

Stanisław Bednarz*, Jan Artymiuk*, Wiesław Lizończyk**

**PROBLEMY KONSTRUKCJI I EKSPLOATACJI
SPRZĘTU WIERTNICZEGO
DO WIERCEŃ MAŁOŚREDNICOWYCH*****

1. WSTĘP

Kontraktorzy wiertniczy oczekują uzyskania z biegiem czasu sytuacji, że będą mieli do dyspozycji urządzenie wiertnicze, którym będą mogli podjąć się wykonania szerokiego zakresu robót i efektywnego ich zakończenia. Użytkownik powinien w dyskusji z dostawcą sprecyzować wymagania i potrzeby wynikające z podejmowanego lub/i zamierzonego programu wierceń, aby uniknąć niespodzianek później. Dostawca teoretycznie może zrealizować większość oczekiwań, jeżeli np. użytkownik chce wiercić do głębokości 2000 m otwory wszystkich typów, różnymi metodami wiercenia, we wszelkich rodzajach skał, o średnicach do 1 m. Jednakże taka maszyna może być bardzo kosztowna, mieścić się na kilkudziesięciu jednostkach podwoziowych do transportu, a do wiercenia danego otworu mogą być wykorzystywane tylko dwa kontenery/podwozia, czyli zwrot zainwestowanego kapitału będzie bardzo mały. Jest zatem bardzo pożądana pogłębiona analiza i wynikający z niej prawidłowy dobór urządzenia wiertniczego do efektywnego programu wierceń firmy.

Nie ma wiertnic, które są odpowiednie do każdej metody wiercenia i do każdego celu/wykorzystania otworu. W chwili obecnej na rynku są dostępne setki modeli wiertnic kilkudziesięciu producentów. Są one dostosowane do dominującej metody wiercenia i celu wiercenia, zabudowane są na różnych podwoziach oraz mają różne napędy i sterowanie. Dla przykładu w Europie więcej typów wiertnic do wierceń geoinżynierskich, małośrednicowych jest montowanych na podwoziach gaśnicowych z samodzielnym napędem (rys. 1) niż w Stanach Zjednoczonych, gdzie wiertnice częściej są zintegrowane z podwoziem samochodowym/ciążarówką i napędzane są silnikiem samochodowym (rys. 2). Dużo różnego rodzaju wiertnic na rynku europejskim produkują firmy włoskie.

Urządzenia wiertnicze małośrednicowe obok normalnośrednicowych i wielkośrednicowych można podzielić pod względem różnych kryteriów, w tym:

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** „Archon” Sp. z o.o. w Trzebini

*** Praca wykonana w ramach badań statutowych WWNiG AGH

- metody wiercenia,
- głębokości,
- metody wynoszenia zwiercin,
- środowiska,
- celu wiercenia,
- rodzaju zabudowy/podwozia,
- rodzaju napędu,
- układu wyciągowego,
- sterowania,
- sposobu/systemu magazynowania i manewrowania przewodem lub żerdziami i rurami wiertniczymi.

W związku z ciągłym rozwojem zastosowań techniki wiertniczej, wzrostem kosztów wiercenia prowadzone są prace w celu zwiększenia wydajności urządzeń wiertniczych, zwiększenia bezpieczeństwa oraz zmniejszenia uciążliwości pracy dla załogi wiertniczej. Działania te idą w kilku kierunkach: poprawa jakości, wytrzymałości i trwałości narzędzi, przebudowa i automatyzacja urządzeń wiertniczych oraz zmiana technologii wiercenia.

2. NARZĘDZIA WIERTNICZE

Przez wiele lat w wiertnictwie małosrednicowym rozpowszechnione były narzędzia skrawające i gryzowe zbrojone ostrzami z węglików spiekanych oraz diamentowe jako koronki rdzeniowe w tym impregnowane [5]. Świdry zbrojone węglikiem spiekany znalazły zastosowanie w wierceniach obrotowych i udarowo-obrotowych. Świdry słupkowe udarowo-obrotowe dla zwiększenia prędkości wiercenia są uzbrojone w słupki z węglika spiekanego o różnym kształcie zakończenia dostosowanego do danych skał.

