrów zespołu otworowy wymiennik ciepła – górotwór możliwe jest za pomocą testu reakcji termicznej górotworu oraz analizy uzyskanych danych.
5. Testy (TRT) powinny być wykonywane przed projektowaniem układu wymienników otworowych dla większych instalacji grzewczo-klimatyzacyjnych. Unika się wtedy niedowymiarowania, co pociąga za sobą wzrost kosztów eksploatacyjnych, lub prze-wymiarowanie, co powoduje wzrost nakładów inwestycyjnych.
6. Po trzech latach eksploatacji instalacji w EPEiR OSSA można stwierdzić, iż prezentowany układ grzewczo-klimatyzacyjny spełnia swoje zadanie. Należy zauważyć, iż znaczną rolę w poprawności funkcjonowania systemu pełni automatyka.

LITERATURA

- [1] Gonet A. (red.): *Metody identyfikacji potencjału cieplnego górotworu wraz z metodami wykonywania i eksploatacji otworowych wymienników ciepła*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2011 (w druku)
- [2] Gonet A., Śliwa T.: *Konstrukcje otworowych wymienników ciepła*. Czysta energia, czyste środowisko 2008 (red. I. Soliński), Małopolsko-Podkarpacki Klaster Czystej Energii, Kraków, 2008

- [3] Materiały firmy Sator (www.sator.pl)
- [4] Materiały firmy Solis (www.solis.pl)
- [5] Śliwa T., Gonet A., Złotkowski A.: *Możliwości magazynowania i pozyskiwania ciepła za pośrednictwem otworowych wymienników ciepła*. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, nr 6, Kraków 2007
- [6] Śliwa T., Złotkowski A.: *Założenia do koncepcji systemu grzewczo-chłodniczego z innowacyjnymi i energooszczędnymi rozwiązaniami dotyczącymi odzysku ciepła od środowiska dla Ekologicznego Parku Edukacji i Rozrywki OSSA w gminie Biała Rawska*. Kraków 2007 (praca niepublikowana)