

**Albert Złotkowski\*, Jan Macuda\*, Tomasz Śliwa\***

## **ŚRODOWISKOWE ASPEKTY WYKONYWANIA I EKSPLOATACJI OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA**

### **1. WSTĘP**

Wykorzystanie darmowej, czystej energii odnawialnej zmagazynowanej w górotworze gwarantuje zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych oraz racjonalizację wykorzystania energii wytwarzanej z paliw kopalnych. Jednak wykorzystanie energii Ziemi o niskiej entalpii jako dolnego źródła dla instalacji pomp ciepła wiąże się z koniecznością wykonania otworowych wymienników ciepła, pośredniczących w wymianie.

Wiercenie otworu pod wymiennik otworowy oraz jego późniejsze użytkowanie wiąże się z pewnymi zagrożeniami dla środowiska naturalnego, zwłaszcza w miejscu prowadzenia prac wiertniczych. Całkowite wyeliminowanie wszystkich zagrożeń nie jest możliwe, jednak w znacznym stopniu można je ograniczyć. Również właściwa eksploatacja wymienników otworowych pozwala na bezpieczną wymianę ciepła z górotworem [6, 11, 13–15].

Zagrożenia dla środowiska związane z pozyskaniem ciepła z górotworu o niskiej entalpii można podzielić na dwie grupy [3, 6, 7, 12]:

- 1) zagrożenia podczas wykonywania wymienników otworowych:
  - degradacja powierzchni terenu przez urządzenia i składowanie materiałów,
  - zanieczyszczenie wód gruntowych płuczką wiertniczą,
  - emisja hałasu generowanego przez urządzenia wiertnicze,
  - emisja drgań generowanych przez narzędzie urabiające skałę;
- 2) zagrożenia podczas eksploatacji otworowych wymienników ciepła:
  - zanieczyszczenie wód gruntowych nośnikiem energii wypełniającym przewody otworowego wymiennika ciepła,
  - połączenie poziomów wodonośnych o różnych ciśnieniach piezometrycznych i wywołanie między nimi przepływu wód na skutek złego zacementowania otworu.

---

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

Wymienione zagrożenia występujące podczas wykonywania otworowych wymienników ciepła (rys. 1) są nierozdzielnie związane z prowadzeniem prac wiertniczych i nie ma możliwości całkowitego ich wyeliminowania. Niebezpieczeństwom w czasie eksploatacji można zapobiegać m.in. przez odpowiednie i staranne wykonanie otworowych wymienników ciepła.



**Rys. 1.** Wykonywanie otworowego wymiennika ciepła otwór AGH LG2

## **2. ZAGROŻENIA WYSTĘPUJĄCE PODCZAS WYKONYWANIA OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA**

Wykonanie instalacji technicznej dostarczającej do pomp ciepła energię o niskiej entalpii pochodzącą z górotworu wymaga odwiercenia otworów, do których zostanie zapuszczona armatura otworowych wymienników ciepła i następnie skonsolidowana z górotworem przy użyciu zaczynu uszczelniającego [16, 17]. Specyfika prac wiertniczych związanych z wykonaniem otworowych wymienników ciepła o typowej głębokości (do 150 m) wymaga użycia wiertnicy (najczęściej zamontowanej na podwoziu samochodu ciężarowego) umożliwiającej odwiercenie otworu metodą obrotową z użyciem płuczki wiertniczej przygotowanej na bazie wody lub płuczki powietrznej oraz dodatkowych urządzeń umożliwiających cementację otworu. Wykonanie takiego otworu związane jest z emisją do środowiska hałasu, generowanego przez silniki napędowe wiertnicy, o wielkości 80÷92 dB, co znacznie przekracza dopuszczalne normy w odniesieniu do terenów zabudowy mieszkalnej wynoszące w porze dziennej 55 dB i w porze nocnej 45 dB. Problem emisji hałasu podczas