Od kilku lat z powodzeniem stosowane są narzędzia wiertnicze (rys. 1) na bazie wkładek ostrzy diamentowych PDC (*Polycrystalline Diamond Cutter*), wzorem wierceń głębokich naftowych. Zastosowanie tego materiału spowodowało zwiększenie postępu wiercenia z kilku powodów: kształt oraz własności wytrzymałościowe narzędzi PDC pozwalają na stosowanie ich do przewiercania warstw o zmiennych własnościach (skały zarówno miękkie jak i bardzo twarde).



Rys. 1. Świder małosrednicowy PDC używany w wierceniach podziemnych

Właściwość ta powoduje, że częstotliwość wyciągania z otworu narzędzia w celu zmiany na bardziej odpowiednie po zmianie parametrów skały zmniejszyła się do minimum. Eliminuje się w ten sposób stratę czasu pracy na wyciąganie i zapuszczanie przewodu wiertniczego oraz likwiduje najbardziej niebezpieczne i uciążliwe prace w czasie wiercenia otworu. Duża wytrzymałość narzędzi diamentowych przewyższająca kilkakrotnie wytrzymałość tradycyjnych narzędzi (np. świderów gryzowych) powoduje dodatkowe zwiększenie postępów wiercenia. W przypadku skał twardych przewiert na świder PDC jest do 50 razy większy od świda gryzowego (w warstwach karbonu w kopalniach węgla kamiennego przewiert na świder gryzowy o średnicy 75, 95, 114 mm wynosi średnio 30–40 m, świder PDC w tych samych warunkach może przewiercić od 400 do 2500 m).

Korpus świda z jednego kawałka stali stopowej poddanej obróbce cieplnej z trzonem gwintowym (najczęściej czop) zbrojony wkładkami na powierzchni zewnętrznej obwodowej wykonanymi z węglika spiekane go lub PDC ma odpowiednią większą odporność na ścieranie i zapewnione utrzymywanie średnicy. Ostrza tnące PDC mogą być osadzone jako standardowe, ale o większej grubości w celu zwiększenia żywotności narzędzia lub jako specjalne do zastosowań w twardych skałach i/lub wydłużonej żywotności. Konstrukcja powinna dawać zrównoważone względem osi oddziaływanie na dno skalne. Wymaga to przyjęcia asymetrycznego rozkładu ostrzy na czole świda. W ten sposób można zapewnić wykonywanie precyzyjnego okrągłego otworu. Liczbę wkładek ostrzowych PDC zależnych od średnicy świda oraz otworów dyszowych można przedstawić na przykładzie tabeli 1 [4].

Tabela 1

Niektóre główne parametry konstrukcyjne świderów PDC [4]

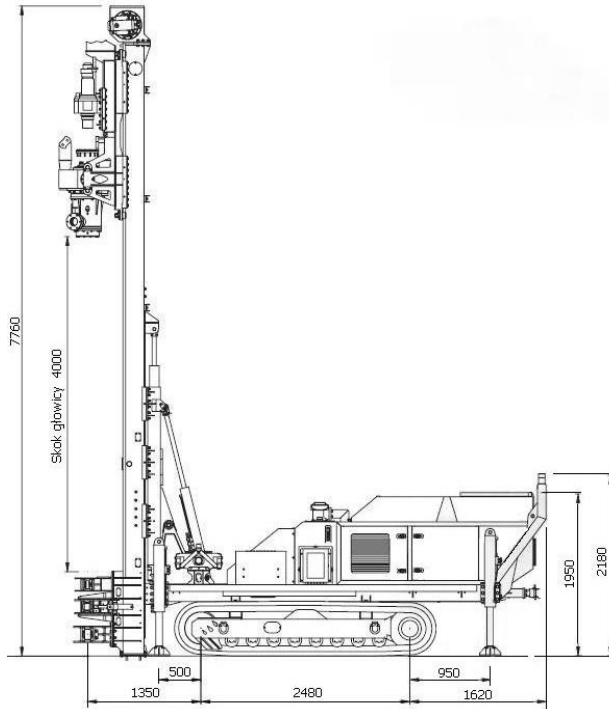
Średnica świda, mm (cale)	Liczba wkładek ostrzowych Ø 13 mm	Liczba i średnica otworów dyszowych, mm (cale)	Połączenie API czop
98,4 (3 7/8)	8	3 – 12,7 (1/2)	2 3/8 Reg
108,0 (4 1/4)	9	3 – 15,9 (5/8)	2 3/8 Reg
114,3 (4 1/2)	10	3 – 17,5 (11/16)	2 7/8 Reg
120,7 (4 3/4)	11	3 – 19,8 (25/32)	2 7/8 Reg
130,2 (5 1/8)	12	3 – 19,8 (25/32)	2 7/8 Reg
142,9 (5 5/8)	14	3 – 19,8 (25/32)	3 1/2 Reg

