

**Tomasz Śliwa*, Maciej Mazur*, Andrzej Gonet*,
Aneta Sapińska-Śliwa***

WIERCENIA UDAROWO-OBROTOWE W GEOENERGETYCE**

1. WPROWADZENIE

Pionowe wymienniki ciepła są najlepszym sposobem, aby pozyskać ciepło z wnętrza Ziemi. Dzięki wymiennikom otworowym można nie tylko pobierać ciepło z górotworu, ale również je tam wprowadzać i magazynować [4]. Otworowe wymienniki ciepła mogą być wiercone różnymi metodami [6] lub wykonywane przy wykorzystaniu istniejących otworów wiertniczych [5], zlikwidowanych [1] lub częściowo zlikwidowanych.

Otworki wiertnicze, w których mają być instalowane pionowe wymienniki ciepła, można wykonywać obrotową metodą wiertniczą [2] lub metodą udarowo-obrotową. Najczęściej stosowaną technikę wiercenia udarowo-obrotowego określa się jako „dolny młotek” (DTH – *Down the Hole*).

Otworki wiertnicze przeznaczone na instalacje grzewcze i grzewczo-chłodnicze z pompami ciepła służą do wprowadzenia na wymaganą głębokość rur wymiennika ciepła o określonej średnicy. W takich układach jest to jedyny cel wiercenia. Nieistotny jest problem przepuszczalności strefy przyotworowej warstw złożowych, co jest ważne np. w przypadku studni wierconych. Istotne są natomiast zagadnienia dotyczące zachowania się elementów konstrukcji w warunkach zmian temperatury (np. reakcja stwardniałego zaczynu uszczelniającego oraz jego kontakt ze ścianą otworu i rurami wymiennika), co ma decydujący wpływ na oporność termiczną podczas wymiany ciepła górotwór – nośnik ciepła.

2. CHARAKTERYSTYKA METODY DOLNEGO MŁOTKA

W pracy metodą dolnego młotka czynnikiem napędowym jest sprężone powietrze, które kierowane do młotka przez mechanizm obrotu rury wiertniczej oczyszcza dodatkowo

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

** Praca zrealizowana w ramach Badań Statutowych Katedry Wiertnictwa i Geoinżynierii Wydziału Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, nr umowy 11.11.190.01

wykonywany otwór ze zwiercin jako płuczka powietrzna. Wydmuch sprężonego powietrza wytworzonego w sprężarce (rys. 1) z młotka następuje poprzez otwory w świdrze przedstawione na rysunku 2.



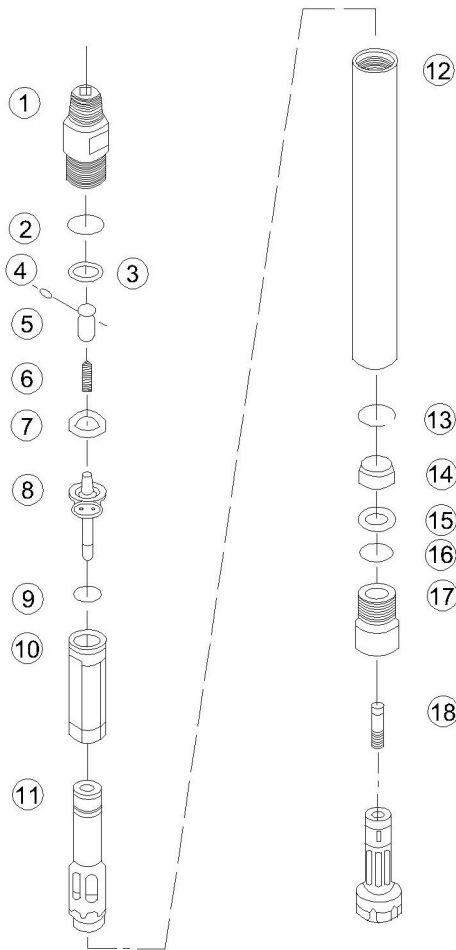
Rys. 1. Kompresor



Rys. 2. Świder wiertniczy

Obroty nadawane przez głowicę umieszczoną na maszynie wiertniczej są przekazywane do młotka przez rury wiertnicze. Rury wiertnicze łączone są za pomocą gwintu, tak więc przewód wiertniczy może być wydłużany w miarę pogłębiania otworu. Siła nacisku także jest przekazywana przez mechanizm obrotu i rury wiertnicze.

