



Zastosowanie systemu RVDS do wiercenia płyty mroźeniowej szybu SW-4 w Łagoszowie Małym

# RVDS: krócej, dokładniej i w pionie

Michał Wójcik, Kai Schwarzburg



W przypadkach, w których konieczne jest precyzyjne trafienie, stosuje się dwa typy metod wiercenia: klasyczne, z pasywną korektą odchylenia, oraz metody sterowania aktywnego. Przez korektę pasywną rozumiemy następujące po sobie cykle wiercenia obrotowego metodą stołową, z zastosowaniem standardowego zestawu dolnej części przewodu wiertniczego lub zestawu w postaci „wahadła” (bez dolnego stabilizatora nadświdrowego), cykle pomiaru trajektorii osi wiercenia oraz cykle wiercenia korygującego w celu powrotnego naprowadzenia otworu na żądany kierunek. Metody sterowania aktywnego opierają się na zastosowaniu ciągłego pomiaru i kontroli położenia świdra tak, aby proces wiercenia był śledzony w sposób ciągły, a korekta wykonywana automatycznie przez system samonaprowadzania. W zależności od przeznaczenia otworu oraz od żądanej dokładności możliwe jest zastosowanie kilku różnych zestawów wiercenia z samonaprowadzaniem. Podstawowe metody wiercenia przedstawiono na rycinie 1.

## Dostępne technologie wiercenia

KLASYCZNE WIERCENIE OBROTOWE, KOREKTA WAHADŁEM – dolna część zestawu przewodu ze stabilizatorem nad świdrowym i jednym lub dwoma stabilizatorami górnymi, pomiar trajektorii osi otworu inklinometrem pojedynczym (*singleshot*). Pośredni pomiar trajektorii osi otworu metodą żyroskopową (możliwy pomiar w środowisku magnetycznym). Korekta kierunku wiercenia z zastosowaniem układu wahadła.

KLASYCZNE WIERCENIE OBROTOWE, KOREKTA Z SILNIKIEM WGLĘBNYM – do korekty wykorzystuje się dolny zestaw przewodu do wiercenia kierunkowego z silnikiem wglębnym PDM (*Positive Displacement Motor*); określenie położenia magnetycznego czoła narzędzia przy użyciu systemu MWD (*Measurement While Drilling*) lub inklinometru (*EMS multishot* lub *singleshot*). Pośredni pomiar trajektorii osi otworu metodą żyroskopową (możliwy pomiar w środowisku magnetycznym). Korekta kierunku wiercenia z zastosowaniem łączników „krzywych” lub z użyciem klinów odchylających.

WIERCENIE KIERUNKOWE Z SILNIKIEM WGLĘBNYM – dolny zestaw przewodu do wiercenia kierunkowego z systemami MWD i PDM; określenie położenia magnetycznego czoła narzędzia przy użyciu systemu MWD. Pośredni pomiar trajektorii osi otworu metodą żyroskopową (możliwy pomiar w środowisku magnetycznym). Korekta kierunku wiercenia z zastosowaniem łączników „krzywych” lub z użyciem klinów odchylających.

RVDS SYSTEM PIONOWEGO WIERCENIA OBROTOWEGO – dolny zestaw przewodu jak do wiercenia kierunkowego, określenie położenia przez pomiar kąta odchylenia pionowego w dwóch płaszczyznach prostopadłych. Pośredni pomiar trajektorii osi otworu metodą żyroskopową (możliwy pomiar w środowisku magnetycznym). Korekta kierunku wiercenia automatyczna uchylnymi piórami dolnego stabilizatora – nadświdrowego.