Jeżeli wymagane są dysze o większej średnicy to należy je sytuować bliżej centrum, a te o mniejszej średnicy dalej od osi narzędzia.

3. WIERTNICE

Rozwój konstrukcji urządzeń wiertniczych idzie w kierunku uproszczenia i ułatwienia pracy załodze. Są to zarówno konstrukcje zmniejszające uciążliwość prac wiertniczych (ruchome ściski, magnetyczne uchwyty do przewodu wiertniczego, podajniki rur wiertni-

czych) ale także prowadzące do wyeliminowania załogi wiertniczej i pełnej automatyzacji urządzeń wiertniczych. Na podstawie wiertnic firmy Comacchio (rys. 2) przedstawiono kilka rozwiązań, które ułatwiają pracę załogi wiertniczej [3].



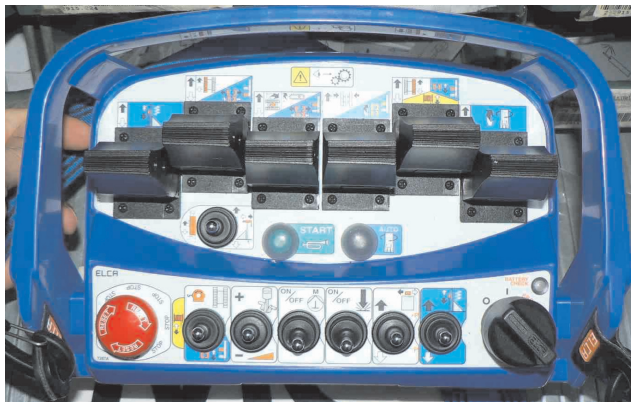
Rys. 2. Wiertnica Comacchio MC 900P

Jednym z rozwiązań Comacchio jest opatentowane **ruchome zamocowanie rozkrętka żerdzi** na maszcie wiertniczym. Rozkrętak w tym rozwiązaniu ma możliwość przesuwania się po maszcie wiertniczym w stosunku do dolnego chwytaka. Rozwiązanie to umożliwia bardzo szybkie wyciąganie i zapuszczanie rur okładzinowych lub rur płuczkowych. W przypadku wykonywania krótkich pali istnieje możliwość zatłaczania zaczynu cementowego przez głowicę płuczkową z jednoczesnym podciąganiem rur okładzinowych. Eliminuje się też kłopotliwe i długotrwałe zakręcanie elewatora do wyciągnięcia rur okładzinowych.

Zastosowanie **chwytaka magnetycznego** zamocowanego za pomocą liny na wysięgniku przy koronie masztu umożliwia szybkie podłączenie rury wiertniczej i dołożenie jej do ciągu przewodu wiertniczego. Zastosowanie tego urządzenia eliminuje ręczne podawanie ciężkich rur płuczkowych. Możliwe jest również podawanie podwójnej rury w rurze w przypadku wiercenia za pomocą podwójnej głowicy.

Sterowanie pracą wiertnicy za pomocą **zdalnego nadajnika radiowego** znajduje coraz większe rozpowszechnienie (rys. 3). Zastosowanie sterowania radiowego ułatwia pracę

wiertaczowi w czasie przemieszczania urządzenia wiertniczego, chroniąc go przed niebezpieczeństwem najechania przez gąsienicę lub koło wiertnicy na nogę. W czasie wiercenia wiertacz może podejść do wylotu otworu mając wgląd w proces wiercenia. W przypadku wykonywania prac w niebezpiecznych miejscach, załoga wiertnicza może oddalić się od wiertnicy. Na konsoli nadajnika radiowego znajdują się „manetki” do regulacji wszystkich parametrów wiercenia.