prowadzenia tego rodzaju prac wiertniczych jest bardzo istotny z uwagi na fakt, że większość otworowych wymienników ciepła wykonuje się w sąsiedztwie budynków w gęstej miejskiej zabudowie, a konieczna do celów grzewczych długość wymienników otworowych (przy średniej głębokości otworów 100-150 m) wykonywanych przy budynku mieszkalnym wymaga kilkudniowej pracy wiertnicy. Szczególne zagrożenie hałasem, w związku z wykonywaniem takich otworów występuje podczas prowadzenia prac wiertniczych metodą udarową z wykorzystaniem młotków wgłębnych napędzanych sprężonym powietrzem. Poziom hałasu emitowanego do środowiska przekracza w takich przypadkach 90 dB.

Kolejnym zagrożeniem dla środowiska, występującym zwłaszcza podczas przewiercania skał twardych, jest emisja wibracji, związana z pracą narzędzia na dnie otworu. Problem ten jest szczególnie istotny przy wykonywaniu otworów metodą udarową z wykorzystaniem młotków wgłębnych. Ograniczenie wibracji w takich przypadkach można uzyskać m.in. dzięki zmianie techniki i technologii wiercenia [4, 8].

Wykonanie otworów do celów grzewczych związane jest również z degradacją gleb i gruntów na terenie prowadzonych prac. Wiertnice wykorzystywane do drążenia tego rodzaju otworów (na podwoziu kołowym lub gąsiennicowym) wymagają zajęcia odpowiednio dużej powierzchni terenu, zwłaszcza że ze względów technologicznych wiercone otwory nie powinny być rozmieszczone blisko siebie. Ponadto otworowe wymienniki ciepła bardzo często sytuowane są na terenach już zagospodarowanych, co wymaga od wykonawcy prac wiertniczych należytej dbałości o ograniczenie degradacji powierzchni terenu do obszaru niezbędnego do ich wykonania. Takie rozwiązanie redukuje również wielkość zajmowanego terenu, a przede wszystkim koszty związane z jego rekultywacją [3, 6, 7, 13] (rys. 2).

a)



b)



**Rys. 2.** Miejsce wykonania wymienników otworowych przed zakończeniem (a) i po zakończeniu prac (b)

Teren, na którym przewidziane jest magazynowanie materiałów używanych do wykonania instalacji oraz postawienie osprzętu wiertniczego i elementów obiegu płuczkowego, powinien być tak zabezpieczony, aby nie dochodziło do degradacji gleb i gruntów w wyniku rozlania lub rozsypania się substancji toksycznych stosowanych w procesie wiercenia i do budowy instalacji grzewczej.

Użycie płuczki do wiercenia wymaga należytej staranności zwłaszcza podczas obsługi armatury płuczkowej, w tym zwrócenia szczególnej uwagi na stan szczelności połączeń (rys. 3). Rozszczelnienie przewodów może skutkować nieprzewidzianym gwałtownym wypływem płuczki pod wysokim ciśnieniem.



**Rys. 3.** Zbiornik na płuczkę powracającą z otworu wiertniczego

Technika wiercenia obrotowego z użyciem płuczki wiertniczej, szczególnie podczas przewiercania warstw przepuszczalnych i płytko zalegających, niesie z sobą ryzyko migracji płynu wiertniczego do wód gruntowych. Fakt ten znacznie ogranicza gamę substancji możliwych do zastosowania w płuczce wiertniczej wykorzystywanej podczas wiercenia otworów do celów grzewczych. Płuczki do tych celów należy sporządzać z wykorzystaniem substancji obojętnych dla środowiska lub ulegających samoczynnemu rozkładowi, dopuszczonych do kontaktu z wodą pitną.