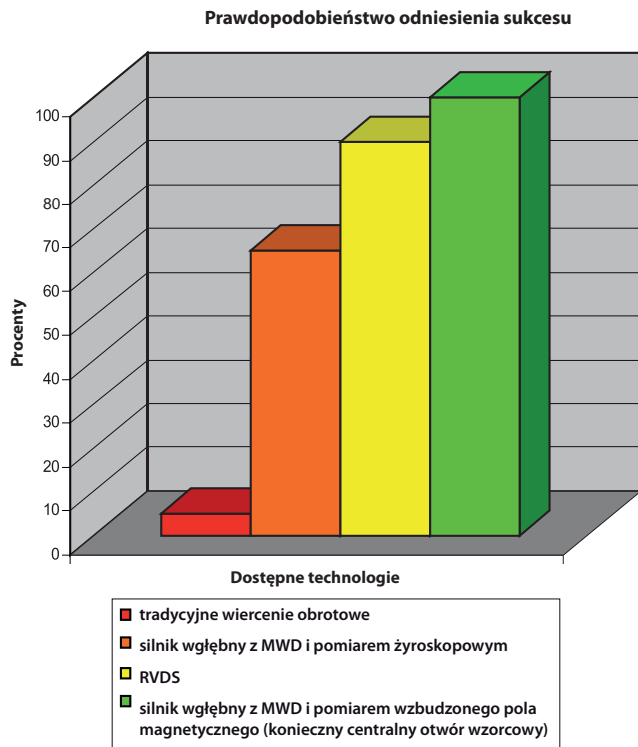
RVDS SYSTEM PIONOWEGO WIERCENIA OBROTOWEGO W TECHNOLOGII RM (z zastosowaniem centralnego otworu służącego do wzbudzenia lokalnego pola magnetycznego). Otwór centralny służy jako punkt odniesienia do pomiaru bezwzględnego położenia narzędzia (pomiar kąta i odległości pomiędzy otworem wzorcowym a aktualnie wierconym). Całkowita kontrola trajektorii osi otworu dzięki zastosowaniu technologii RM. Konieczne stosowanie rur niemagnetycznych (aluminium lub włókno szklane z włóknem węglowym). Pośredni pomiar trajektorii osi otworu metodą żyroskopową (pomiar możliwy tylko w środowisku niemagnetycznym).

WIERCENIE KIERUNKOWE Z ZASTOSOWANIEM TECHNOLOGII RM – dolny zestaw przewodu wiertniczego wykorzystujący technologię RM (PDM). Określenie położenia magnetycznego czoła narzędzia przy użyciu systemu MWD. Całkowita kontrola trajektorii osi otworu dzięki zastosowaniu technologii RM. Pośredni pomiar trajektorii osi otworu metodą żyroskopową (pomiar możliwy tylko w środowisku niemagnetycznym).

Uwaga: ostatnie dwie metody są wykorzystywane jedynie w szczególnych przypadkach, gdy wymagana jest całkowita prostoliniowość wierconego otworu (otwór pilotowy szybu).

Metoda	Dokładność trafienia	Niezawodność Pewność	Koszt	Postęp wiercenia	Status / zastosowanie
Pendulum drilling	0,5%–1% (w zależności od ROP*, WOB**)	niebezpieczne	niskie	bardzo niski	wychodzi z użycia
Rotary + korekta silnikiem węgelnym	0,4%–1%	relatywnie bezpieczne	średnie	niski	wychodzi z użycia
Silnik węgelnym + MWD	0,3%–0,8%	bezpieczne	wysokie (głównie koszty załogi serwisu)	średni	standardowe
Automatic vertical drilling system (MICON RVDS)	0,05%–0,4%	bardzo bezpieczne	średnie do wysokich	wysoki	standardowe
Paratrack II (konieczne środowisko niemagnetyczne)	0,03%–0,1%	bardzo bezpieczne	bardzo wysokie	średni	tylko do ultra-precyzyjnych wierceń

Ryc. 1. Porównanie dokładności wiercenia poszczególnymi metodami  
\* ROP – prędkość wiercenia, \*\* WOB – nacisk na świder



Ryc. 2. Prawdopodobieństwo powodzenia przedsięwzięcia w zależności zastosowanej metody wiercenia