Rys. 3. Pulpit sterowniczy przenośny wiertnicy Comacchio

System **magazynowania i podawania rur** płuczkowych w trakcie wiercenia umożliwia redukcję załogi wiertniczej do jednej osoby wiertacza. Firma Comacchio zbudowała taki system na dwóch typach wiertnic. Są to: wiertnica MC 900 GT, MC 455 GT i MC 900 P z automatycznym podajnikiem [3]. W przypadku wiertnicy MC 900 GT system ten pozwala na wiercenie 150 mb otworu metodą z podwójną głowicą dolnym młotkiem pneumatycznym z jednoczesnym rurowaniem otworu. Załoga wiertnicza składa się z jednego wiertacza. Na wiertnicy zabudowane są dwa chwytaki i rozkrętałki. Jako napęd zastosowano podwójną głowicę produkcji Eurodrill. Cała operacja dokładania rur płuczkowych oraz wiercenia sterowana jest z pulpitu przez jednego wiertacza (rys. 4). Redukuje się w ten sposób koszty wykonania otworu wiertniczego oraz zmniejsza niebezpieczeństwo wypadku w czasie operowania przewodem wiertniczym.

Systemy manewrowania rurami można porównywać pod niżej wymienionymi względami odnoszącymi się do występowania, położenia i konfiguracji:

- pionowe magazynowanie na kłocu w maszcie lub wieży wiertniczej,
- poziome magazynowanie na rampie lub w magazynku stałym lub odchylnym,
- pionowe magazynowanie w karuzelowym układzie w maszcie wiertniczym,
- układ dwóch lub trzech ramion/wysięgników z manipulatorami,
- manipulator zintegrowany,
- pionowe, poziome lub nachylone kasetowe na poziomie terenu,
- mechanizm do wyciągania/wciskania lub także obracania rurami okładzinowymi.



Rys. 4. Automatyczny podajnik rur płuczkowych wiertnicy Comacchio

Istnieją współcześnie systemy, które redukują obecność załogi wiertniczej do minimum. Stosowany w kopalniach rudy żelaza w Szwecji system automatycznego wiercenia siatki otworów wiertniczych pozwala na bezobsługowe **wiercenie otworów na kilku stanowiskach wiertniczych** pod nadzorem dwóch operatorów. Operatorzy mają za zadanie ustawienie urządzenia wiertniczego w miejscu wiercenia wachlarza otworów i nadzór nad pracą kilku urządzeń wiertniczych za pomocą kamer i czujników. Oczywiście do zadań załogi należy również wymiana narzędzi urabiających w magazynku po ich stopieniu lub zużyciu. System ten zabezpiecza załogę wiertniczą przed wypadkami, zwłaszcza w przypadku wiercenia do góry, zmniejsza uciążliwość pracy oraz koszty wykonania otworu.

4. ZNACZENIE PRAWIDŁOWEJ EKSPLOATACJI URZĄDZEŃ WIERTNICZYCH

Proces wycofywania i odtwarzania urządzeń i sprzętu wiertniczego nie może się odbywać automatycznie bez planowania i regulowania tego procesu. Każdemu procesowi pracy/eksploatacji towarzyszy proces zużycia [6]. Określenie ekonomicznej efektywności wprowadzonych do użytkowania nowych maszyn i sprzętu wiertniczego jest warunkiem prawidłowej odnowy uzbrojenia technicznego firmy. Prawidłowe zarządzanie procesami odnowy wymaga znajomości podstawowych celów i zasad zarządzania tymi procesami. Utrata właściwości użytkowych, sprawności, wydajności, czy zdatności do dalszego użytkowania pociąga za sobą konieczność naprawy lub wymiany maszyny na nową. Czyli następuje od-

nowa częściowa lub całkowita. W eksploatacji urządzeń wiertniczych zauważa się dążenie do wprowadzania nowocześniejszych urządzeń w miejsce „zużytych moralnie” mniej wydajnych i mniej sprawnych. W ostatnim okresie mogą zaburzyć ten trend skutki spowolnienia rozwoju gospodarczego.