Młotki węgłne są urządzeniami bardzo produktywnymi i znajdują zastosowanie między innymi w kamieniołomach, górnictwie podziemnym, robotach inżynierskich oraz wiertnictwie studziennym. Szczegółową budowę dolnego młotka 3" przedstawia rysunek 3. W tabeli 1 podano podstawowe parametry techniczne i technologiczne dolnych młotków typu Puma, a w tabelach 2–6 pokazano podstawowe dane techniczne dolnych młotków typu Puma.



Rys. 3. Budowa dolnego młotka o średnicy 3": 1 – połączenie gwintowe 2 3/8" API reg., 2 – uszczelka do połączenia gwintowego, 3 – podkładka, 4 – dławik, 5 – zawór zwrotny, 6 – sprężyna, 7 – pierścień, 8 – rozdzielacz powietrza, 9 – pierścień rozdzielacza, 10 – cylinder, 11 – tłok, 12 – korpus, 13 – pierścień ustalający, 14 – prowadnik świdra, 15 – pierścień dystansowy, 16 – pierścień ustalający świdra, 17 – uchwyt świdra, 18 – zawór stopowy

Tabela 1

Podstawowe dane techniczne i technologiczne dolnych młotków typu Puma [2]

Parametr	Typ młotka							
	Puma 3	Puma 4	Puma 5	Puma 6	Puma 7	Puma 8	Puma 9	
Długość, mm	836	1002	1093	1098	1373	1305	1694	
Średnica zewnętrzna, mm	79	96	115	142	168	180	215	
Masa, kg	22	40	62	90	162	168	317	
Rodzaj gwintu	2 3/8"	2 3/8"	3 1/2"	3 1/2"	4 1/2"	4 1/2"	5 1/4"	
Zużycie powietrza (m ³ /min) przy ciśnieniu	10,3 bar	4,4	5,1	8,8	8,2	13,9	13,5	19,5
	13,8 bar	6,5	7,4	12,0	12,7	19,8	19,0	27,8
	17,2 bar	8,8	9,8	15,4	17,3	25,8	25,9	36,3
	20,4 bar	11,2	12,3	18,7	21,5	31,7	34,0	45,3
	23,8 bar	13,7	15,0	22,0	25,3	37,7	43,6	54,8
Prędkość obrotowa, obr/min	25÷85	25÷85	20÷70	15÷60	13÷40	13÷40	13÷40	
Masa uderzeniowa, kg	200÷800	300÷900	500÷1400	900÷2000	1000÷2300	1200÷2800	2300÷5000	

Tabela 2

Podstawowe dane techniczne dolnego młotka 3" [2]

Opis ogólny									
Masa netto		Wymiar zewnętrzny		Długość młotka		Długość młotka ze świdrem			
						świder schowany		świder rozszerzony	
kg	lb	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
22	49	79	3,11	829	32,6	829	32,6	930	36,6
Zapotrzebowanie na powietrze									
Ciśnienie, bar					Strumień objętości, m ³ /min				
10,3					4,4				
13,8					6,5				
17,2					8,8				
20,4					11,2				
23,8					13,7				

Tabela 3
podstawowe dane techniczne dolnego młotka 4" [2]

Opis ogólny									
Masa netto		Wymiar zewnętrzny		Długość młotka		Długość młotka ze świdrem			
						świder schowany		świder rozszerzony	
kg	lb	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
44	98	100	3,93	980	38,6	1073	42,3	1104	43,5
Zapotrzebowanie na powietrze									
Ciśnienie, bar					Strumień objętości, m ³ /min				
10,3					5,1				
13,8					7,4				
17,2					9,8				
20,4					12,3				
23,8					15				

Tabela 4
Podstawowe dane techniczne dolnego młotka 5" [2]

Opis ogólny									
Masa netto		Wymiar zewnętrzny		Długość młotka		Długość młotka ze świdrem			
						świder schowany		świder rozszerzony	
kg	lb	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
66	146	118	4,64	1093	43	1188	46,7	1225	48,2
Zapotrzebowanie na powietrze									
Ciśnienie, bar					Strumień objętości, m ³ /min				
10,3					8,8				
13,8					12				
17,2					15,4				
20,4					18,7				
23,8					22				

Tabela 5
Podstawowe dane techniczne dolnego młotka 6" [2]