### System Pionowego Wiercenia Obrotowego

*Rotary Vertical Drilling System*, RVDS (System Pionowego Wiercenia Obrotowego) został zaprojektowany do wiercenia głębokiego otworu pionowego „Windisch Eschenbach” w Niemczech w latach 1991–1993. Podstawowym założeniem tego projektu było stworzenie systemu samonaprowadzającego, zdolnego do wiercenia pionowego otworu z wysoką precyzją tak, aby osiągnąć dużą głębokość na jak najkrótszej drodze. Ponadto w rezultacie wiercenia pionowego otworu tarcie pomiędzy ścianą otworu a przewodem wierniczym zostało znacznie ograniczone.

Od czasu pierwszego zastosowania systemu RVDS w 1991 r., był on wielokrotnie modyfikowany i ulepszany aż do obecnie prezentowanego systemu MICON RVDS do stosowania w górnictwie, budowie tuneli oraz w wierceniach otworów geotermalnych.

Podstawowymi elementami systemu MICON RVDS są trzy lub dwa przewodniki prowadzące przewód wierniczy oraz moduł zasilania i komunikacji. Strumień płuczki przepływającej przez system RVDS jest wykorzystywany do generowania energii elektrycznej do zasilania układu pomiarowego, energii hydraulicznej oraz do przekazywania danych z narzędzia na powierzchnię.

Płuczka potrzebna do wiercenia przepływa do narzędzia przez turbinę wytwarzającą energię elektryczną i hydrauliczną. Energia ta jest wykorzystywana do napędu wewnętrznych układów elektrycznych systemu, modułu pamięci oraz zestawu czujników. Przez aktywację modułu pomiarowego mierzona jest aktualna pozycja względem pionowej osi otworu, a system zdolny jest do samonaprowadzania i przeciwdziałania odchyłaniu się osi wiercenia do pionu.

Sterowane stabilizatory równoczesnego działania są napędzane energią hydrauliczną generowaną w wewnętrznej turbinie. Cztery niezależnie sterowane, rozmieszczone symetrycznie na obwodzie ramiona stabilizatora umieszczone są bezpośrednio nad łącznikiem świdra. Ramiona odpychają system RVDS do pozycji pionowej. Stabilizator nie obraca się względem otworu.

Energia elektryczna i hydrauliczna zużywana na wewnętrzne potrzeby systemu jest generowana przez turbinę (układ zasilania). Jednakże do aktywacji systemu RVDS konieczna jest energia zewnętrzna (nieobrotowa) w postaci nacisku na świder.

W systemie RVDS dane gromadzone są w pamięci wewnętrznej i jednocześnie przesyłane do wewnętrznego zestawu dekodującego. Tutaj dane wewnętrzne ulegają zamianie na impulsowy sygnał ciśnieniowy, który jest generowany z systemu na powierzchnię. Na powierzchni dekodery jest połączony z rurą płuczkową i zamienia sygnał z impulsów ciśnieniowych na sygnał cyfrowy, który może być odczytany i pokazany na komputerze. Pozwala to operatorowi na bieżący odczyt i przechowywanie sygnałów sterowania napływających z systemu RVDS.

RVDS zaprojektowany w firmie MICON jest systemem niezależnym. W fazie początkowej projektu zestaw poddawany jest przeglądowi i ustawieniu dokładności pomiarów czujników według wymagań na danym obiekcie. Po wykonaniu wstępnych ustawień system RVDS pracuje samodzielnie od początku do końca wiercenia. Bieżąca pozycja i pionowość wiercenia są pokazywane operatorowi w formie raportu.

Jeśli występują jakiegokolwiek nieprawidłowości w pracy systemu, są one automatycznie raportowane do operatora. Użytkownik systemu zgodnie z instrukcją pozwala na wyeliminowanie większości nieprawidłowości. W przeciwnym razie aktualnie używane narzędzie będzie wymienione na zestaw zapasowy.