Płuczki przyjazne środowisku powinny być sporządzone głównie na podstawie materiałów ilastych i soli mrówczanowych. Jednak ze względu na wysoki koszt sporządzenia płuczki mrówczanowej nie jest ona powszechnie stosowana do wiercenia otworów o małej głębokości. Płuczki z zawartością biodegradowalnych polimerów utrzymują stabilność pa-

rametrów reologicznych, jednak rozkład polimerów powoduje rozwój bakterii i możliwe są sytuacje, w których następuje zanieczyszczenie wód podziemnych bakteriami. Ma to miejsce zwłaszcza w warunkach dużych zaników płuczki w trakcie wiercenia otworu. Wiercenie otworu przy użyciu płuczki samorodnej nie gwarantuje natomiast właściwego wynoszenia zwiercin i powoduje komplikacje, szczególnie podczas przewiercania skał elastycznych.

Z receptur płuczek stosowanych do wiercenia otworowych wymienników ciepła zdecydowanie powinno się wyeliminować pochodne skrobi i celulozy, polimery długo utrzymujące się w strefie przyodwiertowej, oleje i chlorki [1, 3, 6, 7, 15].

### 3. ZAGROŻENIA WYSTĘPUJĄCE PODCZAS EKSPLOATACJI OTWOROWYCH WYMIENNIKÓW CIEPŁA

Instalacja grzewcza wykorzystująca za pośrednictwem otworowych wymienników ciepła energię Ziemi o niskiej entalpii wymienia energię z górotworem. Proces ten jest możliwy dzięki nośnikowi ciepła, którym jest płyn użyty jako czynnik roboczy w układzie cyrkulacyjnym. Musi on odpowiadać wielu wymaganiom wynikającym ze specyfiki źródła ciepła. Nośnikiem ciepła stosowanym w otworowym wymienniku ciepła może być woda, solanka oraz wodny roztwór alkoholu lub glikolu. Zastosowanie innych cieczy jest nieopłacalne. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe właściwości płynów stosowanych w otworowych wymiennikach ciepła.

**Tabela 1**

Parametry nośników ciepła stosowanych w wymiennikach otworowych [2, 9, 10]

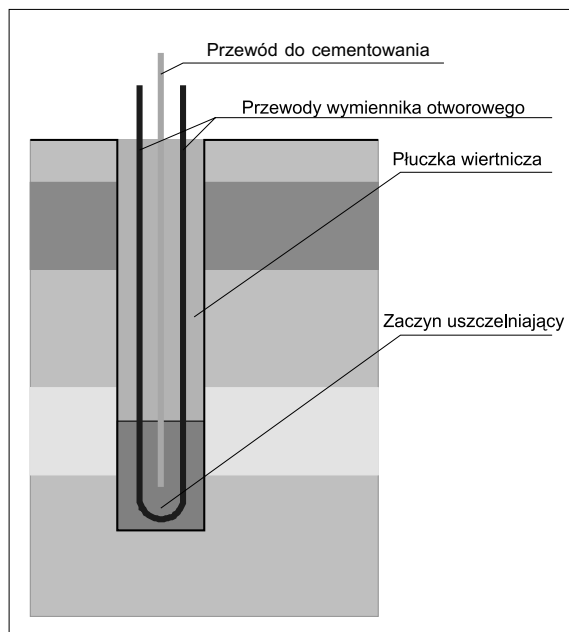
Nośnik ciepła	Koncentracja w wodzie, %	Współczynnik przewodności cieplnej $\lambda$ , $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	Ciepło właściwe $C_p$ , $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	Gęstość $\rho$ , $kg \cdot m^{-3}$	Lepkość $\eta$ , Pa·s	Temperatura zamarzania $T$ , K
Glikol monoetylenowy	25	0,48	3795	1052	0,0052	259
	33	0,453	3565	1068	0,0076	252
Glikol monopropylenowy	25	0,475	3930	1033	0,0079	263
	33	0,45	3725	1042	0,0112	256
Metanol	25	0,45	4000	960	0,004	253
Eetanol	25	0,44	2450	960	0,0076	258
Węglan potasu	25	0,534	3080	1247	0,0039	260
	33	0,524	2830	1336	0,0056	253
Chlorek wapnia	20	0,53	3050	1195	0,0037	255

Zastosowanie wody jako nośnika ciepła o wartości powyżej 273 K ogranicza temperatura krzepnięcia. Woda bez dodatków obniżających temperaturę jej zamarzania nie powinna mieć temperatury niższej niż 2–4 °C, dzięki czemu powierzchniowa armatura instalacji jest zabezpieczona przed obładaniem się. Pozytywnym aspektem zastosowania czystej wody jest wyeliminowanie ryzyka negatywnego oddziaływania na środowisko w razie wycieku [3, 6, 7, 11].