Opis ogólny									
Masa netto		Wymiar zewnętrzny		Długość młotka		Długość młotka ze świdrem			
						świder schowany		świder rozszerzony	
kg	lb	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
95	209	141,5	5,57	1151	45,3	1256	49,4	1296	51
Zapotrzebowanie na powietrze									
Ciśnienie, bar					Strumień objętości, m ³ /min				
10,3					8,2				
13,8					12,7				
17,2					17,3				
20,4					21,5				
23,8					25,3				

Tabela 6
Podstawowe dane techniczne dolnego młotka 8" [2]

Opis ogólny									
Masa netto		Wymiar zewnętrzny		Długość młotka		Długość młotka ze świdrem			
						świder schowany		świder rozszerzony	
kg	lb	mm	in	mm	in	mm	in	mm	in
179	395	180	7,08	1305	51,4	1434	56,5	1485	58,5
Zapotrzebowanie na powietrze									
Ciśnienie, bar					Strumień objętości, m ³ /min				
10,3					15				
13,8					20,8				
17,2					26,9				
20,4					33,1				
23,8					39,3				

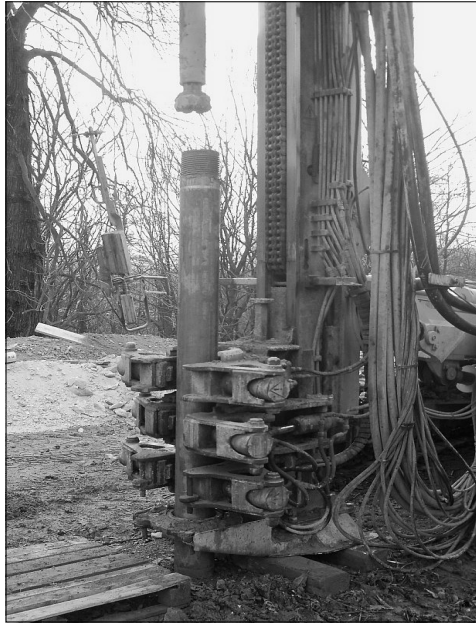
Wykorzystując metodę dolnego młotka, można prowadzić wiercenie z pojedynczym lub z podwójnym przewodem wiertniczym.

Pojedynczy przewód wiertniczy stosuje się w litych warstwach skalnych. Technologia wiercenia opiera się na użyciu dolnego młotka, obsługiwanego przez zdalnie sterowany kompresor powietrzny, który dostarcza sprężone powietrze potrzebne do zasilania młotka i jednoczesnego oczyszczania wierconego otworu ze zwiercin. W niektórych przypadkach warstwa lita może być poprzedzona warstwami luźnymi, w związku z czym wykonuje się zwykle wstępne wiercenie przy użyciu rur okładzinowych z koronką (przedstawionych na rysunku 4) w celu stabilizacji ściany otworu.



Rys. 4. Rura wiertnicza z koronką

Wiercenie z podwójnym przewodem wiertniczym, określane też jako wiercenie z „podwójną głowicą” (rys. 5), stosuje się podczas przewiercania warstw sypkich i słabo związanych. System ten pozwala na stabilizację otworu na całej jego głębokości w szybki i wydajny sposób, jednocześnie separując warstwy wodonośne i zapobiegając komunikacji wody z warstw o różnych głębokościach.



Rys. 5. Podwójna głowica

Przewód składa się z dolnej głowicy, obracającej (zwykle przeciwnie do wskazówek zegara) zewnętrzny przewód wiertniczy (rury okładzinowe), oraz głowicy górnej, obracającej zgodnie z ruchem wskazówek zegara przewód wewnętrzny wraz z narzędziem. Na rurach okładzinowych montowana jest koronka wiertnicza, podczas gdy przewód wiertniczy może korzystać z młotka i świrdrów gryzowych – zależnie od stosowanej metody.