Jeśli w trakcie inspekcji terenowej niesprawność działania systemu nie zostanie usunięta, zestaw RVDS jest wysyłany do warsztatu firmy MICON lub do bazy głównej firmy MICON w Nienhagen w Niemczech.

Żywotność systemu RVDS – w zależności od średnicy wiercenia – wynosi od ok. 80 godzin pracy dla systemu 8 ½” do aż 200 godzin pracy dla systemu 16”. Zazwyczaj zużycie narzędzia urabiającego następuje wcześniej, w związku z czym system RVDS jest wyciągany z otworu razem ze zużytym świdrem i wymieniany na nowy.

### Zastosowanie systemu RVDS do wiercenia płyty mroźniowej szybu SW-4

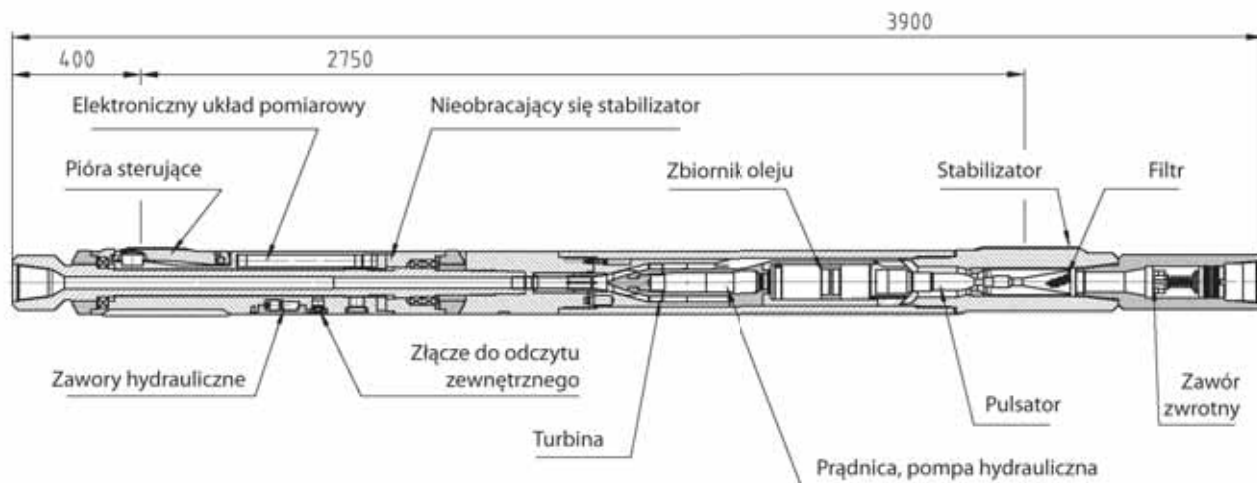
Ze względu na bardzo trudne warunki geologiczne i krótki czas realizacji wiercenia płyty mroźniowej szybu SW-4 główny wykonawca wierceń – PNiG Jasło Sp. z o.o. podjął decyzję o zastosowaniu systemów RVDS firmy MICON. W 2006 r. systemy RVDS 8 ½” były w fazie konstrukcyjnej, jednakże ze względu na możliwości zastosowania ich na płycie mroźniowej firma MICON zdecydowała się na przyspieszenie prac konstrukcyjnych. Testy pierwszych systemów samosterujących rozpoczęto wykonywać w sierpniu 2006 r. bezpośrednio na płycie mroźniowej.