W procesie odnowy maszyn i sprzętu wiertniczego nie można nie uznać znaczenia modernizacji, która umożliwia przywrócenie lub zwiększenie zdolności produkcyjnej maszyny oraz poprawę podstawowych wskaźników techniczno-ekonomicznych jej działania lub zwiększenie bezpieczeństwa eksploatacyjnego. Długość okresu użytkowania maszyn zależy od:

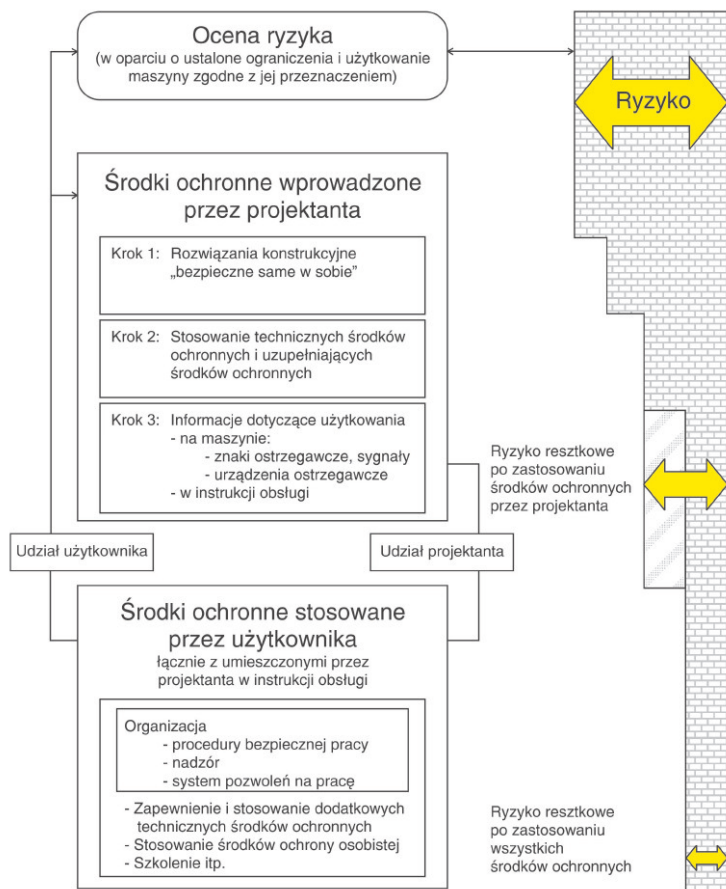
- właściwości fizycznych maszyny,
- sposobu jej eksploatacji,
- intensywności oddziaływania środowiska geologiczno-terenowego,
- tempa i rodzaju postępu technicznego w danym obszarze/zakresie maszyn.

Należy jednocześnie mieć świadomość, że do około jednej piątej rozwiązań konstrukcyjnych może lub stanowi nowość, natomiast reszta to rozwiązania przechodzące z modelu na model, z maszyny na maszynę. W rozwoju konstrukcji, a także problemach odnowy maszyn bardzo pożyteczne jest przestrzeganie zasady racjonalności konstrukcyjno-technologicznej i dziedziczności cech czy właściwości. Powtarzanie najbardziej pomysłowych nowoczesnych rozwiązań, sprawdzonych w praktyce eksploatacyjnej zapewnia efektywność ekonomiczną zmian i przyspiesza postęp techniczny.

Jednym z rozwiązań konstrukcyjnych wprowadzających zmiany w technologii wiercenia stosowanym coraz szerzej w Polsce jest np. technologia wiercenia z wykorzystaniem dolnego młotka powietrznego z równoczesnym rurowaniem otworu. W celu wyeliminowania zabezpieczenia otworu w warstwach nadkładu stosuje się wiercenie za pomocą podwójnej głowicy lub z jedną głowicą obrotową i wykorzystaniem przyrządu do jednoczesnego rurowania otworu. Zasada działania tego przyrządu opiera się na wierceniu młotkiem powietrznym i jednoczesnym wierceniu rurami okładzinowymi z koronką na spodzie otworu. Po wykonaniu otworu lub konieczności wymiany koronki, młotek bezpiecznie wyciąga się przez rury okładzinowe. Na zakończenie wyciąga się rury okładzinowe. Ten sposób jest bardzo popularny w wielu krajach do wykonywania wzmocnienia górotworu za pomocą pali betonowych. Po odwierceniu otworu wyciąga się młotek powietrzny, do środka rur okładzinowych wlewa się mieszankę betonu, jednocześnie następuje podciąganie rur okładzinowych. Jest to bardzo szybki i tani sposób wzmocniania górotworu.