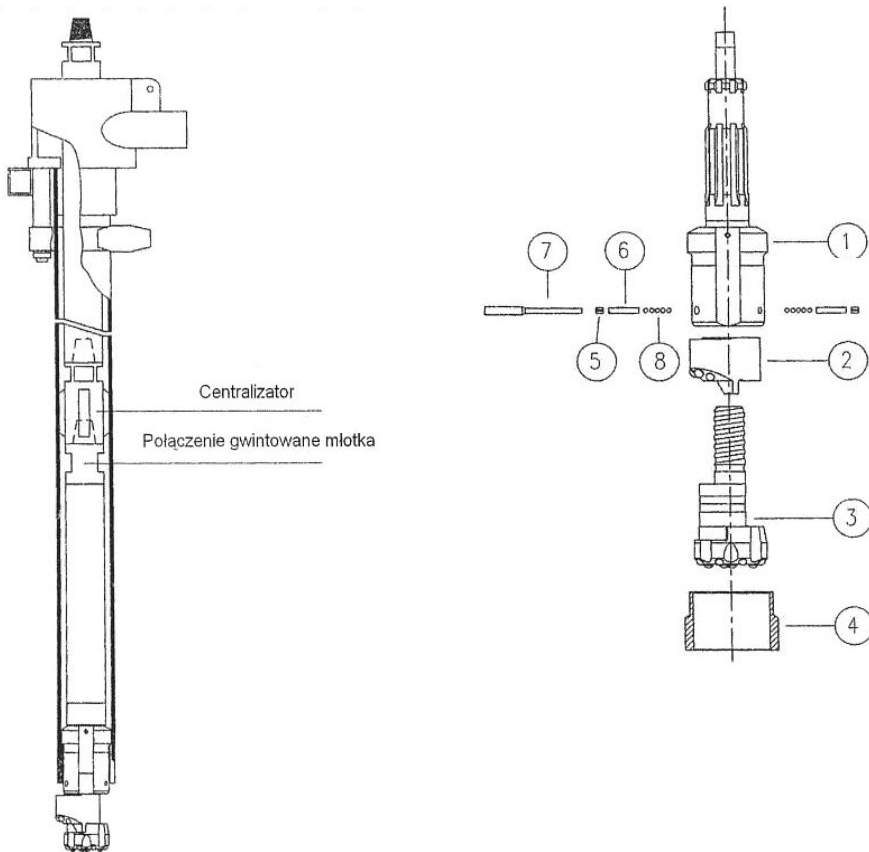
Firma Nordmayer produkuje urządzenie wiertnicze DSB wyposażone w głowicę z podwójnym rotorem. Głowica z podwójną rotacją pozwala na wiercenie z sukcesywnym rurowaniem otworu do przewidywanej głębokości, co gwarantuje optymalny postęp wiercenia bez znaczącego ubytku płuczki. Głowica z rotorem umożliwia jednocześnie obracanie żerdzi wiertniczych i rur osłonowych w tym samym kierunku. Dodatkowo istnieje możliwość przesuwu kolumny wewnętrznej (żerdzi) i zewnętrznej (rury osłonowej) wobec siebie. Urobek wiertniczy transportowany jest w przestrzeni pierścieniowej pomiędzy tymi kolumnami do góry i odprowadzany jest z rotora wężem do zbiornika.

Po przewierceniu nadkładu rotor jest demontowany od głowicy i za pomocą wysięgnika zamontowanego na obrotowej koronie masztu deponowany obok wiertnicy.

Dalsze wiercenie może być prowadzone za pomocą młotka węglnego bądź świrdrami skrzydłowymi lub gryzowymi.

Podobny jest sposób wykonywania otworów, w których instalowane są rury wymiennika ciepła, w systemie ODEX-PUMEX. System ten również polega na jednoczesnym rurowaniu otworu podczas jego wiercenia, co przeciwdziała obsypywaniu się ściany otworu za świrdrem. Zapuszczanie rur w nadkładzie za pomocą mimośrodowego poszerzacza, zapobiega obsypywaniu się ściany otworu we wszystkich występujących warunkach geologicznych. Za pomocą systemu ODEX rury okładzinowe mogą być zapuszczane poprzez warstwę nadkładu do wymaganej głębokości w niżej zalegającej litej skale. Po wyciągnięciu zestawu ODEX z otworu wiercenie może być kontynuowane poniżej zarurowanego odcinka metodą tradycyjną. System ODEX może być wyciągnięty z otworu w każdej chwili podczas wiercenia w nadkładzie.

Rysunek 6 przedstawia ogólną budowę systemu oraz podstawowe wymiary, a w tabeli 7 podano podstawowe wymiary dolnego młotka z systemu ODEX.