#### ORGANIZACJA PRACY

W celu zapewnienia poprawnej pracy systemu podjęto decyzję o zatrudnieniu serwisu wierceń kierunkowych. Nadzór nad procesem wiercenia zorganizowano w sposób następujący:

## Część sterująca

## Część napędowa z pulsatorem



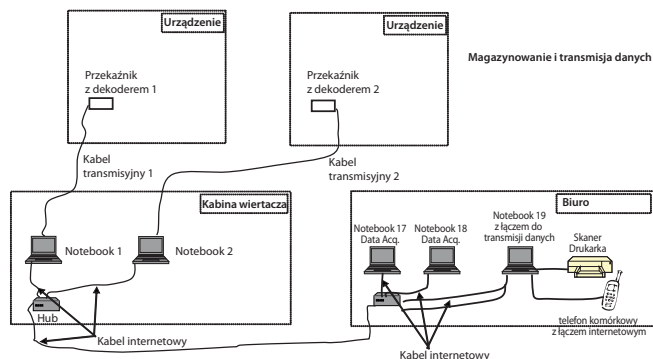
Średnica nominalna:  
 obudowy - 7 3/4"  
 stabilizator - 8 1/2" w opcji 9 5/8"  
 Wydatek tłoczenia płuczki: 800 - 1600 l/min

Połączenie na świder: 4 1/2" API Reg.  
 Połączenie z obciążnikiem: 4 1/2" API Reg.  
 w opcji NC50 (4 1/2 IF)

Ryc. 3. RVDS

- na każdym z urządzeń zainstalowano czujnik ciśnienia połączony z dekoderm,
- dekodery połączone z komputerami zainstalowano w kabine wiertaczy zlokalizowanej pomiędzy urządzeniami wiertniczymi;
- komputery z kabiny wiertaczy zostały połączone z dwoma komputerami w kontenerze serwisowym (biuro), oddzielnymi liniami kablowymi (ze względu na duży poziom szumów elektromagnetycznych do przesyłu danych zastosowano kable internetowe ekranowane);
- dodatkowo zainstalowano jeden komputer do zarządzania siecią oraz gromadzenia danych na dysku zapasowym, a także jeden komputer ze stałym łączem internetowym do przesyłu danych i bieżącej komunikacji z biurem MICON i biurem zleceńdodawcy;
- w celu uniknięcia przestojów i awarii wszystkie elementy systemu były zdublowane.

Nadzór nad wierceniem był prowadzony w systemie ciągłym, a informacje dotyczące prostoliniowości otworów przekazywano na bieżąco do kierownika wierceń. Na podstawie tych informacji i w oparciu o sugestie inżynierów serwisu podejmowane były decyzje dotyczące pracy systemów RVDS.



Ryc. 4. Schemat lokalnej sieci komputerowej na płycie SW-4

### FAZA ROZURUCHU SYSTEMU

W początkowej fazie pracy, od 31 lipca do 1 października 2006 r., systemy RVDS użyto w otworach M-25, M-1, M-21, M-9 oraz M-29. Fazę tą można uznać za testowanie prototypowych urządzeń. W trakcie uruchomienia systemów napotkano na wiele

trudności, począwszy od problemów z komunikacją w sieci komputerowej, spowodowanych zakłóceniami pochodzącymi od pracujących urządzeń, przez poszukiwanie najlepszego miejsca dla umieszczenia czujników ciśnienia, a skończywszy na modyfikacjach systemów RVDS. W trakcie fazy rozruchu wprowadzono w narzędziach RVDS wiele zmian konstrukcyjnych. W szczególności na podkreślenie zasługuje modyfikacja układu komunikacji wewnątrztorowej z pulsatorem oraz turbiny napędzającej prądnicę i pompę hydrauliczną. Poniżej zestawiono rezultaty pracy RVDS (ryc. 5) oraz przyczyny usterek systemów RVDS (ryc. 6).