5. BEZPIECZEŃSTWO PRACY

Maszyna wiertnicza jako układ wykonujący wiele funkcji sekwencyjnych i równoczesnych z częściami obrotowymi, przemieszczającymi się ruchem postępowym, będącymi pod znacznym ciśnieniem i obciążeniem mechanicznym wymaga identyfikacji zagrożeń i oceny ryzyka (rys. 5). Odpowiednie wymagania odnoszą się do takich kwestii m.in., jak strategiczne umiejscowienie wyłącznika bezpieczeństwa maszyny typu przyciskowego, osłony części ruchomych, generalnie dotyczą środków ochronnych wprowadzonych przez producenta jak również przez użytkownika [1, 2].



Rys. 5. Zmniejszanie ryzyka podczas projektowania i użytkowania maszyn [1, 2]

Poprawę niezawodności układu operator – maszyna, zmniejszenie zagrożeń powinno się prowadzić m.in. przez zwiększenie niezawodności tych elementów urządzenia, których niesprawności i uszkodzenia mogą stwarzać największe zagrożenia. Zarządzanie ryzykiem w budowie i eksploatacji urządzeń ułatwiają zawarte w odpowiednich przepisach i normach wytyczne określające procedury i metody oceny ryzyka oraz umożliwiające obniżenie poziomu ryzyka (rys. 5). Ze schematu widać, że rolą użytkownika jest ograniczenie do minimum ryzyka resztowego, co bez ścisłego współdziałania z załogami nie da spodziewanej poprawy bezpieczeństwa eksploatacji.

6. WNIOSKI

- 1) Zagrożenia, jakie niesie eksploatacja urządzeń wiertniczych na powierzchni lub w warunkach podziemnych wyrobisk stawiają przed producentami i użytkownikami coraz wyższe wymagania ukierunkowane zarówno na ogólne aspekty bezpieczeństwa jak

również na specyfikę maszyn i ich części składowych. Ciągłego doskonalenia wymagają procedury obliczeniowe dla potrzeb projektowania, zapewnienie jakości na poszczególnych etapach, warunki wykonania i odbioru, procedury oceny zgodności oraz zalecenia właściwej eksploatacji i ich wprowadzenie do praktyki. Praktyka dowodzi, że każdy cząstkowy postęp w powyższych zakresach pozwala na poprawę bezpieczeństwa, ograniczenie ryzyka strat i zmniejszenie zdarzeń niepożądanych.

- 2) Bezpieczeństwo eksploatacji urządzeń zapewnia wiedza i kompetencja oraz zaangażowanie kadry technicznej i kierownictwa.
- 3) Rozwój konstrukcji urządzeń wiertniczych idzie w kierunku ułatwienia pracy załodze prowadząc do eliminowania załogi wiertniczej i pełnej automatyzacji urządzeń wiertniczych.
- 4) Bardzo pożądana jest pogłębiona analiza i wynikający z niej prawidłowy dobór urządzenia wiertniczego do efektywnego programu wierceń firmy.

LITERATURA

- [1] Bednarz S.: *Bezpieczeństwo eksploatacji urządzeń wiertniczych w górnictwie ropy i gazu*. Materiały Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „Nowe techniki i technologie wierceń stosowane na złożach LMG i BMB, SliTPNiG Oddział w Pile, Piła 17–18 kwiecień 2008
- [2] PN-EN ISO 12100-1:2005 *Bezpieczeństwo Maszyn. Pojęcia podstawowe, ogólne zasady projektowania. Cz. 1 Podstawowa terminologia, metodyka*
- [3] Comacchio Drilling and Foundation Specialist, Informacje Techniczne
- [4] www.palmerbit.com
- [5] Gonet A. i in.: *Wiercenia rdzeniowe*. Kraków, UWND AGH 2007
- [6] Knight P.F.: *Analysing breakdowns*. Mining Magazine, September 1999