Rys. 6. Dolny młotek – system ODEX: 1 – prowadnik, 2 – poszerzacz, 3 – koronka-pilot, 4 – but rury osłonowej, 5 – elastyczny sworzeń, 6 – sworzeń, 7 – przebijak, 8 – kule blokujące [2]

Tabela 7

Podstawowe wymiary dolnego młotka – system ODEX [2]

Pumex	Średnica wewnętrzna rury, mm	Średnica poszerzacza, mm	Rura osłonowa			Średnica buta rury osłonowej, mm
			maksymalny wymiar zewnętrzny, mm	minimalny wymiar wewnętrzny, mm	minimalna grubość ścianki, mm	
DT-90	73	123	115	102	5	93,5
DT-115	89	152	142	128	5	118,3
DT-140	114,3	181	171	157	5	143,4

Do wykonania otworów metodą dolnego młotka wykorzystuje się różne płuczki wiertnicze. Jedną z nich jest piana. Aby spełniała swoją funkcję, piana musi być ciężka, co pozwala na utrzymanie zwiercin i ich usuwanie z otworu. Piana może także transportować wodę z wierconych formacji, w przypadku dużego jej napływu, zmniejszając ciśnienie zwrotne wywierane na młotek.

W niektórych sytuacjach korzystne może być użycie piany w celu zwiększenia wydajności oczyszczania dna otworu. Stosownie piany w DTH wymaga szczególnej ostrożności, by możliwe było zmaksymalizowanie wydajności i wydłużenie okresu eksploatacji młotka. Należy pamiętać, że piana, składająca się głównie z mydła, rozkłada olej smarowniczy młotka, co może powodować problemy ze smarowaniem, więc podczas wiercenia należy zwiększyć dawki oleju. Poza tym po zakończeniu wiercenia powłoka olejowa zostaje usunięta, a części wewnętrzne młotka pozostają bez ochrony antykorozyjnej. Podczas przechodzenia piany przez młotek tworzą się i znikają bąbelki powietrza polerujące części stalowe, co czyni je mniej wrażliwymi na korozję – jest to niewątpliwie zaleta. Po zakończeniu wiercenia z wykorzystaniem piany z wnętrza młotka należy usunąć wszelkie pozostałości piany oraz pokryć go olejem.

W przypadku gdy młotek pozostaje beczynny przez dłuższy okres, należy:

- przedmuchać młotek przez kilka minut powietrzem z dużą ilością wody,
- odciąć dopływ wody i dalej przedmuchiwać młotek powietrzem z olejem do czasu pojawienia się na koronce oleju.

W celu uzyskania najlepszych rezultatów młotek należy czyścić codziennie pod koniec dnia. Jeżeli młotek ma być nieużywany przez dłuższy czas, przed składowaniem zaleca się jego rozebranie, wyczyszczenie, nasmarowanie i ponowne złożenie.

3. PRAKTYCZNY PRZYKŁAD ZASTOSOWANIA METODY DOLNEGO MŁOTKA

W Goli Dzierżoniewskiej firma DemaxDrill wykonywała otwory wiertnicze pod wymienniki ciepła metodą dolnego młotka. Firma ta miała za zadanie wykonać sto otworów,

które będą wykorzystane jako wymienniki ciepła w zamku w Goli Dzierżoniowskiej. Zgodnie z projektem zaplanowano rozmieszczenie otworów o głębokości 120 m na dziedzińcu zamku. Otwory wykonano metodą udarowo-obrotowym, urządzeniem wiertniczym marki KLEMM Bohrtechnik KR805-2W. Na rysunku 7 pokazano podstawowe części dolnego młotka.



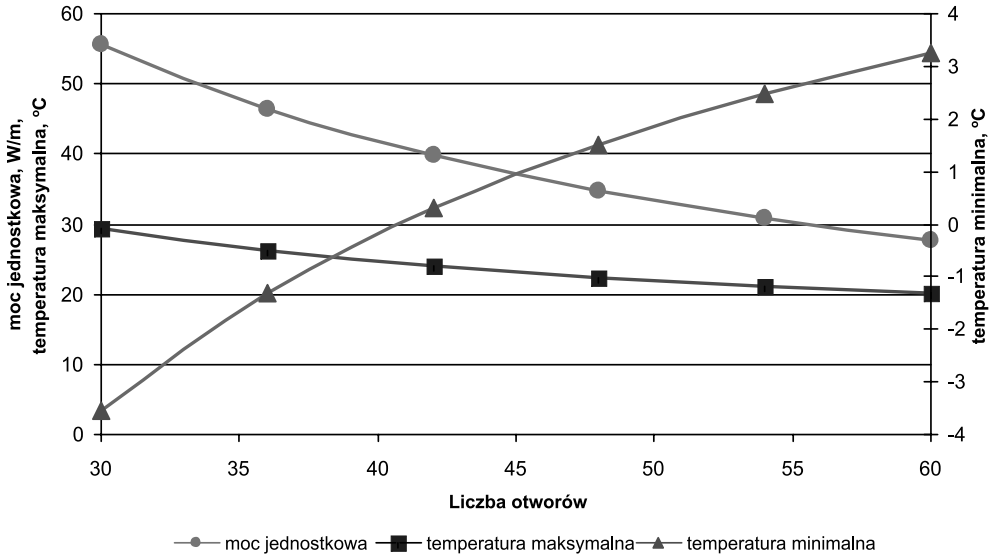
Rys. 7. Podstawowe części dolnego młotka