Obniżenie temperatury krzepnięcia nośnika energii wymusza konieczność sporządzenia wodnego roztworu soli metali lub glikoli. Zaleca się używanie 30-procentowego roztworu glikolu propylenowego, który jest biodegradowalny. Roztwór soli powoduje silną korozję elementów metalowych. Z literatury [6, 7] wynika, że najkorzystniejszą cieczą roboczą wykorzystywaną w instalacji otworowych wymienników ciepła jest woda wzbogacona o odpowiednią zawartość glikolu propylenowego. Glikol etylenowy nie jest stosowany, gdyż jest toksyczny nawet w niewielkich stężeniach [5].

Metanol i etanol to alkohole jednowodorotlenowe. Zastosowanie alkoholu (metanolu i etanolu) jest ograniczone ze względu na parowanie, rosnące wraz ze wzrostem temperatury. Zaletą alkoholi są natomiast ich niskie ceny. W zależności od potrzeb do wody wprowadzane powinny być dodatki w postaci inhibitorów korozji, odpieniaczy oraz środków uniemożliwiających rozwój organizmów żywych. Należy pamiętać o wpływie wszelkich dodatków na korozję systemu i stan środowiska, zwłaszcza dodatków obniżających temperaturę zamarzania wody. W celu kontroli parametrów obiegu i szczelności układu oraz do przygotowania odpowiedniej ilości nośnika ciepła konieczna jest znajomość objętości poszczególnych przestrzeni w konstrukcji otworowego wymiennika ciepła. W układzie cyrkulacyjnym przewidzieć należy miejsce służące do dotłaczania lub poboru czynnika grzewczego. Ponadto układ powinien być wyposażony w nadciśnieniowy przeponowy zbiornik wyrównawczy z manometrem, umożliwiający kontrolę szczelności instalacji. Zbiornik ten umożliwia również rozszerzanie się płynu w razie wzrostu temperatury, co zapobiega rozerwaniu instalacji [11].

Właściwe wypełnienie wymiennika otworowego zaczynem uszczelniającym uniemożliwia przepływ wód między poziomami wodonośnymi o różnych ciśnieniach piezometrycznych. Wymiennik otworowy należy cementować z zastosowaniem dodatkowego przewodu pozwalającego wprowadzić zaczyn uszczelniający na dno otworu i wytłoczyć nim płuczkę wiertniczą z otworu (rys. 4). Zaczyn uszczelniający powinien się ponadto odznaczać odpowiednią wytrzymałością, niską przepuszczalnością oraz małym odstojem [14]. Wysoka wartość odstoju wymusza konieczność docementowania otworu. Złą praktyką cementowania otworowych wymienników ciepła jest wprowadzanie zaczynu cementowego „od góry” oraz wypełnianie otworu kruszywem mineralnym. Takie „skonsolidowanie” armatury wymiennika w otworze stwarza możliwość migracji wód podziemnych pomiędzy poziomami o różnym ciśnieniu. Na rysunku 4 przedstawiono schemat cementowania wymiennika otworowego przez przewód wiertniczy opuszczony na dno otworu.