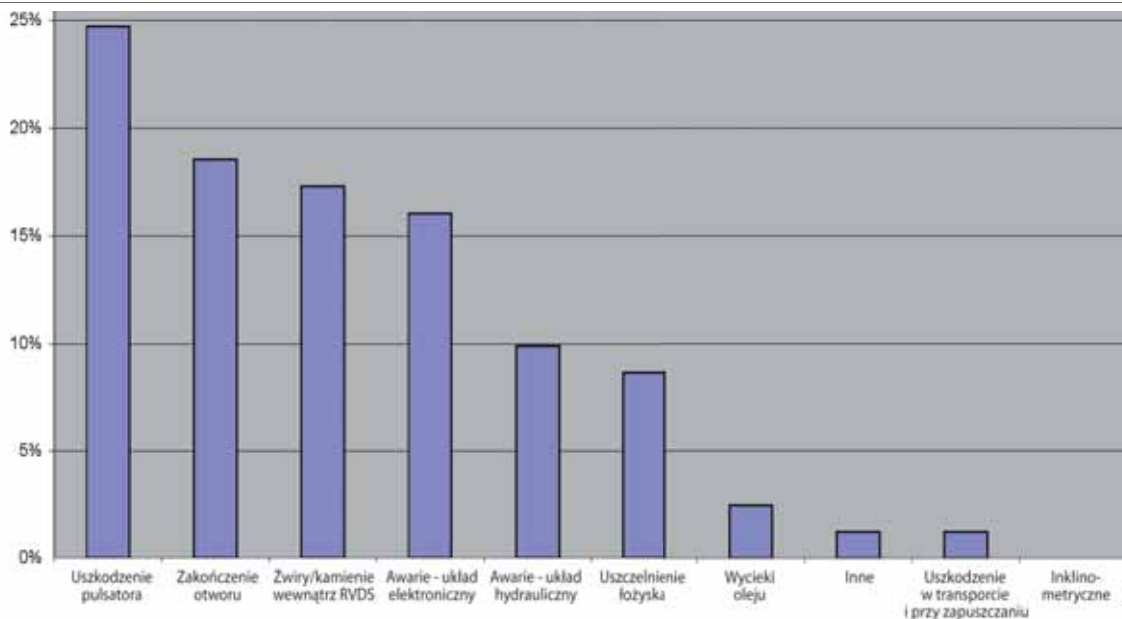
Liczba wykonanych marsz	75
Marsze $\geq$ 80 h	30
Marsze $<$ 80 h	35
Marsze 0 h	10

Ryc. 5. Zestawienie wyników pracy RVDS

### PRACA RVDS I WYNIKI WIERCENIA

W trakcie dalszej eksploatacji systemów RVDS osiągano coraz lepsze wyniki zarówno pod względem prędkości wiercenia, jak i precyzji wykonania otworów. Szczegółowe dane przedstawiono w tabeli poniżej. Należy zwrócić uwagę na fakt, iż w kilku przypadkach udało się zrealizować postawiony cel, a mianowicie odwiercenie otworu jednym świdrem i jednym narzędziem RVDS. Niestety, nie we wszystkich przypadkach było to możliwe ze względu na usterki w pracy RVDS lub ze względu na przedwczesne zużycie świda. Również warunki geologiczne miały wpływ na otrzymane rezultaty. W trakcie przewiercania warstw słabo zwięzłych impulsy wysyłane przez pulsator były szybko tłumione, w wyniku czego następowały przerwy w transmisji danych. Aby uzyskać prawidłowy zapis danych, konieczne było wstrzymanie wiercenia na kilka do kilkunastu minut. Wyniki pracy RVDS przedstawiono w tabeli poniżej (ryc. 7).

Realizacja wierceń na płycie mroźniowej szybu SW-4 była największym projektem wiertniczym w latach 2006–2007 i pierwszą od wielu lat płytą mroźniową realizowaną



Ryc. 6. Przyczyny wycofania RVDS z pracy

w Polsce. Warunki geologiczne w miejscu wiercenia były szczególnie złożone i nastęrczały wielu trudności technicznych i technologicznych. W trakcie wykonywania prac wiertniczych wszystkie uczestniczące w projekcie firmy: PNiG Jasło jako główny wykonawca wierceń, MICON jako dostawca systemów samosterujących RVDS oraz GEOD wraz z MICON jako serwis wierceń kierunkowych zdobyły olbrzymie doświadczenie, które powinno być wykorzystane przy projektowaniu i realizacji kolejnych wierceń mroźeniowych.