W porównaniu z innymi technikami wiercenia metoda dolnego młotka ma wysoką wydajność i może być stosowana w prawie wszystkich formacjach skalnych. Poza tym metoda ta cechuje się dużą prędkością wiercenia, a oś otworu jest pionowa i prostoliniowa. Wykonanie gotowego otworu do 120 m wraz z zapuszczeniem rur wymiennika (u-rurki) oraz uszczelnieniem mieszaniną cementowo-bentonitowo-krzemionkową Hekoterm o podwyższonym przewodnictwie cieplnym zajmowało około 12 godzin. Charakterystyka profilu litologicznego (do 150 m) otworu zamieszczono w tabeli 8. Na rysunku 8 przedstawiono zależność temperatur i mocy jednostkowej od liczby otworowych wymienników ciepła przy maksymalnej mocy grzewczej pobieranej z układu wynoszącej 330 kW.

Tabela 8

Litologia otworu o głębokości 150 m

Litologia	Strop, m p.p.t.	Spąg, m p.p.t.	Mięższość, m
grunty nasypowe	0,0	2,0	2,0
glina z kamieniami	2,0	12,0	10,0
zwietrzelina granitowo-gnejsowa	12,0	54,0	42,0
gnejsy przewarstwione bazaltami	54,0	150,0	96,0



Rys. 8. Zależność temperatur i mocy jednostkowej od liczby otworowych wymienników ciepła

4. WNIOSKI

- 1) Otworowe wymienniki ciepła z powodzeniem mogą być wiercone z zastosowaniem metody udarowo-obrotowej. W zestawie takiej wiertnicy konieczne jest użycie kompresora powietrza, które wywołuje udary świda o skałę. Zatłaczane powietrze dodatkowo pełni funkcję płuczki wiertniczej.
- 2) Siła uderzenia świda o dno otworu zależy od jego średnicy, masy i ciśnienia pracy zestawu.
- 3) Metody z zastosowaniem głowicy z podwójną rotacją pozwalają na wiercenie z sukcesywnym orurowaniem otworu, co gwarantuje większy postęp wiercenia bez znaczących ubytków płuczki w skałach szczelinowatych. Przy orurowaniu otworu rurą okładzinową z koronką może być stosowane zarówno wiercenie udarowo-obrotowe, jak też obrotowe na płuczkę.

LITERATURA

- [1] Dudlâ N.A., Stryczek S., Ostrovskij I.R.: *Preduprezhenie i likvidaciâ avarij pri bureni: učebnoe posobie*. Ministerstvo obrazovaniâ i nauki Ukrainy, Nacional'nyj gornyj universitet, Krakovskaâ gorno-metallurgičeskaâ akademiâ. Izd. 2, pererab. i dop. "Lira LTD", Dnepropetrovsk 2007.

- [2] Gonet A., Sowa M., Śliwa T.: *Wykonywanie otworowych wymienników ciepła*. Glob-energia, nr 1, 2012 (w druku).
- [3] <http://www.archonspzoo.pl>.
- [4] Śliwa T., Gonet A., Złotkowski A.: *Górotwór jako rezerwuár ciepła*. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, nr 6, 2007, s. 12–14.
- [5] Śliwa T., Nycz P.: *Analiza potencjalnych możliwości pozyskiwania ciepła z karpac-kich odwiertów naftowych*. Technika Poszukiwań Geologicznych: Geotermia, Zrów-noważony Rozwój, r. 49, z. 1–2, 2010, s. 131.
- [6] Wiśniowski R., Wójcik M., Toczek M.: *Nowe technologie wiertnicze stosowane w wierceniach inżynieryjnych*. Wiertnictwo Nafta Gaz, t. 23/1, 2006, s. 543–556.