Rys. 4. Cementowanie wymiennika otworowego przez przewód

#### 4. WNIOSKI

- 1) Pozyskanie zgromadzonej w górotworze i wodach podziemnych energii o niskiej entalpii pozwala ograniczyć zużycie energii i emisję gazów cieplarnianych.
- 2) Negatywne oddziaływanie prac wiertniczych na środowisko może wystąpić przede wszystkim w formie emisji hałasu i drgań.
- 3) Emisję hałasu do środowiska można skutecznie ograniczyć dzięki zastosowaniu wiertnic z nowoczesnymi systemami ochronnymi silników napędowych i układów przeniesienia napędu.
- 4) W celu ograniczenia emisji drgań do środowiska należy właściwie dobrać technikę i technologię wiercenia otworów pod wymienniki ciepła, zwłaszcza w przypadku przewiercania skał charakteryzujących się dużą zwięzłością.
- 5) W celu zabezpieczenia wód podziemnych przed ich zanieczyszczeniem substancjami używanymi do sporządzenia płuczek wiertniczych należy stosować jedynie materiały obojętne dla środowiska.
- 6) Warunkiem wyeliminowania przepływu wód podziemnych pomiędzy poziomami o różnych ciśnieniach piezometrycznych jest właściwe wypełnienie otworowych wymienników ciepła zaczynem uszczelniającym, najlepiej metodą przez przewód od dołu otworu.

## LITERATURA

- [1] Bielewicz D.: *Płyny wiertnicze*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2009.
- [2] *Glycols*. Union Carbide Corporation, New York 1971.
- [3] Gonet A., Macuda J.: *Wiertnictwo hydrogeologiczne*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne, Kraków 2004.
- [4] Gonet A., Macuda J., Zawisza L. i in.: *Instrukcja obsługi wierceń hydrogeologicznych*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2011.
- [5] PN ISO 11014-1: *Karty substancji niebezpiecznych*.
- [6] Macuda J., Nagy S., Witczak S., Zawisza L.: *Pozyskanie energii odnawialnej wód termalnych przy wykorzystaniu likwidowanych otworów wiertniczych w rejonie Sochaczewa*. Wydawnictwo TBPS „Geosfera”, Kraków 2001.
- [7] Macuda J., Nagy S., Siemek J., Zawisza L.: *Wykorzystanie odwiertów przeznaczonych do likwidacji do celów geotermalnych*. Materiały Międzynarodowej Konferencji „Odnawialne źródła energii u progu XXI wieku”, Warszawa 10–11.12.2001, Europejskie Centrum Energii Odnawialnej, EC BREC/IBMER, Warszawa 2001.
- [8] PN-B-02171:1988: *Ocena wpływu drgań na ludzi w budynkach*.
- [9] *Properties and uses of glycols*. The Dow Chemical Company, Midland Michigan 1961.
- [10] *Poradnik fizykochemiczny* (praca zbiorowa). Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1974.
- [11] Gonet A. (red.): *Metodyka identyfikacji potencjału cieplnego górotworu wraz z technologią wykonywania i eksploatacji otworowych wymienników ciepła*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2011.
- [12] *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku*. Dz. U. z 2007 r. Nr 120, poz. 826.
- [13] Sapińska-Śliwa A., Śliwa T., Gonet A., Złotkowski A.: *Wybrane zagadnienia ekonomiczne wykorzystania niskotemperaturowej energii Ziemi*. Wydawnictwa AGH, Kraków 2011 (płyta multimedialna).
- [14] Stryczek S., Wiśniowski R., Gonet A., Złotkowski A.: *Oddziaływanie wybranych domieszek na parametry reologiczne zaczynów uszczelniających*. Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowoczesne metody cementowania otworów naftowych, gazowych i termalnych”, Wołomin 20–21.10.2010.
- [15] Śliwa T., Gonet A., Złotkowski A.: *Górotwór jako rezerwuar ciepła*. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, nr 6, 2007, s. 12–14.
- [16] Śliwa T., Gonet A., Złotkowski A.: *Otworowe wymienniki ciepła w instalacji grzewczo-klimatyzacyjnej Ekologicznego Parku Edukacji i Rozrywki OSSA*. Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 28, z. 1–2, 2011, s. 475–482.
- [17] Śliwa T., Gonet A., Złotkowski A.: *System grzewczo-chłodniczy z otworowymi wymiennikami ciepła w Ekologicznym Parku Edukacji i Rozrywki OSSA*. Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja, t. 42, nr 7–8, 2011, s. 297–301.