Wysokie wymagania dotyczące odchyłeń otworów mroźeniowych od pionu w połączeniu ze złożoną budową geologiczną i niepełnym jej rozpoznaniem sprawiły, że spośród znanych i dostępnych metod wiercenia otworów pionowych jedynie zastosowanie systemu wiercenia z automatycznym naprowadzaniem RVDS pozwoliło na realizację postawionego celu.

W wyniku zastosowania systemów RVDS większość odwierconych otworów spełnia kryteria pionowości postawione przez inwestora. Stosowanie systemów RVDS, których głównym zadaniem jest utrzymanie pionowości otworu, niesie ze sobą dodatkowe ograniczenia techniczne i technologiczne procesu wiercenia, co w przypadku płyty mroźeniowej szybu SW-4 podwyższyło koszty wykonania prac wiertniczych. Wzrost prędkości wiercenia nie zrekompensował w pełni dodatkowych kosztów związanych z zastosowaniem RVDS.

### Wnioski

Uzyskane rezultaty wiercenia prowadzą do następujących wniosków:

1. Należy rozważyć ekonomiczne uzasadnienie kryteriów pionowości otworów mroźeniowych założonych przez inwestora. W przypadku stosowania podobnych kryteriów, jak na płycie mroźeniowej szybu SW-4, decyzję o zastosowaniu systemów samopionujących, takich jak RVDS, należy podejmować w fazie wstępnej analizy projektu. Umożliwi to wykonanie technicznego projektu wierceń w taki sposób, aby poniesione koszty na stosowanie systemów samopionujących były w pełni racjonalne.

2. PNiG Jasło Sp. z o.o. wykonało wiercenia w oparciu o wysoką wiedzę fachową załogi, pełne zaangażowanie i z zachowaniem najwyższej staranności w realizacji zadania. Pozwoliło to firmie MICON na maksymalne skrócenie czasu wdrożenia do pracy systemów RVDS. Dobra współpraca techniczna wszystkich wykonawców zaowocowała szybkim osiągnięciem pozytywnych efektów zastosowania RVDS – poprawą dokładności wiercenia i skróceniem czasu wykonywania otworu.

3. Wykorzystanie fachowej wiedzy firm wykonawczych i zdobytych doświadczeń w trakcie kolejnych wierceń mroźeniowych może doprowadzić do stworzenia nowych rozwiązań technicznych i technologicznych oraz ograniczenia czasu i kosztów wykonywania wierceń.

Zestawienie rezultatów pracy RVDS na płycie SW4																	
# 41			# 42			# 43			# 44			# 45			# 46		
marszy	godzin pracy	odwierconych metrów	marszy	godzin pracy	odwierconych metrów	marszy	godzin pracy	odwierconych metrów	marszy	godzin pracy	odwierconych metrów	marszy	godzin pracy	odwierconych metrów	marszy	godzin pracy	odwierconych metrów
2	19,1	74	1	52	185	4	4	3	3	0	0	24	127,3	401	19	23,5	129
7	18	66	6	3,5	8	9	48	157	5	0	0	36	3	12	21	95,8	184
14	46,7	136	10	115	237	11	88	377	8	21,25	65	38	2,2	6	29	49,5	248
18	101	211	13	83	403	15	0	0	12	4	8	41	0	0	32	83	414
22	41,4	228	17	11	20	20	148	530	16	113	336	45	0	0	40	161,2	692
31	132,5	435	25	3	5	26	0	0	23	88	484	49	125,8	527	50	106,3	385
37	51,5	266	27	84,1	261	28	0	0	30	101,5	352	52	83	348	54	108	218
42	0	0	34	80	405	33	0	0	35	90,2	236	58	79	380	62	15,5	69
44	190,5	616	43	132,2	550	39	26,9	21	47	21,8	33	65	67,7	264	68	104	412
55	4,9	11	48	56,1	104	46	101	460	51	123,4	454	71	96,5	392	75	58	219
60	38	95	57	64,4	343	53	0	0	59	43	82						
66	112	409	63	100,5	449	56	13,8	36	64	44,5	204						
73	12,2	28	69	77,7	391	61	8,5	18	72	135,5	526						
			74	169,7	580	67	48,8	96									
						70	56,1	131									
Łącznie																	
# 41	768	2595	# 42	1032	3941	# 43	543	1829	# 44	786	2800	# 45	585	2330	# 46	805	2970
Średnia																	
13	59	200	14	74	282	15	36	122	13	60	215	10	58	233	10	80	297

Ryc. 7. Zestawienie rezultatów pracy RVDS na płycie SW-4

Całkowita ilość marszy	75
Całkowita ilość metrów	16465
Średnia uwierconna	220
Całkowita ilość godzin pracy	4519
Średni czas	60
Średnia wiercenia	3,6

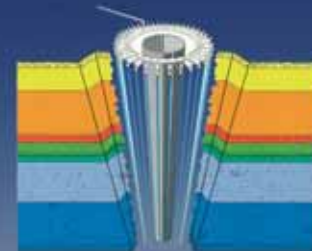
kolor czerwony:  
0 h / 0 m  
10 zapuszczeń

# WIERCENIE RVDS PŁYTA MROŻENIOWA ŁAGOSZÓW MAŁY

SIERPIEŃ 2006 - MARZEC 2007

Stosując systemy pionowego wiercenia RVDS PNIG Jasło we współpracy z firmą MICON odwiercilo 34 otwory:

- ze średnim odchyleniem od pionu na całej długości otworu pomiędzy 0,3 a 0,5 metra,
- ze średnią mechaniczną prędkością wiercenia powyżej 3,0 metra na godzinę,
- z ciągłym i pełnym przekazem danych otworowych na powierzchnię.



Charakterystyczną cechą produktów MICON jest zaawansowana technologia podana w przystępnej dla użytkownika formie. Zwłaszcza urządzenia samostrujące i sterowane tradycyjnie znajdują powszechne zastosowanie w światowym przemyśle wiertniczym i górnictwie.

Nasze mocne strony to serwis i jakość oferowanych przez nas produktów.

**NARZĘDZIA WIERTNICZE  
WYKONANE WEDŁUG NAJWYŻSZYCH  
ŚWIATOWYCH STANDARDÓW  
JAKOŚCI**

MICON Mining and Construction Products GmbH & Co. KG  
Im Nordfeld 14 · 29336 Nienhagen · Germany  
Tel. + 49 . 51 44 . 49 36 0 · Fax + 49 .51 44 . 49 36 20  
Contact: Kai Schwarzbürg  
sales@micon-drilling.de · www.micon-drilling.de

MC80 i MC160 to dwa rozmiary maszyn (średnia i duża) każda z nich może występować w wersji:

- B - wielozadaniowe urządzenie wiertnicze
- V - urządzenie wiertnicze do wierceń pionowych
- G - urządzenie wiertnicze do wierceń w tunelach

Gdy innowacyjność jest konsekwencją ponad dwudziestoletniego doświadczenia w konstruowaniu i eksploatacji urządzeń wiertniczych, rezultatem są nowatorskie konstrukcje urządzeń wiertniczych zdolne do wykonania każdej pracy geotechnicznej i wiertniczej

**INNOWACYJNOŚĆ W OPARCIU  
O DOŚWIADCZENIE**

**GEOD** URZĄDZENIA,  
NARZĘDZIA,  
OSPRZĘT WIERTNICZY

ul. Skośna 12 · 30-383 Kraków  
tel.: +48 12 2922075 · fax: +48 12 2922175  
kom. +48 501 488 469  
e-mail: biuro@geod.pl, www.geod.pl